

Grötzebauch, H. & Heinicke S. (Hrsg.)

PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung

Fachverband Didaktik der Physik

Virtuelle DPG-Frühjahrstagung 2022

Zur Zeitschrift

Die Zeitschrift *Didaktik der Physik – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung* (PhyDid B) ist eine leicht referierte open-access Internetzeitschrift. Sie beinhaltet die Tagungsbeiträge der Frühjahrstagung des Fachverbands *Didaktik der Physik* der *Deutschen Physikalischen Gesellschaft* (DPG). Alle Beiträge sind frei verfügbar. In der herunterladbaren Gesamtausgabe erscheinen nur die Artikel. Weitere Zusatzdateien wie z. B. Poster oder Filme sind über das open-access Portal von PhyDid B verfügbar.

PhyDid B umfasst Beiträge zu den Hauptvorträgen sowie den Rubriken *Anregungen aus dem Unterricht für den Unterricht, Astronomie, Grundschule, Hochschuldidaktik, Lehreraus- und Lehrerfortbildung, Lehr- und Lernforschung, Neue Konzepte, Neue Medien, Neue Versuche und Praktika, Quantenphysik, Studienreform-Forum Physik, und Weitere Themen*.

Zitierweise beispielsweise:

Grötzebauch, H. & Heinicke S. (Hrsg.). (2022). PhyDid B, *Didaktik der Physik, Beiträge zur virtuellen DPG-Frühjahrstagung 2022*. 559 S.
Url: <https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phydid-b/article/view/1319/1527>.
ISSN 2191-379X

Copyright Hinweise

Die einzelnen Autoren sind für die rechtmäßige Verwendung von eingereichten Beiträgen, Abbildungen, Hyperlinks und Zusatzmaterialien verantwortlich und tragen das alleinige Haftungsrisiko. Die Verantwortlichkeit für die Inhalte verlinkter fremder Webseiten liegt alleine bei dem Anbieter der Webseite. Wir distanzieren uns hiermit ausdrücklich von deren Inhalt und machen uns ihre Inhalte nicht zu Eigen.

Impressum

Die Veröffentlichung der Tagungsbände in PhyDid B erfolgt im Auftrag des Fachverbandes der Deutschen Physikalischen Gesellschaft.

Url: <https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phydid-b/index>

ISSN: 2191-379X



Namensnennung - Nicht-kommerziell - Weitergabe unter gleichen Bedingungen

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/legalcode.de>

Inhaltsverzeichnis

Anregungen aus dem Unterricht für den Unterricht

Hans-Otto Carmesin, Florian von Barga
An Observation Station for Geomagnetism and Magnetic Storms 1

Fabian Ramme, Jan Winkelmann
Auseinandersetzungen mit Idealisierungen im Physikunterricht 13

Sara Wilhelm, Thomas Wilhelm
Nachbau eines Termitenhügels als Projekt zur Wärmelehre 17

Astronomie

Alexander Arshewickij, Alexander Pusch, Malte S. Ubben
AR Lineale 25

Philipp Bitzenbauer, Malte Ubben
Entwicklung eines Konzepttests zur Astronomie 29

Hans-Otto Carmesin, Philipp Schöneberg
On Phase Transitions in the Early Universe 33

Grundschule

Linda Seufert, Wolfgang Lutz, Thomas Trefzger
Entwicklung und Evaluation eines Optikprojekts zu Schülervorstellungen in der
Primarstufe 43

Hochschuldidaktik

Robin Dexheimer-Retuer, Verena Spatz, Thomas Trebing
Auswirkungen der Lehr-Lernüberzeugungen studentischer Tutor*innen 53

**Simon Z. Lahme, Jasper O. Cirkel, Larissa Hahn, Pascal Klein, Ronja
Langendorf, Susanne Schneider**
Belastungstrajektorie in der Studieneingangsphase Physik 57

**Manuela Boin, Britta Schütter-Kerndl, Bernd Oder, Achim Boger, Karin
Lunde**
Die WiMINT-AGs Mathematik und Physik 65

Christian Rabe, Vincent Drews, Larissa Hahn, Pascal Klein
Einsatz von multiplen Repräsentationsformen zur qualitativen Beschreibung
realer Phänomene der Fluidodynamik 71

Andreas Kaps, Frank Stallmach Hochschuldidaktischer Vergleich von smartphonebasierten Experimentierhausaufgaben und klassischen Übungsaufgaben	79
Benedikt Gottschlich, Jan-Philipp Burde Lehramtsspezifischer Professionsbezug in Fachveranstaltungen	87
Hanno Käß, Tilmann Berger, Manuela Boin, Kim Fujan, Marc Güßmann, Edme H. Hardy, Florian Karsten, Gerrit Nandi, Ronny Nawrodt, Carsten Raudzis, Ina Rieck, Florian Schifferer, Stefan Schwarzwälder, Stefanie Walz Mindestanforderungskatalog Physik	93
Philipp Scheiger, Ronny Nawrodt, Holger Cartarius Peer Instruction in der Theoretischen Physik	101
Kevin Schmitt, Verena Spatz Physikalisches Vorwissen in Physik-Nebenfachveranstaltungen	107
Tobias Reinsch, Lukas Maczewsky, Holger Cartarius, Ronny Nawrodt Quantenphysik und Astronomie – mehr als nur bunte Farben?	115
Larissa Hahn, Pascal Klein Vektorielle Feldkonzepte verstehen durch Zeichnen?	119
Malte Diederich, Verena Spatz Welche Rolle spielt das Mindset beim Studienabbruch im MINT-Studium?	127
Lehreraus- und Lehrerfortbildung	
Johannes F. Lhotzky, Nadine Baston, Klaus Wendt, Marius Haring Ausbildung in drei Dimensionen: Theorie, Praxis, Forschung	137
Tilmann Steinmetz, Erich Staruschek Beeinflusst eine professionsbezogene Lehre der Physik im Studium das schulpraktische Handeln?	145
David Weiler, Jan-Philipp Burde, Andreas Lachner, Rike Große-Heilmann, Josef Riese, Thomas Schubatzky Digitale Medien im Physikunterricht: Entwicklung eines Seminarkonzepts	153
Angelika Mandl, Claudia Haagen-Schützenhöfer, Philipp Spitzer, Thomas Schubatzky Digitalität im mathematisch-naturwissenschaftlichen Fachunterricht:	161

Jana Biedenbach, Verena Spatz Einstellungen von Lehramtsstudierenden zu integriertem naturwissenschaftlichen Unterricht (INU)	169
Markus Obczovsky, Thomas Schubatzky, Claudia Haagen-Schützenhöfer Essenzielle Features der Frankfurt/Grazer Optikkonzeption	177
Jessica Schilling, Johannes F. Lhotzky, Klaus Wendt Interviewstudie zur Lernergebnissicherung im Physikunterricht aus der Perspektive von Physikfachleiter:innen	185
Michael M. Hull, Haruko Uematsu Perceived Agency of In-Service Physics Teachers in Japan and Austria	191
Novid Ghassemi, Volkhard Nordmeier Quereinstiegsmasterstudiengänge verstetigen und ausbauen?	199
Anna Weißbach, Christoph Kulgemeyer Reflexion von Physikunterricht – ein Online Assessment mit Feedback	203
Jens Damköhler, Markus Elsholz, Thomas Trefzger Reflexionsprozesse im Lehr-Lern-Labor	211
Lucas Carlos Televantos Ubeda, Johannes F. Lhotzky, Margarete Imhof, Klaus Wendt Vignettenstudie zur Perspektive von Physiklehrkräften auf die Lernergebnissicherung im Physikunterricht	217
Lehr- und Lernforschung	
Tobias Winkens, Simon Goertz, Heidrun Heinke Analyse des Kompetenzaufbaus zur Variablenkontrollstrategie mithilfe von Sankey-Diagrammen	221
Merten Dahlkemper, Pascal Klein, Andreas Müller, Sascha Schmeling, Jeff Wiener Der didaktische Nutzen von Feynman-Diagrammen	229
Julia Welberg, Daniel Laumann, Susanne Heinicke Empathisierendes oder systematisierendes Denken im Physikunterricht?	235
Markus Wintersteller, Maximilian Jeidler, Michael M. Hull Investigating Differences in How Teachers Facilitate the Classbook "The Radiation Around Us"	241

Iva N. Sampaio-Kronister, Michael M. Hull Learning Gains with the Newton's Third Law Open Source Tutorial in Austrian High Schools	247
Laura Goldhorn, Thomas Wilhelm, Verena Spatz Physikbezogene Mindsets in der gymnasialen Oberstufe	255
Thomas Schubatzky, Rainer Wackermann, Carina Wöhlke, Claudia Haagen-Schützenhöfer, Hannes Kasimir Lindemann, Kai Cardinal, Marko Jedamski Pilotierungsergebnisse eines Klimawandel-Konzepttests	261
Michael M. Hull, Eva Holzinger, Maximilian Jeidler, Markus Wintersteller Student Understanding of Half-life and Background Radiation	267
Eva Holzinger, Michael M. Hull The Public's Knowledge on Radioactivity	275
Moritz Kriegel, Verena Spatz Vorstellungen von Schüler_innen zur Tätigkeit von Forschenden in der Physik	281
Hanna Blumenthal, Pascal Klein Zusammenhänge zwischen dem Blickverhalten und der Antwortsicherheit beim Lösen von Aufgaben zum Graphenverständnis	287
Neue Konzepte	
Axel-Thilo Prokop, Ronny Nawrodt Didaktische Rekonstruktion der Strahlentherapie	295
Jan Heysel, Johanna Rätz, Inga Woeste, Vera Munz, Janina Beigel, Frank Bertoldi EduChallenge: Perspektiven auf Naturwissenschaften	299
Maximilian Jeidler, Markus Wintersteller, Michael M. Hull The Influence of "The Radiation Around Us" on Student Conceptual Understanding and Interest	307
Neue Medien	
Jan Simon, Aaron Reith, Johannes F. Lhotzky, Klaus Wendt Das Rastertunnelmikroskop — Konzeption eines Virtual-Reality-Experiments	315
Saskia Rauber, Jan-Philipp Burde, Thomas Wilhelm, Martin Hopf, Liza Dopatka, Verena Spatz, Thomas Schubatzky, Claudia Haagen-Schützenhöfer, Lana Ivanjek Eine AR-Erweiterung des EPo-Konzepts zu einfachen Stromkreisen	323

Dörte Sonntag, Oliver Bodensiek Eye-Tracking-basierte Gestaltung und Evaluation von Mixed Reality Experimentierumgebungen	331
Thomas Wilhelm, Jochen Kuhn Für alles eine App	337
Jürgen Kirstein, Volkhard Nordmeier Interaktive Augmentierung eines Lehrfilms	341
Mareike Freese, Albert Teichrew, Jan Winkelmann, Roger Erb, Mark Ullrich, Michael Tremmel Lehrkräftefortbildung zu Augmented Reality-Experimenten im Physikunterricht	349
Florian Frank, Christoph Stolzenberger, Thomas Trefzger PUMA : Spannungslabor - Eine AR-Applikation für den Einsatz in der E-Lehre der Sek I	357
Stefan Kraus, Prof. Dr. Thomas Trefzger PUMA: Web-AR-Techniken als Ergänzung des Physikunterrichts	363
Thomas Sean Weatherby, Thomas Wilhelm Scientifically Speaking: Kollaboratives Lernen digital unterstützen	367
Vinit Suri, Thomas Wilhelm Vergleich von Videoanalyse-Apps auf Tablets	371
Johannes F. Lhotzky, William Lindlahr, Klaus Wendt VRE Physik im digitalen Labor	397
Neue Versuche und Praktika	
Simon Z. Lahme, Pascal Klein, Antti Lehtinen, Andreas Müller, Pekka Pirinen, Ana Susac, Bruno Tomrlin DigiPhysLab: Digital Physics Laboratory Work for Distance Learning	383
Jörg Schneider, Holger Cartarius Mit Arduino und Spielzeugeisenbahn zur Relativitätstheorie	391
Andreas Vorholzer, Julia Ortmann, Nicole Graulich Naturwissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen in (physikalischen) Praktika	395
Katharina Stütz, Ronny Nawrodt Ziele eines Demonstrationspraktikums für Physik-Lehramtsstudierende	405

Quantenphysik

- Franziska Greinert, Tobias Voss, Rainer Müller, Linus Krieg, Gowtham Muthusamy, Franziska Rücker, Klaus Bock-Müller**
Ein spielerischer Einstieg in die Quantenprogrammierung mit QuantumVR 411
- Stefan Aehle, Philipp Scheiger, Holger Cartarius**
Entwicklung von Analogie-Experimenten zum quantenmechanischen Messprozess 419
- Hans-Otto Carmesin**
Explanation of Quantum Physics by Gravity and Relativity 425
- Jonas Lauströer, Reinhard Schulz-Schaeffer, Paul Schlummer, Stefan Heusler, Adrian Abazi, Carsten Schuck, Wolfram H. P. Pernice**
Exploration wichtiger ästhetischer Qualitäten der Wissenschaftsillustration am Beispiel von MR- AR- und Web3D Applikationen zur Präsentation von Experimenten in der Quantenphysik 439
- Hans-Otto Carmesin**
How Excitations of the Vacuum form Mass 447
- Franziska Greinert, Oliver Bodensiek, Dominik Essing, Gowtham Muthusamy**
Quantenteleportation und Verschränkung im Science Center mit erweiterter Realität: Projekt Holodeck:Q 459
- Stefan Heusler, Malte Ubben**
Topologische Modelle für Ununterscheidbarkeit und Verschränkung 467

Studienreform-Forum Physik

- Daniela Kern-Michler, Stefan Brackertz, Sophie Penger, Manuel Längle, Christoph Kronberger, Annemarie Sich, Lisa Lehmann, Wanda Witte, Amr El Miniawy**
Strukturanalyse von Physik Studiengängen 471
- Stefan Brackertz, Amr El Miniawy, Jeanette Gehlert, Daniela Kern-Michler, Manuel Längle**
Workshop: Konsequenzen aus drei Jahren Studienreformforschung 479

Weitere Themen

Karolina Matejak Cvenic, Maja Planinic, Ana Susac, Lana Ivanjek, Katarina Jelacic, Martin Hopf Assessing Austrian high school students' understanding of basic wave optics phenomena using the Conceptual Survey on Wave Optics	485
Kai Bliesmer, Michael Komorek Bedeutung des non-formalen Lernens für die MINT-Bildung	493
Timo Graffe, Johannes F. Lhotzky, Uwe Oberlack, Filip Sirrenberg, Klaus Wendt Climate Escape – Entkommen aus der Klimakatastrophe?!	501
Jonathan Grothaus, Markus Elsholz, Thomas Trefzger Closing the science-action gap:	507
Christiane Richter, Michael Komorek Mädchenförderung in der Physik	517
Dina Al-Kharabsheh, Anne Geese, Rainer Müller MINT-Begeisterung wecken, fördern und halten - zwei Beispiele für außerschulische Lernangebote	525
Matthias Fischer, Manuela Welzel-Breuer Naturwissenschaftlicher Unterricht in Straßenschulen	527
Jonas Tischer, Christin Sajons, Michael Komorek Physikalische Bildung in komplementär vernetzten non-formalen Lernangeboten	535
Matthias Fischer, Manuela Welzel-Breuer Zur Rolle von naturwissenschaftlicher Bildung in Straßenschulen	543
Erratum	
David Woitkowski Fachwissen und Problemlösen im Physikstudium	551

Tagungsprogramm

Url: <https://www.dpg-verhandlungen.de/year/2022/conference/heidelberg/part/dd>

An Observation Station for Geomagnetism and Geomagnetic Storms – A Project in a Research Club

Florian von Barga^{*,**}, Hans-Otto Carmesin^{*,***,****}

^{*}Gymnasium Athenaeum, Harsefelder Str. 40, 21680 Stade,

^{**}Brecht Schule Hamburg, Norderstr. 163 20097 Hamburg,

^{***}Studienseminar Stade, Bahnhofstr. 5, 21682 Stade,

^{****}Universität Bremen, 28334 Bremen

florian-von-barga@web.de, hans-otto.carmesin@athenetz.de

Kurzfassung

Geomagnetismus ist wesentlich zum Schutz vor kosmischer Strahlung. Geomagnetismus fördert das globale Denken sowie globale Vernetzung und bietet daher substantielle didaktische Perspektiven. Wir berichten über ein entsprechendes Projekt in einer Jugend forscht AG und über verallgemeinerbare Erfahrungen. Unser Projekt befasst sich mit der hochpräzisen Aufzeichnung des Erdmagnetfeldes. Die Sonne hat einen großen Einfluss auf die Schwankungen dieses Feldes. Um diese Schwankungen im Erdmagnetfeld aufzuzeichnen, haben wir eine Messstation errichtet. Dabei haben wir besonders auf eine störungsfreie Umgebung geachtet, um hochgenau aufzuzeichnen. Anfang November 2021 wurde über Polarlichter in Deutschland, verursacht durch eine große Sonneneruption berichtet. Diese können moderne GPS- und Kommunikationstechnik stören. Mit unserer selbstgebauten Messstation konnten wir eine deutliche Veränderung des Erdmagnetfeldes messen, es war die größte Eruption, die ich bisher aufgezeichnet haben. Das ist einer von vielen Sonnenstürmen, die wir aufgezeichnet habe. Durch Vergleiche konnten wir zeigen, dass unsere Station die Sonnenstürme präzise aufzeichnet. Die Soft- und Hardware der Messungen wurde in mehreren Entwicklungsschritten verbessert, u.a. im Bereich Informatik.

Abstract

Geomagnetism is essential for protection against cosmic rays. A project in geomagnetism develops global thinking and global networking. So, such a project provides substantial didactical perspectives. We report on such a project at a research club and on corresponding experiences. Our project deals with the high-precision recording of the earth's magnetic field. The sun has a great influence on the fluctuations of this field. In order to record these fluctuations in the earth's magnetic field, we have set up a measuring station. We paid special attention to an interference-free environment in order to record with high accuracy. In early November 2021, auroras were reported in Germany, caused by a large solar flare. These can disturb modern GPS and communication technology. With our self-built measuring station, we were able to measure a significant change in the Earth's magnetic field, it was the largest flare we have recorded so far. This is one of many solar storms we have recorded. Through comparisons, we were able to show that our station accurately records solar storms. The software and hardware of the measurements were improved in several development steps, including computer science.

1. Introduction

An observation station for geomagnetism and geomagnetic storms can exhibit a substantial didactical potential. In order to realize it, we analyse the didactical perspective.

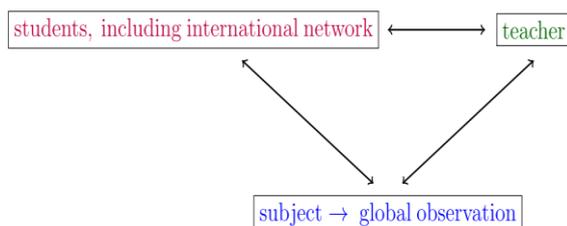


Fig. 1: Didactical triangle. In challenging global observations, international networks of students are appropriate

1.1. Didactical perspective

Students are highly interested in astronomy and astrophysics (Elster 2010, Jenkins 2006, Pössel 2015). A striking property of space is its astonishing size. Thus, the question arises, what physical objects can fill huge areas in space, as masses are relatively small. The fields of the weak and of the strong interaction as well as the electric field are shielded and have little extension, as a consequence. However, the magnetic field can hardly be shielded, so that it extends to huge regions of space. For instance, Earth's magnetosphere has a size of six diameters of Earth, at least. And the Earth's magnetic field is only stopped by Sun's magnetic field at the magnetopause (e. g. Carmesin et al. 2020, p. 84-91, 125, 132-133, 139). Moreover, Earth's magnetic field is essential for life, as it

protects us from the cosmic radiation. Accordingly, the student's interest in magnetic fields in space has a substantial didactical perspective. The didactical perspective can be analysed in the framework of the didactical triangle, see Franke and Gruschka (1996) or Fig. 1. That triangle represents the relation between the students, the teacher and the subject. Hereby, the relation between the students and the subject is characterized by a high interest. Moreover, Earth's magnetic field is caused by the complicated geo-dynamo, that field is exhibited to solar storms, and so, that field has complex dynamics. Thereby, even reversals of Earth's magnetic field are possible (Brunhes, 1906).

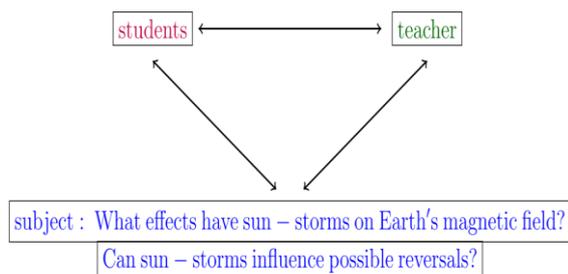


Fig. 2: Didactical potential: scientific question.

Accordingly, a wide understanding of the dynamics of Earth's magnetic field, including reversals, is very challenging, see Fig. 2. So, it can only be achieved in the future. In particular, it requires a global and international network of many measurement stations. Such a network could in principle be organized by learners at schools. Correspondingly, the subject could become interesting for learners and for science teachers, if a fully developed measurement station would be available, and if that station could be easily reproduced, implemented and driven, see Fig. 3.

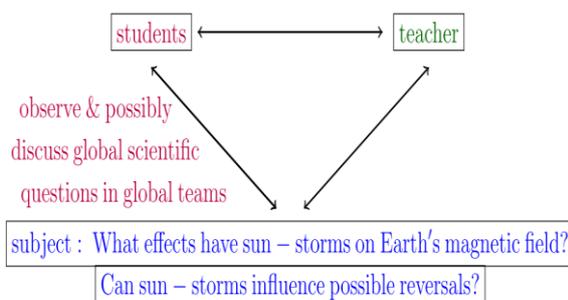


Fig. 3: Didactical perspective: global scientific network is possible.

At such a network of stations, students can develop various key skills: teamwork, experimentation, application of information technology, finding and testing an appropriate site with little magnetic pollution, implementing and managing an observation station, evaluating of observations, physical modeling of fields and particles.

In global observations, networks can be appropriate. For instance, Backhaus, Gabriel and Kersting (2014) organized an international network of students in order to observe a transit of Venus at various perspectives. Based on the results, the astronomical unit was determined.

Another example is the observation of the Big Bang at a school observatory. Hereby, various methods have been applied and several observations have been used. Altogether, a time-network of students performed observations in the years ranging from 2011, see Carmesin (2012) to 2018, see Helmcke et al. (2018) and at the same school observatory in Stade. Hereby, several students have developed useful equipment for the observatory, have presented their results at Jugend forscht competitions and have been awarded with prizes at various levels.

The present project takes place in the framework of a research club. Thereby, the student Florian von Bargaen performs the project, and the teacher Hans-Otto Carmesin coaches Florian and oversees the project. Additionally, Florian organized support from various partners, see acknowledgement. Moreover, Florian takes part in the astronomy club provided by Hans-Otto, where Florian communicates the progress of his project.

Using his developed observation station, Florian was able to obtain high level observational results, including the discovery of a filament that occurred at a magnetic storm. So, the didactical perspective of the project has been tested. Thereby, the station proved to be productive at an advanced level.

1.2. On solar storms

The sun constantly sends radiation and charged particles into space. Besides light particles, the photons, it also emits charged particles. The latter steady stream of particles is called solar wind. In the uppermost and hottest solar layer, the particles heat up strongly and can thus overcome the gravitation of the star. These particles are mainly protons and electrons, which shoot into space at speeds of 400 to 800 kilometers per second. One speaks of a solar flare when this current is significantly stronger than usual for a short time and in a limited area. The radiation and particles produced by a solar flare travel through space and can also strike the Earth. The subsequent phenomena that are set in motion there are called solar storms (Karrtunen et al. 1996, Ambastha 2003, Roberts and Glatzmaier 2000).

The plasma cloud moves through space at speeds of up to 1000 kilometers per second and thus it takes about one to two days before it reaches Earth. The bulk of the particles, however, are slower and therefore take longer. The plasma cloud is responsible for many of the effects observed on Earth during a solar storm. Earth's magnetic field is so large that solar storms are mostly shielded, but occasionally solar storms are strong enough to break through it. At the equator, the Earth's magnetic field has a strength of about 0.03 milli Tesla = 30 micro-Tesla (Source 4). At the poles, the value is about twice as high. For comparison, the value in northern Germany is 50 MT.

Near the poles, the magnetic field lines of our planet enter the earth.

The charged particles are deflected by the Earth's magnetic field so that they orbit around the Earth in a ring, the Van Allen belt. The particles deform the magnetic field, depending on the strength of the solar wind. They move along small helical lines around the magnetic field line. Along these lines they can eventually hit the atmosphere. The especially nice side effect is that we can then see this as auroras in the polar regions.

1.3. Idea

Solar storms can have a great impact on our life on earth. The high energy particles have an ionizing effect and are able to cause unwanted electric currents.

Due to the high energy particles, power lines can overload (see e. g. OECD, 2011). Circuit breakers installed in houses to protect against overvoltage damage are therefore mandatory in Germany. Violent solar storms can cause power outages, erase data from hard drives, and paralyze satellites and air traffic. This would lead to unpleasant restrictions in our daily lives, and cause high costs. In 1989, a violent solar storm in Quebec, Canada, shut down the power grid for nine hours. Such a blackout can have severe consequences, e.g., in the power supply of important facilities such as hospitals and airports. High costs and/or insurance claims can also arise for the economy due to outages or damage to production or the transport of goods.

In 2012, a solar storm narrowly missed Earth; according to studies, this solar storm would have had twice the force of the 1989 storm in Quebec. The probability of a "super solar storm" is 12% from 2014-2024. How great the consequences and damage to civilization would be is hard to estimate; science disagrees.

Reversals of polarity can also be observed in the normal long-term behavior of the Earth's magnetic field. However, these occur over very long-time spans of several thousand years.

Being able to measure and perhaps predict solar storms is more important than ever. After all, our daily lives are very dependent on a steady supply of electricity. As the advancing digitalization replaces manual machines, there is a total dependence on the power supply. In addition, more and more data is being stored digitally. Electricity is needed for these data storage devices. If there is a power failure, it cannot be accessed. This leads to failures in the economy, e.g., in the production of goods, and it paralyzes our working life to a large extent. The difference to conventional catastrophes is that a solar flare affects entire continents, and the repair of a large-scale failure takes months, and vital infrastructure is therefore not available.

1.4. Goal of the project

The goal is to be able to measure solar storms on the basis of magnetic field fluctuations with an own sensor. The measured data are then analyzed and evaluated (similar to experiment 1). The mean value of the three directions and the magnitude (x, y, z and magnitude mean value) is formed. These form the basis for predicting the next solar storms. With enough data, an educated prediction on changes in the magnetic field can then be made.

1.4.1. Means to achieve the project goal

We will store these measurement data with the help of the sensor FLC3-70 of the company Stefan Mayer Instruments on a Raspberry Pi, with the help of a micro-SD card. The predictions will be supported by other measurements (for example PTB). The measurement with satellites or telescopes, which record the solar activity, also offer a time advantage, because the solar storms reach the satellites first, before they hit our sensor. This also allows a precaution to be weighed in terms of intensity and arrival on Earth.

2. Experiment 1: Hall sensor

A magnetic sensor is installed in most smartphones and tablets. The so-called Hall sensor offers an accuracy of 10^{-6} T. An iPad Air of the 1st generation (2013) was used as a sensor in our first test. The tablet was placed in a weatherproof plastic box with a charging cable. The app "phyphox" from RWTH Aachen was opened, and the measurement "magnetic field" was started. From then on, the device measured all magnetic changes on the x/y/z space. The box with the tablet was fixed to the outside of the roof truss of the house to get better results.

2.1. Digital method

The "pyphox" app records the data, and then you can export it as an evaluation file. The measurement takes place 100 times a second.

2.2. Measuring principle of the Hall sensor

A current is injected through two opposing electrodes. Two orthogonal electrodes then measure the Hall voltage. The output voltage is proportional to the magnitude of the vector product of B-field and velocity. The temperature can influence the vector product.

2.3. Results of experiment 1

In the first test with the tablet magnetic sensor (Hall sensor), the measurement results did not turn out to

be precise enough. The Hall sensor measures magnetic field fluctuations in the range of micro-Tesla. However, most solar storms only cause a magnetic field fluctuation of a few nanotesla. In the professional measurements of PTB, this fluctuation is partly several 100 nanotesla, which can therefore no longer be measured with the Hall sensor. To be able to measure a magnetic field change with the Hall sensor, therefore, a very strong solar storm would have to occur, which is very rare. Therefore, we concluded that another sensor is needed to measure the required nanotesla variations.

3. Experiment 2

All problems, which were noticed in the first test, indicate that the measuring data do not show a purposeful precision. Therefore, we decided to use a sensor from the company Stefan Mayer Instruments. This terminal FLC3-70 was provided to me on 04.01.2020, and this one provides high resolution measurement data in the range of nanotesla.

A second and third FLC3-70 were provided to me on 02/14/2020. A sensor was set up on 22.02.2020 in Bielefeld at relatives. The experimental setup there is not different from the one in Stade. This second location will be used to visualize and evaluate the difference of the measured magnetic field value. The data of both locations are entered into an Excel file. With this now existing basis it is possible to show a public presentation of the measurement results, similar to the measurements of the PTB, and to make them available to third parties. The third sensor was also installed in Stade to control the sensor there.

3.1. Setup

The decision for a developer board was then an Arduino or a Raspberry Pi. Since the sensor works on 16-BIT, the choice fell on a Raspberry Pi, which can process this reliably. We use a Raspberry Pi 4 Model B together with an analog/digital converter from joy-it. Previously, we tried to program it with an Arduino, which turned out to be not favorable due to reliability and precision. The converter is plugged on a plug-in PCB. This is connected via a Male-Female cable connected to the Raspberry Pi in the correct mapping. The Fluxgate sensor is connected to the converter in a similar way so that the output of the sensor goes through the converter to the Raspberry. The prepared experiment is installed in a case to adequately protect the high-quality components. This setup was repeated for the second and third sensor.

These have to be assigned to the converter first. After that, the cables from the converter are assigned to the Raspberry Pi.



Fig. 4: Fluxgate FLC3-70 sensor from Stefan Mayer Instruments

3.2. Measurement principle: fluxgate sensor

The two cores (Core 1, Core 2) are wrapped by receiver coils. In the absence of a magnetic field, the voltage is canceled ($V=0$). Now, when a magnetic field occurs, the saturation of one core is reached earlier than the other. This asymmetry is proportional to the field change and is reflected as a voltage change.

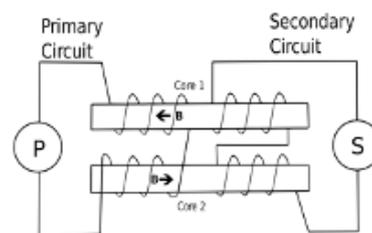


Fig. 5: The measuring principle of the Fluxgate sensor

The sensor shows the measured electromagnetic change in volts with the three voltage values. It is measured in three directions. These are displayed as xv, yv and zv. With the three "raw values" (x-raw, y-raw, z-raw) the corresponding measured values of the voltage changes in the different directions are displayed.

3.3. Method

Now the setup is subjected to some tests which check the results for systematic errors. A part of these systematic errors could already be reduced by the out signal. If these are passed, it is sure that a successful day and night rhythm could be recorded. The recording of the PTB was used as a reference. The day and night rhythm shows fluctuations in the range of 1%.

3.4. Results of experiment 2

The FLC3-70 sensor from Stefan Mayer Instruments allows high-resolution measurement data in the range of nanotesla. The magnitude is the result of the combined values: x-raw, y-raw, z-raw. The formula for calculation is:

$$(x\text{-raw}^2 + y\text{-raw}^2 + z\text{-raw}^2)^{1/2} = \text{magnitude.}$$

The measurement data showed that a collection of measured values of the electromagnetic changes

could be successfully made by the two sensors FLC3-70. The stored values could also be successfully saved to the micro-SD card, and shown as measurement data tables and graphs. The results show that the sensors have a systematic measurement inaccuracy, which can be seen for example in the mean value amount. This inaccuracy is much larger than the statistical measurement inaccuracies. The standard deviations here are 5 nanotesla, this is obtained by averaging 300 values recorded in 150 seconds. We interpret this variation as stochastic measurement uncertainty. The systematic measurement inaccuracies, on the other hand, were investigated.

The goal of Experiment 2 was to reduce the systematic measurement inaccuracies to 0.1‰ because this allows highly detailed measurement of the diurnal and nocturnal rhythms. The "two-sensor operation" turned out to be counterproductive, after consultation with the sensor manufacturer, because the coils excite each other, and falsify the measurement result.

3.5. Construction of an own measuring station

For further improvement of our measurement data and expansion of our project, we used the procedure and setup of a PTB measurement station as a model, since it records measurement data in an interference-free environment.

3.6. Measurement in the forest on 29.8.2020

In order to be able to achieve similar results as the PTB, we also looked for an environment as undisturbed as possible. On 29.08.2020 we then carried out a measurement in a nearby forest. There, lower interference fields are to be expected as in the experiments before. The measurement was set up on a polystyrene plate in order to minimize vibrations of the ground and thus the influence on the results. In addition, the box was weighted to eliminate minimal movement, such as that caused by wind. The power is supplied by a mobile power bank, which is placed one meter away from the measurement, as a lithium-ion battery also causes minimal interference fields. The measurement results show that the suspicion has been confirmed that civilization has a disturbing influence on the accuracy of the measurement. To ensure the most natural representation of the earth's magnetic field, a stationary measuring station has been set up outside the known interfering factors. This lets expect much better results than a mobile station, because a long-term course can be recorded.

4. Stationary measuring station

During the search for a stationary location and also during the construction of the station, the factors for

a measurement as uninfluenced as possible had to be considered. To ensure this, the sensor should be buried at a soil depth of 80cm. In 80cm soil depth the temperature fluctuations are reduced, furthermore no weather-related disturbances are to be expected for example by wind, rain and hail. Minimal positional changes due to wind gusts are also reduced, such as those that occurred when the system was installed on the roof of a house. The search for a location proved difficult, as an area had to be found that was 80 meters away from built-up areas and other disturbances (high voltage, cars). In addition, a power supply and an Internet connection had to be guaranteed. To find a suitable environment, we made series of measurements at possible locations under consideration of the distance to the buildings. These took place on 6. and 9. September at a field way in the Bützflethermoor in Stade. The recorded data were promising, so the location seemed to be suitable for recording the magnetic field. The area around the Bützflethermoor is very suitable, since it is sparsely populated, and interference fields from the population are reduced to a minimum. The jury of the Celle 2021 regional competition subsequently pointed out to us that at the measurement station could interfere with the magnetic field. As a result, on 20.02.2021 we contacted EWE, the regional electricity provider. They provided me the plans of this area. With the help of the information, we could exclude that power lines were buried which would have generated interference fields.



Fig. 6: Own stationary measurement in Stade, German

4.1. Construction of the measuring station at September 2020

Then we buried the pipe about 80 cm into the soil. The upper end protrudes approx. 60 cm from the soil, and can be sealed watertight with a lid. On the concrete bottom of the pipe lies the Fluxgate sensor in a box with the necessary accessories. The cavity between the floor with the sensor and the lid was filled with foam as insulation to achieve a constant temperature of the sensor.

For the power and internet supply we decided to use a PoE (Power over Ethernet) cable. This is inexpensive and allows power and internet to be transmitted

over one cable. The advantage is that only one cable has to be installed to provide power and internet for the data export. PoE technology uses a PoE injector to supply power. A PoE-capable end device is required to draw power and Internet via one cable. The Raspberry Pi 4B is PoE capable only after an upgrade. Therefore, we decided to use a PoE splitter. This splits the power and the internet again to two different cables.

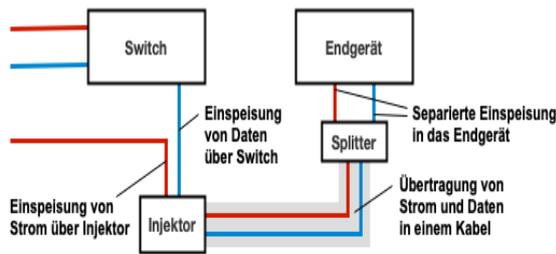


Fig. 7: The PoE scheme

After that we installed a 100m long Cat 7 Ethernet cable, which is PoE capable. Before this could be connected, we had to connect the cable to network plugs. The PoE technology had to be installed in a weatherproof way at the beginning of the cable.

4.2. Weatherproof box on the garden socket on the property

At the garden socket we put a weatherproof box for the required equipment and insulated it with foam. The contents are a PoE-capable uninterruptible power supply, which can supply the measurement without interruption for a few hours in the event of a power failure, until the power grid is available again, as well as a power-line adapter. These are powered by a power strip. The powerline adapter transmits Internet via a WLAN connection from the house into the cable's power grid to the consumer. An Ethernet cable leads from the adapter to the uninterruptible power supply. This converts power and internet connection for the 100m long PoE cable up to the sensor in the measuring station. The built-in UPS supplies up to 48V and 24 Watt, which is sufficient for the Raspberry Pi. However, a part of the current is converted into heat via the 100m Ethernet cable, so 22.4 watts still reach the Raspberry. The Raspberry consumes 4.4 watts in idle mode and 7.6 watts at maximum load. We assessed the risk based on DIN VDE 0100 part 410 protective voltage up to 60 V DC and found no risk.

4.3. Weatherproof box with the sensor in the measuring station

The sensor with Raspberry Pi was also stored in a weatherproof box. The PoE cable ends in the box at a PoE splitter. This splits power and internet to two

different cables. This box was then lowered into the pipe. Since the fluxgate sensor is sensitive to temperature and the measurement data may be distorted, the remaining cavity of the tube was filled with foam. To prove the validity of the results, a DS18B20 temperature sensor was attached on December 29, 2020. This provides information about the temperature curve in the box and helps to examine the measurement results.

4.4. Method

We can now correlate the data of our measuring station with those of the PTB to calculate the percentage accuracy and similarity of the measured data (Fig. 9).

4.5. Programming

For the programming of the stationary station, we could use a lot from the program of experiment 2. But in order to carry out the installation of the further complicated program changes we looked for support. Finally, through computer science class, we got in touch with a student with Python knowledge who is doing a similar programming project, so we benefit from each other. Since 10/11/2020, we have been discussing the next steps of programming, which we then implemented. Since the installation of the measuring station, it reliably delivers measurement data, which we can read and evaluate from home via a remote desktop connection. In doing so, we used the TeamViewer client until Jan. 5, 2021, but it frequently terminated after the Raspberry rebooted. This is a severe problem, because we have a 20-minute drive to the measuring station. To be able to guarantee a more stable connection, we switched to RealVNC viewer. This is more reliable on the Raspberry than TeamViewer. In addition, the source code is open source, so it is publicly available. But in the long run these solutions are time consuming. Therefore, we have introduced a log system, which stores every single value. This is necessary to assess the quality of each value. When evaluating the data, the raw data can serve as a backup. This will provide stability for future longer measurements.

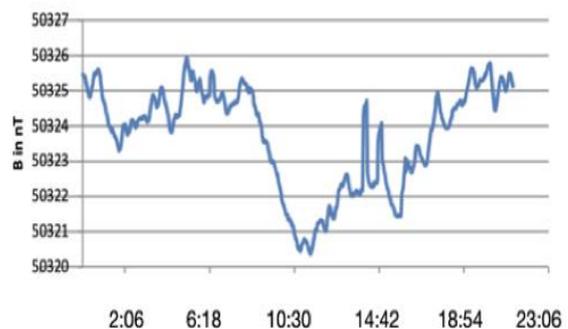


Fig. 8: The daily averaged course of our station

The program measures twice per second. After 120 values or 60 seconds, the measured values are averaged and entered into the table. This is done to reduce statistical errors, and thus averaging leads to a more accurate result. In addition, the Python program records the temperature and RAM usage. This data is important to get an insight into the environmental conditions of the measurement.

The Python code currently in use can be found at: <https://github.com/Zyzonix/MGFieldPy/>. Furthermore, a status page is available, which provides additional information in case of a malfunction: <http://status.florianvonbargen.de/>.

5. Results of the stationary measuring station

The data analysis is done as follows: first it must be calculated how many values correspond to one day (24 hours). Since there is a value every 75 seconds, it takes 1152 values for 24 hours. Then the values were numbered. Here "diff" is the previously calculated factor of the upward trend, if there is one. The upward trend occurs when the lid of the station is opened and the insulation layer is removed to make hardware changes. Ambient air then flows into the tube, cooling the entire station. As soon as the station is closed again, the air gradually heats up, owed to the waste heat of the Raspberry Pi and solar radiation. With this, we can artificially reduce the upward trend. If we now let these data graphically represent, this shows the daily course of the earth magnetic field. It can be seen that, as expected, the earth's magnetic field is weaker at midday than during the rest of the day. In another calculation to show the overall course of the station, an unnatural break occurred. The measured values fell at once dropped, then plotted the diurnal course again, and after a few days the values jumped to the previous level. This incident was investigated, we hypothesized that a sporadic extraneous field caused the disturbance, since the measurement setup had no faults and all possible causes had been investigated. An incident like this has not occurred again in a year and a half. The graph and the corresponding data with their formulas can be found in the appendix.

In Fig. 8, a clear daily minimum can be seen. Our interpretation is that the solar quiet current, a dynamo which follows the noon position of the sun, is depressing the magnetic field. This is recorded by the station. This effect is strongest at noon. This daily minimum also occurs in the measurements of the PTB, and it is characteristic for the normal daily course of the earth's magnetic field. We use this to correlate our data with those of the PTB. A correlation shows both the differences and the similarities between the two measurements. Differences indicate the different sensors or the differing conditions of the site. To correlate the measurements, we have tabulated the amount of daily minimum from both stations. To achieve this, it is important to record a long

series of measurements. To improve the duration and the quality of the recording at the same time proved to be a big challenge, but could be improved over the last months. When we make a correlation, we ask for the PTB data of the needed month. The contact persons of the department Magnetic Measuring Field Technology at PTB, Dr. Martin Albrecht and Dipl.-Ing. Hans Harcken provides me with their data. A correlation of our measuring station with a higher federal authority like the PTB provides a qualitative comparison for the classification of our measuring accuracy. A correlation is an evaluation process to determine and document the deviation of one measuring device (our fluxgate sensor) compared to another measuring device (PTB), which in this case can be classified as authoritative. This subsequently includes the consideration of the determined deviation in the use and interpretation of the measurement data from our sensor for correction to the authoritative measuring device.

A correlation of the amounts of the daily minimum is as to be expected not meaningful enough. The local conditions are too different for that. Therefore, a correlation of the times of the minimum is made.

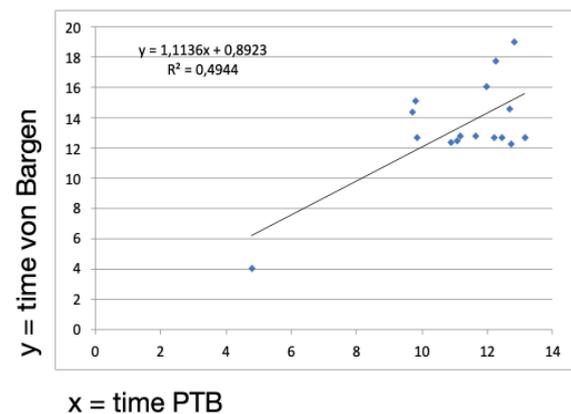


Fig. 9: The correlation of the two stations

5.1. Result on December 2020

A correlation found in December 2020 confirmed for me for the first time that our station can record high resolution - similar to PTB's. On December 23, 2020, our station showed a daily minimum at 3:58. PTB's daily minimum was recorded 49 minutes later at 4:47. The Kp index of December 23 was then used, this shows the geomagnetic activity (for details about the Kp index, see Matzka 2021). The Kp- Index is elevated from 3:00-6:00 UTC (Kp Index 4+). Now one hour is added to this time to calculate the Central European Time (CET). According to these calculations, the Earth's magnetic field was particularly active from 4:00-7:00. This confirms a common correlation of the two magnetic field measurements. Another event was only recorded by our station on December 20, 2020 at 3:38 AM, this one was not recorded by PTB. Another event on December 22 at 0:22, showed

only the PTB. For the correlation, we used all daily minima values. For each station there are two values per day. The daily minimum and the corresponding time at which it was measured. Only the time is included in the correlation, because the stations measure different values due to the measurement technique. Thus, a time value of our station is correlated with a time value of the PTB per day. If we remove the two events, which were shown in each case only by one station, we obtain a correlation coefficient of $R= 0.70314$. If one adds the correlation coefficient to all three events, the correlation coefficient reduced clearly to $R= 0.23409$.

If all three events are removed, the correlation coefficient is $R= 0.16523$. The spreadsheets can be found at: <http://florianvonbargaen.de/downloads/>.

5.2. Result on November 2021

At the beginning of November 2021 there was a big solar flare. The media reported two days before the impact, additionally that auroras could be seen in Germany. We did not see any auroras at that time, but we did see the magnetic fields corresponding to the auroras. As it turned out, this event was the 44th strongest geomagnetic storm since 1994. Measurement stations were able to record a large anomaly from 3.11-4.11.21, including our station. The KP index on those days peaked at 8-. In comparison, the KP index for the 12/23/2021 event was only 4+. The evaluation showed that this was the largest solar storm recorded by our monitoring station since September 2020.

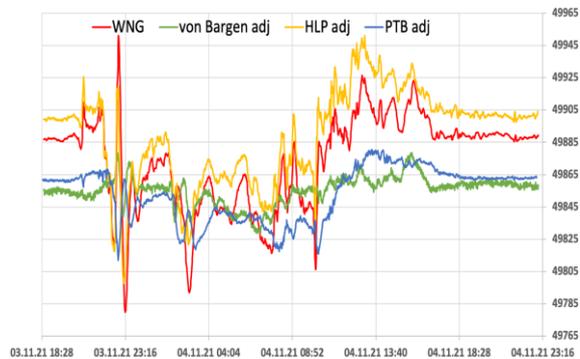


Fig. 10: Magnetic field measurement data of Wingst, PTB, Hel and our station in comparison, period 3.11.21 18:35 - 4.11.21 23:00

In Fig. 10, the event of 3.11 - 4.11.21 can be seen. For the measurement data comparison, the already described station of the PTB was used. In addition, we could find data from two further stations via intermagnet.org. On intermagnet.org there are publicly available data from several hundred stations worldwide. This allows us to compare our data with dozens of stations - only a few hundred kilometers away from our station - and to check for correlations. Above are the measurement data of the PTB, the station Hel in Poland and the data of Wingst, a measuring station

not far from our station. The stations measure different values, which are due to the location and the different measurement methods. The changes caused by the solar storm can be seen well. Similar is the green graph - our measurement. The measurement data of the measuring stations in Wingst, Hel and from PTB are comparable with our measurement data. It is noticeable that the four stations show a large temporal variability. Also, the comparison with the station in Wingst, which is only a few kilometers away from our station, shows large temporal shifts of partly more than 5 minutes. We did not expect this so clearly. The comparability of the four stations turns out to be very favorable for an interpretation or analysis of our measured data. Thus, also the temporal variabilities can be broken down better and more exactly. By this groundbreaking finding, further analyses of the four stations can be compared.

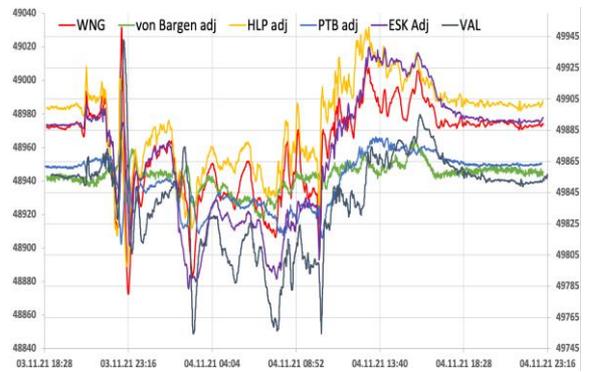


Fig. 11: The event of the 3.11.21 - 4.11.21, extracted: the time difference between the stations

In order to be able to represent the event itself well, and to investigate the factor of the time delay, we have subtracted in a stack plot the time difference of different stations of the 53-55th latitude. Our measurement station served as a reference value; all other stations were assigned to our station based on their measured data history. To the known stations are added two observatories from England: Valentia and Eskdalemiur. All results shown and the graphs can be found at: <http://florianvonbargaen.de/downloads/>.

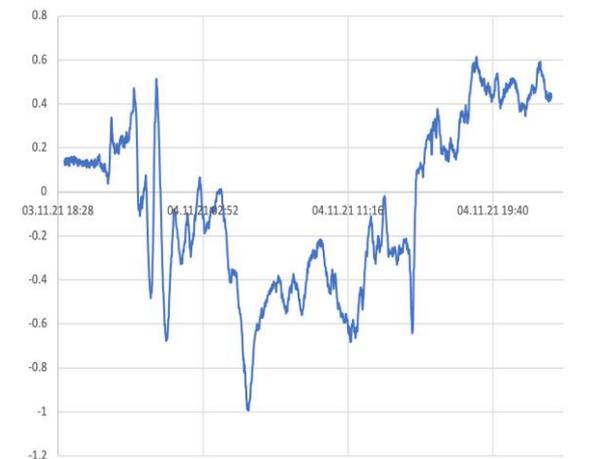


Fig. 12: averaged normalized deviation

The results from Fig. 11 are very interesting. All stations show an amazingly similar deflection when the time difference between all stations is subtracted. A very similar change is recorded to the minute, even though the stations are up to 1317 km apart! This leads me to conclude that this solar storm hit the earth in a very centered way. Thus, the charged particles do not disperse as they travel through space. This let us conclude that there is a self-focusing effect, which ensures that all stations have an almost equal course measure. If this were not the case, the graphs would not run as similar as seen here. At 1317 km distance we would have expected a visible change in the course of the measurements, but this was not so in this case. We will include other observatories, which are farther away than the currently used ones, in a comparison to verify this observation. The mentioned observations and the fact that all stations show a similar measuring course lets us conclude that this event has moved like a filament over the earth. To support this thesis, we have made another correlation (Fig. 13).

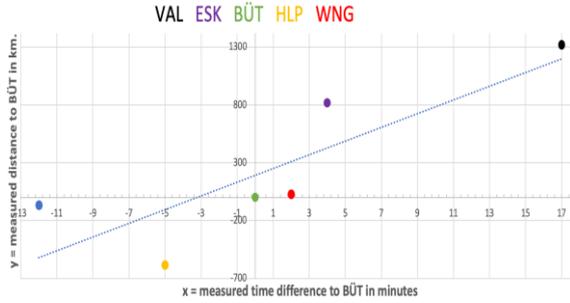


Fig. 13: Examination of the filament with the help of a correlation

To create this correlation, we measured the distance of the stations to our station on the longitude of Stade. In addition, the time difference is measured at the visually displayed course of the measured values as described before. We can see here very clearly that the solar storm has moved steadily for hundreds of kilometers.

5.3. Evaluation of the data

Firstly, for each station S , the time evolution $B_S(t)$ has been shifted in time, so that it fits best to the time evolution of the field $B_S(t)$ measured in Stade. So, the shifted time evolution $B_{S,shift}(t)$ has been obtained, see Fig. 11. Moreover, a time shift Δt_S is obtained for each station. Additionally, each station S has a distance Δx_S from Stade.

Secondly, the shifted time evolution of all measurement stations shows the pattern of the time evolution of the magnetic field during the magnetic storm. The averaged pattern is shown in Fig. 12. Hereby, the shifted time evolution $B_{S,shift}(t)$ of the magnetic field of a station S has been evaluated as follows:

- The average \bar{B}_S has been determined.
- The average has been subtracted, in order to obtain the deviation of the magnetic field: $B_{S,dev}(t) = B_{S,shift}(t) - \bar{B}_S$
- The maximum of that deviation has been determined: $B_{S,dev,max} = \max(B_{S,dev}(t))$
- The deviation has been normalized: $B_{S,dev,norm}(t) = B_{S,dev}(t)/B_{S,dev,max}$

Then the normalized deviations $B_{S,dev,norm}(t)$ of the stations S have been averaged with respect to S , and for all times t . As a result, the averaged normalized deviation as a function of time has been obtained: $\bar{B}_{dev,norm}(t)$

Thirdly, the distances Δ_S represent the locations of the pattern of the storm at a relative time Δt_S . Accordingly, we present the function $\Delta_S(\Delta t_S)$ in Fig. 13. A linear regression provides the velocity v_{storm} of the pattern of the magnetic storm relative to the ground.

We obtain $v_{storm} = 5145 \frac{km}{h}$.

5.4. Interpretation

In this section, we derive a founded interpretation of our results achieved for the magnetic storm from November 2021.

Firstly, the pattern in Fig. 12 does not have a terrestrial origin, as the equator of Earth exhibits a velocity of $v_{Eq} = \frac{40000km}{24h} = 1667 \frac{km}{h}$, and as the magnetic storm has a much larger velocity $v_{storm} = 5145 \frac{km}{h}$.

Secondly, the storm has solar origin, as it is correlated to a well-known event at the sun.

Thirdly, the storm cannot be explained by a simple particle shower coming from sun to Earth. The reason is that the velocity of Earth at its orbit around sun is $v_{orbit} \approx \frac{150 \cdot 10^6 km}{365.24d} = 17112 \frac{km}{h}$. Moreover, the magnetic storm has been observed at 22 pm, so that the observed storm must have been transported to the night side of Earth. Such a transport can only be achieved by the magnetic field of Earth.

Fourthly, the pattern has a duration of $\Delta t \approx 1h$. Thus, it has an extension of $\Delta x = v_{storm} \cdot \Delta t \approx 5145 km$. So, it is localized above the ground, as Earth has the clearly larger diameter of 12742 km. Hence, the storm has the spatial structure of a broad filament.

Fifthly, we propose to search for such patterns of the storm at the whole area from Sun to Earth and to the ground of Earth, in future magnetic storms. When the

corresponding patterns can be observed in that area, then the origin of the storm can in principle be identified. For it, we identify two main hypotheses:

Either, the origin of the storm can be described by a particle shower, whereby essential magnetic fields occur only in the magnetosphere of Earth. Or the origin of the storm is formed by particles that provide a significant magnetic field in the magnetospheres of Sun and of Earth. In particular, a filament constituted by particles and by a significant magnetic field might form at the Sun, propagate towards Earth, interact with Earth's magnetic field and eventually reach the ground of Earth.

6. Discussion of various obtained results

The correlation allows us a very valuable kind of analysis. The events on 12/23/2020 and 11/3 - 11/4/2021 stand out in particular. Both events proved how accurate our station can record the Earth's magnetic field. The improvements in the accuracy and robustness of the measurement have contributed greatly to this. Correlations and comparisons of the magnetic field measurements with those of PTB and the station in Wingst confirmed the validity of our data. The large effects of the solar storm itself are well documented, the further course shows differences between the four stations. These will be investigated in the following events. The new measurement data comparison with Wingst, PTB, Hel will be kept, because interesting results occurred. There is currently no simple or satisfactory explanation for the clear variabilities between the four stations. To be able to classify these results, further events must follow to be able to observe repetitive developments.

7. Outlook

As in the past, the measuring station in Bützflethermoor is still being improved. Especially the programming is still to be improved, this can increase the effectiveness of future analyses and stations. Through an internship at Stefan Mayer Instruments, we were able to gain a lot of new knowledge. For the next development steps, we will continue to consult with Stefan Mayer Instruments. Through Stefan Mayer we have been able to establish contact with Dr. Beggan, who is a professor of geophysics at the University of Edinburgh and has set up a similar series of experiments, again we will continue to maintain contact to exchange ideas.

We would like to extensively investigate the temporal variations, which are very clear from the November 2021 results. That there is such a large temporal variability of the geomagnetic field within Lower

Saxony, we did not expect so. In the analysis and interpretation of future measurement series special attention will be paid to this shift. For this investigation the program "INTERMAGNET" is suitable. There hundreds of observatories put their measuring data, thus a large net of stations, distributed over the globe, develops. We would like to use the data of international stations to investigate the behavior of the earth's magnetic field. Our goal is to become part of this program to contribute to the Earth's magnetic field research. To do this, our station must meet a large number of criteria. Therefore, we are working hard to further increase the quality and stability.

Our future goal is to install several measuring stations in order to be able to create an illustrative representation of the different results. As soon as the permanent operation of the measuring station in Bützflethermoor is ensured, another stationary location can be built. This should be built far away from the first station, because the results will then be different. In this way, we can make an important contribution to investigating the temporal shift of different locations in order to be able to derive further findings.

8. Experience with teaching and learning

The observation station has been developed in several years. Thereby, Florian improved his skills and knowledge in physics, information sciences, experimentation and statistics of evaluation of observational data. Moreover, Florian achieved substantial and innovative results. In the course of his project, he won several prizes at Jugend forscht competitions, including a coached stay at the PTB for several weeks.

This example shows, how a student can use an extended research project for advanced learning at his own topic of interest. Moreover, Florian reported about his project at the associated research club and the corresponding astronomy club. Hereby, he improved his communication skills, and the students of the two clubs learnt about the project.

Furthermore, the project addresses an interesting, essential and global scientific question that can be treated with help of a network of similar observation stations. So, the project can be extended to an international network of students collaborating in a global team. Thereby, the dynamics of Earth's magnetic field, including the influence of solar storms, can be investigated. On that basis, the protection against cosmic radiation can be improved. So, in such a global team working at a global question, students can experience, how they can effectively become responsible for the future of our planet, see Fig. 3.

Altogether, the present project is an example for a challenging global observation by students. In a similar project, the distance from Earth to Sun has been measured by combining observations of a transit of Venus achieved at various places at Earth, see

Backhaus, Gabriel and Kersting (2014). In another example, students observed the Big Bang and measured the age of the universe by application of three mutually independent methods and by using the school observatory. Hereby, students gathered observations during the years 2011 towards 2018, see Carmesin (2012) and Helmcke et al. (2018). In such projects, students can develop, manage and apply stations for measurement and observation. Students can plan, perform and evaluate observations. Moreover, students can combine observations provided by networks, in order to derive advanced global results that could not be achieved by a single or local measurement. So, students can develop various skills including teamwork, experimentation, information technology, scientific modeling and global thinking based on local observation.

9. Literature

- Ambastha, A. (2003). The Active and Explosive Sun. In: Antia, H. M. et al. (Eds.): Lecture Notes on Solar Physics, Lecture Notes in Physics 619. Berlin – Heidelberg: Springer-Verlag.
- Backhaus, Udo; Gabriel, Patrik and Kersting, Thomas (2014): Zwei Methoden zur Messung der Entfernung Erde-Sonne. MNU, 67/2, pp. 68-73.
- Brunhes, Bernard (1906). Recherches sur la direction de l'aimantation des roches volcaniques. J. de Phys. Nov 4th serie t. V, pp 705-724.
- Carmesin, Hans-Otto (2012): Entdeckung des Urknalls und der dunklen Energie. PhyDid B Internet Journal.
- Carmesin, Hans-Otto et al. (2020): Universum Physik, Qualifikationsphase, Niedersachsen. Berlin: Cornelsen Verlag.
- Elster, Doris (2010). Zum Interesse Jugendlicher an den Naturwissenschaften. Ergebnisse der ROSE Erhebung aus Deutschland und Österreich. Online-Publication: Shaker.
- Franke, Michael; Gruschka, Andreas (1996). Didaktische Bilder als Bilder der Didaktik. Pädagogische Korrespondenz 17, pp 52-62.
- Helmcke, Ben J.; Carmesin, Hans-Otto; Sprenger, Lennert and Brüning, Paul (2018): Three Methods for the Observation with our School Telescope. PhyDid B Internet Journal, pp. 55-60.
- PTB and Harcken, Hans (2020). The Live Earth Magnetic Field Measurement. URL: <https://www.ptb.de/cms/nc/ptb/fachabteilungen/abt2/fb-25/ag-251/live-daten-erdmagnetfeldmessung.html>.
- Jenkins, E.W. and Pell, R.G. (2006) The Relevance of Science Education Project (ROSE) in England: a summary of findings. Centre for Studies in Science and Mathematics Education, University of Leeds.
- Karrtunen, Hannu et al. (1996). Fundamental Astronomy. Berlin – Heidelberg – New York: Springer-Verlag.
- Matzka, J. et al. (2021). The Geomagnetic Kp Index and Derived Indices of Geomagnetic Activity. Space Weather 19(5), pp 1-21.
- OECD (2011). Geomagnetic Storms. URL: <https://www.oecd.org/gov/risk/46891645.pdf>. Download 5/2022, pp 1-69.
- Roberts, Paul and Glatzmaier, Gary (2000). Geodynamo Theory and Simulations. Rev. Mod. Phys. 72(4), pp 1081-1123.

Acknowledgement

We thank Inga von Barga for the many helpful target instructions, the version of our work, the construction of the measuring station and the many hours and nerves with the discussion of the current results.

We thank the company Stefan Mayer Instruments for the free supply of the sensors, which is otherwise not sold to private persons and is very expensive. Dipl.-Phys. Dr. Philipp Glasenapp supported me very much in this.

We would like to thank P. Dietzmann for the good cooperation and support during the programming of the stationary measuring station and the server structure which is currently under construction. Von Barga and P. Dietzmann are both students of the Brecht-Schule Hamburg and are very well supported in our computer science classes by our teachers, in our case Mrs. Turan. Thus, we experience a good support of our school for our personal advancement.

We would like to thank Dipl. Ing. Hans Harcken, responsible for the Magnetic Measuring Station at PTB, for providing the measurement series of the December data at short notice.

Especially we would like to thank von Barga's whole family, including his grandparents, who helped us to bury the 100-meter-long cable in the field. We would like to thank the family of N. von Schassen very much for making it possible for me to supply our measuring station with electricity and internet, as well as the farmer C. von Schassen for the possibility to use the field.

Dr Beggan was very helpful to us as a geophysicist. We were made aware of unclear wording and were able to ask questions. Many thanks.

We thank Daphne Carmesin for proofreading the manuscript.

Auseinandersetzung mit Idealisierungen im Physikunterricht

Fabian Ramme*, Jan Winkelmann⁺

*Goethe-Universität Frankfurt, Institut für Didaktik der Physik, Max-von-Laue Straße 1, 60438 Frankfurt, ⁺Pädagogische Hochschule Schwäbisch Gmünd, Abteilung Physik, Oberbettringer Straße 200, 73525 Schwäbisch Gmünd
jan.winkelmann@ph-gmuend.de

Kurzfassung

Im Physikunterricht liegen Idealisierungen stets dem Modellieren und Experimentieren zugrunde. Inwiefern Lehrkräfte die Bedeutung von Idealisierungen in ihrem Unterricht zu einem expliziten Lerngegenstand machen, ist weitgehend unklar. Mithilfe leitfadengestützter Interviews (n = vier Physiklehrkräfte) wurden unter Zuhilfenahme der qualitativen Inhaltsanalyse Kategorien identifiziert, die die unterrichtspraktische Auseinandersetzung mit Idealisierungen beschreiben.

Es zeigt sich, dass Idealisierungen bei den interviewten Lehrkräften meist einen impliziten Lerngegenstand darstellen. Darüber hinaus wurden sehr individuelle Herangehensweisen durch die Lehrkräfte berichtet, u.a. plastische Veranschaulichung von Idealisierungen, tagesaktuelle Bezüge sowie die historische Darstellung naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung.

Gleichzeitig wurden einige Bedenken zur Auseinandersetzung mit Idealisierungen thematisiert. Die Sorge, Irritationen zu stiften oder die Annahme, Schüler*innen seien nicht in der Lage mit Idealisierungen adäquat umzugehen, führen stellenweise dazu, dass diese von Lehrkräften bewusst verborgen werden.

1. Ausgangslage und Motivation

Das Forschungsprogramm *Idealisierungen beim Modellieren und Experimentieren* (IMODEX) geht der Bedeutung von Idealisierungen für das Verständnis von Naturwissenschaften nach. Im Rahmen dieses Programms wurde ein Fragebogen entwickelt (Winkelmann, 2021a), mit dessen Hilfe Lehrkräfte zu Ihren epistemologischen Überzeugungen zur Bedeutung von Idealisierungen in den Naturwissenschaften und im naturwissenschaftlichen Unterricht befragt werden sollen. Zusätzlich soll erhoben werden, inwiefern eine Auseinandersetzung mit Idealisierungen im Unterricht tatsächlich stattfindet.

Vor diesem Hintergrund soll folgende Definition von Idealisierungen gegeben sein: Idealisierungen dienen der Annäherung an eine komplexe Wirklichkeit. Ziel ist es, eine Frage an die Natur beantworten zu können. Einzelne Eigenschaften einer Sache werden anders gesehen, als sie es sind, oder gänzlich ausgeschlossen. Nur die Eigenschaften bleiben übrig, die als wesentlich für das Ziel einer Untersuchung empfunden werden. Im Gegensatz zu Idealisierungen verfolgen Elementarisierungen das Ziel, Lerninhalte in einer Unterrichtssituation adressatengerecht aufzubereiten. Sie bleiben den Lernenden in der Regel verborgen. Idealisierungen dagegen sind bereits im Lerngegenstand enthalten und können sogar selbst zum Lerngegenstand werden (Winkelmann, 2021b).

2. Ziel und Methodik

Ziel der vorliegenden Teilstudie war die Validierung der Fragebogen-Skala „Unterrichtspraktische Auseinandersetzung mit Idealisierungen“ sowie erste

Einblicke in die unterrichtliche Auseinandersetzung mit Idealisierungen.

Das Sampling dieser Studie bestand aus vier gymnasialen Lehrkräften naturwissenschaftlicher Fächer. Drei der interviewten Lehrkräfte verfügen über reichhaltige Unterrichtserfahrung von mehr als 10 Jahren, eine interviewte Lehrkraft unterrichtet erst seit einem Jahr.

Als Methode wurde das leitfadengestützte Experteninterview gewählt. Als Kriterium für die Methodenauswahl sozialwissenschaftlicher Forschung nennt Flick et al. (2010) die Gegenstandsangemessenheit (zitiert nach Niebert & Gropengießer, 2014). Demnach sind qualitative Forschungsmethoden dann angemessen, wenn unbekannte, individuelle Vorstellungen erfasst und interpretativ erschlossen werden sollen (ebd.) Auch White und Gunstone (1992) empfehlen dieses Vorgehen: „[An] interview is the most direct method, among all the probes, of assessing a person's understanding“.

Die Interviews wurden im Herbst 2021 durchgeführt und dauerten ca. 30-45 Minuten. Nach der Durchführung der Interviews, wurden diese mithilfe des Programms „MaxQDA“ transkribiert und kodiert. Die Kategorienbildung wurde mithilfe der qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring (2020) durchgeführt.

3. Ergebnisse - Kategorien und Beispiele

Mithilfe der oben beschriebenen Methode konnten in mehreren Durchgängen wiederholt bestimmte Kategorien identifiziert werden. Diese werden im

Folgenden kurz vorgestellt und mit exemplarischen Zitaten der Lehrkräfte illustriert.

3.1. Ersetzen

Teilaspekte eines untersuchten naturwissenschaftlichen Phänomens werden ersetzt, z.B. im Zuge von Analogiebildungen.

Moderator: *Wie wird denn von Ihnen Idealisierung zur Kompetenzförderung von Modellen verwendet?*

Lehrkraft 2: *ha ja also ich find's extrem wichtig, dass die Schüler eben wissen, dass das Modell eben ne Idealisierung ist also, dass es nicht die Realität ist und äh dass die Welt nicht aus kleinen Kügelchen besteht die äh da sind, sondern dass die Beobachtungen ja andere sind und dass man da durchaus was raus ziehen kann.*

3.2. Vernachlässigen

Teilaspekte eines Phänomens werden vernachlässigt, z.B. wird die Luftreibung außer Acht gelassen.

Moderator: *Inwiefern sind dann Idealisierungen expliziter Teil Ihrer Unterrichtsplanung?*

Lehrkraft 1 [...] *Gut es gib schon Momente, wo wir dann ein Experiment in der Gruppe machen, ähm sage ich jetzt einfach DAS Weglassen und nur darauf achten und aber möglichst genau und trotzdem noch sehen, dass gleich feststellen, dass es nicht genau wird, wenn du da Winkel misst oder Strommessungen und so.*

3.3. Erkenntnisgewinnung

Betonung, dass Idealisierungen der Generierung naturwissenschaftlicher Erkenntnis dienen, z.B. im Rahmen begründeter Erklärungen.

Moderator: *Welche Bedeutung haben Idealisierungen in Ihrem Unterricht?*

[...] *Anders könnte man auch sagen, dass man die Wirklichkeit so genau wie möglich treffen möchte. Das ist, denke ich, auch n grundsätzlicher Anspruch, aber grundsätzlich die Diskrepanz zwischen Wirklichkeit und dem Modell, ob es das Rechenmodell ist oder ob es n Teilchenmodell ist, das ist in meinem Auge eben das zentrale was Idealisierungen ausmacht und eigentlich ist es genau das wie Physiker argumentieren und auch Mathematiker.*

3.4. Schüler*innenperspektive

Die Thematisierung von Idealisierungen hängt von Einstellungen und dem Verständnis der Schüler*innen ab.

Moderator: *Wie unterscheiden sich dann solche Nachfragen in Bezug auf Sek I und Sek II?*

Lehrkraft 2: *Gar nicht mal so sehr [lacht] es hängt auch sehr stark von ner Gruppe ab, wie stark man das machen kann also es ist natürlich Triebfeder, ob überhaupt Kommunikation stattfindet also, wenn die*

Gruppe wirklich völlig konsumierend in Physik oder Mathe sitzt und die breite Mehrheit eigentlich genau darauf aus ist äh Lösungsschablonen nachzumachen, dann ist es sehr sehr schwer, das loszutreten.

3.5. Widersprüche

Unerwartete Ergebnisse oder Beobachtungen im Unterricht, z.B. Abweichungen experimentell gewonnener Daten zum Literaturwert oder einer Hypothese widersprechende Beobachtungen.

Moderator: *Unterscheidet sich die Planung dann mit Blick auf verschiedene Altersgruppen? Oder die Herangehensweise?*

Lehrkraft 1: [...] *bis auf so Effekte, wenn man jetzt statische Ladungen untersucht und dann merkt, oh wieso zieht sich das jetzt an? Das soll sich doch eigentlich abstoßen wie kommen die ungleichnamigen Ladungen zusammen und so. Also, wenn dann im Experiment unerwartete Effekte auftreten, die eigentlich gar nicht sein sollten, so dann kommt man in so ne prekäre Situation also das kann jetzt bei jüngeren natürlich eher zu Verwirrungen führen. [...]*

4. Zusammenfassung und Diskussion

Ein Ziel der Interviews war die Überprüfung der Validität des zugrunde liegenden Fragebogens von Winkelmann (2021a). Hierzu kann festgestellt werden:

1. Die inhaltliche Validität der Skala scheint gegeben zu sein.
2. Die Kategorien *Ersetzen*, *Vernachlässigen* sowie *Erkenntnisgewinnung* sind bereits im Fragebogen abgebildet.
3. Hinsichtlich der Kategorien *Schüler*innenperspektive* sowie *Widersprüche* sollte die Entwicklung zusätzlicher Items für den Fragebogen in Betracht gezogen werden.

Neben der Überprüfung der Validität erlauben die vier Interviews einen ersten Einblick in die unterrichtliche Auseinandersetzung mit Idealisierungen. Zusammengefasst zeigt sich folgendes Bild:

1. Idealisierungen werden eher im Kontext von Modellen, seltener im Kontext von Experimenten verwendet.
2. Idealisierungen werden meist implizit thematisiert.
3. Als Gründe für seltene Thematisierung werden von den Lehrkräften folgende Punkte genannt:
 - a) Es wird ein starker Fokus auf die Entwicklung fachlicher Kompetenzen der Schüler*innen gelegt.
 - b) Die Bereitschaft seitens der Schüler*innen zur Auseinandersetzung mit Idealisierungen – und damit der Kompetenzentwicklung im

Bereich Erkenntnisgewinnung – wird in Frage gestellt.

- c) Die individuellen Kenntnisse der Lehrkräfte zu diesem Thema werden von ihnen selbst als (zu) gering eingeschätzt.

Über die fünf oben vorgestellten Kategorien hinaus ließ sich eine weitere Kategorie „Verbergen“ identifizieren, die immer dann deutlich wurde, wenn Lehrkräfte darüber sprachen, Idealisierungen Ihren Schüler*innen bewusst zu verbergen. Nach unserer Definition ist diese Kategorie dem Bereich der Elementarisierung im Rahmen der didaktischen

Rekonstruktion zuzuordnen. Eine Auseinandersetzung mit Idealisierungen wird bewusst im Unterricht ausgeklammert, um den Fokus auf andere Lernziele zu legen.

5. Ausblick

Mit den Daten der anstehenden Lehrkräftebefragung soll das folgende Modell (vgl. Abb.1) getestet werden. Ziel dabei soll es sein, Handlungsempfehlungen für die Ausbildung bzw. für Fortbildungen von Lehrkräften zu formulieren. Um die Auseinandersetzung mit Idealisierungen im naturwissenschaftlichen Unterricht zu steigern.

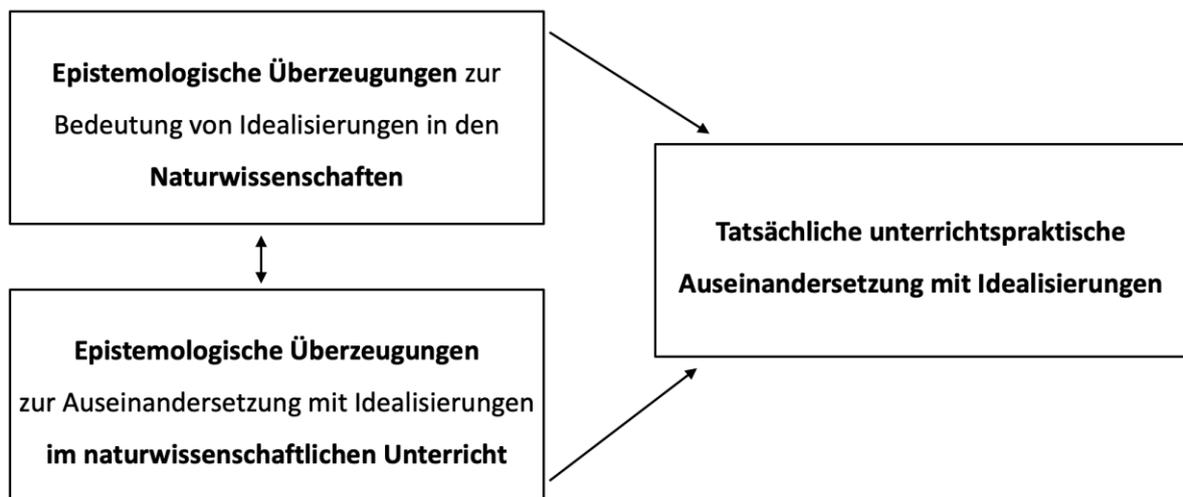


Abb. 1: Zusammenhang der Epistemologischen Überzeugungen der Lehrkraft und tatsächlicher Auseinandersetzung im Unterricht.

6. Literatur

Flick, U., v Kardorff, E., & Steinke, I. (Hrsg.) (2010). *Qualitative Forschung – Ein Handbuch*. Reinbek: Rowohlt.

Mayring, P. (2020). Qualitative Inhaltsanalyse. In G. Mey & K. Mruck (Hrsg.), *Handbuch Qualitative Forschung in der Psychologie* (S. 496-510). Wiesbaden: Springer.

Niebert, K. & Gropengießer, H. (2014). Leifadengestützte Interviews. In D. Krüger, I. Parchmann, & H. Schecker (Hrsg.), *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 121-132) Berlin, Heidelberg: Springer.

Winkelmann, J. (2021a). Idealisierungen: ein Fragebogen zur Perspektive von Lehrkräften. In S. Habig (Hrsg.), *Naturwissenschaftlicher Unterricht und Lehrerbildung im Umbruch? Jahrestagung der GDCP in Aachen 2020 (online)*, LIT-Verlag Berlin, S. 426-429.

Winkelmann, J. (2021b). On Idealizations and Models in Science Education. *Sci & Educ*. <https://doi.org/10.1007/s11191-021-00291-2>

White, R.T., & Gunstone, R.F. (1992) *Probing understanding*. London: Falmer Press.

Nachbau eines Termitenhügels als Projekt zur Wärmelehre

Sara Wilhelm*, Thomas Wilhelm⁺

*Julius-Maximilians-Universität Würzburg, ⁺Goethe-Universität Frankfurt am Main
wilhelm@physik.uni-frankfurt.de

Kurzfassung

Klimawandel und Ressourcenverbrauch stellen die Menschheit vor große technische Herausforderungen. Die Bionik beschäftigt sich damit, die Natur als Vorbild für die Technik zu nehmen. Gerade im Baubereich gilt es, CO₂ und Energie einzusparen. Die Baubionik beschreibt das Übertragen von Phänomenen aus der Natur auf technische Funktionen, die für die Architektur und Funktionen eines Gebäudes relevant sein können. Damit liefert sie auch interessante Anwendungen für den Physikunterricht.

Ein bekanntes Beispiel aus der Baubionik ist der Termitenhügel. Die Termiten mögen es in ihrem Bau bei niedriger und vor allem konstanter Temperatur und brauchen im Innern genügend Sauerstoff. Dies erreichen sie u.a. durch einen geschickten Einsatz von Konvektion.

In dem Beitrag wird der Nachbau eines Termitenhügels mit einfachen Mitteln gezeigt. Daran können mit einfachen Messungen Inhalte der Wärmelehre veranschaulicht werden. Dazu gehört die Wärmespeicherfähigkeit und Wärmeleitfähigkeit, aber auch Konvektion und der Kamineffekt zur passiven Kühlung. Gezeigt wird der Nachbau des Termitenhügels sowie aufgenommene Messwerte und Wärmebilder mit der FLIR ONE-App eines Smartphones.

1. Motivation

Das Interesse von Schülerinnen und Schülern für den Physikunterricht ist bekannterweise oft gering (Merzyn, 2008; Potvin & Hasni, 2014) und laut der IPN-Studie sinkt das Sachinteresse der Schülerinnen und Schüler während der Schullaufbahn (Hoffmann et al., 1998). Dabei ist das Interesse primär abhängig von der kontextuellen Einbettung des physikalischen Sachverhalts (Häußler & Hoffmann, 1995; Potvin & Hasni, 2014). Physik um ihrer selbst willen ist für die meisten Schülerinnen und Schüler unattraktiv. Mehr Interesse finden Kontexte aus der Natur. Deshalb sind Kontexte für das Lernen im Physikunterricht sehr wichtig und deren Einbindung in den Unterricht ist seit 2004 in KMK-Beschlüssen verankert (Sekretariat der KMK, 2004).

Kontexte aus der Natur liefert beispielsweise die Bionik. Insbesondere die Baubionik stellt eine Möglichkeit dar, interdisziplinär die Fächer Biologie, Physik sowie technische Aspekte zu verbinden. Ein bekanntes Beispiel aus der Baubionik ist der Termitenhügel. Die Termiten wollen in ihrem Bau eine niedrige und konstante Temperatur, was manche Arten u.a. durch einen geschickten Einsatz von Konvektion (Kamineffekt) erreichen, der gleichzeitig für genügend Sauerstoffzufuhr sorgt.

Der hier vorgestellte Bau eines Modells eines Termitenhügels ist ein Projekt, das naturwissenschaftlich-technische Betrachtungen mit einer praktischen Tätigkeit verbindet. Es kann in einem fächerübergreifenden Schulprojekt, einer Arbeitsgemeinschaft oder im Rahmen einer Seminararbeit umgesetzt werden. Dazu werden aus Lehm zwei Hügel-Hälften auf zwei Holzplatten gebaut, die dann für Messun-

gen auseinandergeschoben werden können. Eine Hälfte bekommt eine zentrale Plastikkiste und Abwasserohre, um eine Konvektion im Inneren zu ermöglichen.

2. Bionik

Die Bionik beschäftigt sich damit, die Natur als Vorbild für die Technik zu verwenden – entweder durch den Technology Pull (top-down), bei dem ein Problem in der Technik durch biologische Vorbilder gelöst wird, oder durch den Biology Push (bottom-up), bei dem die Natur ein Vorbild ist und dieses in der Technik umgewandelt wird. Damit man von Bionik sprechen kann, muss es ein Vorbild in der Natur geben, eine Abstraktion des natürlichen Prinzips stattgefunden haben und dieses anschließend auf die Technik übertragen worden sein.

Ein bekanntes Beispiel der Bionik ist der Vogel und das Flugzeug. Durch genaues Analysieren des natürlichen Vorbildes Vogel hat man das Prinzip der Gleitvögel verstanden und so sind allmählich Flugzeuge mit großen Tragflächen entstanden. Ein weiteres bekanntes Beispiel ist der Lotuseffekt. Die Lotusblume ist in der Lage, Schmutz und Regentropfen, die auf ihre Blätter fallen, abzuweisen. Nach Untersuchungen der Lotusblume konnten Oberflächen entwickelt werden, die ebenfalls wasserabweisend ist.

3. Termiten als Baumeister

3.1. Termitenarten

Termiten sind eine erstaunliche Insektenart, die viele Ähnlichkeiten mit Kakerlaken haben und im Sozialverhalten den Ameisen, Bienen und Wespen ähnlich

sind. Sie können zum Beispiel einen Bau herstellen, der bis zu über das 1.000-fache ihrer Körpergröße hoch werden kann (siehe Abb. 1). Zum Vergleich entspräche das bei einem Menschen einem hoch effizienten Gebäude so hoch wie Berge.



Abb. 1: Ein Termitenhügel in Namibia

Termiten sind eine vielfältige Gruppe von Insekten mit über 2.600 verschiedenen Arten, die sich in zwei Kategorien einteilen lassen. Die einen leben in Holz, das auch als Nahrungsquelle dient, während bei anderen Nest und Nahrung getrennt sind. Einige haben ihr Zuhause unterirdisch, andere oberirdisch oder sogar in Bäumen. In den Nestern oder Hügeln können mehrere Millionen von ihnen bis zu mehreren Jahrzehnten lang leben (Korb, 2008, S. 153). Termiten sind fast überall auf der Welt verteilt, vor allem in warmen und feuchten Gebieten, zum Beispiel in afrikanischen oder südamerikanischen Savannen oder auch in Tropenwäldern.

Die Nahrungsbeschaffung ist in jeder Art verschieden; einige der am Boden lebenden Arten können sich selbst ihre Nahrung in ihrem Nest anpflanzen. Pilze leben gerne in einer kühlen, dunklen, feuchten und nährstoffreichen Umgebung. Dies bekommt der Pilz im Innern der Termitenhügel geboten, wo er mit Pflanzen gefüttert wird. Im Gegenzug bietet der Pilz eine Umsetzung komplexer chemischer Substanzen, die die Termiten als Nahrung brauchen (Korb, 2007, S. 998). Vor allem bei den pilzzüchtenden Termiten sind die Bauten hoch effizient. Diese am Boden bauenden Termiten lassen sich anhand ihrer Bauweise noch einmal unterteilen, denn manche Hügel sind offen und andere geschlossen.

3.2. Offene Termitenhügel

Offene Termitenhügel funktionieren meist nach dem gleichen Prinzip: dem Kamineffekt, wie er bei Feuerstellen genutzt wird. Wenn durch den Kamineffekt

Luft im Kamin aufsteigt, kann von der Seite neue Luft nachströmen, die reich an Sauerstoff ist, so dass das Feuer besser brennt.

Der Kamineffekt ist ein physikalischer Vorgang, bei dem sich Luft in unten und oben offenen Hohlräumen aufgrund von Erwärmung senkrecht nach oben bewegt. Die erwärmte und folglich ausgedehnte Luft hat eine geringere Dichte und wird von der kühleren und dichteren Luft nach oben gedrückt (Auftrieb), so dass ein Aufwind entsteht. In dem Kamin entsteht unten im Vergleich zur Umgebung ein Unterdruck, weshalb Umgebungsluft aus dem Bereich mit höherem Druck in den Bereich des Unterdrucks hineinströmt.

Dieses Aufsteigen der warmen Luft nennt man freie Konvektion, die auch im Geographieunterricht behandelt wird. Dort wird aufgezeigt, dass am Zenitstandpunkt der Sonne, auch innertropische Konvergenzzone ITC genannt, die Luft aufsteigt und bei den Wendekreisen absteigt. Bodennah entsteht so in der innertropischen Konvergenzzone ein Tiefdruckgebiet und an den Wendekreisen ein Hochdruckgebiet. Ein ähnliches Phänomen ist die Land-See/Meer-Konvektion.

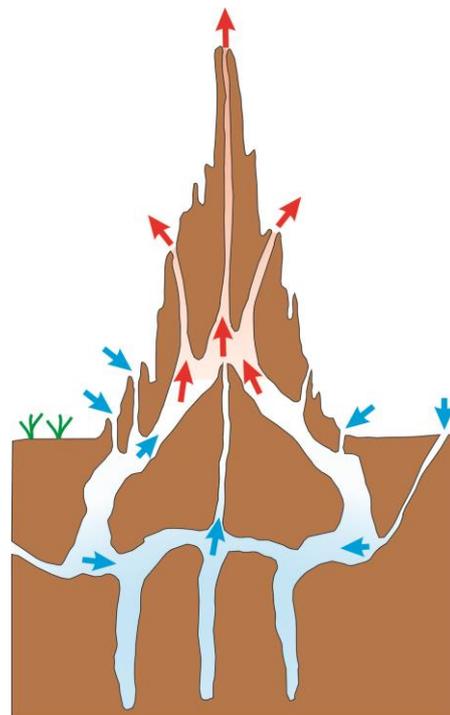


Abb. 2: Kamineffekt im offenen Hügel

Bei den bis zu acht Meter großen Hügeln der Termiten tritt der Kamineffekt auf. Im Bau erwärmt sich die Luft durch intensive Sonneneinstrahlung und Körperwärme der Termiten, so dass die erwärmte Luft aufsteigt und entweicht. Im Bau entsteht ein Unterdruck und kalte Luft wird hineingedrückt (siehe Abb. 2). Die kalte Luft, die nachströmt, ist entweder unterirdisch gekühlt oder von der Nacht noch im Innern gelagert. So entsteht ein Kreislauf, der für die Termiten eine lebenswichtige Rolle hat, da so ihr

Bau auf einer nahezu konstanten Temperatur bleibt (Nachtigall & Pohl, 2013, S. 50). Manche Arten können kalte Luft innen oder unterirdisch speichern, allerdings erreicht die Temperatur am Abend ein deutliches Maximum.

3.3. Geschlossene Termitenhügel

Die geschlossenen Termitenhügel funktionieren nur bedingt ähnlich. Da die im Inneren angepflanzten Pilze und Termiten einen hohen Stoffwechsel haben, brauchen sie genügend frischen Sauerstoff. Deshalb haben die Termiten an den dünnen Wänden ihres Hauses Kanäle (= Galerien) gebaut, durch die ein Gasaustausch erfolgen kann. Je dicker die Wand, desto länger braucht das Gas zum Diffundieren (King, et al., 2015, S. 11590). Eine Studie zeigt, dass sich die CO₂-Konzentration am Tag zwar ändert, aber trotzdem noch im optimalen Bereich bleibt, sodass ihr Leben im Inneren davon nicht benachteiligt wird. Wenn gegen Abend die Konvektionsströme im Inneren abnehmen, kann bis zu 6 % CO₂ festgestellt werden (in freier Luft 0,06 % Massenanteil), was für die Tiere kein Problem ist. Allerdings können die Pilze eine hohe Konzentration nur schlecht tolerieren, weshalb ihre Stoffwechselaktivität abnimmt. Nachts verringert sich die CO₂-Konzentration allerdings wieder auf 1 % (King et al., 2015, S. 11591; Korb, 2003, S. 214).

Termiten und Pilze geben auch Eigenwärme ab. Da sie es bevorzugt kühler als die Außentemperatur in der Savanne haben, nutzen die Termiten physikalische Vorgänge, um ihren Bau zu kühlen – nämlich die Konvektion der Luft. In der Nacht ist die Außentemperatur geringer, weshalb die Luft im mittleren Kanal aufsteigt und in den Galerien wieder absinkt, wobei sich zusätzlich die Gase an der Außenwand austauschen. Am Tag wird die Außenseite des Termitenhügels stärker von der Sonne erwärmt, weshalb die Luftströme im Innern gegengesetzt sind. Die in den Galerien erwärmte Luft steigt auf und fällt im mittleren Schlot ab. Insgesamt zeigt sich, dass das Nestinnere fast immer auf ähnlicher Temperatur gehalten wird. Entscheidend aber ist, dass immer Luft durch die Galerien zum Gasaustausch strömt.

4. Technische Übertragung

4.1. Wärmeleitfähigkeit und Wärmekapazität

Die Wärmespeicherung und die Wärmeleitung spielen bei Termitenhügeln und auch in der Architektur eine wichtige Rolle. Die Isolation von Wohnhäusern ist ein großes aktuelles Thema. Die Baumaterialien Holz und Lehm, die Termiten benutzen, haben eine geringere Wärmeleitfähigkeit als massiver Stein, weshalb beim Hausbau energetisch gesehen Holz oder Lehm besser geeignet ist (Wilhelm, 2014 a+b).

Die dicken Mauern einer alten Steinburg haben aber eine große Wärmekapazität. Das bedeutet, sie brauchen im Sommer lang, um warm zu werden, wogegen sich ein Holzhaus bei warmen Außentemperaturen schneller aufheizt. Sind massive Steinmauern

einmal aufgeheizt, dauert es länger, bis sie wieder abkühlen. Beim großen Hügel der Termiten aus dem verwendeten lehmartigen Material mit seiner großen Masse gibt es ebenfalls diesen verzögernden Effekt des langsamen Erwärmens und Abkühlens.

4.2. Kamineffekt (passive Kühlung)

Der Kamineffekt wird an fast jedem neuen Dach eines Wohnhauses genutzt, nämlich beim Hinterlüften des Daches. Die Dächer besitzen einen Hohlraum zwischen den Außenbrettern und den Ziegeln. Meist befindet sich am First des Daches ein versteckter Schlitz und auch knapp unter der Regenrinne ein weiterer Schlitz. Durch Sonneneinstrahlung wird die Luft im Hohlraum erhitzt und aufgrund des Kamineffekts strömt die warme Luft nach oben hinaus, während unten kältere Luft nachströmt. Dadurch wird das Dach und damit auch das Haus weniger erwärmt.

Zudem gibt es sogenannte Solarkamine in warmen Regionen, auch thermischer Schornstein genannt, die meist an der Südfassade angebracht sind. Diese werden tagsüber durch die Sonne erwärmt, sodass die warme Luft im Inneren aufsteigt und dabei Raumluft ins Freie befördert – zur Verbesserung der natürlichen Belüftung von Gebäuden. Diese können auch im Zusammenhang mit automatisierten Fenstersystem genutzt werden, die zur Kühlung eines Gebäudes beitragen (Schwab, et al., 2004). Alternativ kann sich auch die Luft zwischen einer Hausfassade und einer Glaswand erwärmen und den Unterdruck erzeugen, der die Strömung anregt.

Beim solaren Aufwindturm ist das Design ähnlich, der Schornstein enthält jedoch Turbinen. Wenn Luft durch den Schornstein nach oben strömt, dreht sie die Turbinen des Generators.

Das System des Kamineffektes wurde bei großen Gebäuden angewandt. Beispielsweise haben der Architekt Mike Pearce und das Ingenieurbüro Ove Arup in Harare/Simbabwe nach dem Prinzip des Kamineffektes ein Bürogebäude gebaut, das gleichzeitig eine Shopping Mall ist (Pearce, 2016). Das Gebäude besitzt zwei seitliche Teile, in dem sich die Büros und Einkaufsläden befinden. Zwischen diesen ist das Atrium, das in der Nacht kühle Luft aufnimmt. Durch die warme Außentemperatur, die Wärmeabgabe von technischen Geräten und die Körperwärme der Personen im Gebäude erwärmt sich die Luft in den einzelnen Zimmern tagsüber und steigt über Kamine auf. In jedem Zimmer sind doppelte Decken und Wände, die die Hitze nach oben über 48 Kamine hinausströmen lassen. Durch die Druckdifferenz wird die kühlere Luft aus dem Atrium in die verwendeten Räume zur Kühlung befördert. Dadurch entsteht eine konstante und angenehme Temperatur in jedem Zimmer. Der Stromverbrauch ist durch diese natürliche, stromsparende Klimaanlage knapp 50 % geringer als der von vergleichbaren Gebäuden (Nachtigall & Wisser, 2013, S. 50).

5. Nachbau eines offenen Termitenhügels

5.1. Der Bau des Hügels

Für den Nachbau eines Termitenbaus zum Experimentieren muss dieser sehr komplexe Bau stark vereinfacht werden. Beispielsweise können die Pilze im Inneren, die vielen feinen Gänge und die unterirdischen Gänge nicht berücksichtigt werden.

Der Termitenhügel wird aus Lehm und aus zwei getrennten Teilen gebaut, die dann für Messungen auseinandergeschoben werden können. Er muss auf einer ebenen Fläche gebaut werden; hier wird eine alte Holztür auf die Grasfläche gelegt. Mindestens die leichtere Seite muss auf eine Platte gebaut werden, die verschoben werden kann. Hier werden die zwei Teile auf je eine OSB-Platte (1,0 m x 0,63 m) gebaut.

Beim Bau des größeren Teils wird von einer Seite eine Platte angedrückt, um eine ebene Mittelebene zu erhalten. Dieser Teil bekommt eine zentrale Plastikbox (37 cm x 26 cm x 27 cm, siehe Abb. 3) als Hohlraum, von der die Seite zur Mittelebene entfernt wird. In diese Box gehen Abwasserrohre (Durchmesser 4 cm, siehe Abb. 3), die für die Gänge stehen. Konkret wird ein Rohr 90 cm senkrecht nach oben geführt, zwei 56 cm schräg nach oben und drei 43 cm am Boden. Für die Abflussrohre gibt es Stopfen, mit denen man später auch einzelne Rohre schließen kann.



Abb. 3: Der größere Teil mit Kiste und Rohren, bevor der Lehm dazu kam

Zum Anrühren des Lehms wird nur Ackerbodenenerde und Wasser verwendet. Allerdings kann nicht alles auf einmal gebaut werden, sondern nur in gewissen Abschnitten. Die Lehmmasse muss dann erst trocknen, bevor die nächste Schicht aufgetragen werden kann, weil sonst die Masse unten weggedrückt wird

(siehe Abb. 4). Außerdem kann nicht bei Regen gebaut werden, da sonst der Lehm nicht mehr hält.



Abb. 4: Der größere Teil mit Kiste und Rohren, mit einem Teil des Lehms

Sobald der größere Teil fertig ist, wird der zweite Teil mit Lehm aufgebaut und durch Holzstücke stabilisiert (siehe Abb. 5). Damit die beiden Hälften nicht verkleben, wird eine Plastiktüte zum Trennen benutzt.



Abb. 5: Der zweite Teil ohne Rohre mit stabilisierenden Hölzern

Der in Abbildung 6 und 7 gezeigte Nachbau des Termitenhügels ist nach Fertigstellung 1,1 m hoch und 0,8 m mal 1,0 m breit.



Abb. 6: Der fertige Nachbau mit auseinandergezogenen Teilen



Abb. 7: Der fertige Nachbau in geschlossener Form

Bei Regen wird der Termitenhügel nachbau mit einer Plastikplane abgedeckt. Auf diese Weise hat der gebaute Hügel zwei Jahre gut überstanden, obwohl er im Winter dem Frost ausgesetzt war.

5.2. Messungen zur Wärmespeicherung

Für eine Untersuchung der Erwärmung durch die Sonne am Tag bzw. der Abkühlung in der Nacht wird der geschlossene Termitenhügel geöffnet und die Temperaturen im Inneren mit einer Wärmebildkamera gemessen. Verwendet wurde der kostengünstige Aufsatz „FLIR ONE Pro“ auf einem Smartphone (Molz et al., 2022).

Bei einer Messung am Morgen nach einer kalten Sommernacht (22.7.2020, 8:45 Uhr, Außentemperatur 11 °C) gibt es im äußeren Bereich des Hügels eine Temperatur von nur 9,5 °C (blauer Bereich in Abb. 8) – außer am Lüftungsrohr, das bereits von der Sonne bestrahlt wurde (rote Stelle in Abb. 8). Im Inneren gibt es dagegen noch eine deutlich höhere Temperatur von 15 °C (gelber Bereich in Abb. 8). Innen ist es also noch vom Vortag wärmer und es hat sich aufgrund der hohen Wärmekapazität und der niedrigen Wärmeleitfähigkeit noch nicht so weit abgekühlt.

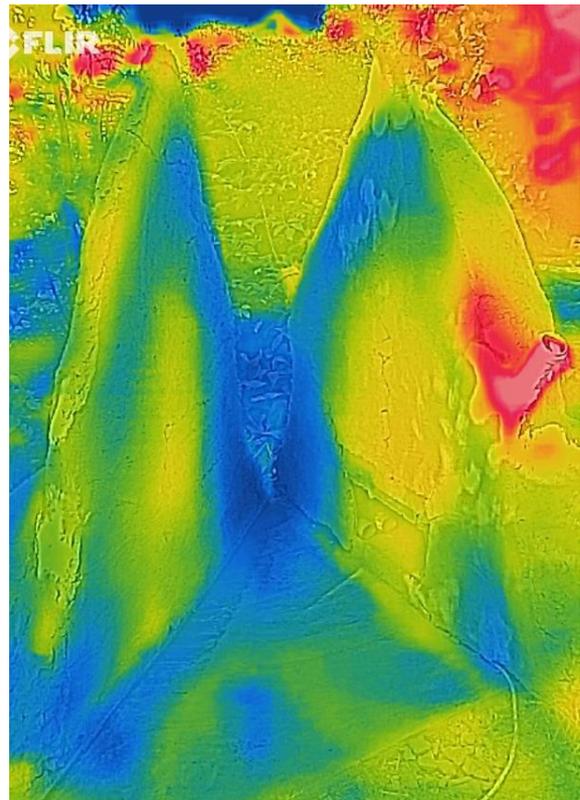


Abb. 8: Wärmebild des aufgeklappten Termitenhügels am Morgen

Am Abend nach einem heißen Sommertag (24.7.2020, 18:45 Uhr, Außentemperatur 27 °C) ist ein deutlicher Unterschied zwischen innen und außen festzustellen (siehe Abb. 9). Im Inneren ist die Temperatur 18 °C (blauer Bereich in Abb. 9) und im äußeren Bereich 27 °C wie auch in der Umgebungs-

luft (roter Bereich in Abb. 9). Das Innere hat sich also aufgrund der hohen Wärmekapazität und der niedrigen Wärmeleitfähigkeit weniger stark erwärmt, die Lehmmasse ist bei Erwärmung träge.

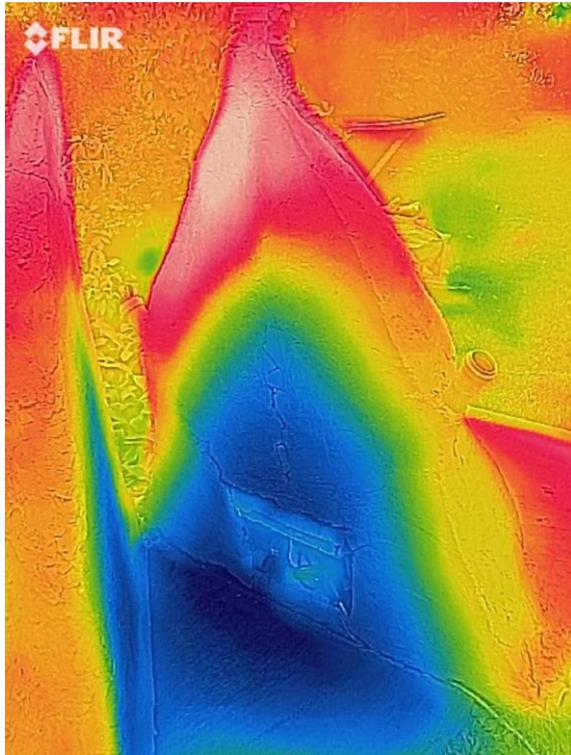


Abb. 9: Wärmebild des aufgeklappten Termitenhügels am Abend nach einem heißen Tag

5.3. Messungen zum Kamineffekt



Abb. 10: Ein Mini-Heizlüfters in der inneren Plastikkiste steht für die Abwärme der Termiten bzw. der Pilze

Um den Kamineffekt zeigen zu können, wird ins Innere des Hügels ein kostengünstiger Mini-Heizlüfter (25 €) mit einer Leistung von 500 Watt hineingestellt (siehe Abb. 10). Die Heizung steht für die thermische Energie, die die Termiten und die Pilze erzeugen. Ein Thermometer wird nahe am Boden im Hohlraum des Hügels angebracht und ein weiteres ganz unten im vertikalen Kamin. Die Sensoren der Thermometer brauchen entweder ein langes Kabel zu einem Anzeigegerät außerhalb des Hügels oder eine Funkverbindung, wie man es heute bei Grill- und Bratenthermometern hat. Der Versuch wird am Morgen durchgeführt, wenn der Hügel

innen noch kühl ist und noch kaum von der Sonne erwärmt ist.

Schon kurz nach dem Einschalten der Heizung kann man oben am Kamin mit der Hand spüren, wie warme Luft aufsteigt. Mit einem kostengünstigen Hand-Anemometer wird nach einer anfänglichen Erwärmungsphase eine Windgeschwindigkeit von ca. 3 km/h gemessen.

Die Temperaturen bei den beiden Thermometern im Inneren steigen beide an, allerdings jedoch die im Kamin deutlich stärker (siehe Abb. 11). Nach einiger Zeit (ca. 4 Min.) stellt sich im Hohlraum eine konstante Temperatur ein (ca. 38 °C), die im Kamin hingegen steigt weiter, bis nach ca. 8 Min. eine Temperatur von über 65 °C erreicht wird. Hier besteht die Gefahr, dass sich der Heizlüfter aus Sicherheitsgründen abschaltet, um nicht zu überhitzen. Die Temperatur im Innern ist stark von der Position und Ausrichtung des Heizgeräts abhängig. Trotzdem ist eindeutig zu erkennen, dass die warme Luft durch den Kamin aufsteigt und kältere Luft von den Seiten nachströmt.

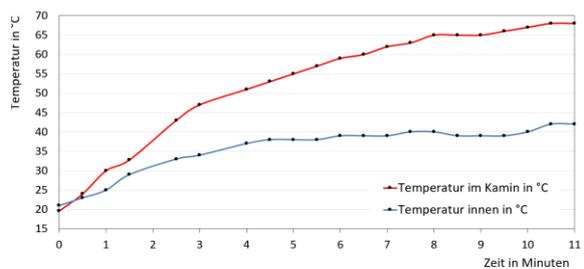


Abb. 11: Temperaturverlauf unten in der Kiste und im Kamin nach Einschalten des Heizlüfters

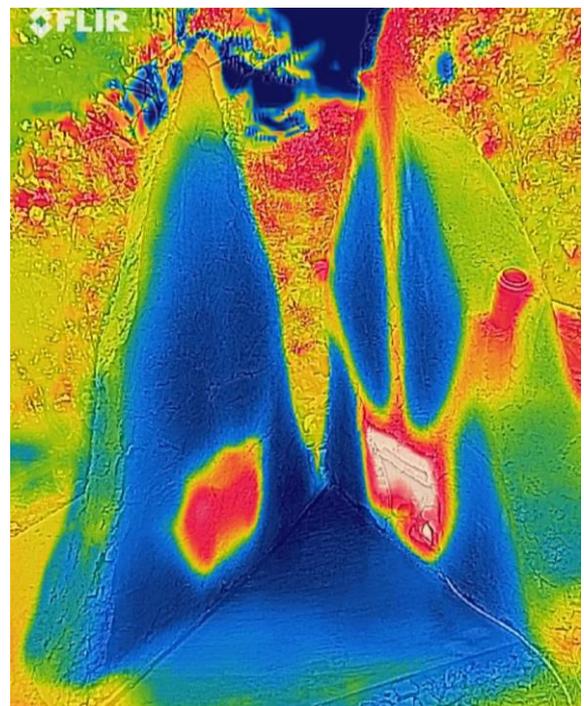


Abb. 12: Wärmebild des aufgeklappten Termitenhügels nach Erwärmung durch den Heizlüfter, auf dem man die Erwärmung der drei Kamine sieht

Nach der Erwärmung mit dem Heizlüfter wird der Hügel geöffnet und ein Wärmebild aufgenommen (siehe Abb. 12). Deutlich sind die drei Rohre nach oben zu erkennen, in denen die warme Luft aufsteigt und den Lehm erwärmt.

6. Ein Analogexperiment zum Kamineffekt

Zur Demonstration des Kamineffekts eignet sich ergänzend ein Analogexperiment (Wiesner et al.). Um eine Herdplatte als Heizungsquelle wird ein rechteckiger Fotokarton zum Zylinder gerollt und als Kamin aufgestellt (ca. 50 cm hoch und \varnothing 20 cm), der unten ein Loch besitzt (z.B. Höhe 6 cm und Breite 3 cm). Dieses Loch sollte nicht zu klein sein, da die Gefahr besteht, dass das Teelicht den Karton anzündet. Verwendet man höhere Kerzen muss auch ein höheres Loch verwendet werden. Schaltet man die Heizplatte ein, steigt im Kamin warme Luft auf und durch das Loch fließt kalte Raumluft nach. Zum Sichtbarmachen wird ein Teelicht an das Loch gestellt oder ein Feuerzeug an das Loch gehalten (siehe Abb. 13).



Abb. 13: Ein Teelicht vor einem Loch (schwarz) des Kamins aus Fotokarton (blau)

Durch den Fotokarton kann auch ein Thermometer, z.B. ein Bratenthermometer, (in verschiedenen Höhen) durchgestochen werden, um so die Lufttemperatur im Inneren messen zu können. Damit sind nun auch quantitative Untersuchungen verschiedener Abhängigkeiten möglich. Z.B. kann die Abhängigkeit von der Kaminhöhe oder von der Größe der Löcher am Boden, also der Zuluftfläche, untersucht werden.

Für die Messung in Abbildung 14 wurde die Herdplatte auf mittlere Stufe angeschaltet, das Bratenthermometer ca. 3 cm über der Herdplatte durch den Karton gestochen und dem Kamin an der Unterseite schrittweise Löcher (3 cm x 3 cm) zugefügt. Man sieht: je größer die Zuluftfläche unten am Kamin ist, desto geringer ist die Temperatur im Inneren, die sich einstellt. Durch eine größere Zuluftfläche kann mehr kühle Luft einströmen und aufsteigen, sodass

sich die Lufttemperatur im Kamin trotz gleicher Heizstufe verringert.

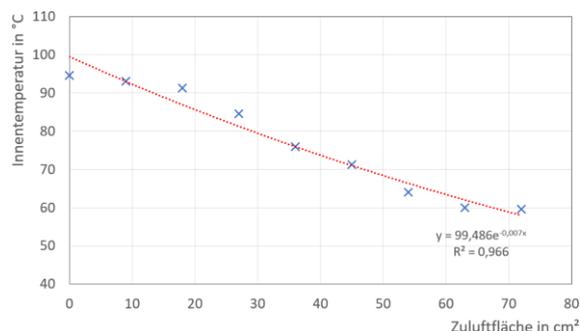


Abb. 14: Innentemperatur unten im Kamin in Abhängigkeit von der Größe der Zuluftfläche

7. Zusammenfassung und Diskussion

Termiten machen sich mit ihrem Bau die Wärmespeicherung, die Wärmeleitfähigkeit, den Gasaustausch und den Kamineffekt zunutze. Insbesondere der Kamineffekt, den man bei offenen Termitenhügeln findet, wird auch in der Architektur verwendet.

Ein Termitenhügel kann aus Lehm nachgebaut werden und daran mit einfachen Mitteln verschiedene Untersuchungen durchgeführt werden. Dies kann sowohl als Projekt von einer Schülergruppe als auch von einer einzelnen Schülerin oder einem einzelnen Schüler im Rahmen einer Seminararbeit realisiert werden. So kann eine praktische Tätigkeit mit biologischen und physikalischen Betrachtungen kombiniert werden.

Zu beachten ist, dass der Bau über einen längeren Zeitraum stattfindet. Sicherzustellen ist, dass die Holzplatte, auf der der kleinere Teil steht, gut auf dem Untergrund verschoben werden kann.

8. Literatur

- Häußler, P. & Hoffmann, L. (1995). Physikunterricht - an den Interessen von Mädchen und Jungen orientiert. *Unterrichtswissenschaft*, 2(23), 107-126.
- Hoffmann, L., Häußler, P. & Lehrke, M. (1998). Die IPN-Interessenstudie Physik. IPN Kiel.
- King, H., Ocko, S., & Mahadevan, L. (2015). Termites mounds harness diurnal temperature oscillations for ventilation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(37), 11589-11593.
- Korb, J. (2003). Thermoregulation and ventilation of termite mounds. *Naturwissenschaften*, 90(5), S. 212-219.
- Korb, J. (2007). Termites. *Current Biology*, 17(23), 995-999.
- Korb, J. (2008). The ecology of social evolution in termites. *Ecology of social evolution*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Merzyn, G. (2008). *Naturwissenschaften, Mathematik, Technik – immer unbeliebter*. Schneider Verlag Hohengehren.

- Molz, A.; Wilhelm, T.; Kuhn, J. (2022). Das Unsichtbare sichtbar machen: Smartphones als Wärmebildkamera. In: Wilhelm, T.; Kuhn, J. (Hrsg.). Für alles eine App. Ideen für Physik mit dem Smartphone, Springer-Spektrum, https://doi.org/10.1007/978-3-662-63901-6_35, S. 223 – 228.
- Nachtigall, W., & Pohl, G. (2013). Bau-Bionik: Natur-Analogien-Technik. Springer-Verlag.
- Nachtigall, W., & Wisser, A. (2013). Bionik in Beispielen: 250 illustrierte Ansätze. Springer-Verlag.
- Pearce, M. (2016). Eastgate. <https://www.mickpearce.com/Eastgate.html>
- Potvin, P. & Hasni, A. (2014). Analysis of the Decline in Interest Towards School Science and Technology from Grades 5 Through 11. Journal of Science Education and Technology, 23(6), 784–802. <https://doi.org/10.1007/s10956-014-9512-x>
- Schwab, R., Holm, A., & Mayer, E. (2004). Hybride Lüftungsverfahren für die bedarfsgerechte Lüftung von Bürogebäuden. Fraunhofer-Institut für Bauphysik.
- Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (2005). Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss (Jahrgangsstufe 10). Wolters Kluwer Deutschland.
- Wiesner, H.; Erdmann, J.; Kiermaier, M.; Olk, K. Hoffmann, M. (o. J.). Einheit 5: Wind. www.supra-lernplattform.de/index.php/lernfeld-natur-und-technik/wetter/einheit-5-wetter-wind?start=2
- Wilhelm, T. (2014a). Nasse Wände – Wärmeleitung bei alten Häusern. Kontextorientierte Aufgabe (40). Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule 63, Nr. 7, S. 48 – 49.
- Wilhelm, T. (2014b). Algen auf Fassaden – Wärmeleitung bei modernen Häusern. Kontextorientierte Aufgabe (41). Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule 63, Nr. 8, S. 38 – 39.

AR Lineale: Astronomie und Planeten im Klassenzimmer

Alexander Arshewizkij*, Alexander Pusch, Malte S. Ubben

*Institut für Didaktik der Physik, Wilhelm-Klemm-Str. 10, 48149 Münster
e-mail: a.arshewizkij@wwu.de

Kurzfassung

Die astronomische Bildung kommt mit vielen Tücken daher. Eine bekannte Problematik sind z.B. fehlende Stützpunktvorstellungen in Bezug auf Größenordnungen verschiedener Körper im Sonnensystem. Dieser Beitrag stellt eine einfache Augmented Reality-Anwendung (AR) vor. Mit dieser können sich Lernende eigene Verständnisse von Größen aufbauen. Hierzu nutzen sie "AR-Lineale", um Vergleiche mit Alltagsgegenständen durchzuführen. Dabei werden nicht nur die acht Planeten unseres Sonnensystems thematisiert, sondern auch Abstände und Größen von Zwergplaneten und ihren Monden durch die Applikation vermittelt.

1. Simulationen im Unterricht

Simulationen sind ein eher neues Hilfsmittel im Physikunterricht. Für gewöhnlich werden sie entweder als Ersatz für herkömmliche Schulexperimente eingesetzt oder um gefährliche, komplexe, unsichtbare oder abstrakte Phänomene im Klassenraum anschaulich darzustellen, die andernfalls nicht in diesem Kontext vermittelbar wären.

Mit der Einführung dieser Technologien wurde auch ihre Effektivität im Unterricht untersucht. Dabei wurde festgestellt, dass Simulationen hinsichtlich des Lerneffektes vergleichbar mit herkömmlichen Unterrichtsmethoden sind [1]. Reale Experimente schulen Laborarbeit, mit z.B. authentischen Verzögerungen zwischen einzelnen Versuchen, die weitere Planung und Reflexion für die nächsten Untersuchungen fördert [1]. Simulationen hingegen erlauben beliebig viele Wiederholungen eines oder mehrerer digitaler Experimente, wo eine oder mehrere Komponenten schnell und unkompliziert verändert werden können. Der Ablauf der Simulationen kann in einer gewünschten Geschwindigkeit abgespielt oder auch gestoppt werden, um Einzelprozesse genauer untersuchen zu können.

Gleichzeitig wurde auch festgestellt, dass durch den gemeinsamen Einsatz von sowohl herkömmlichen Methoden als auch Simulationen ein größerer Lerneffekt erzielt werden konnte als beim Einsatz der beiden einzeln [1].

Auch ist die Visualisierung eine wichtige Komponente der Verständnisbildung, weshalb auch eine Verbildlichung von abstrakten Zusammenhängen mittels Simulationen unterstützt werden kann.

Simulationen können genauso unterschiedlich sein, wie die Sachverhalte, die sie darstellen. Aus diesem Grund existiert keine allgemeingültige Checkliste für die optimale Auswahl, Erstellung oder Nutzung von Simulationen, was zunächst eine genauere Planung von Simulationen erschwert.

Es wurden jedoch drei Aspekte formuliert, um den Einsatz von Simulationen effektiv gestalten zu können. Simulationen sind am effektivsten [2], wenn...

- ...sie als Ergänzung und nicht als Ersatz für andere Unterrichtsformen eingesetzt werden (K1).
- ...den Schülerinnen und Schülern (SuS) hochwertige Unterstützungsstrukturen zur Verfügung gestellt werden (K2).
- ...sie verwendet werden, um kognitive Dissonanz zu fördern (K3).

Der dritte Punkt bedarf einer genaueren Erläuterung. Lernende erleben kognitive Dissonanz, wenn sie mit Daten konfrontiert werden, die ihre eigenen Vorstellungen herausfordern [2]. Das bedeutet, dass SuS mithilfe von Simulationen ihre eigenen Erfahrungen und Kompetenzen zu einem jeweiligen Thema in einer direkten Konfrontation herausfordern müssen.

Im Folgenden wird erläutert, wie diese Aspekte in der Entwicklung von AR-Linealen berücksichtigt worden sind.

2. Das Sonnensystem als Simulationsthema

Ob eine Simulation die Vorstellungen von Lernenden herausfordert oder nicht, hängt grundlegend vom Phänomen oder Thema ab, das dargestellt wird. Selbstverständlich kann fast jeder Sachverhalt in einer Komplexität behandelt werden, dass das voraussetzbare Wissen von SuS weit übersteigt. Die Simulationen sollen jedoch den Anspruch haben, dass sie ohne viel Vorarbeit bzw. Vorwissen im Schulkontext eingeführt werden können. Aus diesem Grund wurden als Simulationsthema die Entfernungen und Größenverhältnisse unseres Sonnensystems gewählt. Menschen haben Schwierigkeiten sich Größen dieser Magnitude vorzustellen. Schon die Größe unserer

Erde und ihr Abstand zum Mond bereitet Lernenden Probleme [3]. Aber auch Studierenden fällt es schwer diese sich diese größere Werte vorzustellen [4], wobei mit wachsenden Entfernungen auch die Genauigkeit der Einschätzung sinkt. Die Entfernung zwischen Erde und Mond kann besser eingeschätzt werden als beispielsweise die „Strecke“ zwischen Erde und Sonne bzw. der Sonne und anderen Sternen [4].

Es jedoch nicht so, als seien Menschen generell und insbesondere SuS nicht in der Lage diese Größen und Größenverhältnisse besser zu erfassen. So reichte ein Besuch in einem Astronomie-Zentrum aus, damit SuS der siebten bzw. achten Klasse die Entfernungen zwischen Erde und Mond sowie die relativen Größen von Sonne und Mond besser zu verstehen als vorher [5]. Eine mögliche Erklärung, wieso Menschen Schwierigkeiten mit Werten astronomischer Größenordnungen haben, könnte in der subjektiven Wahrnehmung von Größen des alltäglichen Lebens sein [6]. Im Alltag begegnen uns Entfernungen im Bereich von Millimetern bis hin zu einigen Kilometern. Auf Reisen können Entfernungen von einigen tausend Kilometern zurückgelegt werden.

Diese Strecken sind nicht vergleichbar mit dem Abstand zu dem nächsten Himmelskörper, dem Mond, der im Mittel ca. 384.400 km von der Erde entfernt ist, von den anderen Himmelskörpern ganz zu schweigen. Größen dieser Magnitude und größer, aber auch kleinere Größen, wie beispielsweise die Größe von Zellen oder Atomen, werden im Allgemeinen keine subjektive Bedeutung zugerechnet [6], weil sie nicht ohne weiteres wahrgenommen werden können. Aus diesem Grund wird die Arbeit mit diesen Größen zwangsläufig die Vorstellungen der SuS herausfordern, womit ein Aspekt des optimalen Einsatzes Simulationen erfüllt ist (K3).

Dennoch muss eine Größe in den Simulationen verwendet werden, der die Lernenden eine Bedeutung geben können, auch wenn sie sie nicht in ihrer Gänze begreifen können. Ohne eine solche Größe werden die Lernenden die tatsächlichen Entfernungen in keinen bekannten Bezug setzen können. Aus diesem Grund wird der Durchmesser der Erde als eigene Einheit verwendet und sämtliche verwendeten Größen und Entfernungen werden in dieser Einheit angegeben (vgl. Abb. 1).



Abb.1: Screenshot der 3DQR-App. Verwendung der Simulation des Erdsystems. Überlagerung der digitalen Himmelskörper mit realem Gegenständen (hier: Kugeln mit ähnlichem Größenverhältnis).

3. Simulationsinhalt und Modellierung

Bevor die Simulationen hergestellt werden können, muss zunächst geklärt werden, was genau die Simulationen beinhalten sollen. Die Auswahlkriterien sind

die unterrichtliche Relevanz und die Umsetzbarkeit, welche auf den Lehrplan für Physik der Sekundarstufe I aus NRW angewendet wurden [7].

So wird z.B. die Drehachsenneigung der Erde im Unterricht als ein Grund für den Wandel der Jahreszeiten verwendet. Größen wie diese können ohne weiteres in eine statische Simulation integriert werden. Andere Größen, wie beispielsweise die Periodendauer, Masse usw. können nicht mithilfe einer statischen Simulation dargestellt werden, da die Entwicklungsumgebung der App dies nicht erlaubt. Dennoch sind sie wichtige Größen zur Unterscheidung von Himmelskörpern. Dementsprechend wird in den Simulationen zwischen impliziten Informationen (Größen, Entfernungen, Drehachsenneigung usw.) und expliziten Informationen (Periodendauer, Masse, Oberflächenbeschleunigung) unterschieden. Die impliziten Informationen sind Teil der AR-Lineale, während die expliziten Informationen auf zusätzlichen Infotafeln (vgl. Abb. 2) in die Simulationen eingebaut werden. Sämtliche Größen wurden der öffentlichen Datenbank der NASA entnommen [8].

Die eigentliche Modellierung erfolgte vollständig mit dem kostenlosen Programm *blender* [9]. Der Großteil der verwendeten 3D-Texturen sind bis auf einige Ausnahmen ebenfalls auf einer Datenbank der NASA erhältlich [10]. Komplette fehlende Texturen wurden mit privaten künstlerischen Illustrationen substituiert [11, 12].

Texturen von Himmelskörpern, die nur teilweise fotografiert wurden, sind in diesem „unvollständigem“ Zustand verwendet, um keine falsche Datenlage zu vermitteln.

Bei den Illustrationen wurde auch explizit auf den Infotafeln darauf hingewiesen, dass es sich nicht um echte Fotos handelt.

Die 3D-Modellierung der AR-Lineale erfolgte folgenderweise: Der Planet und der im Mittel am weitesten entfernte (verwendete) Mond wurden in einer Ebene als Lineal-Grenzen platziert. Die weiteren Monde (falls vorhanden) wurden als zusätzliche Lineal-Markierungen dazwischen angeordnet (vgl. Abb. 3). Über den Himmelskörpern wurden Zylinder positioniert, um einerseits Lineal-Markierungen darzustellen und andererseits auch die Positionen der kleinen Monde zu verdeutlichen. Bei sehr kleinen Monden wurden dazu zusätzlichen Kegel unter den Zylindern eingesetzt. Mithilfe von *Microsoft Paint* und einem Office-Paket wurden Texturen erstellt, die den Abstand zum jeweils anderen Himmelskörper in Erdendurchmessern anzeigen. Über diesem „kleinschrittigem“ Lineal wurde ein weiteres Lineal erstellt, das nur die Gesamtentfernung zwischen den Enden darstellt. Die Lineal-Texturen selbst sind nur von einer Seite sichtbar, d.h. wenn das Lineal um 180° gedreht wird, sind die weißen Flächen nicht sichtbar. Dies soll den SuS zusätzlichen Handlungsfreiraum ermöglichen, um beispielsweise mit sich selbst oder mit diversen Gegenständen die Entfernungen zu füllen (vgl. Abb. 4).

Damit die Sicht auf das Lineal nicht beeinträchtigt wird, wurden die Größenvergleiche und korrespondierenden Infotafeln weit außerhalb der Lineal-Enden und senkrecht zum Lineal platziert.

Die Simulationen sollen frei zugänglich sein, dazu werden sie auf die Homepage der AR-App 3DQR [13] hochgeladen. Dazu hat die 3DQR-GmbH freundlicherweise bis zu 20 QR-Codes zur Verfügung gestellt.

Gängige Smartphones und Tablets können diese App kostenlos herunterladen, in sie die QR-Codes einscannen. Die Codes werden auf Kärtchen gedruckt und den SuS zur Verfügung gestellt (vgl. Abb. 5). Dadurch können sie Gegenstände in ihrer Umgebung suchen, die vergleichbare Größenverhältnisse besitzen, die Simulationen über diese Gegenstände platzieren und die Entfernungen und Größen in der Realität mit herkömmlichen Methoden messen. Insgesamt wurden je neun Simulationen auf Deutsch und auf Englisch mit 33 verschiedenen Himmelskörpern hergestellt.

Die Simulationen allein reichen nicht aus, damit SuS ohne viel Vorarbeit mit ihnen arbeiten können, es fehlen noch die sogenannten „hochwertigen Unterstützungsstrukturen“ (K2). Dazu wurden mithilfe von „design-based-Research“ [14] Workbooks erstellt. Dabei werden mehrere Untersuchungen durchgeführt und die Workbooks durch schriftliche und verbale Rückmeldungen sukzessive überarbeitet.



Abb.2: Screenshot der 3DQR-App. Verwendung der Simulation des Saturnsystems, gedreht um 90°. Informationstafeln des Saturn und Größenvergleich mit der Erde.



Abb.3: Screenshot der 3DQR-App. Verwendung der Simulation des Saturnsystems. AR-Lineal von Saturn bis Titan.

4. Unterstützungsstrukturen und Ergebnisse

Die Simulationen allein reichen nicht aus, damit SuS ohne viel Vorarbeit mit ihnen arbeiten können, es fehlen noch die sogenannten „hochwertigen Unterstützungsstrukturen“ (K2). Dazu wurden mithilfe von „design-based-Research“ [14] Workbooks erstellt. Dabei werden mehrere Untersuchungen durchgeführt und die Workbooks durch schriftliche und verbale Rückmeldungen sukzessive überarbeitet. Abschließend werden noch drei Items genauer vorgestellt, in denen sich eher rudimentäre Präkonzepte zeigen.

Als Ausgangspunkt wurde eine erste Version unter Beachtung der didaktischen Prinzipien Multimedialen Lernens erstellt [15] und zunächst mit Expertinnen und Experten getestet. Die nächste Runde erfolgte mit „physikinteressierten“ SuS, also mit Lernenden der Oberstufe, die Physik freiwillig gewählt haben.

Die darauffolgenden Runden wurden mit der eigentlichen Zielgruppe, Lernenden der Sekundarstufe I, durchgeführt.

Zusätzlich wurden auch die Messergebnisse der SuS gesammelt und die Qualität der Messungen zu überprüfen. In der ersten Aufgabe sollte unter anderem das Größenverhältnis von Erde und Mond gemessen werden. Folgende Daten wurden von den Lernenden erhoben:

- EF-Kurs, N=21: $0,25 \pm 0,05$
- Erste 9. Klasse, N=27: $0,32 \pm 0,07$
- Zweite 9.Klasse, N=25: $0,31 \pm 0,13$

Bei einem tatsächlichen Verhältnis von ca. 0,27 haben die SuS näherungsweise passende Größenverhältnisse ermittelt.



Abb.4: Screenshot der 3DQR-App. Verwendung der Simulation des Saturnsystems. AR-Lineal von Saturn bis Titan.

5. Ausblick

Diese Untersuchung hat sich lediglich darauf beschränkt, einen möglichen Prozess zu beschreiben, wie geeignete AR-Simulationen für den Schulunterricht hergestellt werden können. Die Messung eines unmittelbaren Lerneffektes war nicht ihr Ziel. Um den Einsatz von AR als alltägliches Lernutensil zu testen, bedarf es weiterer, verschiedener Simulationen, die mit einer deutlich größeren Stichprobe an Lernenden (mit Vergleichsgruppen) getestet werden.

Dennoch ist es sinnvoll, diese Formen des Lernens weiter zu untersuchen. Durch die weit

fortgeschrittene Verbreitung und Nutzung von Smartphones unter Jugendlichen könnte man den Lernenden mithilfe dieser kostenlosen und sofort verfügbaren Tools Lerngelegenheiten ermöglichen, die früher nicht vorstellbar waren. Auch wenn sie nicht unbedingt nur für „klassische“ Lektionen verwendet werden, wenn man beispielsweise den Mond auf die Größe eines Mitschülers zieht oder ein Selfie mit dem Jupiter macht. Die Größenverhältnisse werden dennoch implizit miterlebt.

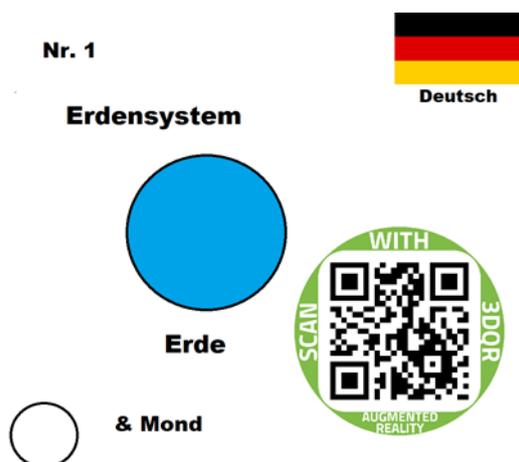


Abb.5: Erste von neun QR-Code Karten auf Deutsch zum Verteilen innerhalb einer Lerngruppe. Weitere Karten sowie das Workbook sind kostenlos verfügbar unter [16].

6. Literatur

- [1] de Jong, T., Linn, M., Zacharia, Z. (2013). Physical and Virtual Laboratories in Science and Engineering Education. In *SCIENCE*, 340, 305-308.
- [2] Smetana, L., Bell, R. (2012). Computer Simulations to Support Science Instruction and Learning: A critical review of the literature. In *International Journal of Science*, 34, 1337-1370.
- [3] Cin, M. (2007). Alternative views of the solar system among turkish students. In *Review of Education*, 53, 39-53.
- [4] Miller, B., Brewer, W. (2010). Misconceptions of Astronomical Distances. In *International Journal of Science Education*, 32, 1549-1560.
- [5] Lelliot, A. (2010). The concept of spatial scale in astronomy addressed by an informal learning environment. In *African Journal of Research in Mathematics, Science and Technology Education*, 14, 20-33.
- [6] Feigenberg, J., Lavrik, L., Shunyakov, V. (2002). Space Scale: Models in the History of Science and Students' Mental Models. In *Science & Education*, 11, 377-392.D
- [7] Ministerium für Schule und Bildung des Landes NRW (2019). Kernlehrplan für die Sekundarstufe I Gymnasium in Nordrhein-Westfalen. PDF online abrufbar auf: https://www.schulentwicklung.nrw.de/lehrpläne/lehrplan/208/g9_ph_klp_%203411_2019_06_23.pdf
Zuletzt besucht am 13.11.2021.
- [8] NASA Science SOLAR SYSTEM EXPLORATION (2021). <https://solarsystem.nasa.gov>
Zuletzt besucht am 13.11.2021.D
- [9] Blender 2.93.1 (2021). Blender Version 2.93.1 für Windows, Blender Foundation.
- [10] NASA 3D Resources, Images and Textures (2021). <https://nasa3d.arc.nasa.gov/images>
Zuletzt besucht am 13.11.2021.
- [11] Solar System Scope, Solar Texture (2021). <https://www.solarsystemscope.com/textures/>
Zuletzt besucht am 13.11.2021.
- [12] Hastings-Trew, J., (2006). Planet Pixel Emporium. <https://www.solarsystemscope.com/textures/>
Zuletzt besucht am 13.11.2021.
- [13] 3DQR GmbH (2021). <https://3dqr.de>
Zuletzt besucht am 13.11.2021.
- [14] Genz, F., Bresges, A. (2017). *Projektbeispiele für Design-Based Research im naturwissenschaftlichen Unterricht*. Wiesbaden: Springer Fachmedien.
- [15] Mayer, R. (1999). Multimedia aids to problem-solving transfer. In *International Journal of Educational Research*, 31, 611-623.
- [16] Pusch, A. Physikkommunizieren (2022). <https://physikkommunizieren.de/ar-lineal>
Zuletzt besucht am 28.4.2022.

Entwicklung eines Konzepttests zur Astronomie - Erste Ergebnisse

Philipp Bitzenbauer*, Malte S. Ubben**

*Didaktik der Physik, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Staudtstr. 7, 91058 Erlangen
e-mail: philipp.bitzenbauer@fau.de

**Institut für Didaktik der Physik, Wilhelm-Klemm-Str. 10, 48149 Münster
e-mail: malte.ubben@uni-muenster.de

Kurzfassung

Sterne und das Weltall sind bei Lernenden seit jeher hoch im Kurs, wie die Ergebnisse von Interessensstudien zeigen. Empirische Instrumente zur Erhebung von Vorstellungen oder Konzeptverständnissen Lernender zu Konzepten der Astronomie sind jedoch rar. Im vorgestellten Projekt wird die Entwicklung und Pilotierung von solchen Instrumenten für den deutschen Sprachraum angestrebt. Wir berichten in diesem Beitrag die Ergebnisse der Pilotierung eines ersten Konzepttests zu Sternen, der auf international bereits etablierten Concept Inventories basiert.

1. Einleitung: Forschungsnetzwerk „AstroEdu“

Die Astronomiedidaktik ist wohl einer der ältesten Zweige der Physikdidaktik. Aus empirischer Sicht besteht allerdings noch ein großes Potential in diesem Teilgebiet der Didaktik. Die Erforschung von mentalen Modellen zum Beispiel beschränkt sich meist auf die Themen, welche mit den Himmelskörpern Sonne, Mond und Erde zu tun haben. So besteht zum Beispiel schon eine stark fundierte Datenlage zur Entwicklung der mentalen Modelle zur Erde [1], oder zum Tag-Nacht-Zyklus [2]. Auch liegen aus der Perspektive der Interessensforschung positiv zu deutende Ergebnisse vor – so wird das Themengebiet „Weltall“ sowohl bei Jungen als auch bei Mädchen überdurchschnittlich positiv bewertet [3]. Überdies sind aus der physikdidaktischen Forschung bereits zahlreiche Unterrichtskonzepte zur Astronomie hervorgegangen, welche allerdings meist nicht empirisch evaluiert wurden, da geeignete Instrumente fehlen.

Aus diesem Grund hat sich das Forschungsnetzwerk „AstroEdu“ gegründet, welches sich zum Ziel gesetzt hat, die empirische Datenlage und Forschung zur Didaktik der Astronomie voranzubringen; dazu gehört auch die Entwicklung und Analyse von Instrumenten, die die Erhebung des Konzeptverständnisses von Schülerinnen und Schülern – auch zu fortgeschrittenen Themen der Astronomie – erlauben. Damit wird in Zukunft auch die Evaluation von Unterrichtseinheiten zu komplexeren Themen möglich. Eines der langfristigen Ziele des Netzwerks ist folglich die Entwicklung eines modularen Concept-Inventory zu verschiedenen relevanten Konzepten der Astronomie: des „Astronomy Concept Inventory“ (vgl. Abb. 1).

Im Folgenden wird die Entwicklung und Pilotierung eines ersten Moduls dieses Konzepttests zum Inhaltsbereich „Sterne“ vorgestellt.

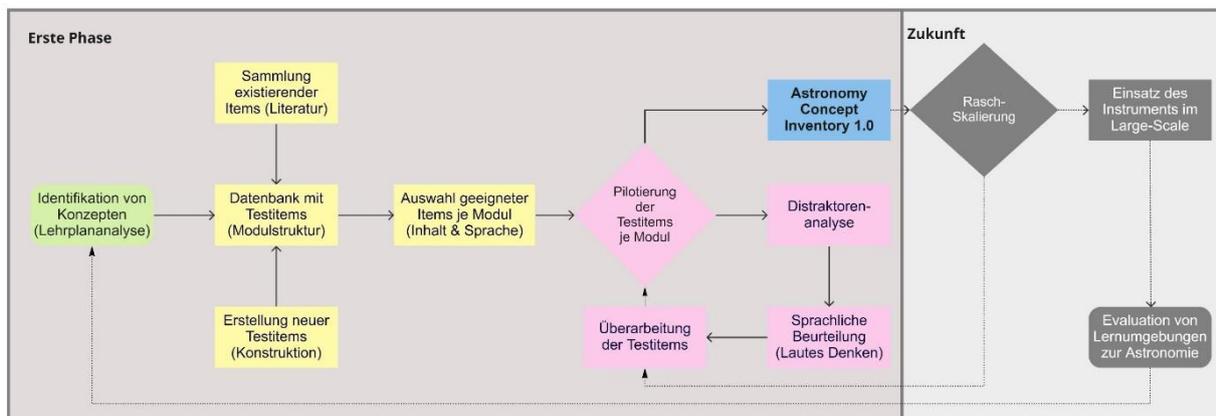


Abb. 1: Entwicklungsplan des Astronomy Concept Inventory. des Netzwerkes AstroEdu

2. Entwicklung des Moduls zum Thema Sterne

Im Gegensatz zu Themen wie „Schwarze Löcher“ oder „Urknalltheorie“ gibt es im Inhaltsfeld „Sterne“ bereits einige international publizierte Konzepttests (z.B. [4, 5]). Deren Items und Skalen wurden bereits umfassend empirisch untersucht, insbesondere mit Blick auf psychometrische Eigenschaften. Aus diesem Grund wurde dieses Themenfeld als Ausgangspunkt für die Entwicklung des ersten Moduls des Astronomy Concept Inventory gewählt. Doch nicht nur aus diesem pragmatischen Grund ist das Themenfeld der Sterne eine sinnvolle Ausgangsthematik, auch findet es zunehmend Einzug in aktuelle Lehrpläne (z.B. seit 2019 in NRW).

Für das Modul wurden insgesamt 52 Items aus bestehenden Instrumenten extrahiert, die nach Expertenübereinstimmung das Inhaltsfeld „Sterne“ in einem für die Schule geeigneten Maß abdecken. Alle Items wurden dichotom kodiert.

3. Pilotstudie

3.1 Setting der Pilotstudie

In einer ersten Pilotierung wurde das Instrument an Physikstudierenden vor Belegung einer Astronomievorlesung getestet – ein Zugang zu Schulen war zur Zeit der Pilotstudie aufgrund der Coronapandemie nicht möglich. An der Befragung haben insgesamt 155 Studierende teilgenommen.

Ziel der Pilotstudie war es, einen ersten Einblick in die psychometrische Qualität des Instruments zu erhalten. Außerdem wurden die Erhebungsdaten genutzt, um Präkonzepte zum Thema Sterne unter den Physikstudierenden zu explorieren. Auf Basis der Ergebnisse soll eine Überarbeitung und Vorselektion der Items vorgenommen werden.

Die Daten wurden folglich sowohl mittels Methoden der klassischen Testtheorie als auch probabilistisch analysiert. Überdies folgte eine qualitative Analyse des Antwortverhaltens der Studierenden (Distraktorenanalyse), um Präkonzepte in der Stichprobe explorativ identifizieren zu können.

3.2 Analyse des Instruments

Die interne Konsistenz des Instruments wurde mit Hilfe von Cronbach's-Alpha auf $\alpha = 0.85$ geschätzt, was als Indikator für eine hohe Reliabilität gewertet wird [6]. Ein eindimensionales Rasch-Modell zeigt eine gute Passung zu den Daten: Die Fit-Parameter liegen im akzeptierten Bereich zwischen 0.7 und 1.3 [7]. Die EAP/PV-Reliabilität liegt bei 0.86, die WLE-Reliabilität besitzt einen Wert von 0.81. Anhand einer Wright-Map (vgl. Abb. 2) zeigt sich, dass die Items für die Stichprobe der Pilotstudie insgesamt etwas zu leicht waren, was mit dem Umstand konsistent ist, dass der Test eher auf Schul- als auf Universitätsniveau ausgerichtet ist. Die Pilotstudie soll nicht zuletzt

deshalb in jedem Fall mit einer Kohorte von Schülerinnen und Schülern wiederholt werden.

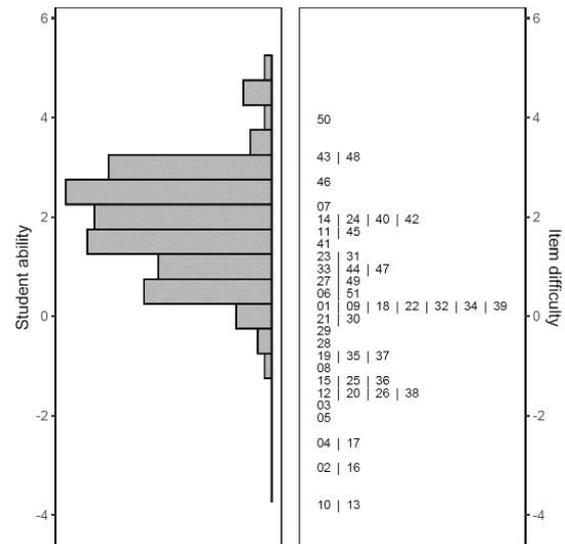


Abb. 2: Wright-Map der Stichprobe an Studierenden vor Belegen einer Astronomievorlesung.

3.3 Erste qualitative Ergebnisse

Abschließend werden noch drei Items genauer vorgestellt, in denen sich Präkonzepte unter den Studierenden andeuten. Zukünftige Studien müssen diese Befunde absichern.

Das erste dieser Items hatte die Entstehung von Atomen (im Item: Sauerstoff, Kohlenstoff und Eisen) zum Untersuchungsgegenstand. Nur rund 59% der Studierenden gaben an, dass diese Atome im Inneren von Sternen entstehen. Es waren 20% der Überzeugung, dass die Entstehung beim Urknall erfolgte, 13%, dass diese Arten von Atomen immer schon da waren und 8%, dass ein Mechanismus im Erdkern dafür verantwortlich ist. Diese Ergebnisse zeigen deutlich, dass die Rolle von Sternen bei der Entstehung von Elementen noch nicht von fast der Hälfte der Studierenden funktional verstanden wurde und teils gar keine Vorstellung von der Elemententstehung vorherrscht.

Das zweite hervorzuhebende Item adressiert die Frage „Was ist ein Stern?“. Hier gaben zwar 77% die als korrekt gewertete Antwort („Eine heiße Gaskugel, die leuchtet, weil sie Atomkerne zu schwereren Atomkernen verbindet“), doch es entschieden auch 23% der Befragten für einen der Distraktoren: 11% gaben an, dass das Leuchten der Sonne aus der Kernspaltung herrührt, 9% schrieben die Ursache des Leuchtens einer Gasverbrennung zu und 3% gaben sogar an, dass Sterne nur Licht aus einer anderen Lichtquelle reflektieren.

Das dritte hervorzuhebende Item befasste sich ebenfalls mit einer ähnlichen Aussage: Die Probanden sollten angeben, wodurch das Licht der Sterne entsteht. Hierbei wählten 68% „Kernreaktionen im Inneren der Sterne“ als Ursache, jedoch gaben auch 15%

an, dass Chemische Reaktionen im Sterninneren das Licht verursachen, ganze 11% waren der Überzeugung, dass der Grund Reflexion von Sonnenlicht sei und 6% wählten als Ursache Brände auf den Oberflächen der Sterne. Alle drei dieser Items befassen sich mit der Grundfunktionsweise von Sternen – der Kernreaktion. Doch nur 60-80% der befragten Physikstudierenden gaben dies je als Ursache für Sternenleuchten und Elemententstehung an.

4. Diskussion und Ausblick

Die Entwicklung des Concept-Inventory-Moduls zum Thema Sterne bildet den Ausgangspunkt für eine langfristig angelegte Kooperation zur Entwicklung der modularen Astronomy Concept Inventory. Jedes Modul dieses Tests soll für sich gesehen pilotiert und damit ein geschlossenes Erhebungsverfahren darstellen, das die Anforderungen der empirischen Forschung erfüllt. Die modulare Struktur sichert damit einerseits ab, dass die inhaltliche Breite der Astronomie repräsentiert wird, und ermöglicht Lehrenden und Forschenden eine variable und bedarfsspezifische Nutzung der für den jeweiligen Anlass relevanten Module.

Die hier berichtete Pilotierung des Moduls zum Thema Sterne macht Hoffnung: Die Reliabilität des Instrumentes erweist sich als hinreichend und die Daten zeigen eine gute Passung zum Raschmodell.

In zukünftigen Arbeiten muss der Einsatz des Instrumentes in Schulklassen erprobt und ausgewertet werden. Vor allem interessant ist die Frage, inwiefern das Instrument auf eine Passung für Stichproben der Sekundarstufe I hin adaptiert werden kann, da dort das Thema Sterne in vielen Bundesländern curricular erstmals verankert ist. Denkbar dabei ist eine Kurzform des hier vorgestellten Instruments.

5. Literatur

- [1] Nussbaum, J. (1979): Children's conceptions of the earth as a cosmic body: A cross age study. In: *Science Education*, 19(1), 83-93.
- [2] Chiras, A., & Valadines, N. (2008): Day/night Cycle: Mental Models of Primary School Children. In: *Science Education International*, 63(1), 65-83.
- [3] Holstermann, N., & Bögeholz, S. (2007): Interesse von Jungen und Mädchen an naturwissenschaftlichen Themen am Ende der Sekundarstufe I. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 13, 71-86
- [4] Favia, A., Comins, N. F., Thorpe, G. L., & Batzki D. J. (2014). A direct examination of college student misconceptions in astronomy: A new instrument. In: *Journal and Review of Astronomy Education and Outreach*, 1(1), A21-A39.
- [5] Bailey, J. M., Johnson, B., Prather, E. E., & Slater T. F. (2012). *Development and*

Validation of the Star Properties Concept Inventory. In: *International Journal of Science Education*, 34, (14), 2257–2286.

- [6] Blanz, M. (2015). *Forschungsmethoden und Statistik für die Soziale Arbeit: Grundlagen und Anwendungen*. Stuttgart: Kohlhammer.
- [7] Planinic, M., Boone, W.J., Susac, A., & Ivanjek, L. (2019). Rasch analysis in physics education research: Why measurement matters. In: *Physical Review Physics Education Research*, 15, 020111

On Phase Transitions in the Early Universe

Hans-Otto Carmesin^{1,2,3} and Philipp Schöneberg¹

¹Gymnasium Athenaenum, Harsefelder Straße 40, 21680 Stade

²Studienseminar Stade, Bahnhofstr. 5, 21682 Stade

³Universität Bremen, Fachbereich 1, Postfach 330440, 28334 Bremen

hans-otto.carmesin@t-online.de

Kurzfassung

Die kontinuierliche Ausdehnung des Raums seit dem Big Bang ist eine großartige Entdeckung der Menschheit. Allerdings ist diese kontinuierliche Ausdehnung unvollständig, denn sie kann nicht die physikalischen Vorgänge bei sehr hoher Dichte und hoher Energie der Quanten der Strahlung beschreiben. In diesem Aufsatz lösen wir dieses Problem der Unvollständigkeit, indem wir ein Tröpfchenmodell entwickeln und analysieren: Tröpfchen einer Dimension bilden sich und wachsen, sowie die Dichte eine entsprechende kritische Dichte unterschreitet. Bei diesem dimensionalen Phasenübergang nehmen Abstände sehr schnell zu. Als Konsequenz wird das Horizontproblem gelöst.

Abstract

The continuous expansion of space since the Big Bang has been a great discovery of mankind. However, that continuous expansion is incomplete, as it fails to describe the physics at very high density and high energy of radiation quanta. In this paper, we provide a solution of that incompleteness problem by developing and analyzing a droplet model: Droplets of a dimension form and grow, as soon as the density falls below a corresponding critical density. At that dimensional phase transition, the light horizon increases in an extremely rapid manner. As a consequence, the horizon problem is solved.

1. Introduction

Students are highly interested in astronomy and astrophysics (Elster 2010, Jenkins 2006, Pössel 2015). This includes the time evolution of space since the Big Bang. Basically, that time evolution is described as an expansion of space according to general relativity, GR. However, Guth (1981) pointed out that this description is problematic, as there occurs a horizon problem as well as a flatness problem. Thus, the description of the increase of space since the Big Bang is incomplete, see Fig. (1). The horizon problem can be overcome by a very rapid enlargement of distances in the very early universe. For it, Guth (1981) proposed an era of ‘cosmic inflation’. However, the proposed mechanism of ‘cosmic inflation’ is also problematic, as there occurs a reheating problem (Broy, 2016) and a fine-tuning problem, see e. g. Landsman (2016), Carmesin (2019a, p. 187). In fact, the era of rapid enlargement occurs in a natural manner as a consequence of dimensional phase transitions. Thereby, these transitions occur naturally at high density in the early universe (see e. g. Carmesin, 2017, 2019a, 2021a). Accordingly, the student’s interest in the era of ‘cosmic inflation’ and in dimensional phase transitions is founded. So, such transitions provide a basis for a substantial didactical perspective.

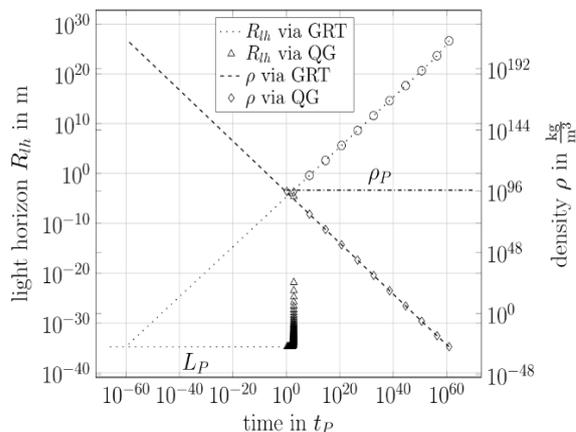


Fig. 1: Time evolution of the light horizon R_h and of the density ρ as a function of time in Planck times t_P according to general relativity, GRT, and corresponding to quantum gravity, QG, (see Carmesin 2020a, Fig. (5.7) or Carmesin 2021b, Fig. (2.4)): At the Big Bang, the light horizon starts at approximately the Planck length, $R_h \approx L_P$. Then the light horizon increases slightly by the formation of vacuum, and it increases extremely rapidly at a series of dimensional phase transitions, without the formation of vacuum (triangles, this process is described by quantum gravity). Later, the light horizon increases in three-dimensional space purely by the formation of vacuum (circles, only this process is described by general relativity, GR or GRT). Altogether, GRT is incomplete, as it describes the expansion of space only in the later universe.

1.1. Didactical perspective

The didactical perspective can be analysed in the framework of the didactical triangle, see Franke and Gruschka (1996) or Fig. (2). That triangle represents the relation between the students, the teacher and the subject. Hereby, the relation between the students and the subject is characterized by a high interest of the students, including the motivating aspect of scientific curiosity, see Fig. (3).

According to the didactical triangle, the role of the teacher becomes essential. The teacher should take care of the following expectations: Firstly, the students expect answers. Secondly, some advanced students expect methods, so that they can achieve answers on their own. The present project was developed in a research club. Thereby, the teacher provides a course in quantum gravity for especially interested students. Moreover, research projects are provided, coached and overseen by the teacher. In this manner, separate scientific questions and corresponding skills for the treatment of these questions are provided, see Fig. (4).

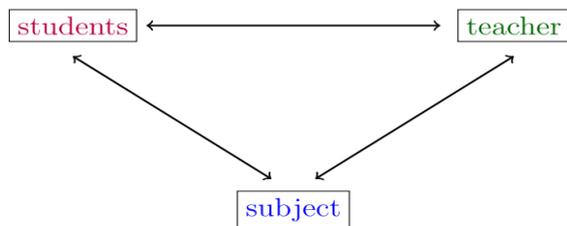


Fig. 2: Didactical triangle.

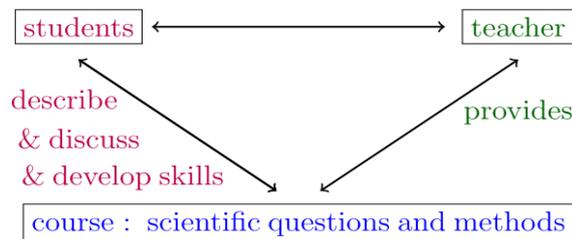


Fig. 3: Didactical triangle: course enables students to perform research project

Furthermore, in the case of the present project, the student Philipp Schöneberg and the teacher Hans-Otto Carmesin agreed to collaborate. Such collaborations have been performed several times in the recent years, see Carmesin (2021f). Thereby, tasks for the teacher and for the student are clearly separated. In the present case, the teacher developed the analytic investigation of the droplet model, while the student provided a numerical study of the model, a study of the solution of the horizon problem by the droplet model and the development of graphical representations of droplets at various dimensions.

1.2. Didactical perspective of vacuum

In order to understand the formation of droplets at a dimensional phase transition, the teacher presented that concept and dynamics of formation of vacuum to learners ranging from class 8 to 13 in the research

club (Carmesin, 2021f). Then, the students were able to describe and discuss the steps of the respective derivations and to discuss the consequences, Fig. (3).

In particular, the students realized the following items: Firstly, the dynamics of vacuum have been tested. Secondly, dimensional phase transitions are a natural consequence of the dynamics of vacuum. Thirdly, higher dimensional physics has been observed in experiments (Lohse et al. 2018, Zilberberg et al. 2018). Fourthly, dimensional phase transitions naturally provide the era of cosmic inflation. Fifthly, the critical densities have been derived and evaluated. Sixthly, these critical densities explain the everyday life fact of three-dimensional space ($D = 3$ is non-trivial and requires an explanation). On the other hand, the students pointed out that the concept of a dimensional phase transition is surprising. Moreover, the students developed skills, so that they were able to solve a research project, see Fig. (4).

Altogether, this course combined with the projects provides several didactical perspectives, see Fig. (4).

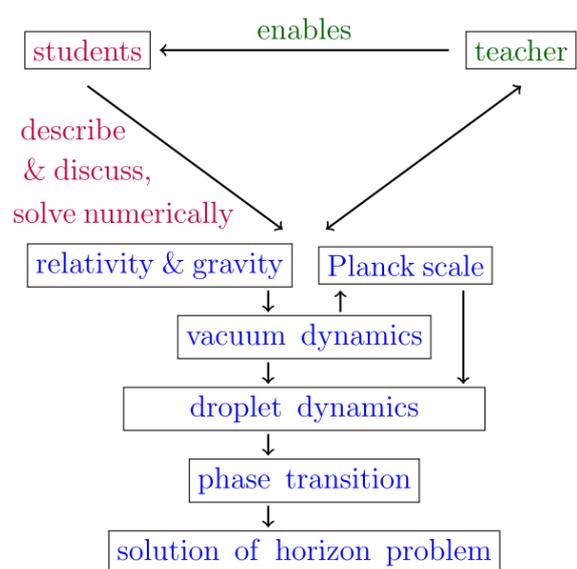


Fig. 4: Didactical triangle illustrates students describing, discussing and providing numerical solutions in the research club.

1.3. Description of the scientific problem

The expansion of the universe since the Big Bang has been observed by various methods (see e. g. Wirtz 1924, Hubble 1929, Penzias and Wilson 1965, Efstathiou et al. 2020, Pesce et al. 2020, Riess et al. 2016, 2021, Philcox et al. 2020, Addison et al. 2018, Abbot et al. 2020, Birrer et al. 2020, Escamillae-Rivera and Najera 2021, Blakeslee 2021, Suzuki et al. 2011). Moreover, that expansion has been modelled on the basis of general relativity (see e. g. Einstein 1905, 1915, 1917, Friedman 1922, Lemaitre 1927, Carmesin 2019a-b, 2020a-b, 2021a-f). However, these models are not complete, see Fig. (1):

A comprehensive physical theory is characterized by the combination of gravity and quantum physics (Carmesin 2022a-c). In that framework of quantum gravity, physical systems range from small size at the Planck length $L_P = 1.616 \cdot 10^{-35}$ m to the present-day light horizon at $R_{lh} = 4.1 \cdot 10^{26}$ m. Moreover, the Planck density $\rho_P = 5.155 \cdot 10^{96}$ kg/m³ cannot be exceeded in nature (Carmesin 2021a). Naturally, in a comprehensive physical system, the Planck length can be achieved. However, according to general relativity combined with the Planck scale, the time evolution of the present-day light horizon does not include radii smaller than 0.001 mm, as at that radius, the corresponding density of the universe would be equal to the Planck density, so a further reduction of R_{lh} would be impossible, see Fig. (1), Carmesin (2020a). According to an advanced analysis within quantum gravity, the above incompleteness of GRT is solved, thereby the light horizon has reached the Planck length, $R_{lh}(t) \approx L_P$. This is achieved by a series of dimensional phase transitions (see e. g. Carmesin 2017, 2018a-c).

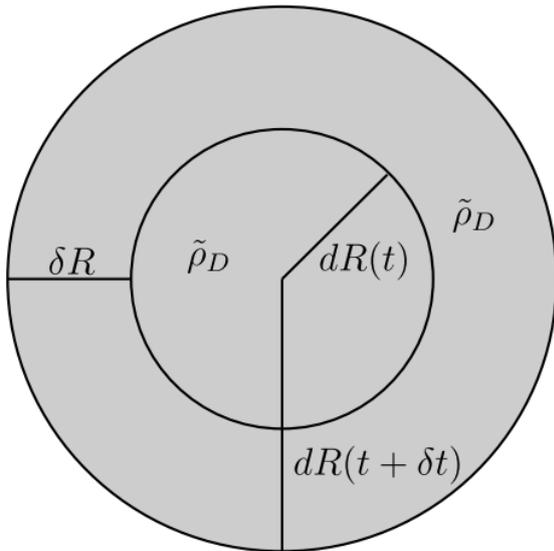


Fig. 5: Droplet model: A droplet with radius $dR(t)$ forms additional vacuum according to quantum gravity and corresponding to the expansion of space in the universe. Simultaneously, the droplet loses vacuum, as the vacuum propagates at the velocity of light. We consider the droplet in possibly higher dimensional space or surroundings, so there is no flow of vacuum into the droplet that could compensate for the outflow. If the formation of vacuum in the droplet exceeds the outflow of vacuum from the droplet, then the droplet is stable and the corresponding dimension can form via the growth of such droplets.

So far, these phase transitions have been derived by four methods: a van der Waals type analysis of two objects (see e. g. Carmesin 2017, 2018a-c, van der Waals 1873), a transition in a Bose gas (see e. g.

Carmesin 2021a, Bose 1924, Sawitzki and Carmesin 2021), a phase transition of connections (see e. g. Carmesin 2021a) and a theory of the dark energy (see e. g. Carmesin 2018a-c, 2021a-b).

In this paper, we apply the droplet model to provide a fifth derivation of the phase transitions in the early universe. The droplet model is a very powerful physical tool, as it provides a very clear and convincing analysis and since it is very intuitive, in addition. Accordingly, droplet models have been used in various fields of science very successfully: in nuclear physics (Gamov 1930, v. Weizsäcker 1935), in fluid dynamics (Sirignano 2009), in biology (Zwicker et al. 2016), in thermodynamics, and hydrodynamics (Sidin 2009), for instance.

2. Droplet Model

In this section, we apply the droplet model to dimensional phase transitions in the early universe. Thereby, we often use Planck units, and we mark these by a tilde (Carmesin 2019a, 2021a).

In our droplet model, a droplet represents a ball in D dimensional space, see Fig. (2). We analyse the change δR of the radius $dR(t)$ of the droplet during a time interval δt , see Fig. (2). Accordingly, there occurs a change δV of the volume dV of the droplet. The d in dR should mark that dR can be very small. Similarly, dV can be very small.

Thereby, the volume dV is the volume of the ball at a time t and with a radius dR . Hereby, we denote the volume of a ball with radius one in D dimensions by V_D . So, the volume of the ball is as follows:

$$dV(t) = V_D \cdot dR(t)^D \quad \{1\}$$

During a time interval δt , the radius of the ball increases by δR . Thus, the new volume of the ball is as follows:

$$dV(t+\delta t) = V_D \cdot (dR+\delta R)^D \quad \{2\}$$

Hence, the volume of the formed vacuum is the volume of the shell in Fig. (2):

$$\begin{aligned} \delta V &= \delta V_{\text{shell}} = dV(t+\delta t) - dV(t) \\ &= V_D \cdot [(dR+\delta R)^D - dR^D] \end{aligned} \quad \{3\}$$

Thence, the formed vacuum gives rise to the following relative increase of the volume of the droplet in Fig. (2):

$$\begin{aligned} \delta V/dV &= V_D \cdot [(dR+\delta R)^D - dR^D] / [V_D \cdot dR^D] \\ &= (1+\delta R/dR)^D - 1 = \varepsilon \end{aligned} \quad \{4\}$$

Hereby and in general, we denote a relative change of volume by ε as follows:

$$\delta V/dV = \varepsilon \quad \{5\}$$

Accordingly, the rate of change of the volume in a time interval δt is the ratio of ε and δt :

$$\text{Rate}(\varepsilon) = \varepsilon/\delta t \quad \{6\}$$

So, the formed vacuum gives rise to the following rate:

$$\text{Rate}(\varepsilon) = [(1+\delta R/dR)^D - 1]/\delta t \quad \{7\}$$

It is well known, according to GRT, that the expansion of space since the Big Bang is caused by the density $\tilde{\rho}_{D=3}$ in three-dimensional space. Similarly, the rate at which vacuum forms is caused by the density $\tilde{\rho}_D$ in D dimensional space. The rate of that formation of vacuum has been derived in the framework of quantum gravity as follows, see equation (3.46) in (Carmesin 2021a):

$$\text{Rate}(\varepsilon_{\text{formation}}) = D^{1/2} \cdot (2 \cdot \tilde{\rho}_D)^{(D-1)/4} / \delta t \quad \{8\}$$

The vacuum formed in the droplet propagates at the velocity of light c , as otherwise, it would be possible to measure a velocity $v < c$ of an object relative to the vacuum. However, it is impossible to measure such a velocity $v < c$ relative to the vacuum or relative to space, according to relativity (Einstein 1905, Carmesin 2019a, 2021a, 2018a-c). So, the vacuum propagates outwards out of the droplet, see Fig. (2), at the velocity c . Thus, the vacuum propagating outwards fills a shell with the following thickness:

$$\delta R = c \cdot \delta t \quad \{9\}$$

So, the droplet with radius dR becomes a droplet with radius $dR - \delta R$. Hence the volume moving outwards is as follows:

$$\delta V = \delta V_{\text{shell}} = V_D \cdot [dR^D - (dR - \delta R)^D]$$

Thence, the vacuum propagating outwards has the following relative volume:

$$\begin{aligned} \delta V/dV &= V_D \cdot [dR^D - (dR - \delta R)^D] / [V_D \cdot dR^D] \\ &= 1 - (1 - \delta R/dR)^D = \varepsilon_{\text{out}} \end{aligned} \quad \{10\}$$

Thus, the corresponding rate is as follows:

$$\text{Rate}(\varepsilon_{\text{out}}) = [1 - (1 - \delta R/dR)^D] / \delta t \quad \{11\}$$

At the critical density $\tilde{\rho}_{D,c}$, the droplet just begins to grow. At this begin of growth of the droplet, the rate of outflowing vacuum $\text{Rate}(\varepsilon_{\text{out}})$ is equal to the rate of formation of vacuum $\text{Rate}(\varepsilon_{\text{formation}})$:

$$\begin{aligned} \text{Rate}(\varepsilon_{\text{out}}) &= [1 - (1 - \delta R/dR)^D] / \delta t \\ &= D^{1/2} \cdot (2 \cdot \tilde{\rho}_{D,c})^{(D-1)/4} / \delta t = \text{Rate}(\varepsilon_{\text{formation}}) \end{aligned} \quad \{12\}$$

That equation is solved for $(2 \cdot \tilde{\rho}_{D,c})$ as follows:

$$2 \cdot \tilde{\rho}_{D,c} = [1 - (1 - \delta R/dR)^D]^{4/(D-1)} \cdot D^{-2/(D-1)} \quad \{13\}$$

For simplicity, we apply the abbreviations $q = \delta R/dR$ and $x = 2 \cdot \tilde{\rho}_{D,c}$. So the equation for the critical density is as follows:

$$x = [1 - (1 - q)^D]^{4/(D-1)} \cdot D^{-2/(D-1)}$$

$$\text{with } x = 2 \cdot \tilde{\rho}_{D,c} \quad \text{and } q = \delta R/dR \quad \{14\}$$

Next, we analyse the time evolution of the density, see Fig. (1).

3. Calculations of the critical densities

In this section, we use Eq. {14} to calculate the critical densities for different droplet radii dR in which they become unstable. For it, we start by using the biggest droplet with the radius $dR = R_{\text{lh}}$ of the light horizon radius so we can analyse the critical densities of the universe. Because we want to compare the results of this droplet with the whole spectrum of droplets, we also calculate the critical densities of the smallest droplet with the radius dR of one Planck length. Moreover, we examine some further examples with a relative thickness q of the shell (see Eqs. {15,16}) of 0.5, 0.25, 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} , and 10^{-5} to have a greater spectrum of droplets to compare with. So, we obtain the radius:

$$dR = \frac{\delta R}{q} \quad \{15\}$$

In particular, we may imagine the case $\delta R = L_P$. So, the radius is as follows:

$$d\tilde{R} = \frac{dR}{L_P} = \frac{1}{q} \quad \{16\}$$

constants:

q	1
D	x
3	3.33E-01
4	3.97E-01
5	4.47E-01

Fig. 6: Part of the spreadsheet used to calculate critical densities at dimension D . For instance, for the case $q = 1$.

Here and in the following, we mark a quantity by a tilde, if that quantity is represented in Planck units. For calculating the different critical densities to every chosen droplet, for each dimension, we use a Microsoft Excel spreadsheet (Fig. 6), where we include Eq. {14} and use the chosen droplets as a function of the variable q . Furthermore, we represent the scaled critical densities x as a function of the dimension D (Fig. 4).

Fig. (7) shows that relatively small droplet radii $d\tilde{R} = \frac{1}{q}$ have relatively high critical densities for every dimension. In particular, the time evolution of the droplet with the size of the light horizon corresponds to the smallest droplets in the early universe, while it corresponds to the largest droplets in the late universe.

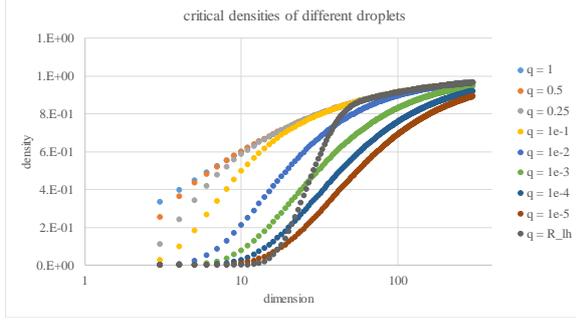


Fig. 7: Scaled critical densities x as a function of the dimension D for various relative thicknesses q .

4. Geometry of the vacuum droplets

The light horizon radius corresponds to different droplet sizes at different times, according to the dynamics based on the geometry and the characteristics of the vacuum. One of these dynamics is described by the vacuum outflow, flowing into every space direction. At a dimensional transition, the number of these directions changes, see Fig. (8).

So, the directions of the vacuum outflow and the emitting vacuum change too. These dynamics have an impact on the stability of the droplet. The second dynamics are based on the fact, that mass or dynamical mass creates vacuum. Since the vacuum has this characteristic too, the vacuum droplets grow through their own mass or dynamical mass. This increases the stability of a droplet. In combination these two dynamic effects are balanced at the critical density or droplet radius. Because vacuum droplets at high dimension have many space directions, they have a relatively small size combined with a relatively big surface. Thus, such small droplets are stable at high density only. At low dimension these dynamics can stabilize only big droplets. So, when the density decreases during the time evolution after the Big Bang, then there occur dimensional transitions at which a high dimensional droplet changes to a low dimensional droplet. Hereby, the low dimensional droplet can be interpreted as a sheet, compared to the high dimensional droplet, see Fig. (8). In this sense, the transition can be interpreted as a delamination of droplets. The inverse transition can be interpreted as a lamination of droplets. In this manner, dimensional transitions can occur.

5. Solution of the Horizon Problem

In this section, we solve the horizon problem. For it, we analyse the path propagated by light and the radius of the light horizon as a function of time. The radius is related to the density. Accordingly, we derive the scaled density x as a function of time. For this purpose, we apply a generalized version of the

Friedmann-Lemaitre equation, see equation (2.424) in (Carmesin 2019a):

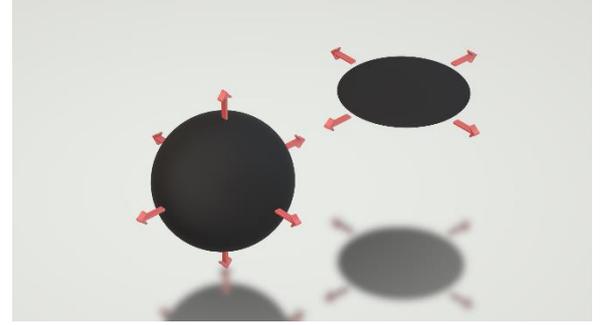


Fig. 8: The directions of the vacuum outflow, symbolized for the physically possible three-dimensional space and for the physically impossible two-dimensional space.

$$\frac{dx}{dt} = -(D + 1) \cdot x^{\frac{D^2+5D+6}{4D+4}} \quad \{17\}$$

We abbreviate the exponent by b :

$$\frac{dx}{dt} = -(D + 1) \cdot x^b \quad \{18\}$$

Now we separate the variables. For it, we multiply by dt and divide by x^b :

$$\frac{dx}{x^b} = -(D + 1) \cdot dt \quad \{19\}$$

Next, we form the indefinite integral:

$$\int \frac{dx}{x^b} = \int -(D + 1) \cdot dt \quad \{20\}$$

We evaluate both integrals:

$$\frac{1}{-b+1} \cdot x^{-b+1} = -(D + 1) \cdot t \quad \{21\}$$

Subsequently, we simplify:

$$x^{-b+1} = -(D + 1) \cdot (b - 1) \cdot t \quad \{22\}$$

Next, we abbreviate the exponent by a , $a = -b + 1$, and we abbreviate the term $-(D + 1) \cdot (b - 1)$ by d , $d = -(D + 1) \cdot (b - 1)$. So, we get the two invariants a and d at each dimension D . Thus, we derive the following equation:

$$x^a = d \times t \quad \{23\}$$

We divide by t :

$$\frac{x^a}{t} = d \quad \{24\}$$

We consider this equation for a time t_1 and a corresponding scaled density x_1 as well as for a time t_2 and a corresponding scaled density x_2 . Using the invariant d , we derived the following equation:

$$\frac{x_1^a}{t_1} = d = \frac{x_2^a}{t_2} \quad \{25\}$$

Subsequently, we can use the reciprocal fractions, and multiply by x_1^a :

$$\frac{t_1}{x_1^a} = \frac{t_2}{x_2^a} \quad \{26\}$$

$$t_1 = \frac{t_2 \cdot x_{t_1}^a}{x_{t_2}^a} \quad \{27\}$$

Finally, we express the equation as follows:

$$t_1 = t_2 \cdot \left(\frac{x_{t_1}}{x_{t_2}}\right)^a \quad \{28\}$$

Next, we derive the path ds propagated by light during a time dt :

$$ds = c \cdot dt \quad \{29\}$$

We apply that Eq. to the time interval dt starting at the time of the last phase transition t_1 and ending at the time of the next dimensional phase transition t_2 :

$$dt = t_2 - t_1 \quad \{30\}$$

Subsequently, we derive the expansion of the path ds as a consequence of the expansion of the universe. In the present case, the expansion takes place during the time interval starting at t_1 and ending at the present-day time t_0 . Accordingly, we multiply the distance $ds(t_1) = ds_1$ by the ratio of the present-day radius of the light horizon, $R_{lh}(t_0) = R_{lh,0}$, and the radius of the light horizon at that time t_1 of the interval dt , $R_{lh}(t_1) = R_{lh,1}$. So, we use the following equation:

$$ds_{1,expanded} = ds_1 \cdot \frac{R_{lh,0}}{R_{lh,1}} \quad \{31\}$$

We integrate equation {31}:

$$\int ds_{1,expanded} = \int ds \cdot \frac{R_{lh,0}}{R_{lh,1}} \quad \{32\}$$

We evaluate both integrals. Because the interval dt between two phase transitions is relatively small, the ratio is approximately constant and we obtain the following equation:

$$s_{2,expanded} - s_{1,expanded} = c(t_2 - t_1) \frac{R_{lh,0}}{R_{lh,1}} \quad \{33\}$$

In order to calculate the distance $s_{total,2}$ at a time t_2 , we add the additional distance $s_{2,expanded} - s_{1,expanded}$ to $s_{total,1}$:

$$s_{total,2} = s_{total,1} + s_{2,expanded} - s_{1,expanded} \quad \{34\}$$

In order to calculate the fraction in the above equation, we analyse the present-day light horizon and the values at earlier times, according to the expansion of the universe: For the case of a constant mass, the following relation holds:

$$R_{lh,1}^D \cdot x_1 = R_{lh,2}^D \cdot x_2 \quad \{35\}$$

However, in the early universe, the space was filled with radiation. Accordingly, the density x_1 is proportional to the radius $R_{lh,1}^{-(D+1)}$, corresponding to the redshift. So, the following equation holds:

$$R_{lh,1}^{D+1} \cdot x_1 = R_{lh,2}^{D+1} \cdot x_2 \quad \{36\}$$

Subsequently, we solve for $R_{lh,1}$:

$$R_{lh,1} = R_{lh,2} \cdot \left(\frac{x_2}{x_1}\right)^{\frac{1}{(D+1)}} \quad \{37\}$$



Fig. 9: Cubic model of the light horizon at the dimension $D = 3$. A ball has the radius L_P . The light horizon is the distance between the centres of balls of both ends. So, the light horizon corresponds to two L_P , see (Schöneberg and Carmesin 2020).

Since the calculations depend on an earlier value of the light horizon radius, it is necessary to know the first value. Observable objects are limited by the Planck scale. So, the light horizon radius cannot be smaller than two observable objects, see Fig. (9) (Schöneberg and Carmesin 2020).

So, for the first phase transition we apply the following equation:

$$\tilde{R}_{lh,300} = 2 \cdot \left(\frac{x_{300}}{x_{301}}\right)^{\frac{1}{(300+1)}} \quad \{38\}$$

However, because of the speed of light, the length of two Planck lengths can only be reached in two Planck times. So, accordingly the time of the first phase transition has to be $t_{301} = 2$ Planck times. For example, t_{300} is calculated as follows, see equation {28}:

$$\tilde{t}_{300} = 2 \cdot \left(\frac{x_{t_{300}}}{x_{t_{301}}}\right)^a \quad \{39\}$$

The possible radii of the droplets range from the Planck length to the light horizon. In the following, we perform two investigations: (1) The time evolution of the distance achieved by light for the case of the smallest droplet, and (2) the time evolution of the distance achieved by light for the case of the largest droplet. We develop a spreadsheet in order to perform investigation (1) and investigation (2), see Figs. (10 until 11).

D	x	\tilde{t}	\tilde{R}_{lh}	s_expanded	s_total
3		2.51E+56	2.56E+58	7.53E+64	3.39E+69
3		4.41E+50	2.56E+55	1.32E+62	3.39E+69
3		4.41E+44	2.56E+52	1.32E+59	3.39E+69
break in table					
299	9.62E-01	2.03E+00	2.00E+00	6.14E+64	7.81E+66
300	9.63E-01	2.02E+00	2.00E+00	6.08E+64	7.75E+66
301	9.63E-01	2.00E+00	2.00E+00	7.69E+66	7.69E+66

Fig. 10: Investigation (1) of the smallest droplet: Part of the spreadsheet to calculate the light horizon radius \tilde{R}_{lh} and the distance covered by light s_{total} based on the scaled critical densities x , the time \tilde{t} and dimension D for the smallest droplet radius.

In this table we calculate recursively beginning at the highest dimension $D = 301$ and leading to the lowest dimension $D = 3$. We present the dimensions in column 1, see Fig. (10). Secondly, for each dimension D , we calculate the scaled critical density x according to equation {14} and present the result in column 2, see Fig. (10). Thirdly, for dimension $D = 301$, we apply two Planck times according to equation {39}. The times are presented in column 3, and the unit is the Planck time. Fourthly, for dimension $D = 300$, we calculate the time according to equation {28} by using the time of dimension $D = 301$. Fifthly, and for each dimension $D < 300$, we calculate the time t recursively according to equation {28}. Sixthly, for dimension $D = 301$, we apply the light horizon at the Planck scale $R_{lh,301} = 2$ Planck lengths according to equation {38}. These radii are presented in column 4, and the unit is the Planck length. Seventhly, for dimension $D = 300$, we calculate the length according to equation {37} by using the value of the light horizon radius of dimension $D = 301$. Eighthly, and for each dimension $D < 300$, we calculate the radius R_{lh} recursively according to equation {37}. Ninthly, we determine the distance achieved by light in two steps. First, we evaluate all distances between two phase transitions by using equation {33}, see column 5 in Fig. (10). Thereby, we use the values of column 4 according to equation {33}. Next, we determine the complete path covered by light by calculating the total of all of these paths, according to equation {34}. The results are presented in column 6, see Fig. (10).

Tenthly, for the expansion of the universe in three-dimensional space, we proceed as follows:

(10a) We take the time values corresponding to Fig. (2.23) in (Carmesin 2019a).

(10b) We take the values of the light horizon radius corresponding to Fig. (2.23) in (Carmesin 2019a).

(10c) We calculate s_{total} according to equation {34}. Investigation (1) of the smallest droplet as well as investigation (2) of the largest droplet, see Figs. (7-

10) show that the total distance achieved by light is essentially larger than the light horizon radius. Moreover, we performed additional investigations with intermediate droplet sizes, whereby we obtained the same result:

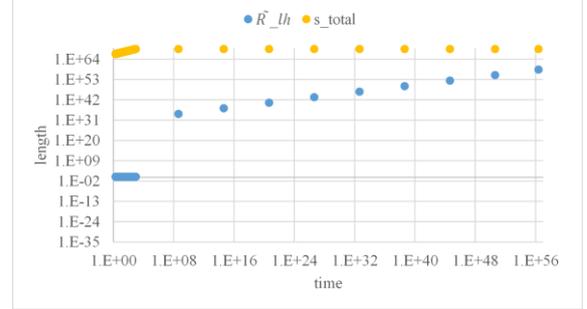


Fig. 11: Investigation (1) of the smallest droplet: Radius \tilde{R}_{lh} and the distance covered by light s_{total} as a function of time \tilde{t} .

D	x	\tilde{t}	\tilde{R}_{lh}	s_expanded	s_total
3	2.26E-60	4.91E+77	3.04E+12	1.24E+132	1.24E+132
4	3.98E-30	1.68E+51	8.34E+04	1.55E+113	1.55E+113
5	3.38E-18	1.27E+38	3.43E+02	2.85E+102	2.85E+102
break in table					
299	9.62E-01	2.03E+00	2.00E+00	6.14E+64	7.81E+66
300	9.63E-01	2.02E+00	2.00E+00	6.08E+64	7.75E+66
301	9.63E-01	2.00E+00	2.00E+00	7.69E+66	7.69E+66

Fig. 12: Investigation (2) of the largest droplet: Part of the Spreadsheet to calculate the light horizon radius \tilde{R}_{lh} and the distance covered by light s_{total} based on the scaled critical densities x , the time \tilde{t} and dimension D for the droplet with the radius of the light horizon radius.

The total distance achieved by light is essentially larger than the light horizon radius. Altogether, our numerical studies show in a convincing manner that the horizon problem is solved in the framework of our droplet model.

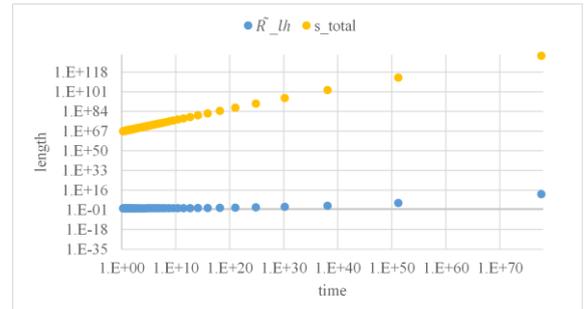


Fig. 13: Investigation (2) of the largest droplet: Radius \tilde{R}_{lh} and the distance achieved by light s_{total} as a function of time \tilde{t} .

6. Experience with teaching

In our research club, we provide a combination as follows: A first partition provides the possibility to perform a research project in a coached and overseen manner. A second partition provides a course on quantum gravity, see Carmesin 2021f. In the second partition, the students are enabled to describe and discuss the presented derivations. Additionally,

the students can develop skills in that course. Some students of the second partition perform a research project. Hereby, they have the choice to perform the project on their own, or to perform a combined project with the teacher. In the latter case, the parts of student and teacher are clearly separated.

In the first partition of the research club, the students can choose topics different from quantum gravity, and most students do so.

Moreover, students can present their results in a public astronomy evening at the assembly hall.

Altogether, in that system, many students improved their skills significantly and achieved good results at the public presentations, at the discussions in the course and in the Jugend forscht competitions, see e. g. Carmesin (2021f).

7. Conclusion

In this paper, we address the incompleteness problem that the continuous expansion of space since the Big Bang, according to general relativity theory, does not describe the complete time evolution of the light horizon ranging from the Planck scale to the present-day light horizon, see Fig. (1).

That problem has been solved by a series of discontinuous phase transitions in the early universe (Carmesin 2019a, 2021a). While these phase transitions have been modeled by four methods so far, we present a fifth model: the droplet model. This model has essential advantages: it is intuitive, robust, can be solved exactly, and it has already been applied successfully in various fields of science.

We base our analysis on the basic dynamics of the vacuum (Carmesin 2019a, 2021a, 2022a). With it, we derive the critical densities for phase transitions as a function of the radius of the droplets in equation {14} and Fig. (7). Using these critical densities, we derive the time evolution of distances achieved in the universe by propagating light. We show that these distances are large compared to the light horizon, so that the light was able to thermalize the universe. In this manner we solve the horizon problem in addition to our solution of the incompleteness problem.

The experience with teaching shows that advanced students can use the combination of course and project, in order to achieve especially innovative results. Moreover, that system provides a high degree of individual learning: Students can choose a project according to their individual interests. Students can choose a presentation at the astronomy evening, without Jugend forscht competition or with competi-

tion. Students can choose the additional course and a corresponding project, so that synergies arise. Students can perform a project on their own, in a team with students or in a team with the teacher, only depending on their individual interests.

8. Literature

- Abbott, T. M. C. et al. (2020). Dark Energy Survey Year 1 Results: Cosmological Constraints from Galaxy Clustering and Weak Lensing, *Phys. Rev. D*, 102, pp 1-34.
- Addison, G. E. et al. (2018). Elucidating Λ CDM: Impact of Baryon Acoustic Oscillation Measurements on the Hubble Constant Discrepancy, *ApJ*, 853(2), pp 1-12.
- Birrer, S. et al. (2020). TDCOSMO: IV. Hierarchical time-delay cosmography - joint inference of the Hubble constant and galaxy density profiles. *Astronomy and Astrophysics*, 643, pp. 1-40.
- Blakeslee, J. P. et al. (2021). The Hubble Constant from Infrared Surface Brightness Fluctuation Distances, *The Astrophysical Journal*, 911(65), pp 1-12.
- Bose, S. (1924). Plancks Gesetz und Lichtquantenhypothese, *Z. f. Physik*, 26, pp 178-181.
- Broy, Benedict Johannes (2016). *Inflation and effective Shift Symmetries*. Hamburg, University Hamburg.
- Carmesin, Hans-Otto (2017): *Vom Big Bang bis heute mit Gravitation – Model for the Dynamics of Space*. Berlin: Verlag Dr. Köster.
- Carmesin, Hans-Otto (2018a). *Universal Model for the Dynamics of Space, Dark Matter and Dark Energy*. Berlin: Verlag Dr. Köster.
- Carmesin, Hans-Otto (2018b). *Theory for the Emergence of Space, Dark matter, Dark Energy and Space-Time*. Berlin: Verlag Dr. Köster.
- Carmesin, Hans-Otto (2018c): *A Model for the Dynamics of Space - Expedition to the Early Universe*. *PhyDid B Internet Journal*, pp. = 1-9.
- Carmesin, Hans-Otto (2019a): *Die Grundschwingungen des Universums - The Cosmic Unification*. Berlin: Verlag Dr. Köster.
- Carmesin, Hans-Otto (2019b): *A Novel Equivalence Principle for Quantum Gravity*. *PhyDid B*, pp. 17-25.
- Carmesin, Hans-Otto (2020a): *The Universe Developing from Zero-Point-Energy - Discovered by Making Photos, Experiments and Calculations*. Berlin: Verlag Dr. Köster.
- Carmesin, Hans-Otto (2020b): *Explanation of the Rapid Enlargement of Distances in the Early Universe*. *PhyDid B*, p. 1-9.
- Carmesin, Hans-Otto (2021a). *Quanta of Spacetime Explain Observations, Dark Energy, Graviton and Nonlocality*. Berlin: Verlag Dr. Köster.
- Carmesin, Hans-Otto (2021b). *Cosmological and Elementary Particles Explained by Quantum Gravity*. Berlin: Verlag Dr. Köster.

- Carmesin, Hans-Otto (2021c). Physical Explanation of the H_0 – Tension. *International Journal of Engineering and Science Invention (IJESI)*, 10(8) II, pp 34-38. Doi:10.35629/6734-1008023438
- Carmesin, Hans-Otto (2021d). *The Elementary Charge Explained by Quantum Gravity*. Berlin: Verlag Dr. Köster.
- Carmesin, Hans-Otto (2021e): *The Origin of the Energy*. *PhyDid B*, p. 29-34.
- Carmesin, Hans-Otto (2021f): *Lernende erkunden die Raumzeit*. *Der Mathematikunterricht* 67(2), pp 47-56.
- Carmesin, Hans-Otto (2022a). *Quantum Physics Explained by Gravity and Relativity*. Berlin: Verlag Dr. Köster.
- Carmesin, Hans-Otto (2022b). *The Electroweak Interaction Explained by and Derived from Gravity and Relativity*. Berlin: Verlag Dr. Köster.
- Carmesin, Hans-Otto (2022c). Geometric Derivation of the Spectrum of Vacuum. *International Journal of Engineering and Science Invention (IJESI)*, 11(4) I, pp 1-11. Doi:10.35629/6734-1104010111
- Efstathiou, G. et al. (Planck Collaboration) (2020). *Planck 2018 results VI. Cosmological parameters*, *Astronomy and Astrophysics*, 641(A6), pp 1-67.
- Einstein, Albert (1905). *Zur Elektrodynamik bewegter Körper*. *Annalen der Physik*, 17, pp 891-921.
- Einstein, A. (1915). *Die Feldgleichungen der Gravitation*, *Sitzungsberichte der Königlich Preußischen Akademie der Wissenschaften*, 1915, 844-847.
- Einstein, A. (1917). *Kosmologische Betrachtungen zur allgemeinen Relativitätstheorie*, *Sitzungsberichte der Königlich Preußischen Akademie der Wissenschaften*, pp 142-152.
- Elster, Doris (2010). *Zum Interesse Jugendlicher an den Naturwissenschaften. Ergebnisse der ROSE Erhebung aus Deutschland und Österreich*. Online-Publication: Shaker.
- Escamilla-Rivera, C. and Najera, A. (2021). *Dynamical dark energy models in the light of gravitational-wave transient catalogues*, *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics* 2022(3), pp 60-85.
- Franke, Michael; Gruschka, Andreas (1996). *Didaktische Bilder als Bilder der Didaktik*. *Pädagogische Korrespondenz* 17, pp 52-62.
- Gamov, G. (1930). *Mass Defect Curve and Nuclear Constitution*, *Proceedings of The Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 126, pp 632-644.
- Guth, Alan (1981). *Inflationary universe: A possible solution to the horizon and flatness problems*, *Physical Review D* 23, pp 347-356.
- Hubble, E. (1929). *A relation between distance and radial velocity among extra-galactic nebulae*, *Proc. of National Acad. of Sciences*, 15, pp 168-173.
- Jenkins, E.W. and Pell, R.G. (2006) *The Relevance of Science Education Project (ROSE) in England: a summary of findings*. Centre for Studies in Science and Mathematics Education, University of Leeds.
- Landsman, Klass (2016). *The Fine-Tuning Argument: Exploring the Improbability of Our Existence*. Berlin: Springer.
- Lohse, M. et al. (2018). *Exploring 4D Quantum Hall Physics with a 2D Topological Charge Pump*. *Nature* 553, pp 55-58.
- Penzias, A. and Wilson, R. W. (1965). *A measurement of excess antenna temperature at 4080 Mc/s*, *Astrophysical Journal Letters*, 142, pp 419-421.
- Pesce, D. W. et al. (2020). *The megamaser cosmology project: XIII. Combined Hubble constant constraints*, *Astrophysical Journal Letters*, 891, pp L1.
- Philcox, O. Ivanov, M., Simonovic, M. and Zaldarriaga, M. (2020). *Combining Full-Shape and BAO Analyses of Galaxy Power Spectra: A 1.6 % CMB-Independent Constraint on H_0* , arXiv, 2002.04035v3, pp 1-42.
- Pössel, Markus (2015). *Studien zum Interesse von Schüler/innen an Astronomie*. Online-Publikation: Spektrum.
- Riess, A. G. et al. (2021). *Cosmic Distances Calibrated at 1 % Precision with Gaia EDR3 Parallaxes and Hubble Space Telescope Photometry of 75 Milky Way Cepheids Confirm Tension with Λ CDM*, *The Astrophysical Journal Letters*, 908(L6), pp 1-11.
- Riess, A. G. et al. (2016). *A 2.4 % Determination of the Local Value of the Hubble Constant*, *The Astrophysical Journal*, 826(1), pp 1-65.
- Suzuki, N. et al. (2011). *The Hubble Space Telescope Cluster Supernova Survey: V. Improving the Dark Energy Constraints above $z > 1$ and Building an Early-Type-Hosted Supernova Sample*, *ApJ*, 746, pp 85-105.
- Sawitzki, Paul and Carmesin, Hans-Otto (2021): *Dimensional Transitions in a Bose Gas*. *PhyDid B*, p. 53-59.
- Schöneberg, Philipp and Carmesin, Hans-Otto (2020). *Solution of a Density Problem in the Early Universe*. *PhyDid B*, pp 43-46.
- Schöneberg, Philipp and Carmesin, Hans-Otto (2021): *Solution of the Horizon Problem*. *PhyDid B*, p. 61-64.
- Sirignano, W. A. (2009). *Fluid Dynamics and Transport of Droplets and Sprays*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Sidin, R. S. R. (2009). *Droplet size distribution in condensing flow*. Enschede: University of Twente.
- van der Waals, J. D. (1873). *Over de Continuïteit van den gas- en vloeistofoestand*, Leiden: Sijthoff.
- v. Weizsäcker, C. F. (1935). *Zur Theorie der Kernmassen*, *Zeitschrift f. Physik A*, 96, pp 431-458.
- Wirtz, C. (1924). *Aus der Statistik der Spiralnebel*, *Astronomische Nachrichten*, 222, pp 33-48.

Zilberberg, O. et al. (2018). Photonic topological pumping through the edges of a dynamical four-dimensional quantum Hall system. *Nature* 553, pp 59-63.

Zwicker, D. et al. (2016). Growth and division of active droplets provides a model for protocells, *Nature Physics*, 13, pp 408-414.

9. Acknowledgements

We thank Paul Sawitzki, Jonas Lieber, Kimberly Böttcher and Matthias Carmesin for interesting discussions and I. Carmesin for helpful discussions and proofreading the manuscript. We thank Daphne Carmesin for proofreading the manuscript.

Entwicklung und Evaluation eines Optikprojekts zu Schülervorstellungen in der Primarstufe

Linda Seufert, Wolfgang Lutz, Thomas Trefzger

Julius-Maximilians-Universität Würzburg
linda.seufert1@stud-mail.uni-wuerzburg.de, wolfgang.lutz@physik.uni-wuerzburg.de,
thomas.trefzger@physik.uni-wuerzburg.de

Kurzfassung

Bereits in der Grundschule bringen die Schüler:innen Präkonzepte zu physikalischen Phänomenen aus der Optik mit in den Unterricht, beispielsweise zum Sehvorgang oder dem Wahrnehmen von Farben. Um ihnen möglichst frühzeitig ein anschlussfähiges Konzept an die Hand zu geben, sollten physikalische Inhalte zur Optik bereits im Sachunterricht der Primarstufe behandelt werden. Die Entwicklung eines konzeptionellen Verständnisses stellt dabei ein zentrales Ziel des Unterrichts dar und kann durch verschiedene Experimente und Visualisierungen unterstützt werden. Vor diesem Hintergrund wurde für die vierte Jahrgangsstufe eine Unterrichtskonzeption zum Sehvorgang sowie zum Thema Licht & Farben entwickelt und in einer Intervention erprobt. Mit Hilfe von Interviews wurden die Vorstellungen der Schüler:innen zu dieser Thematik sowohl vor als auch nach der Intervention erhoben. Im Beitrag werden die Unterrichtskonzeption, die zugrundeliegenden didaktischen Überlegungen und die verwendeten Materialien vorgestellt sowie Einblicke in die Erkenntnisse aus den Interviews gegeben.

1. Physik in der Grundschule

“Wenn es hell ist, ... und es nicht dunkel ist. Dass man dann rausgucken kann oder die Welt angucken kann.” Dies ist die Antwort eines Kindes einer vierten Jahrgangsstufe auf die Frage: “Wann können wir etwas sehen?”. Schon vor der Schulzeit erkunden Kinder ihre Umwelt und finden eigene Erklärungsansätze für ihre Entdeckungen, die sich allerdings häufig nicht mit den physikalischen Sichtweisen decken. Somit bringen die Schüler:innen bereits in der Primarstufe ihre selbst konstruierten Präkonzepte zu physikalischen Vorgängen und Phänomenen mit in den Unterricht (ISB, 2014) und verarbeiten die neu angebotenen Informationen auf der Grundlage ihrer eigenen Vorerfahrungen (Schecker & Duit, 2018). Diese aus dem Alltag und der Lebenswelt der Schüler:innen abgeleiteten Vorstellungen werden in der Grundschule allerdings nur selten aufgegriffen, sodass die Kinder “den Übergang von der Primarstufe zur Sekundarstufe als Bruch erleben” (Wodzinski, 2020, S. 575). Dies liegt primär an zwei Veränderungen. Zum einen ändert sich die Art des Unterrichts. Dieser ist in der Sekundarstufe üblicherweise eher unpersönlich und weniger handlungsorientiert (Tytler et al. 2008, Walper et al. 2016, zit. nach Wodzinski, 2020). Zum anderen kommen für die Schüler:innen neue Fächer hinzu, zu denen ihnen Vorerfahrungen durch mangelnde Behandlung in der Primarstufe fehlen. Um daher den Kindern möglichst früh anschlussfähige Konzepte für naturwissenschaftliche Themen an die Hand zu geben und einen späteren Bruch beim Übertritt zu vermeiden, sollten physikalische Inhalte schon in der

Grundschule aufgegriffen werden (Mikelskis-Seifert & Wiebel, 2011). Einen Rahmen hierzu bietet der Sachunterricht, in dem sich die Kinder neben sozialen und kulturellen Aspekten auch naturwissenschaftliche Phänomene ihrer Umwelt eigenständig erschließen sollen (GDSU, 2013). Einen Schwerpunkt für diese naturwissenschaftliche Bildung der Grundschüler:innen bildet “das Wahrnehmen, Erkennen und zunehmende Verstehen von Phänomenen der lebenden und nicht lebenden Natur unter Nutzung und Anwendung grundlegender [...] physikalischer Konzepte und Zusammenhänge” (ebd., S. 38). Die Optik bietet sich durch zahlreiche Experimente zum Sehvorgang, zu Licht und Farben in einer besonderen Weise zum phänomenologischen Erforschen von Sachverhalten an und bildet die Grundlage für ein Forschungsprojekt in der vierten Jahrgangsstufe. Vor diesem Hintergrund wurde ausgehend von den aus der Literatur bekannten Präkonzepten ein Optiklehrgang für die Primarstufe entwickelt und in einer Intervention mit einer vierten Klasse erprobt. Mit Hilfe von Interviews wurden dabei die Vorstellungen der Schüler:innen zu den genannten Themen in einem Pre-Post-Design erhoben. Im Folgenden wird zuerst ein Überblick über typische Schülervorstellungen zu optischen Phänomenen gegeben. Danach werden die bei der Entwicklung der Unterrichtskonzeption relevanten theoretischen und didaktischen Grundlagen vorgestellt und anschließend der Unterrichtsverlauf skizziert. Abschließend werden die Ergebnisse der Interviews präsentiert und diskutiert.

2. Schülervorstellungen zu ausgewählten Themenbereichen aus der Optik

In der Literatur finden sich zahlreiche Studien zu Schülervorstellungen im Themenbereich der Optik (Haagen-Schützenhöfer & Hopf, 2018), die sich unter anderem mit dem Sehvorgang, Licht und Farben beschäftigen. Im Folgenden werden die wesentlichen Kenntnisse zu diesen Vorstellungen kurz zusammengefasst.

2.1. Sehvorgang

Eine erste Vorstellung zum Sehvorgang ist die des aktiven Auges. Dabei wird davon ausgegangen, dass das Auge über einen Sehstrahl verfügt, mit welchem die Umgebung abgescannt werden kann. Weiterhin wird unter dieser Vorstellung auch das aktive Hinschauen verstanden, was wiederum mit der Blickrichtung gleichgesetzt werden kann. Üblicherweise zeigt sich dieses mentale Modell überwiegend bei jüngeren Kindern, weshalb es gerade für die Primarstufe äußerst relevant ist. (Haagen-Schützenhöfer & Hopf, 2018) Auch Murmann (2001) hat in ihren Untersuchungen in der Primarstufe diese Vorstellung bestätigen können. Für Kinder ist das Sehen eine Aktivität, die als aktive Handlung erlebt wird und daher schwer mit einem passiven Konzept begreifbar gemacht werden kann. In ihrer Kategorisierung findet sich jedoch kein expliziter Sehstrahl, vielmehr wird die Verbindung zwischen Auge und Gegenstand als ein Informationsweg beschrieben, der nötig ist, um die visuellen Informationen vom Objekt zum Betrachtenden zu transportieren.

Im Gegensatz dazu gibt es zwei Präkonzepte, die die Anwesenheit von Licht im Allgemeinen in den Mittelpunkt stellen. Die Vorstellungen beruhen darauf, dass die einzig notwendige Voraussetzung zum Sehen das Vorhandensein von Licht ist. Bei der sogenannten Lichtbadvorstellung steht die Helligkeit im Fokus der Aufmerksamkeit bei gleichzeitigem Vernachlässigen des visuellen Systems. Dabei ist es irrelevant wohin das Licht fällt oder welchen Weg das Licht zurücklegt, ebenso wie der Bezug zu einer sehenden Person. Zentral ist nur, dass es hell sein muss, damit Sehen möglich ist. Ein zweites dazu passendes Konzept ist die Beleuchtungsvorstellung, bei der ein Objekt genau dann sichtbar ist, wenn es mit Licht angestrahlt wird. Ob Licht in das Auge des Beobachters fallen kann, ist dabei irrelevant. Auch eine allumfassende Helligkeit muss hier nicht gegeben sein, denn ein Anleuchten des Objekts scheint für das Sehen ausreichend zu sein. (Haagen-Schützenhöfer & Hopf, 2018)

Dem entgegen steht wiederum die Vorstellung, dass Sehen auch ohne Licht möglich ist. Viele Kinder kennen eine absolute Dunkelheit nicht, da diese Vorstellung im Alltag häufig gar nicht erlebt und dadurch auch nicht widerlegt werden kann (Haagen-Schützenhöfer & Hopf, 2018). Für die Kinder ist also Licht nicht zwangsläufig eine Voraussetzung für das Sehen,

wohingegen das Sehen dennoch häufig mit der Anwesenheit von Licht verknüpft wird (Murmann, 2001).

2.2. Licht

Licht wird von einigen Kindern als "ruhende Helligkeit" (Haagen-Schützenhöfer & Hopf 2018, S. 92) beschrieben, was eine materielle, substanzartige Perspektive erkennen lässt. Sobald eine Lichtquelle eingeschaltet wird, existiert das Licht umgehend in dem entsprechenden Raum, ohne dass eine Ausbreitung von der Lichtquelle erfolgt. Als charakteristische Adjektive für die Erscheinungsform von Licht werden oft farblos, hell und durchsichtig genannt. Sonnenlicht hingegen wird von vielen Kindern als gelb oder orange beschrieben, unter anderem, da sie bereits im Kindergarten lernen, die Sonne und deren Lichtstrahlen mit gelb und orange zu malen. Wird die Ausbreitung des Lichts von einer Quelle erkannt, so überwiegt die Vorstellung des linienförmigen Lichtstrahls, d.h. Licht breitet sich geradlinig in Form von Strahlen aus. Probleme ergeben sich hierbei allerdings dann, wenn es um eine gleichmäßige Ausbreitung in alle Richtungen geht. Diese wird von den Kindern häufig mit dem Strahlenmodell unzureichend erklärt und die korrekte Darstellung, also die Aussendung von jedem Punkt in alle Richtungen, nicht akzeptiert. (Haagen-Schützenhöfer & Hopf 2018)

2.3. Farben

Um die Wahrnehmung von Farben zu verstehen, ist eine spektrale Analyse des Lichts hilfreich. Viele Lernenden wissen beispielsweise nicht, dass sich weißes Licht aus einem breiten Spektrum an Farben zusammensetzt. Dementsprechend bereitet auch die Idee, dass ein Farbfilter nur eine Farbe des Lichts durchlässt und alle übrigen Farben herausfiltert, Lernschwierigkeiten. Die typische Schülervorstellung ist hier, dass dem weißen Licht durch den Farbfilter die entsprechende Farbe hinzugefügt wird, wodurch das Licht eingefärbt wird. Bei Objekten ist die Annahme dominierend, dass die Farbe eine fixe Eigenschaft des jeweiligen Gegenstandes ist, die nicht veränderbar ist. Diese Vorstellung wird sowohl durch alltägliche Erfahrungen als auch durch sprachliche Bezeichnungen gestützt und ist daher sehr stabil und fest verankert. Werden farbige Objekte mit farbigem Licht beleuchtet, erklären viele Kinder dies mit einer Mischvorstellung, vergleichbar mit dem Mischen von Farben auf einer Farbpalette oder mit Hilfe einer Wettkampfvorstellung, bei dem sich die stärkere Farbe durchsetzt. (Haagen-Schützenhöfer & Hopf, 2018)

3. Entwicklung eines Optikprojekts für die Primarstufe

Nach dem Modell der didaktischen Rekonstruktion (Kattmann et al., 1997) bildet die wechselseitige Verbindung zwischen den dargelegten Schülervorstellungen und den fachlichen Perspektiven zu den Themen

Sehvorgang, Licht und Farben die didaktische Strukturierung der Unterrichtssequenz im Projekt. Ziel war es, mit den entwickelten Materialien vorhandene Präkonzepte bei den Schüler:innen bewusst zu adressieren. Darüber hinaus wurden bei der Planung des Projekts weitere Aspekte, wie äußere Bedingungen, Elementarisierung und didaktische Prinzipien berücksichtigt. Grundlage für die Gestaltung der Materialien des Optikprojekts bildete die Unterrichtskonzeption zur Optik für die Sekundarstufe I von Wiesner, Herdt und Engelhardt (1993, zit. nach Wiesner, 1995) und der darauf aufbauende Lehrgang von Haagen-Schützenhöfer, Fehringer & Rottensteiner (2017).

3.1. Didaktische Analyse

Als zentrales Ziel des Projektes wurde der Aufbau eines anschlussfähigen physikalischen Konzepts zum Sehvorgang, von Licht und Farben gesehen, welches bei den Schüler:innen in ihrer späteren Schullaufbahn, aber auch in ihrem alltäglichen Leben Anwendung findet. In diesem Zusammenhang ist eine doppelte Anschlussfähigkeit wichtig, um einerseits an die bisherige Erfahrungswelt und das Vorwissen der Kinder anzuknüpfen und andererseits den Lehrgang auf eine fachliche Auseinandersetzung mit dem Themengebiet hinzuführen (GDSU, 2013). In diesem Spannungsfeld wird die Elementarisierung der Inhalte und die damit zusammenhängende didaktische Rekonstruktion ebendieser festgelegt.

Bei schwierigen und schwer nachvollziehbaren physikalischen Lerninhalten erweist sich häufig eine aufbauende Strategie verbunden mit einer engen Führung durch die Lehrperson als hilfreich. Insbesondere leistungsschwache Schüler:innen können von einer Vorstrukturierung des Unterrichtsstoffes profitieren, da sie darin eine für sie notwendige Orientierung finden und mit offenen Lernformen bzw. freien Entscheidungen überfordert wären. Gerade zu Beginn einer Arbeitsphase profitieren die Schüler:innen von einer kleinschrittigen Instruktion, dem sogenannten Scaffolding, das mit zunehmenden Fähigkeiten und Fertigkeiten reduziert und schließlich vollständig zurückgenommen werden kann (Fading). (Kollar & Fischer, 2019) Aus den genannten Gründen wurde im Optikprojekt der Unterricht durch eine Anleitung der Lehrkraft mit vielen vorgegebenen Arbeitsschritten und Abläufen vorstrukturiert.

Eine Auswahl geeigneter Schlüsselphänomene ist von großer Bedeutung, um physikalische Sichtweisen möglichst nahe an den Kindern und für diese akzeptabel darzustellen (Wiesner, 1995). In der praktischen Umsetzung finden sich für jeden Lerninhalt adaptierte Visualisierungen aus der Lebenswelt der Lernenden, auf die in der nachfolgenden Vorstellung der Materialien noch weiter eingegangen wird. Den roten Faden des Lehrgangs bildet die immer wiederkehrende Aufmerksamkeitszentrierung auf das Licht und die jeweiligen Lichtwege.

Neben den themenspezifischen Grundsätzen nimmt die kognitive Aktivierung der Schüler:innen eine wichtige Schlüsselrolle im Lernprozess ein und kann beispielsweise durch eigenständig durchgeführte Experimente gefördert werden (Drechsel & Schindler, 2019). Gerade in der Grundschule stellt das explorative Forschen im Rahmen eines Phänomenkreises eine gute Möglichkeit dar, damit die Kinder bei unterschiedlichen Experimenten eigene Erfahrungen zu einem Phänomen sammeln können (Spreckelsen, 2004). Ebenfalls zur Basisdimension der kognitiven Aktivierung zählt die adäquate Strukturierung der Unterrichtsinhalte, beispielsweise durch eine deutliche Verbalisierung der Lerninhalte und der Verwendung eines an die Lerngruppe angepassten Fachvokabulars (Lipowsky, 2007, zit. nach Drechsel & Schindler, 2019).

3.2. Beschreibung des Optik-Lehrgangs

Das Projekt gliedert sich in insgesamt drei Sequenzen. Zu Beginn wird die Bedeutung des Lichts für das Sehen verdeutlicht. Die elementare Sinneinheit dieser Sequenz lautet: Um sehen zu können, muss Licht in das Auge fallen. In der zweiten Lerneinheit werden Reflexion, Streuung und Absorption thematisiert. Der für diesen Abschnitt zentrale Wissensbaustein lautet: Licht kann zurückgeworfen und geschluckt werden. Eine Überleitung zur dritten Einheit und dem Thema Farben findet durch die Aufspaltung des weißen Lichts in seine Spektralfarben statt, wobei auf eine physikalische Begründung dieses Phänomens aufgrund der Komplexität verzichtet wird. Vielmehr geht es um die Feststellung, dass in weißem Licht alle Farben des Regenbogens enthalten sind. Daran anknüpfend werden Farbfilter untersucht, die nur einen bestimmten Teil des Spektrums transmittieren. Die zentrale Aussage dazu lautet: Ein Filter lässt nur bestimmte Farben des Lichts durch.

Die erste Unterrichtseinheit beginnt in einem Stuhlkreis mit einem stummen Impuls, indem die Lehrkraft den Raum abdunkelt und kurz darauf in der Mitte des Kreises eine Kerze anzündet. Anschließend wird eine genauere Betrachtung der Ausbreitung des Lichts von der Kerze mit Hilfe von Lichtwegen bis hin zum Auge der Schüler:innen thematisiert. Wird dieser Weg durch ein Stück Pappe unterbrochen, ist ein Sehen der Kerze nicht mehr möglich. Das von einem Gegenstand ausgehende und ins Auge des Betrachters fallende Licht wird somit als zentrale Voraussetzung für den Sehvorgang herausgearbeitet.

Daran anknüpfend wird in der zweiten Sequenz die geradlinige Ausbreitung von Licht in einem Experiment mit Hilfe eines Laserpointers und Kreidestaub demonstriert. Darauf aufbauend wird das Phänomen der Reflexion eingeführt, indem ein Spiegel mit dem Laser beleuchtet wird und sowohl der Verlauf des einfallenden, als auch des reflektierten Lichts durch den Staub sichtbar gemacht werden. Um die Reflexion für die Kinder noch greifbarer zu gestalten, wird der Versuch mit einer gewöhnlichen Taschenlampe

und ohne Kreidestaub wiederholt. An der Wand kann dann das am Spiegel reflektierte Licht als Lichtfleck beobachtet werden. Zur Aktivierung der Schüler:innen wird zwischen den Demonstrationsexperimenten eine Knobelaufgabe zu der Thematik eingebaut. Diese ist als Geschichte aufgezogen, bei der die Polizei einen Dieb nachts im Museum finden muss. Die Kinder bekommen den Auftrag, eine Figur zwischen verschiedenen Gegenständen zu verstecken, sodass die Polizei sie mit einer Taschenlampe nicht anleuchten kann. Die Anordnung ist so gewählt, dass nur eine Option möglich ist (siehe Abb. 1).



Abb. 1: Aufbau Knobelaufgabe

Als nächstes wird mit der Taschenlampe anstelle des Spiegels ein weißes und ein schwarzes Papier angeleuchtet. Beim weißen Papier erscheint der abgedunkelte Raum deutlich heller als zuvor, beim schwarzen Papier bleibt der Raum vergleichsweise dunkel, daher muss das Licht von diesem geschluckt werden. Damit ist ein erster Zugang zu den grundlegenden Phänomenen der Reflexion und Absorption von Licht an Gegenständen gegeben und es folgt eine Schülerarbeitsphase. Die Kinder erhalten den Forscherauftrag eine weitere Besonderheit des Lichts zu entdecken. Ziel ist es, die Aufspaltung weißen Lichts in Spektralfarben zu untersuchen. Dies wird als Grundlage für die weiterführende Behandlung der Farbwahrnehmung benötigt. Der Auftrag ist als Phänomenkreis strukturiert, bei dem jeweils ein Forscherteam ein Experiment bearbeitet und am Ende vor der Klasse vorstellt. Die Schüler:innen werden in leistungshomogene Gruppen von je drei bis fünf Kindern eingeteilt und bearbeiten ein durch die Lehrperson ausgewähltes Experiment, wodurch eine Differenzierung erfolgt. Die einzelnen Experimente werden hier kurz schematisch beschrieben:

- **CD:** Eine CD wird schräg mit einer Taschenlampe beleuchtet und das Farbspektrum mit einem Schirm aufgefangen.
- **Regenbogen:** In einer Schüssel mit Wasser wird ein Spiegel schräg platziert, sodass er zur Hälfte mit Wasser bedeckt ist. Mit einer Taschenlampe

wird schräg auf den Spiegel im Wasser geleuchtet und das Farbspektrum auf einem dahinter liegenden Schirm sichtbar.

- **Wasserprisma:** Ein sechseckiges Marmeladenglas wird mit Wasser gefüllt und mit einer Taschenlampe schräg hineingeleuchtet, sodass die Spektralfarben zu sehen sind.
- **Gitter:** Ein optisches Gitter wird vor eine Taschenlampe gehalten und das Licht mit einem Schirm aufgefangen.
- **Spalt:** Vor eine Taschenlampe wird ein Spalt gehalten und dann in ein rundes Wasserglas geleuchtet, sodass die Spektralfarben auf einem Schirm zu sehen sind.
- **Seifenblasen:** In einem Blasring wird eine Seifenhaut aufgeblasen und dann schräg hineingeleuchtet. Das Farbspektrum wird auf der Seifenhaut sichtbar.

Die letzte Sequenz zu Farben und Farbwahrnehmung beginnt mit einer Vorwissensaktivierung aus den vorherigen Stunden mit Hilfe eines Online-Quiz. Um in die Thematik einzuführen, wird den Schüler:innen die Forscherfrage „Warum ist das Meer blau?“ gestellt. Darauf folgt ein Videoausschnitt aus einem Beitrag der „Sendung mit der Maus“ (Caspers, 2019), der typische Vermutungen der Kinder aufgreift. Der weitere Unterrichtsverlauf ist an diesen Beitrag angelehnt und hat als Ziel die Forscherfrage zu lösen. Um den Bogen zur vorangegangenen Einheit zu spannen, wird die Dispersion des weißen Lichts durch ein Prisma in einem Experiment demonstriert. Vor die Lichtquelle werden unterschiedliche Farbfilter gehalten und die Veränderung im Farbspektrum genauer untersucht. Da den Kindern ein Farbfilter aus ihrer Lebenswelt in der Regel nicht bekannt ist, dient ein Wasserfilter als Analogie, um die Wirkungsweise eines Filters zu veranschaulichen. Ziel eines Wasserfilters ist es, alle Bestandteile des Schmutzwassers, wie z. B. Erde oder Sand, vom Medium Wasser zu trennen. Der Filter hält demnach den Schmutz auf, sodass nur das saubere Wasser übrigbleibt. Übertragen auf einen Farbfilter bedeutet dies, dass nur ein bestimmter Teil des Spektrums transmittiert und der Rest absorbiert wird. Dieser Schritt stellt bereits eine große Herausforderung für einige Lernende dar, da das Wissen über die Absorption und die Spektralfarben miteinander verknüpft werden sollen. Zur Unterstützung der Lernenden wird an dieser Stelle mit der Simulation Farbwahrnehmung (University of Colorado Boulder, 2019) das weiße Licht der Lampe im Teilchenmodell als Zusammensetzung vieler „bunter Lichtteilchen“ dargestellt und in der Folge die Funktionsweise eines Filters visualisiert (siehe Abb. 2).

Im Anschluss beleuchten die Kinder in Partnerarbeit verschiedene Gegenstände mit einer Taschenlampe und untersuchen, wie sich die Wahrnehmung der Gegenstände verändert, wenn sie Farbfilter vor die Taschenlampe halten.

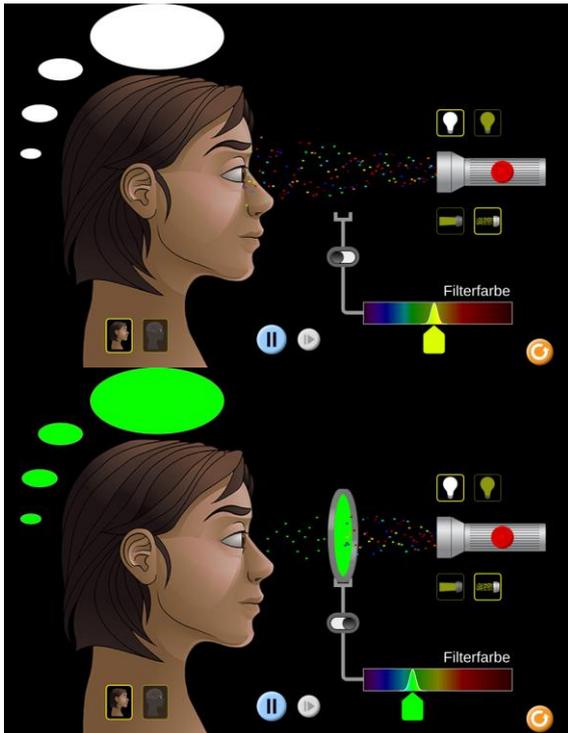


Abb. 2: Selbsterstellte Screenshots zur Simulation Farbwahrnehmung (Simulation by PhET Interactive Simulations, University of Colorado Boulder, 2021: <https://phet.colorado.edu/de/simulations/color-vision>, licensed under: <https://phet.colorado.edu/de/licensing>). CC-BY-4.0 (Zugriff: 14.06.2022).

Hierzu stehen den Schüler:innen Boxen mit verschiedenen farbigen Objekten wie beispielsweise Legosteine und Gemüse zur Verfügung. Jede Box besitzt eine Öffnung an der Seite, an der ein Farbfilter angebracht werden kann, sowie ein Loch an der Oberseite, durch das die Objekte gesehen werden können (siehe Abb. 3).



Abb. 3: Material zum Experimentieren mit Farbfiltern

Ziel dieser Arbeitsphase ist, dass die wahrgenommene Farbe eines Gegenstandes keine Eigenschaft des Objektes selbst ist, sondern von der Lichtquelle abhängt. Diese abstrakte Schlussfolgerung wird im Anschluss an die Arbeitsphase im Plenum aufgegriffen, da sie vielen Kindern Schwierigkeiten bereitet.

Am Ende der Stunde wird die bislang offen gebliebene Forscherfrage aufgegriffen und gemeinsam nach einer Lösung in der folgenden Art gesucht:

1. Das Licht der Sonne scheint auf das Wasser des Meeres.
2. Im Licht der Sonne sind alle Spektralfarben (Regenbogenfarben) enthalten.
3. Das Wasser schluckt alle Farben, außer Blau.
4. Nur blaues Licht wird vom Wasser zurückgeworfen.
5. Der blaue Teil des weißen Lichts fällt ins Auge.
6. Wir sehen das Meer in der Farbe Blau.

4. Beschreibung der Studie

4.1. Bedingungsanalyse

Das Optikprojekt wurde in einer vierten Klasse einer bayerischen Regelgrundschule im Dezember 2021 durchgeführt und umfasste fünf Unterrichtsstunden innerhalb von zwei Schulwochen. Im Rahmen einer schulinternen Evaluation waren $n = 17$ Schüler:innen aus der Klasse zu einer Teilnahme an den Interviews bereit. Diese wurden jeweils mit einem zeitlichen Abstand von einer Woche vor bzw. nach der Intervention durchgeführt. Als Besonderheit ist anzumerken, dass drei der Kinder Deutsch als Zweitsprache lernen und deshalb sprachliche Barrieren aufweisen. Eine weitere Herausforderung stellt das niedrige Leistungs-niveau in der Klasse dar, in der einige Kinder externe Unterstützung beanspruchen oder spezielle Förderung durch sonderpädagogische Fachkräfte innerhalb der Schule erhalten. Bei der Umsetzung des Optikprojekts mussten daher vor allem sprachliche aber auch allgemeine Schwierigkeiten bezüglich des Verständnisses berücksichtigt werden.

Vor Interventionsbeginn wurden durch die Lehrkraft bereits einige Grundlagen zum Auge unterrichtet, beispielsweise dessen biologischer Aufbau. Ebenso wurde bereits die Brechung an Linsen und der Einfluss einer unterschiedlichen Linsenkrümmung auf das scharfe Abbilden eines Gegenstandes auf der Netzhaut kurz thematisiert.

4.2. Erhebung der Schülervorstellungen

Die Erhebung der Schülervorstellungen fand in einem Pre-Post-Design mittels Einzelinterviews statt. Der zeitliche Rahmen belief sich auf fünf bis sieben Minuten pro Kind. Um eine abwechslungsreiche Fragenkultur zu schaffen, wurden verschiedenartige Items von Murmann (2001), Haagen-Schützenhöfer & Hopf (2018) und aus einer Handreichung des Bayerischen Lehrplans (ISB, 2015) adaptiert.

Das Interview beginnt mit der Warm-up Frage "Wann können wir etwas sehen?" (Item 1a), bei der sich die Kinder frei äußern können. Darauf aufbauend folgt eine Multiple Choice Frage, die die Voraussetzungen zum Sehen konkretisieren soll: "Stell dir vor wir sind

in einem komplett dunklen Raum. Welche dieser Gegenstände brauchen wir, um dort etwas sehen zu können?”.

Den Schüler:innen wird hierzu eine Abbildung sechs verschiedenen Gegenstände vorgelegt (siehe Abb. 4), aus denen sie mehrere auswählen können (Item 1b).

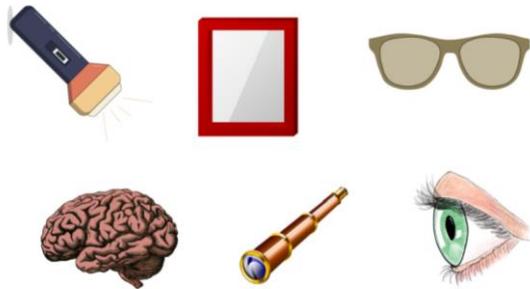


Abb. 4: Gegenstände zu Item 1b (David Stephanus: Taschenlampe, <https://pixabay.com/de/vectors/taschenlampe-licht-karikatur-5998564/>; Jan: Spiegel, <https://pixabay.com/de/vectors/spiegel-reflektion-spiegelbild-1712512/>; Brille, <https://pixabay.com/de/vectors/sonnenbrille-schattierungen-linsen-306909/>; Gehirn, <https://pixabay.com/de/illustrations/gehirn-anatomie-mensch-wissenschaft-512758/>; Fernrohr, <https://pixabay.com/de/vectors/fernrohr-ansicht-linsen-distanz-158156/>. Vereinfachte Pixabay Lizenz: <https://pixabay.com/de/service/license/>) (Zugriff: 14.06.2022).

Anschließend werden die Schülervorstellungen zum Sehvorgang untersucht, indem die Lernenden aus vier Abbildungen (siehe Abb. 5) eine für sie passende bestimmen sollen (Item 2). Dabei sind die Abbildungen so gewählt, dass jeweils eine zu einer aus der Literatur bekannten Schülervorstellung passt (a: physikalische Vorstellung, b: Aktives Auge, c: Lichtbadvorstellung, d: Beleuchtungsvorstellung).

Um die Konsistenz dieser Antwort zu überprüfen, folgt eine Verbalisierung der verschiedenen Vorstellungen, bei denen nach jedem Satz entschieden werden muss, ob die Aussage wahr oder falsch ist (Item 3).

- Zu a: Beim Sehen treffen Lichtstrahlen vom Ball in mein Auge.
- Zu b: Ich sehe den Ball, indem ich meinen Blick auf den Ball richte.
- Zu c: Um sehen zu können muss um mein Auge und um den Ball überall Licht sein.
- Zu d: Zwischen dem Auge und dem Ball passiert beim Sehen nichts.

Hiermit lässt sich zudem überprüfen ob mehrere Vorstellungen gleichzeitig existieren. Schließlich folgt der Übergang zum Licht, bei dem die Kinder zunächst die Farbe des Lichts einer Taschenlampe beschreiben (Item 4a) und danach erläutern sollen, was mit dem Licht passiert, wenn es durch eine grüne Folie scheint (Item 4b). Eine Untersuchung zur Farbe als Eigenschaft eines Objekts beendet das Interview. Den Ler-

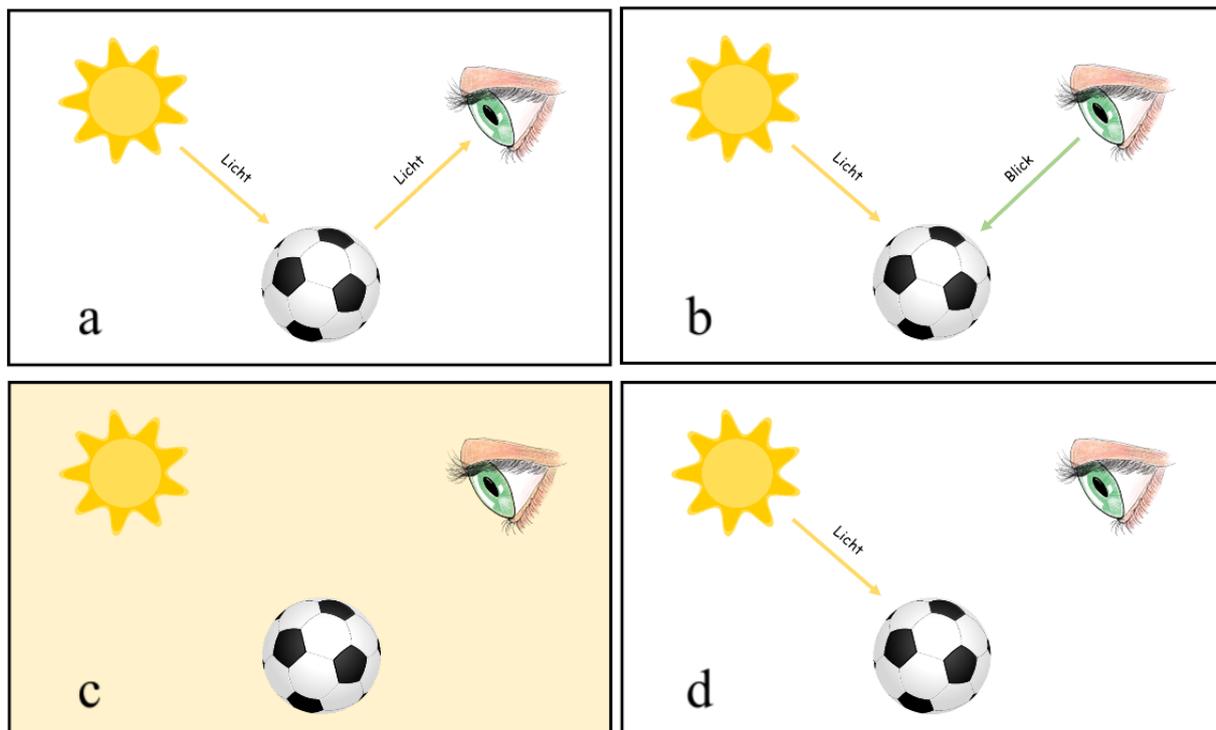


Abb. 5: Visualisierungen der Schülervorstellungen zum Sehvorgang (Item 2) (nach Haagen-Schützenhöfer & Hopf, 2018; ISB, 2015). (Łukasz Cwojdzinski: Sonne, <https://pixabay.com/de/illustrations/die-sonne-sonnig-zeichnung-grafik-2017530/>; Ball, <https://pixabay.com/de/vectors/football-ball-sport-fu%c3%9fball-runden-157930/>. Vereinfachte Pixabay Lizenz: <https://pixabay.com/de/service/license/>). (Zugriff: 14.06.2022).

nenden wird ein roter Ball gezeigt, der in einem dunklen Raum mit einer Taschenlampe beleuchtet wird. Sie sollen sich dann vorstellen, wie der Ball aussieht, wenn vor die Taschenlampe ein roter bzw. grüner Filter gehalten wird (Item 5).

4.3. Auswertung und Interpretation der Ergebnisse

4.3.1. Sehvorgang

Mit der Einstiegsfrage (Item 1a) “Wann können wir etwas sehen?”, wurde die Vorstellung der Schüler:innen zum Sehvorgang eruiert. Da es sich hierbei um eine freie Frage handelt, wurden die Antworten hinsichtlich vier verschiedener Nennungen kategorisiert (siehe Abb. 6).

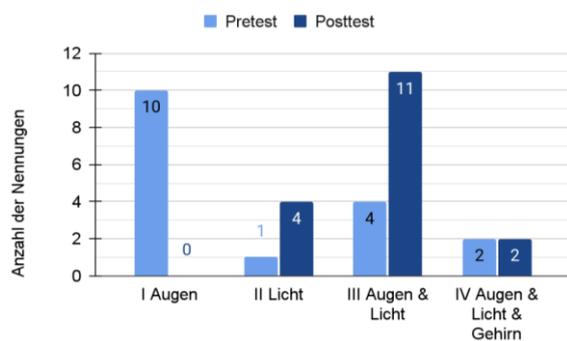


Abb. 6: Kategorisierung der Schüler:innenaussagen im Pre- und Posttest zum Sehvorgang

Im Pretest hängt der Sehvorgang für zehn Kinder ausschließlich mit den Augen zusammen. Dass Licht ebenfalls eine zentrale Bedingung für den Sehvorgang ist, äußerten nur vier Kinder. Da zu Beginn von den meisten Kindern erwähnt wurde, dass die Augen funktionieren und offen sein müssen, damit Sehen überhaupt möglich ist, lässt dies auf fehlendes Vorwissen zum physikalischen Sehvorgang schließen. Insbesondere jüngere Kinder erleben Sehen als Selbstverständlichkeit und halten dieses Phänomen daher nicht für erklärungsbedürftig (Murmman, 2001). Im Post-Interview verschiebt sich mit elf Nennungen die Anzahl deutlich hin zur Kategorie III Augen & Licht. Hierdurch zeigt sich, dass das Lernziel zur ersten Einheit von einem Großteil der Lernenden erreicht wurde, da ihnen bewusst ist, dass zum Sehen nicht nur ein funktionierendes Auge, sondern auch Licht gebraucht werden. Weiterhin ändert sich die Qualität der Antworten im Verlauf der Untersuchung. Im Vortest finden sich überwiegend Formulierungen wie “es darf nicht dunkel sein” oder “es muss hell sein”, während nach der Intervention die Beziehungen zwischen Licht und Auge deutlicher werden: “Wenn Licht in unsere Augen fällt”, “Wenn Licht im Raum ist”. Es zeigt sich somit ein positiver Effekt bezüglich des qualitativen Ziels: um sehen zu können, muss Licht ins Auge fallen. Die Anzahl der Antwort-

ten in Kategorie IV, also die Notwendigkeit des Gehirns, neben Augen und Licht blieb unverändert bei zwei, was unter anderem daran liegen kann, dass die Rolle des Gehirns für den Sehvorgang in dieser Intervention nicht tiefergehend behandelt wurde.

Bei der Frage nach der Vorstellung des Sehvorgangs (Item 2), wählten sowohl vor als auch nach dem Projekt sieben Kinder die physikalische Vorstellung (siehe Abb. 7). Vier davon sind bei ihrer Auswahl geblieben, zwei Kinder entschieden sich im Posttest für die Vorstellung des aktiven Auges und eines für die Beleuchtungsvorstellung. Von diesen beiden Vorstellungen sind insgesamt aber auch drei Kinder zur physikalischen Abbildung gewechselt, wodurch die Summe konstant bleibt. Für die Vorstellung des aktiven Auges ergibt sich ein Zuwachs von zwei. Dies deckt sich mit den Erkenntnissen aus der Literatur, dass eine Sehstrahlvorstellung überwiegend von jüngeren Kindern genutzt wird (Haagen-Schützenhöfer & Hopf, 2018). Eine weitere Ursache für diese Zunahme kann die Aufmerksamkeitslenkung auf das genaue Hinsehen und Beobachten in den Unterrichtseinheiten sein, die somit die Bedeutung der Blickrichtung für die Schüler:innen betont. Bei der Lichtbadvorstellung, ebenso wie bei der Beleuchtungsvorstellung kann für das Item 2 ein Rückgang um jeweils eine Nennung verzeichnet werden. Insgesamt sind diese beiden Konzepte in der Klasse jedoch weniger stark vertreten.

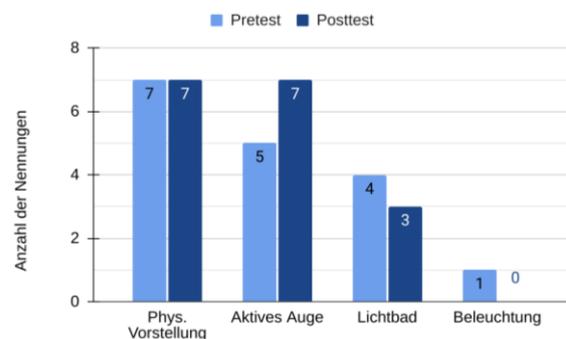


Abb. 7: Auswertung der Antworten im Pre- und Posttest zu Item 2

Interessant ist in diesem Zusammenhang der Vergleich mit den Nennungen der Verbalisierungen der Vorstellungen (Item 3). Die Aussage, dass man um einen Ball sehen zu können, den Blick auf diesen Ball richten muss (aktives Auge) stößt bei 14 von 17 Kindern auf Zustimmung (siehe Abb. 8). Für die meisten Kinder ist es daher vor allem wichtig, dass sich der jeweilige Gegenstand in ihrem Blickfeld befindet, damit er von ihnen gesehen werden kann. In der verbalen Präsentation der Vorstellungen war die Aussage zur Lichtbadvorstellung mit zwölf Nennungen für die Kinder sehr plausibel, ging nach der Intervention jedoch um die Hälfte zurück. Dieses Ergebnis deckt sich mit den freien Antworten der Kinder aus Item 1a.

Die Beleuchtungsvorstellung wurde für Item 3 umformuliert zu “zwischen dem Auge und dem Ball passiert beim Sehen nichts”. Dies steht im Gegensatz zum physikalischen Konzept, bei dem Licht vom Ball ins Auge fällt. Daher sind wenige Antworten in diesem Fall positiv zu bewerten, da davon ausgegangen werden kann, dass die Schüler:innen wissen, dass dies nicht mit der physikalischen Vorstellung übereinstimmt. Auffällig ist allerdings, dass kein Kind sich im Posttest bei Item 2 für die Beleuchtungsvorstellung entschieden hat, aber im verbalen Kontext diese Aussage sogar drei weitere Zustimmungen gewinnen konnte. Eine mögliche Erklärung liegt in der Art der Formulierung dieser Vorstellung. Diese ist ungünstig gewählt, da die Kinder bei der Beantwortung eine doppelte Verneinung berücksichtigen müssen. Im Hinblick auf die sprachlichen Schwierigkeiten einiger Schüler:innen, wäre es geeigneter, dies als Frage zu formulieren: “Passiert beim Sehen etwas zwischen dem Auge und dem Ball?”. Zuletzt ist noch eine Erhöhung um drei Nennungen beim verbalisierten physikalischen Konzept zu erwähnen. Aufgrund dessen und dem Rückgang der Lichtbadvorstellung lässt sich insgesamt eine positive Entwicklung hin zum physikalischen Verständnis des Sehvorgangs feststellen.

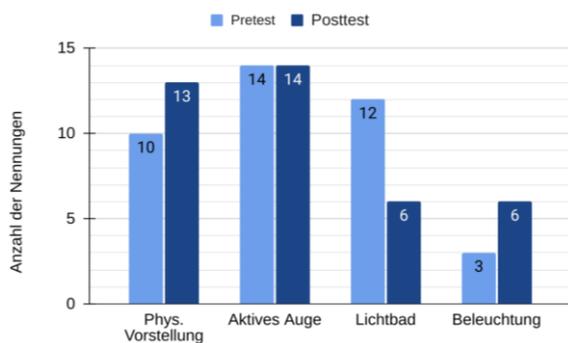


Abb. 8: Auswertung der Antworten im Pre- und Posttest zu Item 3

4.3.2. Licht

Bei der Beschreibung der Farbe des Lichts einer Taschenlampe, nannten alle Kinder sowohl im Pre- als auch im Posttest die Farbe Weiß. Besonders im Pretest findet sich überdies die Charakterisierung als hell bei 13 der 17 Kindern, die später deutlich auf nur fünf Nennungen abnimmt. Dass bei den Schüler:innen der Konsens über die Farbe Weiß herrscht, kann darauf zurückgeführt werden, dass der Farbeindruck des Lichts der verwendeten Taschenlampe weiß und nicht gelblich ist. Hinzu kommt, dass die Beantwortung dieser Frage überwiegend vom Kontext abhängt, in dem sie gestellt wird (Haagen-Schützenhöfer & Hopf, 2018). Wäre nach der Farbe des Lichts der Sonne gefragt worden, würden die Antworten wohl typischerweise eher gelb oder orange lauten. Die Charakterisierung als hell, deckt sich hingegen mit den Erkenntnissen der aktuellen Forschung, bei welcher Kinder das Licht im Allgemeinen mit den Eigenschaften

farblos und hell beschreiben (ebd.). Drei Kinder konnten im Posttest bereits erklären, dass das weiße Licht als Zusammensetzung der Spektralfarben zu verstehen ist. Somit lassen sich auch hier leichte positive Veränderungen ausmachen, wobei dennoch 14 Kinder die Erklärung der Spektralfarben nicht liefern können. Dies kann einerseits an externalen Faktoren liegen, wie der stark beschränkte Zeitrahmen oder die hohe Stoffdichte innerhalb des Projekts. Andererseits spielen aber gerade interne Aspekte eine große Rolle. Hier ist zu nennen, dass es sich bei der Probandenklasse um eine leistungsschwache Klasse handelt, die zudem sprachliche Barrieren aufweist, sodass einige Schüler:innen dem Unterrichtsverlauf aus diesen Gründen nicht durchgehend folgen können. Weiterhin sind die Präkonzepte der Lernenden für das Verständnis der physikalischen Erklärung relevant. Diese sind in der Regel jedoch so stark verankert, dass eine Änderung der Vorstellung erst in einem langwierigen Prozess möglich ist (Duit, 2018).

4.3.3. Farben

Die Kinder wurden in Item 4 aufgefordert den Vorgang zu beschreiben, der mit dem Licht passiert, wenn dies durch eine grüne Farbfolie fällt. Die Erklärungen der Kinder wurden anhand verschiedener Stichworte in die Kategorien “Licht wird gefärbt” und “Licht wird gefiltert” eingeteilt. Vor dem Projekt verfügten alle Kinder über die Vorstellung, dass das Licht durch die Folie eingefärbt wird. Ein Kind stellte den Vorgang folgendermaßen dar: “Also das Licht geht halt da durch und dadurch ändert diese Folie einfach die Farbe. Weil die ist halt grün und plus weiß ergibt das halt grün.” Der Vorgang des Färbens wird hier deutlich durch die additive Vorstellung (Haagen-Schützenhöfer & Hopf, 2018), die das Kind beschreibt. Im Posttest hingegen können vier der 17 Kinder eine nahezu vollständige Erklärung für den Prozess, der bei einem Farbfilter abläuft, liefern: “In dem Licht sind ja eigentlich alle Farben drinnen und die grüne Folie ist ein Filter und der tut nur die grüne Farbe die im Licht ist durchlassen, die anderen Farben lässt der einfach nicht durch deswegen sehen wir nur die grüne.” Folglich weisen auch in diesem Themenbereich einige der Schülervorstellungen Änderungen hin zu einer physikalischen Sichtweise auf.

Um den Themenbereich Farben zu vervollständigen, wurde mit Item 5 die Vorstellung zur Farbe eines Objekts untersucht. Ein rosafarbener Ball sollte imaginär mit einem grünen Farbfilter beleuchtet und dann die erwartete Farbe genannt werden (siehe Abb. 9). Hier zeigt sich ein deutlicher und nicht veränderter Ausschlag bei der Nennung der Farbe Grün mit elf Antworten. Dieser Auffälligkeit liegt die sogenannte Wettkampfvorstellung zweier Farben zugrunde. Dabei wird davon ausgegangen, dass sich die Farbe mit der angeleuchtet wird und die Farbe des Objekts streiten und sich nur die dominierende Farbe durchsetzt (Haagen-Schützenhöfer & Hopf, 2018). Die Antwort rosa hingegen lässt auf die Vorstellung schließen,

dass die Farbe eine fixe Eigenschaft eines Objekts ist. Diese Vorstellung ist sehr stabil und wird durch Alltagserfahrungen und Sprache immer wieder verstärkt (ebd.). Entgegen der Erwartung verfügen in dieser Klasse aber nur sehr wenige Kinder über ein solches Konzept.

Zwei Kinder nannten vor dem Projekt die Farbe braun, entschieden sich aber nach den Unterrichtssequenzen dagegen. In der Antwort braun findet sich die Mischkastenvorstellung wieder, bei der sich die Farbe des Objekts mit der Farbe des Lichts vermischt (Haagen-Schützenhöfer & Hopf, 2018). Die Antwort schwarz steht für die physikalisch korrekte Sichtweise der Farbwahrnehmung in diesem Beispiel. Nach dem Projekt nannten jedoch nur drei Kinder diese Farbe. Obwohl dieses Experiment ausführlich in einer Schülerarbeitsphase durchgeführt wurde, scheint die reine Vorstellung ohne Anschauungsobjekt weiterhin große Schwierigkeiten zu bereiten.

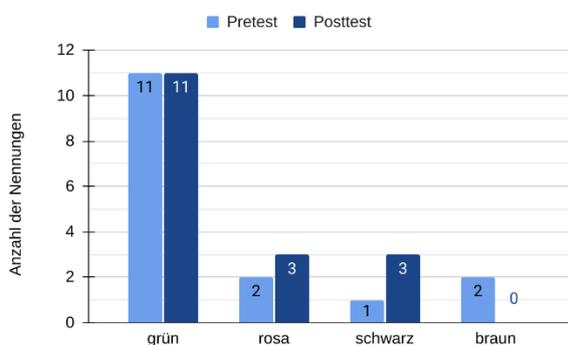


Abb. 9: Auswertung der Antworten im Pre- und Posttest zu Item 5

5. Ausblick

In der durchgeführten Erhebung konnte das Vorhandensein typischer Schülervorstellungen zum Themengebiet der geometrischen Optik bereits in der Primarstufe bestätigt werden. Positiv ist daher zu bewerten, dass trotz der hohen inhaltlichen Dichte sowie des sehr begrenzten zeitlichen Rahmens dennoch Veränderungen in den Vorstellungen der Lernenden sichtbar wurden. Insbesondere die leistungsstärkeren Kinder profitierten hierbei. Um künftig alle Schüler:innen besser im Blick zu haben, sollte daher in weiteren Projekten noch stärker sowohl auf eine angemessene Repräsentation der Phänomene als auch auf weitere Differenzierungsmaßnahmen geachtet werden. Weiterhin wäre eine freiere Gestaltung der Experimente durch die Lernenden wünschenswert, was wiederum erst nach einer intensiveren und häufigeren Beschäftigung mit naturwissenschaftlichen Arbeitsweisen möglich ist. Das vermutlich größte Potenzial in der Primarstufe liegt aber in der Freude und Motivation der Kinder beim Experimentieren und Entdecken. Daraus ergibt sich die Möglichkeit die Schüler:innen spielerisch an die Naturwissenschaften heranzuführen und ihr Interesse für die Auseinandersetzung mit ebendiesen Themen zu wecken.

6. Literatur

- Caspers, R. [Die Sendung mit der Maus]. (2019, 30. Juni). Warum ist das Meer blau und Wasser durchsichtig? [Video]. WDR. <https://kinder.wdr.de/tv/die-sendung-mit-der-maus/av/video-warum-ist-das-meer-blau-und-wasser-durchsichtig-100.html> (Stand 02/2022).
- Drechsel, B., Schindler, A. (2019). Unterrichtsqualität. In: Urhahne, D., Dresel, M., Fischer, F. (Hrsg.) (2019). *Psychologie für den Lehrberuf*. Berlin: Springer, (S. 353-372).
- Duit, R. (2020). Alltagsvorstellungen und Physiklernen. In: Kircher, E. Girwidz, R., Fischer, H. E. (Hrsg.) (2020). *Physikdidaktik Grundlagen*. 4. Auflage, Berlin: Springer, (S. 337-364).
- Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts (GDSU) (Hrsg.) (2013). *Perspektivrahmen Sachunterricht*. überarb. & erweiterte Ausgabe, Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Haagen-Schützenhöfer, C., Fehring, I., Rottensteiner, J. (2017). *Optik für die Sekundarstufe I*.
- Haagen-Schützenhöfer, C., Hopf, M. (2018). Schülervorstellungen zur geometrischen Optik. In: Schecker, H., Wilhelm, T., Hopf, M., Duit, R. (Hrsg.) (2018). *Schülervorstellungen und Physikunterricht. Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis*. Berlin: Springer Spektrum, (S. 89-114).
- Kattmann, U., Duit, R., Gropengießer, H., Komorek, M. (1997). Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion – Ein Rahmen für naturwissenschafts-didaktische Forschung und Entwicklung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 3, (S. 3–18).
- Kollar, I., Fischer, F. (2019). Lehren und Unterrichten. In: Urhahne, D., Dresel, M., Fischer, F. (Hrsg.) (2019). *Psychologie für den Lehrberuf*. Berlin: Springer, (S. 333-352).
- Mikelskis-Seifert, S., Wiebel, K. (2011). Anschlussfähige naturwissenschaftliche Kompetenzen erwerben durch Experimentieren. In: IPN (Hrsg.) (2011). *Handreichungen des Programms SINUS an Grundschulen*. Naturwissenschaften.
- Murmann, L. (2001). Physiklernen zu Licht, Schatten und Sehen. Eine phänomenografische Untersuchung in der Primarstufe. In: Niederer, H., Fischer, H. (Hrsg.) (2002). *Studien zum Physiklernen*. Band 24, Berlin: Logos.
- Schecker, H., Duit, R. (2018). Schülervorstellungen und Physiklernen. In: Schecker, H., Wilhelm, T., Hopf, M., Duit, R. (Hrsg.) (2018). *Schülervorstellungen und Physikunterricht. Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis*. Berlin: Springer Spektrum, (S. 1-22).
- Spreckelsen, K. (2004). Phänomenkreise als Entwicklungskerne für das Verstehen-Lernen. In: Köhlein, W. (2004). *Verstehen und begründetes Handeln: Studien zur Didaktik des Sachunterrichts*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt, (S. 133-144).

- Staatsministerium für Schulqualität und Bildungsforschung (ISB) (Hrsg.) (2014): LehrplanPLUS Grundschule. München: Bayerisches Staatsministerium für Unterricht und Kultus. Url: <https://www.lehrplanplus.bayern.de/schulart/grundschule> (Stand 06/2022).
- Staatsinstitut für Schulqualität und Bildungsforschung (ISB) (Hrsg.) (2015). Schülervorstellungen zum Sehen und Möglichkeiten ihrer Erhebung. Ergänzende Informationen zum LehrplanPLUS. Url: <https://www.lehrplanplus.bayern.de/sixcms/media.php/71/Serviceinfo%20Sch%C3%BClervorstellungen%20zum%20Sehen.pdf> (Stand 06/2022).
- University of Colorado Boulder (2021). PhET Interactive Simulations – Farbwahrnehmung. Url: <https://phet.colorado.edu/de/simulations/color-vision> (Stand 06/2022).
- Wiesner, H. (1995). Physikunterricht - an Schülervorstellungen und Lernschwierigkeiten orientiert. In: Unterrichtswissenschaft. Zeitschrift für Lernforschung (23. Jahrgang, Heft 2), (S. 127-145).
- Wodzinski, R. (2020). Physikalische Fachkonzepte anbahnen - Anschlussfähigkeit verbessern. In: Kircher, E. Girwidz, R., Fischer, H. E. (Hrsg.) (2020). Physikdidaktik Grundlagen. 4. Auflage, Berlin: Springer, (S. 573-604).

Auswirkungen der Lehr-Lernüberzeugungen studentischer Tutor*innen

Robin Dexheimer-Reuter, Verena Spatz, Thomas Trebing

Didaktik der Physik, TU Darmstadt, Hochschulstraße 12, 64289 Darmstadt
robin.dexheimer-reuter@physik.tu-darmstadt.de

Kurzfassung

Von studentischen Tutor*innen geleitete Übungen stellen an vielen Universitäten einen wichtigen Baustein der Lehre dar, welcher empirisch jedoch noch wenig untersucht ist. Insbesondere zum Einfluss der Lehr-Lernüberzeugungen von Tutor*innen erscheinen weitere Erhebungen lohnenswert, da sich diese auf das Handeln der Tutor*innen und hierüber auch auf den Erfolg der Studierenden auswirken können (Mediationsmodell). In der Informatik erwiesen sich die Lehr-Lernüberzeugungen von Tutor*innen als prädiktiv für ihre Bewertung durch die Studierenden [1]. Im Bereich der universitären Physikübungen steht eine ähnliche Überprüfung zum Einfluss der Überzeugungen von Tutor*innen noch aus. Daher ist es Ziel des geplanten Projektes, das Mediationsmodell in diesem Kontext zu untersuchen. Die Qualität der Übungsleitung wird in Anlehnung an die COACTIV-Studie [2] durch Befragung der Studierenden zur wahrgenommenen Gruppenführung, kognitiven Aktivierung und konstruktiven Unterstützung operationalisiert. Außerdem wird die Zufriedenheit der Studierenden mit der Übungsbetreuung sowie ihr Erfolg in der betreffenden Lehrveranstaltung erfasst. Im Beitrag werden die Forschungsfragen und das entsprechende Design der Studie vorgestellt.

1. Tutor*innen in Lernunterstützungsfunktion

Studentische Tutor*innen, meist fortgeschrittene oder leistungsstarke Studierende die Lehrverantwortung für Ihre Kommiliton*innen übernehmen, stellen an vielen Universitäten einen wichtigen Baustein der Lehre dar [1, 3, 4]. Allein an der TU Darmstadt sind jedes Semester zwischen 500 und 900 Studierende als Tutor*innen tätig [1]. Neben der Verbesserung des Betreuungsverhältnisses fungieren studentische Tutor*innen auch als Ansprechpartner*innen und Vorbilder, während sie sich selbst durch ihre Lehrtätigkeit fachlich und didaktisch weiterbilden [3].

Trotz ihrer großen Bedeutung an vielen Hochschulen gibt es wenig Forschung zu studentischen Tutor*innen im deutschsprachigen Raum. Die existierende Forschung beschäftigt sich größtenteils mit den Effekten überarbeiteter Übungskonzepte oder dem Einfluss von Tutor*innenschulungen (siehe z. B. [1, 5–7]).

1.1 Lernunterstützung in Physikübungen an der TU Darmstadt

In den Physikübungen an der TU Darmstadt herrscht ein Übungskonzept vor, in dem die Studierenden in Kleingruppen Übungsaufgaben bearbeiten und dabei von studentischen Tutor*innen betreut werden. Dieses, zuerst in der Mathematik eingeführte, Übungskonzept verfolgt das Ziel die aktive Auseinandersetzung der Studierenden mit den Fachinhalten zu forcieren [8, 9]. Die Tutor*innen haben dabei einen größeren Einfluss auf die Lernsituation als z. B. Tutor*innen von Vorrechenübungen. Unter anderem müssen sie die Stärke und Häufigkeit ihrer Interventionen individuell an die einzelnen Studierenden bzw. Kleingruppen anpassen. Gleichzeitig haben sie im

Vergleich zu schulischen Lehrkräften jedoch nur sehr geringen Einfluss auf die Auswahl der Aufgabenstellungen [1]. Auf diesen Tutor*innen in Lernunterstützungsfunktion liegt der Fokus der hier vorgestellten Studie.

1.2 Lernunterstützung durch das „Prinzip der minimalen Hilfe“

In Übereinstimmung mit dem Übungskonzept spielt bei der (verpflichtenden) Schulung der Physiktutor*innen, sowie den Schulungen anderer MINT-Tutor*innen, an der TU Darmstadt das „Prinzip der minimalen Hilfe“ eine wichtige Rolle als Methode der Lernunterstützung [9]. Ähnlich verhält es sich an einigen anderen Standorten, beispielsweise in den Tutor*innenschulungen an der TU Hamburg [7]. Dieses Prinzip geht auf die Arbeiten von Aebli [10] zurück. Es sagt im Kern aus, dass Lehrende den Lernenden nur so viel Hilfe wie nötig geben und Hilfe zur Selbsthilfe leisten sollen [9]. Zech [11] ergänzte dieses Grundprinzip um fünf Hilfestufen. Diese sollen Lehrenden als Orientierung dienen und ihr Handlungsrepertoire erweitern. Durch die Anwendung des Prinzips soll die Fähigkeit der Lernenden zum selbstständigen Problemlösen gefördert werden [9].

2. Lehr-Lernüberzeugungen und Mediationsmodell

In der studentischen Lernunterstützung ist insbesondere der Einfluss der Lehr-Lernüberzeugungen von Tutor*innen von Interesse, da diese (nach Ergebnissen der psychologischen Einstellungsforschung, siehe z. B. [12]) Einfluss nehmen auf die Begegnung von Tutor*innen und Studierenden in der Übungssituation. Des Weiteren fand Glathe [1] Einflüsse der Lehr-Lernüberzeugungen der Tutor*innen auf die

Bewertung der Tutor*innen durch die Studierenden. Der Begriff der Überzeugungen soll hier in Anlehnung an [12] und die COACTIV-Studie als *überdauernde, existenzielle Annahmen über Phänomene oder Objekte der Welt, die subjektiv für wahr gehalten werden, sowohl implizite als auch explizite Anteile besitzen und die Art der Begegnung mit der Welt beeinflussen* ([2] S. 235) verstanden werden.

Bei den Lehr-Lernüberzeugungen orientiert sich das Projekt wie viele andere Studien an einem Model, welches eine transmissive Orientierung und konstruktivistische Orientierung gegenüberstellt. Erstere betrachtet Lernen als einen Prozess, bei dem Lernende eine eher passive Rolle einnehmen und von den Lehrenden Wissen direkt übermittelt bekommen. Demgegenüber betont letztere, dass sich Lernende ausgehend von ihrem Vorwissen in den von den Lehrenden geschaffenen Lernsituationen aktiv Wissen konstruieren. Obwohl inhaltlich konträr, erwiesen sich diese Orientierungen empirisch meist nicht als Pole einer Überzeugungsdimension, sondern als zwei eigene Dimensionen [1, 2, 13, 14]. Korneck et al. [13] fanden sogar ein Überzeugungsmuster, welches sich durch hohe Zustimmung zu beiden Dimensionen auszeichnet.

Die Forschungslage zu den Auswirkungen der Überzeugungen Lehrender ist insgesamt heterogen. Für den schulischen Physikunterricht fand beispielsweise das Φ actio-Project [15] Zusammenhänge zwischen Lehr-Lernüberzeugungen sowie dem Wissenschaftsverständnis und der Unterrichtsqualität, während die IPN-Videostudie keine derartigen Zusammenhänge finden konnte [14].

Außerdem betrachten die meisten Studien entweder den Einfluss der Überzeugungen der Lehrenden auf den Unterricht oder auf die Leistungen der Lernenden. Als Teil der COACTIV-Studie hingegen wurde ein Mediationsmodell überprüft. Dieses Modell besagt, dass die Überzeugungen der Lehrkräfte vermittelt über die Lehrqualität den Lernerfolg der Lernenden beeinflussen. Die Unterrichtsqualität wurde durch die Dimensionen Effizienz der Klassenführung, Potential zur kognitiven Aktivierung und konstruktive Unterstützung operationalisiert. Auf Seite der Überzeugungen der Lehrkräfte wurden Lehr-Lernüberzeugungen und handlungsnahe epistemologische Überzeugungen zu lerntheoretischen Überzeugungen zusammengefasst. Tatsächlich konnten über die Unterrichtsqualität vermittelte Effekte der Überzeugungen nachgewiesen werden, während die direkten Effekte nicht signifikant waren. Die Überzeugungen beeinflussten die kognitive Aktivierung und die konstruktive Unterstützung, wobei die kognitive Aktivierung sich wiederum positiv auf die Leistungen der Schüler*innen auswirkte.

Auch wenn verschiedene Studien Einflüsse der Überzeugungen der Lehrenden nachweisen konnten, so unterscheiden sich die Details doch erheblich. Beispielsweise fand die COACTIV-Studie keinen Zusammenhang zwischen Überzeugungen und der Klassenführung [2], während die Φ actio-Studie [15] von der Schulform abhängige Zusammenhänge zwischen Überzeugungen und Klassenführung zeigen konnte. Bei Glathe [1] zeigten sich negative Auswirkungen transmissiver Überzeugungen auf die Gesamtbewertung der Tutor*innen, während die Studien in schulischen Kontexten auch Auswirkungen der konstruktivistischen Überzeugungen fanden. Es ist daher davon auszugehen, dass die Struktur der Zusammenhänge vom konkreten Kontext und möglicherweise auch von der Operationalisierung abhängt.

3. Forschungsfragen

Die Hauptfrage der hier gestellten Studie ist, ob das Mediationsmodell, welches im vorherigen Abschnitt vorgestellt wurde, auf die tutorielle Lehre in der Physik übertragbar ist. Die dementsprechende Hypothese lautet: *Die Überzeugungen studentischer Tutor*innen beeinflussen, vermittelt über ihr Handeln in der Lernunterstützung, die Zufriedenheit und den Erfolg der Teilnehmer*innen ihrer Übung.*

In einer Teilstichprobe wird ergänzend untersucht, wie sich das Vorwissen der Studierenden in Nebenfachveranstaltungen auf ihre Wahrnehmung des Lehrhandels ihrer Tutor*innen auswirkt.

4. Studiendesign

Zur Überprüfung der Forschungsfrage werden die Lehr-Lernüberzeugungen von Tutor*innen, die von den Studierenden wahrgenommene Lehrqualität, sowie deren Zufriedenheit und fachliche Leistung in Physik-Lehrveranstaltungen an der TU Darmstadt erfasst. Die Erhebung erfolgt jeweils durch Paper-Pencil-Fragebögen, die während der letzten drei Wochen der Vorlesungszeit in den regulären Übungen ausgegeben und ausgefüllt werden.

Seit dem Wintersemester 2021/22 wird die Anpassung der Instrumente vorgenommen, inklusive einer Überprüfung mithilfe von Think-Aloud-Interviews. Die Pilotierung der Fragebögen findet im Sommersemester 2022 statt. Für das Wintersemester 2022/23 sowie das Sommersemester 2023 ist die Hauptstudie geplant.

4.1 Datenerhebung und Stichprobe

Untersucht werden Grundlagenveranstaltungen des Studiengangs Bachelor Physik sowie Physik-Nebenfachveranstaltungen, also Physikveranstaltungen für Studierende anderer Studiengänge. Diese Veranstaltungen bieten den Vorteil ausreichend große Stichproben. Außerdem zeigen sie eine größere Nähe zum Schulunterricht als fortgeschrittene Veranstaltungen, was eine Übertragung von Instrumenten aus der

Schulforschung erleichtert. Durch Kooperation mit einem weiteren Forschungsprojekt zu Physik-Nebenfachveranstaltungen an der TU Darmstadt (siehe [16]), kann in dieser Teilstichprobe auch das Vorwissen der Studierenden als weitere Variable mit einbezogen werden, um dessen Einfluss auf die Wahrnehmung der Lernunterstützung zu untersuchen.

4.2 Instrumente

Die Erhebung geschieht primär mittels angepasster Fragebögen der COACTIV-Studie [17]. Hierdurch entsteht eine bessere Vergleichbarkeit der Ergebnisse mit denen der COACTIV-Studie aus dem schulischen Kontext. Bei den Instrumenten handelt es sich um Fragebögen mit Likert-Skalen. Da in den universitären Physikübungen wie im Matheunterricht ein starker Fokus auf dem Problemlösen liegt, können viele Items mit leichten Änderungen übernommen werden. Anpassungen sind vor allem durch die unterschiedlichen Rollen von studentischen Tutor*innen und schulischen Lehrkräften notwendig.

Auf Seite der Tutor*innen werden die Lehr-Lernüberzeugungen durch angepasste COACTIV-Skalen zu lerntheoretischen Überzeugungen erhoben. Diese beinhalten zwar auch Items zu epistemologischen Überzeugungen, die Mehrheit der Items behandelt jedoch Lehr-Lernüberzeugungen. Viele Items können mit leichten Anpassungen übernommen werden. Bei der Subskala „Einschleifen von technischem Wissen“ der transmissiven Orientierung müssen jedoch drei von vier Items gestrichen werden. Da diese den Erwerb numerischen Faktenwissens behandeln, welcher in dieser Form in der universitären Lehre keine relevante Rolle spielt. Außerdem werden zwei Skalen von Glathe [1] zu Lehr-Lernüberzeugungen genutzt, deren Items auf Übersetzungen des *Approaches to Teaching Inventory* [18] basieren und von Glathe an den Kontext tutorieller Lehre angepasst wurden. Als weitere Variablen werden der Studiengang der Tutor*innen (Bachelor Physik, Master Physik oder Lehramt an Gymnasien Physik) sowie die bisherige Lehrerfahrung erfasst. Hierdurch lassen sich mögliche Unterschiede zwischen erfahrenen und neuen Tutor*innen ermitteln.

Die Studierenden werden zur wahrgenommenen Übungsqualität befragt, operationalisiert durch das Potential zur kognitiven Aktivierung, der Effizienz der Gruppenführung und der konstruktiven Unterstützung. Auch hierbei wird auf Skalen von COACTIV zurückgegriffen. Im Gegensatz zur COACTIV-Studie müssen allerdings die Gestaltung der Lehr-Lernsituation durch die Tutor*innen und das Potential zur kognitiven Aktivierung durch die Aufgabenstellungen getrennt betrachtet werden. Das Erstellen der Aufgaben gehört nämlich nicht zu den Pflichten der Tutor*innen, sondern wird meist von den Assistent*innen der Dozent*innen erledigt. Hierzu werden alle die Aufgabenstellungen

betreffenden Items aus den COACTIV-Skalen zusammengefasst. Zum „Prinzip der minimalen Hilfe“ wird eine eigene Skala erstellt, da es an der TU Darmstadt ein wichtiger Aspekt der Tutor*innenschulung ist. Dazu werden fünf Items aus dem COACTIV-Fragen und drei weitere aus anderen Studien ([1] und [10]) identifiziert, die Aspekte des „Prinzips der minimalen Hilfe“ abbilden. Diese werden durch drei selbst entwickelte Items ergänzt, welche insbesondere die Anwendung verschiedener Hilfestufen abbilden sollen. Außerdem wird mit Items von Glathe [1] die Zufriedenheit der Studierenden mit der Betreuung erhoben. Auch die Klausurnote soll erfasst werden. Als weitere Merkmale sind Angaben zum Studiengang und zum Geschlecht der Studierenden enthalten.

5. Zusammenfassung

Die Studie untersucht mit Rückgriff auf angepasste Instrumente der COACTIV-Studie [2] und Glathe [1] das Mediationsmodell im Kontext der tutoriellen Lehre in der Physik. Das Prinzip der minimalen Hilfe wird dabei als eine wichtige Methode der Lernunterstützung mit einer eigenen Skala bedacht. Von der anstehenden Pilotierung der Instrumente werden auch erste Erkenntnisse über die Struktur der Überzeugungen der Tutor*innen und der verschiedenen Merkmale der Lehrqualität erwartet.

6. Literaturverzeichnis

- [1] GLATHE, Annette: *Effekte von Torenttraining und die Kompetenzentwicklung von MINT-Fachtutor*innen in Lernunterstützungsfunktion*. Darmstadt, TU Darmstadt, Fachbereich Humanwissenschaften. Dissertation. 2017
- [2] KUNTER, Mareike (Hrsg.); BAUMERT, Jürgen (Hrsg.); BLUM, Werner (Hrsg.); KLUSMANN, Uta (Hrsg.); KRAUSS, Stefan (Hrsg.); NEUBRAND, Michael (Hrsg.): *Professionelle Kompetenz von Lehrkräften : Ergebnisse des Forschungsprogramms COACTIV*. Münster : Waxmann, 2011
- [3] ZITZELSBERGER, Olga (Hrsg.); TREBING, Thomas (Hrsg.); RÖBLING, Guido (Hrsg.); GENERAL, Sabine (Hrsg.); GLATHE, Annette (Hrsg.); GÖLZ, Jacqueline (Hrsg.); HEIL, Henrike (Hrsg.); RUDOLPH, Tina (Hrsg.); STEFANOVSKA, Biljana (Hrsg.); SÜRDER, Michael (Hrsg.): *Qualifizierung von Fachtutor*innen in interdisziplinärer Perspektive*. Bielefeld : wbv, 2019 (Blickpunkt Hochschuldidaktik 135)
- [4] KRÖPKE, Heike: *Tutoren erfolgreich im Einsatz : Ein praxisorientierter Leitfaden für Tutoren und Torentainer*. Opladen : Verlag Barbara Budrich, 2015
- [5] HAENZE, Martin ; FISCHER, Elisabeth ; SCHREIBER, Stephan ; BIEHLER, Rolf ; HOCHMUTH, Reinhard: *Innovationen in der*

- Hochschullehre: empirische Überprüfung eines Studienprogramms zur Verbesserung von vorlesungsbegleitenden Übungsgruppen in der Mathematik.* In: *Zeitschrift für Hochschulentwicklung* 8 (2013), Nr. 4, S. 89–103
- [6] DANIELSIEK, Holger ; HUBWIESER, Peter ; KRUGEL, Johannes ; MAGENHEIM, Johannes ; OHRNDORF, Laura ; OSSENSCHMIDT, Daniel ; SCHAPER, Niclas ; VAHRENHOLD, Jan: Kompetenzbasierte Gestaltungsempfehlungen für Informatik-Tutorenschulungen. In: EIBL, Maximilian.; GAEDKE, Martin. (Hrsg.): *INFORMATIK 2017*, 2017
- [7] ROHDE, Jenny Alice ; STAHLBERG, Nadine: *Welches Lehrverhalten zeigen geschulte Tutor/innen? : Eine explorative Analyse selbst- und fremdwahrnehmungsbasierter Reflexionsberichte.* In: *die hochschullehre* 5 (2019), S. 1–28
- [8] DENEKE, Michael ; HEGER, Michael ; LIESE, Reiner: *Fachtutorien und Fachtutorenausbildung in Mathematik : Bericht über ein Tutorienseminar im Fachbereich Mathematik der Technischen Hochschule Darmstadt.* In: *Zeitschrift für Hochschuldidaktik* 12 (1988), 1-2, S. 106–123
- [9] TREBING, Thomas: Tutorien: Das Prinzip der minimalen Hilfe in der universitären Rechenübung. In: ZITZELSBERGER, Olga; KÜHNER-STIER, Bärbel; MEUER, Judith; RÖBLING, Guido; TREBING, Thomas (Hrsg.): *Neue Wege in der tutoriellen Lehre in der Studiengangphase : Dokumentation der gleichnamigen Tagung im März 2014 an der TU Darmstadt.* Münster : WTM Verlag für wissenschaftliche Texte und Medien, 2015 (Schriften zur allgemeinen Hochschuldidaktik, 1), S. 101–113
- [10] HANS, Aebli: *Zwölf Grundformen des Lehrens : Eine allgemeine Didaktik auf psychologischer Grundlage.* 13. Aufl. Stuttgart : Klett Cotta, 2006
- [11] ZECH, Friedrich: *Grundlagen Mathematikdidaktik : Theoretische und praktische Anleitungen für das Lehren von Mathematik.* 8. Aufl. Weinheim : Beltz, 1996
- [12] BOHNER, Gerd: Einstellungen. In: STROEBE, Wolfgang; JONAS, Klaus; HEWSTONE, Miles (Hrsg.): *Sozialpsychologie : Eine Einführung.* 4. Aufl. Heidelberg : Springer, 2002, S. 265–313
- [13] KORNECK, Friederike ; KOHLENBERGER, Max ; OETTINGHAUS, Lars ; KUNTER, Mareike ; LAMPRECHT, Jan: *Lehrerüberzeugungen und Unterrichtshandeln im Fach Physik.* In: *PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung, Jena* (2013)
- [14] SEIDEL, Tina ; PRENZEL, Manfred ; RIMMELE, Rolf ; DALEHEFTE MARIE INGER ; HERWEG, Constanze ; KOBARG, Mareike ; SCHWINDT, Katharina: *Blicke auf den Physikunterricht. Ergebnisse der IPN Videostudie.* In: *Zeitschrift für Pädagogik* 52 (2006), Nr. 6, S. 799–821
- [15] KRÜGER, Marvin ; SZOGS, Michael ; KORNECK, Friederike: Welche Kompetenz beeinflusst welche Aspekte der Unterrichtsqualität? In: MAURER, Christian (Hrsg.): *Implementation fachdidaktischer Innovation im Spiegel von Forschung und Praxis. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Zürich 2016*, 2017, S. 376–379
- [16] SCHMITT, Kevin ; SPATZ, Verena: *Physikalisches Vorwissen in Physik-Nebenfachveranstaltungen.* In: *PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung, 2022* (Im Druck)
- [17] BAUMERT, Jürgen ; BLUM, Werner ; BRUNNER, Martin ; THAMAR, Dubberke ; JORDAN, Alexander ; KLUSMANN, Uta ; KRAUSS, Stefan ; KUNTER, Mareike ; LÖWEN, Katrin ; NEUBRAND, Michael ; TSAI, Yi-Miau: *Professionswissen von Lehrkräften, kognitiv aktivierender Mathematikunterricht und die Entwicklung von mathematischer Kompetenz (COACTIV) : Dokumentation der Erhebungsinstrumente.* Berlin : Max-Planck-Inst. für Bildungsforschung, 2008 (Materialien aus der Bildungsforschung 83)
- [18] JOHANNES, Christine ; FENDLER, Jan ; HOPPERT, Anthe ; SEIDEL, Tina: *Projekt LehreLernen (2008-2010) : Dokumentation Erhebungsinstrumente.* Münster : Verlagshaus Monsenstein und Vannerdat, 2011

Belastungstrajektorie in der Studieneingangsphase Physik

Simon Z. Lahme*, Jasper O. Cirkel*, Larissa Hahn*, Pascal Klein*,
Ronja Langendorf* und Susanne Schneider*

* Georg-August Universität Göttingen, Didaktik der Physik, Friedrich-Hund-Platz 1, 37077 Göttingen
pascal.klein@uni-goettingen.de

Abstract

Die Studieneingangsphase Physik stellt Studierende vor vielfältige Herausforderungen. Eine Nichtpassung zwischen universitären Anforderungen und persönlichen Ressourcen kann zum Empfinden von Belastung führen. An der Universität Göttingen wurde daher während des ersten Studiensemesters auf wöchentlicher Basis die wahrgenommene Belastung der Studierenden mit dem Perceived Stress Questionnaire (Levenstein et al., 1993; im Deutschen validiert von Fliege et al., 2001) erfasst. Die resultierende „Belastungstrajektorie“ zeigt einen charakteristischen Verlauf mit einer hohen wahrgenommenen Belastung ab etwa der achten Vorlesungswoche bis zum Ende der Prüfungsphase. Die Daten geben Auskunft über die empfundene Beanspruchung seitens der Studierenden zu Beginn ihres Physikstudiums, sodass perspektivisch zielgerichtete Unterstützungsmaßnahmen und Weiterentwicklungen des Lehrangebots möglich werden. Neben der Vorstellung der Initiative und der ersten Ergebnisse wird in diesem Beitrag auch das verwendete Erhebungsinstrument (re-)validiert, da es bislang nicht in der Zielgruppe der Physikstudierenden eingesetzt wurde.

1. Motivation

Die Eingangsphase des Physikstudiums wird von vielen Studierenden als herausfordernd wahrgenommen. Objektiv zeigt sich dies in der selbst für naturwissenschaftliche Studiengänge hohen und in den letzten Jahren gestiegenen Abbruchquote von 49% für die Fächergruppe Physik/Geowissenschaften, wobei knapp die Hälfte der Abbrüche bereits innerhalb des ersten Studienjahres erfolgt (Heublein et al., 2017; Heublein, et al., 2020). Ursächlich hierfür sind besonders die inhaltlichen Leistungsanforderungen des Studiums (Albrecht, 2011; Heublein et al., 2017). Der (erfolgreiche) Übergang zwischen Schule und Hochschule kann daher als ein Transitionsprozess (Holmegaard et al., 2014) aufgefasst werden, der mit einer (gelingenden) akademischen Identitätsbildung durch (nicht) erfolgreiche Bewältigung der Anforderungen auf fachlicher Ebene, Metakognitionsebene und Sozialisierungsebene einhergeht (Bauer et al., 2019).

In der hochschul(-fach-)didaktischen Forschung wurden und werden daher eine Reihe von Innovationen implementiert, um Studierende bei der Bewältigung dieser Anforderungen zu unterstützen und Lehr-Lern-Prozesse im Studium zu optimieren. Hierzu zählen kompensatorisch wirkende, außerhalb der Pflichtlehre verortete Unterstützungsangebote, z. B. Lernzentren mit spezifischen Beratungs-, Lern- und Tutorienangeboten (Haak, 2017) oder mathematische Vorkurse/Propädeutika vor Studienbeginn (Bausch et al., 2014). Andere Ansätze sind curricular ausgerichtet, indem sie z. B. einen gestuften Kompetenzerwerb durch die transparente und konsequente Gestaltung von Übungsaufgaben auf verschiedenen Niveaustufen (Woitkowski, 2020) verfolgen, die Kohärenz der

Lehrveranstaltungen (Bauer et al., 2019) steigern, Scaffolding-Ansätze speziell für Lehramtsstudierende integrieren (Lüders et al., 2020) oder das Lernen mit multiplen Repräsentationen unterstützen (Klein et al., 2018). Weitere Ansätze adressieren die metakognitive Ebene, etwa durch die Förderung eines lernförderlichen Growth Mindsets statt eines hinderlichen Fixed Mindsets bezüglich eigener Entwicklungsperspektiven (Projekt GroMM; BMBF, 2021).

Ausgangspunkt solcher Ansätze sind oft konstrukt-fokussierte Analysen der Lern- und Entwicklungsprozesse der Studierenden. Diese können sich z. B. auf physikalische Problemlöseprozesse (Lahme et al., 2021), den Fachwissenserwerb (Woitkowski, 2015) oder den gestuften Erwerb experimenteller Kompetenzen im Sinne des Cognitive Apprenticeship (Bauer et al., 2018; Lüders et al., 2020) beziehen. Ein weiterer Ausgangspunkt, der von Schwedler (2017) bereits für das Chemiestudium verfolgt wurde, ist der Fokus auf das subjektive Stress- bzw. Belastungserleben und dessen Ursachen. Nach Albrecht (2011) wirkt sich die Wahrnehmung der Gesamtbelastung als Studienbedingung auf Studier- und Lernverhalten und damit auf Studienerfolg bzw. Studienabbruch aus.

Eine breit angelegte, quantitative Untersuchung des Belastungserlebens auf der Zeitskala des ersten Studienjahres erlaubt daher die Erfassung des charakteristischen Verlaufs der von den Studierenden wahrgenommenen Belastung zu Studienbeginn, um perspektivisch zielgerichtete Unterstützungsmaßnahmen und Weiterentwicklungen des Lehrangebots zu ermöglichen. Dieses Ziel wird an der Universität Göttingen für Studienanfänger:innen im Fach Physik im Rahmen der Initiative „Belastungstrajektorie“ verfolgt. In

diesem Beitrag wird in Kapitel 2 die Projektidee unter Bezug auf bisherige Studien zum Stress- und Belastungsempfinden bei Studierenden theoretisch gerahmt, um dann in Kapitel 3 und 4 das Untersuchungsdesign und die konkrete Umsetzung der Datenerhebung im Wintersemester 20/21 vorzustellen. In Kapitel 5 werden die Validität des genutzten Instruments, dem Perceived Stress Questionnaire (PSQ) (Levenstein et al., 1993; dt. Fliege et al., 2001), diskutiert und die Ergebnisse für das erste Studiensemester berichtet. In Kapitel 6 werden neben einer Zusammenfassung abschließend die nächsten geplanten Schritte in der Forschungsinitiative skizziert.

2. Hintergrund und Forschungsfragen

Bezüglich des Belastungsempfindens bei Studierenden gibt es keine einheitliche Definition oder Begriffsverwendung. Viele Arbeiten orientieren sich an Theorien und Begriffen rund um Stress und Stresserleben (Schwedler, 2017; Ortenburger, 2017), Burnout (Vogelsang, 2021), Beanspruchung (Schwedler, 2017) oder Belastung/Belastetheit (Fliege et al., 2001). Dabei nutzen viele Autor:innen diese Begriffe synonym (Fliege et al., 2001; Ortenburger, 2017; Schwedler, 2017). Vogelsang (2017) schreibt diesbezüglich: „Alle Modelle betrachten Belastungserleben als Interaktion zwischen Person und Umwelt [...]. Sie unterscheiden sich darin, ob sie den Fokus stärker auf personale oder situationale Einflussfaktoren legen, sowie darin, welche Aspekte des Belastungserlebens genauer betrachtet werden“ (S. 266).

In dieser Arbeit wird der Begriff Belastung verwendet, wie ihn Fliege et al. (2001) in der deutschen Variante des Perceived Stress Questionnaire (PSQ) nutzen. Dieses Instrument geht auf Levenstein et al. (1993) zurück, die damit den „stress on the course of disease“ (S. 19) erheben wollten und dazu „as its starting point the impressions of experienced clinicians and of patients with chronic relapsing diseases regarding the life situations that actually trigger symptoms“ (S. 20) wählten. Die Items sollten „applicable to adults of any age, sex, occupation, or stage of life, though interpretable as specific to a variety of real-life situations“ (S.20) sein. Das Instrument ist daher prinzipiell auch jenseits medizinischer Kontexte für die Erfassung der momentan wahrgenommenen Belastung (im Sinne der Reaktionen, nicht der Quellen der Belastung; Fliege et al., 2001) geeignet.

Das Konstrukt der von Studierenden subjektiv wahrgenommenen Belastung bzw. des Stresserlebens ist bereits Gegenstand hochschuldidaktischer Forschung. Auf einer eher allgemein-hochschuldidaktischen Ebene hat Ortenburger (2017) gezeigt, dass sich 59% der Studierenden innerhalb einer spezifischen Woche (sehr) oft gestresst und nervös fühlten und 31% der Studierenden im gleichen Zeitraum sogar (sehr) oft das Gefühl hatten, wichtige Dinge ihres Lebens nicht selbst kontrollieren zu können. Das Belastungsempfinden ist gemäß ihren Untersuchungen

unabhängig von dem Studienfach oder der Hochschulform (Fachhochschule vs. Universität); hingegen empfinden Frauen eine stärkere Belastung bzw. einen höheren Kontrollverlust als Männer. Laut Ortenburger (2017) verbinden Studierende ihr Belastungs- und Stressempfinden vor allem mit Zeitnot, Leistungsdruck, Zukunftsangst und Überforderung, wobei konsistent die letzteren beiden Assoziationen häufiger von Frauen geäußert werden. Das Stress- und Belastungsempfinden nimmt mit höherem Studiensemester zu, da sich „Studierende in höheren Semestern [...] häufiger von kritischen Lebensereignissen betroffen [fühlen] und seltener in der Lage [sehen], diese Krisen aus eigener Kraft zu lösen bzw. ihr Leben entsprechend zu steuern“ (S. 16f.).

Eine domänenspezifischere Betrachtung des Belastungserlebens erfolgte bereits für Studierende des Lehramts (Vogelsang, 2021), in Chemie (Schwedler, 2017) und randständig auch in Physik (Albrecht, 2011). Während für Lehramtsstudierende innerhalb der Studienphasen bislang wenige Erkenntnisse vorliegen, ist nach Vogelsang (2021) das Belastungsempfinden von Lehramtsstudierenden in studienbezogenen Praxisphasen (Schulpraktikum, Praxissemester) bereits gut untersucht. So führen etwa die Vorbereitung eigenen Unterrichts unter Zeitdruck und die Anfahrt zur Ausbildungsschule zu einer hohen emotionalen Erschöpfung (Vogelsang, 2021). Für Chemiestudierende zeigte Schwedler (2017), dass sich mithilfe eines Kurzfragebogens auf Basis der selbsteingeschätzten Fehlbeanspruchung, aufgefasst als fehlende Passung zwischen Anforderungen und individuellen Fähigkeiten und Ressourcen, eine Typisierung danach vornehmen lässt, wie bedrohlich/gefährdend das Belastungserleben ist. Darüber hinaus konnte Schwedler (2017) zeigen, dass eine Vielzahl an Belastungsquellen fachspezifisch ist, im Studienfach Chemie z. B. die mathematischen Inhalte oder der erforderliche Zeitaufwand für Laborpraktika. Albrecht (2011) zeigte außerdem ohne nähere Aufschlüsselung der Belastung(-quellen), dass Physik-B.Sc.- und Physik-Lehramtsstudierende im ersten Fachsemester eine vergleichbare, insgesamt hohe Gesamtbelastung wahrnehmen. Anders als nach Ortenburger (2017) reduziert sich nach Albrecht (2011) im Fach Physik die Gesamtbelastung mit höherem Semester durch „Anpassung der Studierenden an die Studienanforderungen des Studienfaches sowie die Modifikationen ihres Studier- und Lernverhaltens im Laufe des ersten Studienjahres“ (S. 95).

Insgesamt zeigen diesen Vorarbeiten, wie wichtig fachspezifische Untersuchungen des Belastungserlebens in der Studieneingangsphase sind. Insbesondere für das Fach Physik bedarf es noch einer kontinuierlichen, zeitlich hoch aufgelösten Analyse der wahrgenommenen Belastung und ihrer Quellen. Daher soll im Zuge der Forschungsinitiative „Belastungstrajektorie“ über den Verlauf der Studieneingangsphase hinweg aufgelöst auf der Ebene einzelner Wochen die

von Physikstudierenden wahrgenommene (momentane) Belastung und deren Ursachen/Quellen erfasst werden. Diese Analyse erlaubt perspektivisch die Integration zielgerichteter Präventions- und Unterstützungsmaßnahmen in die Hochschullehre, um hohen, Studienerfolg gefährdenden Belastungen zu Studienbeginn entgegenzuwirken. Diesbezüglich sollen folgende Forschungsfragen (in diesem Beitrag nur die erste) beantwortet werden:

F1: Wie hoch ist die momentan subjektiv wahrgenommene Belastung von Studierenden im Verlauf der Studieneingangsphase Physik?

F2: Welche Belastungsquellen nennen Studierende der Studieneingangsphase Physik?

F3: Inwieweit lassen sich Typen von Studierenden mit spezifischen Belastungsprofilen (a) identifizieren und (b) gezielt unterstützen?

3. Untersuchungsdesign und -instrument

Zur Beantwortung der formulierten Forschungsfragen wird die von den Studierenden empfundene Belastung mithilfe eines dreiteiligen Fragebogens erfasst: Der erste Teil dient mit Blick auf Forschungsfrage 1 der Messung der momentan subjektiv von den Studierenden wahrgenommenen Belastung. Hierzu wird der Perceived Stress Questionnaire (PSQ) von Levenstein et al. (1993) in seiner bereits publizierten deutschsprachigen Version von Fliege et al. (2001) eingesetzt, welcher ursprünglich zur Messung des Stresserlebens bei gastroenterologischen Patient:innen entwickelt, aber im Rahmen der deutschsprachigen Validierung auch bei psychosomatischen Patient:innen, Müttern nach komplikationsloser Geburt oder Fehlgeburt sowie zu Beginn einer Lehrveranstaltung für Medizinstudierende eingesetzt wurde. Das aus der Patient:innenforschung stammende Instrument besteht aus vier Skalen (Sorge, Anspannung, Anforderungen und Freude) mit je fünf, teils invertierten Items, die auf einer sechsstufigen Likert-Skala (1 = fast nie bis 6 = meistens) geratet werden. Aus den vier Skalen lässt sich ein Gesamtscore (wahrgenommene Gesamtbelastung) bestimmen. Dazu werden die Items aus den Skalen Sorge, Anspannung und Anforderungen als stressbegünstigend und die 5 Items aus der Skala Freude als stressreduzierend aufgefasst. Gemäß Instrumentenkonstruktion werden die Ratings der stressbegünstigenden Items zu den invertierten Werten (7 – Ratingwert) der Ratings der stressreduzierenden Items addiert, durch $(20 - 1) \cdot 5$ dividiert und mit 100 multipliziert. Der Gesamtscore beschreibt die von den Studierenden wahrgenommene Gesamtbelastung auf einer Skala von 0 (minimal angebbare) bis 100 (maximal angebbare Belastung).

Im zweiten Teil nennen die Studierenden mit Blick auf Forschungsfrage 1, wie viele Stunden sie in den vergangenen sieben Tagen seit letztem Erhebungszeitpunkt ihrer Einschätzung nach für ihr Studium aufgewendet haben. Zu diesem frei geschätzten Workload sollen explizit nicht nur die Teilnahme an Lehrveranstaltungen, sondern etwa auch die individuelle

Vor- und Nachbereitung gezählt werden. Im dritten Teil des Fragebogens werden die Studierenden mit Blick auf Forschungsfrage 2 in einem Freitextfeld stichwortartig nach den drei für sie persönlich relevantesten Quellen ihrer Belastung befragt.

Eine Zusammenführung und Analyse sämtlicher Daten wird dann eine Antwort auf Forschungsfrage 3 ermöglichen. Ein Auszug aus dem Erhebungsinstrument mit Beispielimens ist in Abb. 1 zu finden.

- **Beispiel Sorgen:** Sie haben Angst vor der Zukunft.
- **Beispiel Anspannung:** Sie fühlen sich mental erschöpft.
- **Beispiel Anforderungen:** Sie haben das Gefühl, dass zu viele Forderungen an Sie gestellt werden.
- **Beispiel Freude:** Sie haben das Gefühl, Dinge zu tun, die Sie wirklich mögen.
- **Workload:** Schätzen Sie den zeitlichen Aufwand, den Sie innerhalb der letzten Woche (seit Mittwoch) für Ihr Studium insgesamt aufgewendet haben (Vorlesung, Übung, Selbststudium etc.): _____ Stunden.
- **Belastungsquellen:** Geben Sie bis zu drei Ursachen an, die gerade eine Belastung erzeugen (die stärkste Belastung zuerst):
1. _____
2. _____ 3. _____

Abb. 1: Kommentierter Auszug aus dem Erhebungsinstrument für die wahrgenommene wöchentliche Belastung.

Darüber hinaus wurde zu Semesterbeginn einmalig in der ersten Vorlesungswoche auch ein Kurzfragebogen zur Erhebung demographischer Angaben der Proband:innen eingesetzt. Bestandteil dieses Fragebogens sind das Geschlecht (m, w, d, k.A.), der Studiengang (B.Sc. Physik, 2-Fächer-B.A. Profil Lehramt mit Fach Physik für Gymnasien, Sonstiges), das Fachsemester (1./Nicht 1. Fachsemester), die Anzahl der im Semester besuchten Lehrveranstaltungen, die explizite Teilnahme an den typischen Grundlagenvorlesungen für das erste Fachsemester, die Selbsteinschätzung der Leistungen in Physik und Mathematik sowie die Abiturdurchschnittsnote.

4. Datenerhebung und Stichprobe

Die Datenerhebung erfolgte im Wintersemester 2021/2022 auf wöchentlicher Basis (i. d. R. mittwochs), beginnend mit dem mathematischen Vorkurs für Physiker:innen drei Wochen vor offiziellem Vorlesungsbeginn. Abb. 2 zeigt, dass im Rahmen dieses Vorkurses, in der Orientierungsphase in der Woche vor Vorlesungsbeginn, der Grundlagenvorlesung Rechenmethoden der Physik, der Prüfungsphase und der vorlesungsfreien Zeit danach (hier und in den Weihnachtsferien teils nur im Zweiwochentakt) insgesamt 23 Messzeitpunkte realisiert wurden. Die Teilnahme erfolgte freiwillig, anonym und sofern möglich während der Vorlesung. Dabei wurden beide Fragebögen (Belastungsinstrument & demographische Angaben) sowohl in Papierform als auch als in LimeSurvey implementierte Online-Umfrage eingesetzt, um der Covid-19-bedingten Hybridlehre Rechnung zu tragen



Abb. 2: Übersicht über die 23 Messzeitpunkte (MZP), zu denen die wahrgenommene Belastung der Physikstudierenden im ersten Studiensemester erfasst wurde.

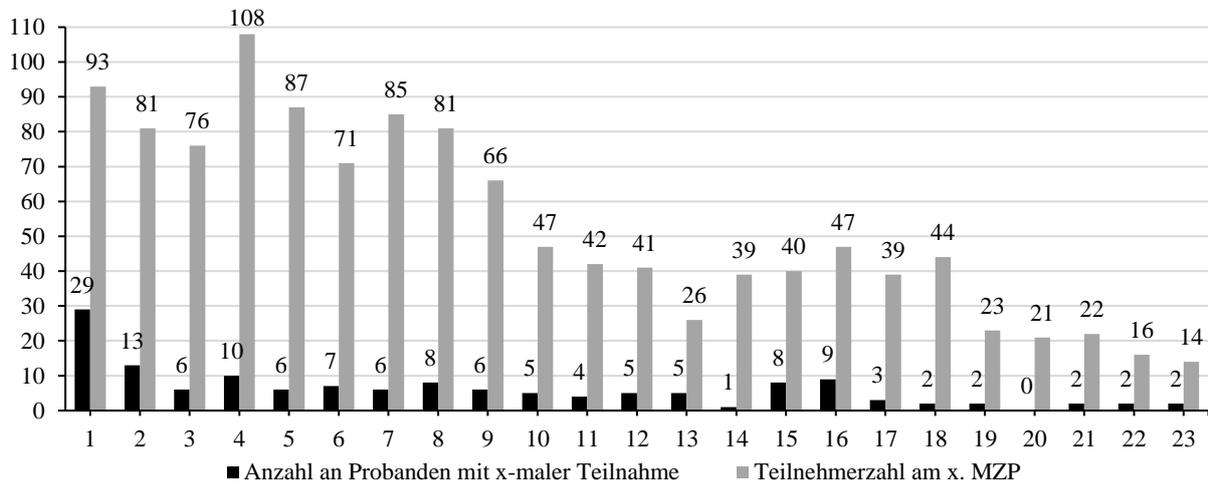


Abb. 3: Proband:innenzahl, die x-mal an den 23 Messzeitpunkten (schwarz) bzw. am x-ten Messzeitpunkt (grau) teilnahmen.

und eine Datenerhebung auch in der vorlesungsfreien Zeit zu realisieren. Die Online-Teilnahme war auch noch ein paar Tage später in der jeweiligen Woche nach der Erhebung in der Vorlesung möglich. Sämtliche Daten wurden pseudonymisiert mithilfe eines persönlichen Codes erfasst, was eine proband:innenbezogene Verknüpfung der Daten sämtlicher Erhebungszeitpunkte erlaubt. Insgesamt konnten nach Matching aufgrund offensichtlicher Fehler in der Codeangabe 145 verschiedene Codes registriert werden. Die Verteilung, wie oft die einzelnen Personen an den 23 Erhebungszeitpunkten insgesamt und wie viele Personen am jeweiligen Erhebungszeitpunkten teilgenommen haben, ist in Abb. 3 dargestellt.

Die Zusammensetzung der Stichprobe ist im Wesentlichen durch den Hörer:innenkreis der Vorlesung Rechenmethoden der Physik bestimmt, welche laut Modulordnung im Wesentlichen von Physik-B.Sc.- und Physik-Lehramtsstudierenden im ersten Studiensemester besucht wird. Parallel hören diese Studierenden gemeinsam Experimentalphysik I (Mechanik). In Tab. 1 findet sich eine nähere Charakterisierung der Stichprobe anhand der Anmeldungen zur Lehrveranstaltung Rechenmethoden der Physik (Grundgesamtheit) und den demographischen Angaben im Fragebogen in der ersten Vorlesungswoche. Demnach ist die Stichprobe hinsichtlich des Studiengangs, Semesters und Geschlechts hinreichend repräsentativ. Der Großteil der Proband:innen (90%) befindet sich im ersten Semester. Die Studierenden höheren Semesters werden dennoch in die Auswertung mit einbezogen,

da auch unter den Proband:innen ohne demographische Angaben Studierende höheren Semesters sein können. Durch 23-fachen Einsatz des Erhebungsinstruments bei bis zu 145 Studierenden wurden 1148 Belastungsmessungen, 1109 Workloadangaben und 950 frei formulierte Belastungsquellen erfasst.

	G	Stichprobe
Teilnehmendenzahl	187	107
→ 1. Fachsemester	130	97
→ Physik B.Sc.	119	83
→ Physik B.A. Lehramt	42	18
→ auch in Physik I		100
→ weiblich	~40	25
→ divers/k.A.		3

Tab. 1: Demographische Angaben von 107 der insgesamt 145 Probanden, die den Fragebogen in der ersten Vorlesungswoche ausfüllten, in Relation zur Grundgesamtheit G der Studierenden in Rechenmethoden der Physik.

5. Ergebnisse und Diskussion

Der umfassende Datensatz erlaubt eine (erneute) Validierung des eingesetzten Instruments hinsichtlich dessen Eignung für die Messung der von Studierenden empfundenen Belastung, da das Instrument primär nicht für hochschulfachdidaktische Forschung konzipiert wurde. Die Analyse erfolgt unter Rückbezug auf Ergebnisse von Fliege et al. (2001) in Abschnitt 5.1. Im Anschluss wird die Belastungstrajektorie, d. h. die von den Studierenden empfundene Belastung im Verlauf des ersten Studiensemesters, auch

in Bezug zum geschätzten Workload beschrieben und diskutiert, was Forschungsfrage 1 beantwortet.

5.1 Validierung des Erhebungsinstruments

Mit Blick auf eine Verstetigung der Datenerhebung mit dem Perceived Stress Questionnaire (PSQ) und dessen primären Einsatzzweck soll an dieser Stelle basierend auf dem breiten Datensatz eine erneute Validierung des Erhebungsinstruments inklusive Rückbezug auf die Validierung von Fliege et al. (2001) erfolgen. Hierzu werden die interne Konsistenz (Reliabilität) der vier Skalen, die Trennschärfe dieser vier Skalen und ihre Eignung für die Beschreibung einer Gesamtbelastung untersucht. Für die interne Konsistenz werden die Cronbachs Alphas der vier Skalen über den gesamten Datensatz (alle Probanden und alle Erhebungszeitpunkte) bestimmt. Tab. 2 stellt diese den Referenzwerten von Fliege et al. (2001) gegenüber. Es zeigt sich, dass für alle vier Skalen und die Gesamtbelastung die Cronbachs Alphas bei über .80 und gleichzeitig in der Größenordnung von Fliege et al. liegen, diese teils sogar übertreffen. Damit können diese Skalen als reliabel eingeschätzt werden.

PSQ-Skalen	Physik Gö (N = 1148)	Medizin Fliege et al. (N = 246)	Gesamt Fliege et al. (N = 650)
Sorgen	.89	.76	.86
Anspannung	.85	.83	.84
Freude	.81	.82	.85
Anforderungen	.89	.81	.80
Gesamtbelastung	.95	.83	.85

Tab. 2: Prüfung der internen Konsistenz der Skalen durch Vergleich der Cronbachs Alphas für die Göttinger Physikstudierenden mit den Referenzgruppen Medizinstudierende und Gesamtstichprobe bei Fliege et al. (2001).

Für die Trennschärfe der Skalen und ihre Eignung zur Beschreibung der Gesamtbelastung werden nach Bakdash und Marusich (2017) über den gesamten Datensatz paarweise repeated measure correlations zwischen den vier Skalen und dem Gesamtscore bestimmt. Die repeated measure correlations tragen der Tatsache Rechnung, dass die Proband:innen in den 23 Messzeitpunkten mehrfach teilgenommen haben. Tab. 3 stellt diese den Werten von Fliege et al. (2001) gegenüber. Es zeigt sich auch hier, dass es zwischen den vier Skalen eine Schnittmenge gibt (Korrelationen betraglich zwischen .36 und .77) und sich die Skala Freude erwartungsgemäß invers zu den Skalen

	Gesamtbelastung		Anforderungen		Freude		Anspannung	
	Gö	Fliege et al.	Gö	Fliege et al.	Gö	Fliege et al.	Gö	Fliege et al.
Sorgen	.89	.89	.74	.44	-.70	-.71	.73	.72
Anspannung	.91	.87	.78	.54	-.72	-.72		
Freude	-.83	-.82	-.59	-.36				
Anforderungen	.90	.67						

Tab. 3: Repeated measure correlations zwischen den vier Skalen und der Gesamtbelastung für die Stichprobe im Vergleich zu den Referenzwerten von Fliege et al. (2001, gerundet). Alle Korrelationen sind für Göttingen auf dem 0,1%, bei Fliege et al. auf 1%-Niveau signifikant. (Anzahl Beobachtungen: Göttingen N = 1148, Referenz N = 246).

Sorgen, Anspannung und Anforderungen verhält. Die hohen Korrelationen von betraglich .82 bis .90 zwischen den vier Skalen und der Gesamtbelastung zeigt zudem, dass alle vier Skalen zum Konstrukt Gesamtbelastung gehören. Sämtliche Korrelationen liegen dabei in einer vergleichbaren Größenordnung mit den Ergebnissen von Fliege et al. übertreffen diese sogar oft. Insgesamt kann die Validität und Reliabilität des Instruments auch für wiederholende Messungen der wahrgenommenen Belastung bei (Physik-)Studierenden in der Studieneingangsphase gefolgert werden.

5.2 Belastungstrajektorie

Mit Blick auf Forschungsfrage 1 zeigt Abb. 4 die Belastungstrajektorie der Physikstudierenden im ersten Studiensemester. Dabei wird je Messzeitpunkt die von den jeweils teilgenommenen Proband:innen angegebene Gesamtbelastung als Boxplot dargestellt. Es zeigt sich, dass bei weitgehend ähnlicher Streuung (vgl. Breite der Boxen und Länge der Whisker) die Gesamtbelastung der Studierenden im zeitlichen Verlauf des Semesters variiert. Zu einzelnen Messzeitpunkten wird die Skala des Instruments nahezu vollständig ausgeschöpft, d. h. es werden tatsächlich Gesamtbelastungen von 0 (z. B. MZP 3) und 100 (z. B. MZP 5) berichtet. Während der Median der Gesamtbelastung im Vorkurs und in der Orientierungsphase bei einem Wert um 35 (entspricht ca. 1/3 der maximal angebbaren Belastung) liegt, steigt dieser im Laufe der ersten Semesterwochen kontinuierlich an und erreicht ab Semesterwoche 8 ein Plateau mit leichten Schwankungen von ±4 um 62 (entspricht ca. 2/3 der maximal angebbaren Belastung). Dieses Plateau wird während der Vorlesungszeit nur einmal zum Messzeitpunkt 13 (Weihnachtsferien) mit einem Median von 43 verlassen. Erst nach Vorlesungsende und Abschluss der letzten Prüfungen sinkt die wahrgenommene Gesamtbelastung wieder deutlich und erreicht zum 21. Messzeitpunkt einen Median von 17, unterschreitet somit sogar das Ausgangsniveau vor Vorlesungsbeginn. Die Studierenden nehmen also bereits nach wenigen Vorlesungswochen konsistent zur in Abschnitt 2 zitierten Literatur eine hohe Belastung wahr, von der sie sich in den Weihnachtsferien nur kurz erholen können und die erst abnimmt, wenn die universitären Anforderungen weitgehend entfallen.

Abb. 5 zeigt, dass während der Vorlesungszeit die Skala Anforderungen das Belastungsempfinden dominiert (Median stets über dem der anderen Skalen), während die Skalen Sorge und Anspannung die Gesamtbelastung vergleichbar moderieren. Die Skala

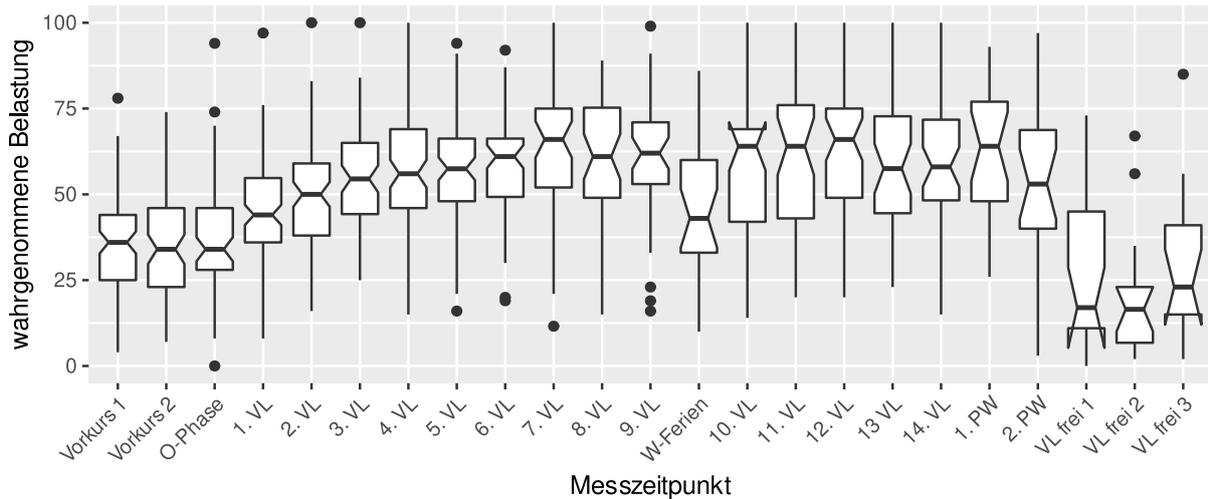


Abb. 4: Belastungstrajektorie des ersten Studienseesters, d.h. die von den Physikstudierenden zu dem jeweiligen Messzeitpunkt wahrgenommene Gesamtbelastung (dargestellt als Boxplot) über den Verlauf des ersten Studienseesters.

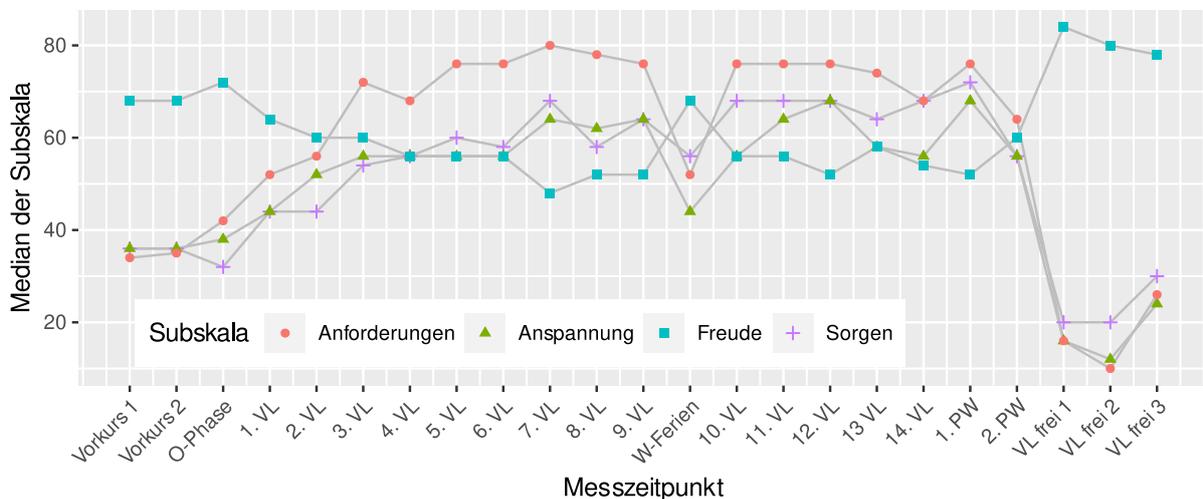


Abb. 5: Mediane der vier Skalen der Gesamtbelastung (Anforderungen, Anspannung, Freude und Sorgen) je Messzeitpunkt.

Freude verläuft erwartungsgemäß invers, d. h. während der Vorlesungszeit geht die anfängliche Freude zurück, nimmt aber zu Weihnachten wieder zu und übersteigt nach den Prüfungen sogar den Wert aus dem Vorkurs, wohingegen Anforderungen, Anspannung und Sorge nach den Prüfungen abfallen. Der leichte Anstieg in den letzten zwei Messzeitpunkten ist auf die zweite Prüfungsphase und die Teilnahme am obligatorischen Programmierkurs zurückzuführen. Insgesamt verläuft die Belastungstrajektorie ehrwartungskonform (hohe Gesamtbelastung in der Vorlesungs- und Prüfungszeit; niedrige Gesamtbelastung und Anforderungen, aber hohe Freude zu Weihnachten und in der vorlesungsfreien Zeit). Folglich ist das Instrument änderungssensitiv, was zusätzlich für dessen Validität spricht.

5.3 Workload

Neben der wahrgenommenen (Gesamt-)Belastung haben die Probanden je Messzeitpunkt auch den selbst eingeschätzten Workload für das Studium der jeweils zurückliegenden Woche angegeben. Abb. 6 zeigt mit Boxplots den zeitabhängigen Verlauf des Zeitaufwands für das Studium im ersten Semester.

Die Mediane zeigen, dass im Vorkurs ein Zeitaufwand etwas über 20 h erfolgt, der in der Orientierungsphase mit 7 h noch einmal unterschritten wird. Mit Semesterbeginn steigt der Workload von einem Median von 20 h ähnlich wie die wahrgenommene Gesamtbelastung deutlich an, bis auch hier ab etwa Messzeitpunkt 6 ein Plateau mit einem Median von (knapp über) 50 h erreicht wird. Eine Entspannung kann auch hier nur in den Weihnachtsferien auf im Median 24 h verzeichnet werden, ansonsten sinkt der Workload erst nach der Prüfungszeit wieder auf das Ausgangsniveau mit einem Median von unter 20 h herab. Zu erkennen ist, dass der eingeschätzte Workload und die wahrgenommene Gesamtbelastung auf Kohortenebene simultan verlaufen. Es ergibt sich eine signifikante, positive repeated measure correlation zwischen dem selbsteingeschätzten Workload und der Gesamtbelastung von $r_{rm}(968) = 0.67$, CI 99% [0.62, 0.71], $p < .001$. Am stärksten spiegelt sich der Workload in der Skala Anforderungen: Deren repeated measure correlation zum Workload beträgt $r_{rm}(968) = 0.71$, CI 99% [0.67, 0.75], $p < .001$. Dies ist ein weiterer Indikator dafür, dass das Instrument

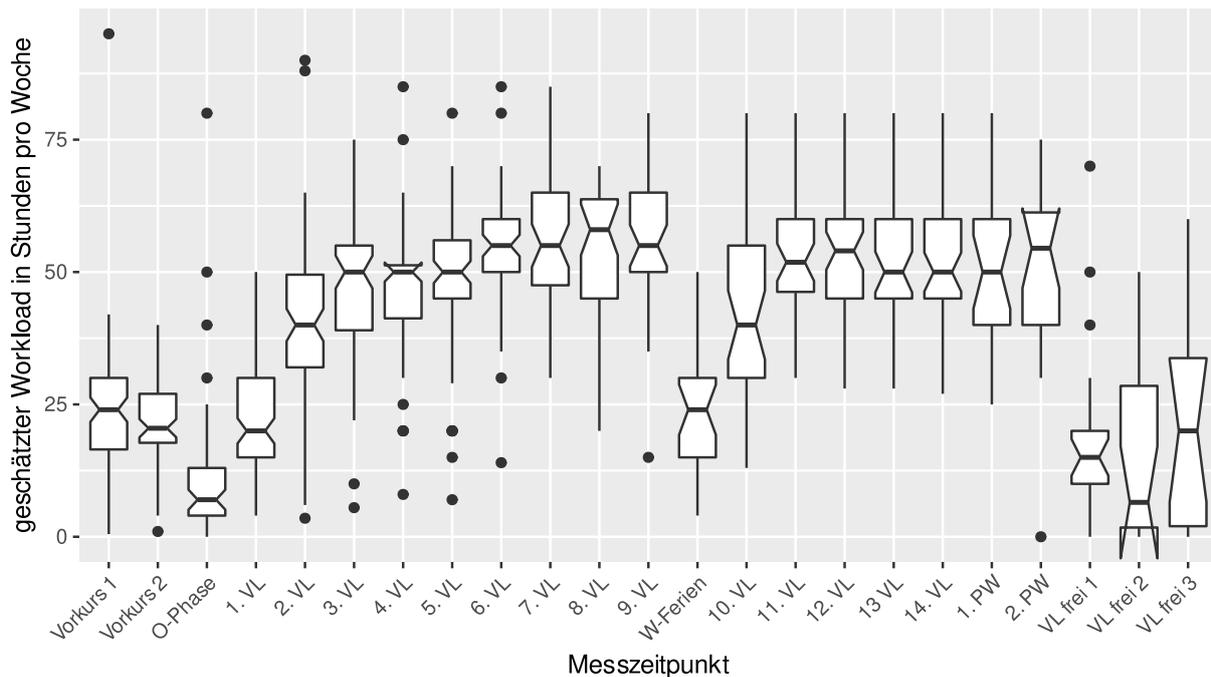


Abb. 6: Geschätzter universitärer Workload (in h) der zurückliegenden Woche je Messzeitpunkt, dargestellt als Boxplots.

tatsächlich die Belastung der Studierenden misst (konvergente Validität).

6. Fazit und Ausblick

Die Studieneingangsphase Physik erzeugt bei Studierenden ein charakteristisches Belastungsprofil. Die empfundene Belastung steigt zu Studienbeginn schnell an und erreicht dann nach etwa sechs bis acht Semesterwochen ein Plateau auf hohem Niveau. Erholung tritt nur in den Weihnachtsferien und nach Ende der Prüfungsphase auf. Die empfundene Belastung ist dabei deutlich mit dem selbsteingeschätzten momentanen Workload korreliert, der in der Hauptphase der Vorlesungszeit mit über 50 Wochenstunden über dem Zeitäquivalent einer Vollzeitbeschäftigung liegt. Das von Levenstein et al. (1993) bzw. Fliege et al. (2001) aus der Patient:innenforschung übernommene Erhebungsinstrument hat sich dabei als reliabel und valide, also für die zeitabhängige Messung der von Studierenden wahrgenommenen Belastung als geeignet herausgestellt. Nächste Schritte sind nun auf Ebene der Kohorte eine qualitative Inhaltsanalyse der angegebenen Belastungsquellen (Forschungsfrage 2) und auf Ebene der einzelnen Proband:innen eine Analyse der individuellen Belastungstrajektorien. Dadurch sollen unter Einbezug der erhobenen demographischen Angaben induktiv im Rahmen einer qualitativen Analyse und im Zuge einer Clusteranalyse Typen von Studierenden mit spezifischen Belastungstrajektorien und –quellen identifiziert werden (Forschungsfrage 3). Diese Typenbildung erleichtert perspektivisch die Diagnose von gefährdeten Studierenden sowie die Diskussion und Implementation zielgerichteter Unterstützungsmaßnahmen für die Studieneingangsphase, um präventiv hohen Belastungen entgegenzuwirken. Entsprechende Maßnahmen

können z. B. die Steigerung der Resilienz (Hofmann et al., 2021), die Förderung eines Growth Mindsets (Projekt GroMM; BMBF, 2021) oder eine Reflexion des persönlichen Belastungsempfinden mithilfe der in dieser Arbeit geschaffenen Referenzwerte umfassen. Um noch weiteren Einblick in das Belastungsempfinden in der Studieneingangsphase Physik zu gewinnen, wird parallel die Datenerhebung bei der gleichen Kohorte im zweiten Studiensemester (Sommersemester 22) fortgesetzt.

7. Literatur

- Albrecht, A. (2011). *Längsschnittstudie zur Identifikation von Risikofaktoren für einen erfolgreichen Studieneinstieg in das Fach Physik* [Dissertation, Freie Universität Berlin]. REFUBIUM – Repository der Freien Universität Berlin. <https://refubium.fu-berlin.de/handle/fub188/4415>
- Bakdash, J. Z. & Marusich, L. R. (2017). Repeated Measures Correlation. *Frontiers in Psychology*, 8, Artikel 456. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.00456>
- Bauer, A., Lahme, S., Woitkowski, D. & Reinhold, P. (2019). PSΦ: Forschungsprogramm zur Studieneingangsphase im Physikstudium. *PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG Frühjahrstagung - Aachen 2019*, 53–60. <http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/download/934/1061>
- Bauer, A. & Sacher, M. (2018). Kompetenzorientierte, universitäre Laborpraktika - Das Paderborner Physik Praktikum (3P). *PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung - Würzburg 2018*, 65-72. <http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/876>

- Bausch, I., Biehler, R., Bruder, R., Fischer, P. R., Hochmuth, R. K., Koepf, W., Schreiber, S. & Wasong, T. (Hrsg.). (2013). *Mathematische Vor- und Brückenkurse: Konzepte, Probleme und Perspektiven*. Springer Spektrum.
- BMBF (2021). *GroMM: Growing MINT Mindsets*. <https://wihofb.bmbfcluster.de/de/gromm-3834.php>
- Fliege, H., Rose, M., Arck, P., Levenstein, S. & Klapp, B. F. (2001). Validierung des “Perceived Stress Questionnaire“ (PSQ) an einer deutschen Stichprobe. *Diagnostica*, 47(3), 142–152. <https://doi.org/10.1026/0012-1924.47.3.142>
- Haak, I. (2017). *Maßnahmen zur Unterstützung kognitiver und metakognitiver Prozesse in der Studieneingangsphase*. Logos.
- Heublein, U., Ebert, J., Hutzsch, C., Isleib, S., König, R., Richter, J. & Woisch, A. (2017). *Zwischen Studierwartungen und Studienwirksamkeit: Ursachendes Studienabbruchs, beruflicher Verbleib der Studienabbrecherinnen und Studienabbrecher und Entwicklung der Studienabbruchquote an deutschen Hochschulen*. Forum Hochschule 1|2017. Hannover. https://www.dzhw.eu/pdf/pub_fh/fh-201701.pdf
- Heublein, U., Richter, J. & Schmelzer, R. (2020). *Die Entwicklung der Studienabbruchquoten in Deutschland*. DZHW Brief 3|2020. Hannover. DZHW. https://doi.org/10.34878/2020.03.dzhw_brief
- Hofmann, Y. E., Müller-Hotop, R., Högl, M., Datzler, D. & Razinskas, S. (2021). *Resilienz stärken: Interventionsmöglichkeiten für Hochschulen zur Förderung der akademischen Resilienz ihrer Studierenden: Ein Leitfaden*. IHF Forschungsbericht, 2. München. Bayerisches Staatsinstitut für Hochschulforschung und Hochschulplanung (IHF). <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0168-ssoar-75774-1>
- Holmegaard, H. T., Madsen, L. M. & Ulriksen, L. (2014). A journey of negotiation and belonging: understanding students’ transitions to science and engineering in higher education. *Cultural Studies of Science Education*, 9(3), 755–786. <https://doi.org/10.1007/s11422-013-9542-3>
- Klein, P., Kuhn, J. & Müller, A. (2018). Förderung von Repräsentationskompetenz und Experimentbezug in den vorlesungsbegleitenden Übungen zur Experimentalphysik: Empirische Untersuchung eines videobasierten Aufgabenformates. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 24(1), 17–34. <https://doi.org/10.1007/s40573-018-0070-2>
- Lahme, S., Bauer, A. & Reinhold, P. (2021). Ansätze zur Diagnose und Förderung von Problemlösefähigkeiten in der Studieneingangsphase Physik. *PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG Frühjahrstagung - virtuell 2021*, 127–134. <http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/download/1125/1214>
- Levenstein, S., Pranter, C., Varvo, V., Scibanano, M. L., Berto, E., Luzi, C. & Andreoli, A. (1993). Development of the perceived stress questionnaire: A new tool for psychosomatic research. *Journal of Psychosomatic Research*, 37(1), 19–32. [https://doi.org/10.1016/0022-3999\(93\)90120-5](https://doi.org/10.1016/0022-3999(93)90120-5)
- Lüders, C., Joußen, N. & Heinke, H. (2020). Unterstützungsmöglichkeiten in der Studieneingangsphase im lehramtsbezogenen Bachelorstudiengang Physik. *PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG Frühjahrstagung - Bonn 2020*, 257–262. <http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/download/1078/1168>
- Ortenburger, A. (2013). *Beratung von Bachelorstudierenden in Studium und Alltag: Ergebnisse einer HISBUS-Befragung zu Schwierigkeiten und Problemlagen von Studierenden - Berichtsband - und zur Wahrnehmung, Nutzung und Bewertung von Beratungsangeboten*. HIS: Forum Hochschule 3|2013. Hannover. https://www.dzhw.eu/pdf/pub_fh/fh-201303.pdf
- Schwedler, S. (2017). Was überfordert Chemiestudierende zu Studienbeginn? *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 23(1), 165–179. <https://doi.org/10.1007/s40573-017-0064-5>
- Vogelsang, C. (2021). Wie belastend war das Corona-Semester? Belastungserleben Lehramtsstudierender im Praxissemester während COVID-19-bedingter Schulschließungen im Frühjahr 2020. *Herausforderung Lehrer*innenbildung – Zeitschrift zur Konzeption, Gestaltung und Diskussion (HLZ)*, 4(1), 265–288. <https://doi.org/10.11576/HLZ-4376>
- Woitkowski, D. (2015). *Fachliches Wissen Physik in der Hochschulausbildung: Konzeptualisierung, Messung, Niveaubildung*. Logos.
- Woitkowski, D. (2020). Komplexitätsgestaffelte Übungsaufgaben zur Unterstützung im ersten Semester Physik. *PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG Frühjahrstagung - Bonn 2020*, 85–90. <http://phydid.physik.fu-berlin.de/index.php/phydid-b/article/download/1037/1132>

Author contributions¹

Jasper O. Cirkel: Data Curation (equal); Formal Analysis (lead); Validation; Visualization (equal); Writing – Review & Editing (equal). **Larissa Hahn:** Data Curation (equal); Formal Analysis (supporting); Investigation (equal); Visualization (equal); Writing – Review & Editing (equal). **Pascal Klein:** Conceptualization; Methodology; Supervision; Writing – Review & Editing (equal). **Simon Z. Lahme:** Data Curation (equal); Formal Analysis (supporting); Investigation (equal); Visualization (equal); Writing – Original Draft Preparation; Writing – Review & Editing (equal). **Ronja Langendorf:** Data Curation (equal); Formal Analysis (supporting); Investigation (equal); Writing – Review & Editing (equal). **Susanne Schneider:** Writing – Review & Editing (equal).

¹ According to CREDIT (CRediT Contributor Roles Taxonomy), <https://credit.niso.org/>

Die WiMINT-AGs Mathematik und Physik

Manuela Boin*, Britta Schütter-Kerndl*⁺, Bernd Oder⁺, Achim Boger[#], Karin Lunde*

*Technische Hochschule Ulm, ⁺Hochschule Aalen, [#]Gewerbliche Schule Schwäbisch Gmünd
manuela.boin@thu.de

Kurzfassung

Viele Erstsemester in WiMINT-Studiengängen (**W**irtschaft, **M**athematik, **I**nformatik, **N**aturwissenschaft und **T**echnik) haben zu Studienbeginn fachliche Probleme – nicht nur, aber sehr häufig – in Mathematik und Physik. Die Arbeitsgruppe **cosh** (**c**ooperation **S**chule–**H**ochschule) setzt sich deshalb für eine intensive Zusammenarbeit zwischen Schulen und Hochschulen in Baden-Württemberg ein. LehrerInnen erarbeiten gemeinsam mit ProfessorInnen Möglichkeiten, SchülerInnen besser auf ein Hochschulstudium vorzubereiten. Ein Ziel von **cosh** ist es dabei, Angebote für Studieninteressierte zu entwickeln, die diese Anfangsschwierigkeiten mindern sollen. Ein solches Angebot sind die hier vorgestellten WiMINT-AGs Mathematik und Physik.

WiMINT-AGs sind studentische Tutorien, die in Kooperation zwischen einer Hochschule und einer Schule stattfinden. Didaktisch geschulte Studierende wiederholen, üben und vertiefen Grundlagen der Mathematik bzw. Physik mit interessierten SchülerInnen. Eine weitere wichtige Aufgabe der TutorInnen ist die Weitergabe eigener Erfahrungen aus dem Studienbeginn. Ein Block zur Studienorientierung und -beratung rundet die AG ab.

1. Die Ausgangslage

Die Probleme vieler StudienanfängerInnen in der Studieneingangsphase im Hinblick auf fachliche, aber auch selbstorganisatorische Anforderungen des Studiums und daraus resultierende Studienabbrüche sind vielfach untersucht und beschrieben worden (u. a. [1], [2]). Bei der Analyse der fachlichen Probleme treten besonders häufig Defizite im Bereich der mathematisch-naturwissenschaftlichen Vorkenntnisse und Kompetenzen zutage [1], [3], [4]. Lückenhafte Vorkenntnisse in diesem Bereich sind natürlich besonders für StudienanfängerInnen in WiMINT-Studiengängen (**W**irtschaft, **M**athematik, **I**nformatik, **N**aturwissenschaft und **T**echnik) ein großes Problem.

Die Hochschulen für angewandte Wissenschaften (HAWen) stehen außerdem vor der Herausforderung, StudienanfängerInnen mit sehr unterschiedlichen Bildungsbiografien und somit sehr heterogenen Vorkenntnissen zu einem erfolgreichen Studienabschluss zu führen. Einen beispielhaften Überblick über die Vielfalt der Zugangswege in Baden-Württemberg gibt [5].

Die **cosh**-Gruppe (**cosh** = **c**ooperation **S**chule–**H**ochschule) in Baden-Württemberg hat sich deshalb zum Ziel gesetzt, durch eine vertiefte Zusammenarbeit der Lehrenden an Schulen und Hochschulen die Ursachen für die Probleme beim Übergang von der Schule an die Hochschule gemeinsam zu analysieren, ein Netzwerk, auch über Baden-Württemberg hinaus, aufzubauen sowie regionale Kooperationen zwischen Schulen und Hochschulen zu etablieren [6]. Seit 2002 gibt es diese baden-württembergweite

Kooperation im Bereich der Mathematik – **cosh** Mathe. 2019 hat sich außerdem eine Gruppe für den Bereich der Physik gegründet – **cosh** Physik. Mittlerweile wird die Arbeit der **cosh**-Gruppe deutschlandweit und sogar im Ausland wahrgenommen und mündet dort teilweise in ähnlichen Projekten.

Die bekanntesten Ergebnisse der **cosh**-Arbeit sind wahrscheinlich die Mindestanforderungskataloge Mathematik [7] und Physik [8]. Sie fassen die jeweiligen fachlichen Kompetenzen und Vorkenntnisse zusammen, die StudienanfängerInnen eines WiMINT-Studienganges aus Sicht der Lehrenden sowohl der Schulen als auch der Hochschulen in Baden-Württemberg mitbringen sollten, um erfolgreich in ihr Studium zu starten. Die Mindestanforderungskataloge dienen dabei der Information in vier verschiedene Richtungen: SchülerInnen (welche Kenntnisse und Kompetenzen sie für ein WiMINT-Studium mitbringen sollten), Lehrende an Schulen (welche Kenntnisse und Kompetenzen für diese SchülerInnen wichtig sind), Lehrende an Hochschulen (was sie maximal voraussetzen dürfen) und die Verantwortlichen v. a. in der Bildungspolitik (welche systemisch bedingten Lücken vorhanden sind).

Neben der Information über diese Anforderungen hat sich die **cosh**-Gruppe aber ebenfalls zum Ziel gesetzt, Unterstützungsmaßnahmen zu etablieren, die SchülerInnen noch vor Studienbeginn die Möglichkeit geben, fehlende Kompetenzen und Vorkenntnisse zu erwerben, um den Übergang Schule–Hochschule erfolgreich zu bewältigen. Eine dieser Unterstützungsmaßnahmen sind die hier vorgestellten WiMINT-AGs.

2. Das Konzept der WiMINT-AGs

Das Konzept wurde im Schuljahr 2015/16 erstmals unter dem Namen WiMINT-AG in einer Kooperation zwischen der Hochschule Aalen und einer Schule in der Nachbarschaft für das Fach Mathematik umgesetzt. Seitdem wurden das Konzept sowie die Inhalte und Materialien der WiMINT-AG Mathematik von der HS Aalen in Zusammenarbeit mit der Gewerblichen Schule Schwäbisch Gmünd und der Technischen Schule Heidenheim weiterentwickelt [9]. Dieses etablierte Konzept wurde dann für die im Rahmen des Verbundprojektes cosh im Förderprogramm FESSt-BW Förderlinie 4 „Eignung und Auswahl“ [10] neu entwickelte WiMINT-AG Physik übernommen.

WiMINT-AGs sind ein begleitendes, extracurriculares Angebot für Abschlussklassen regionaler Partnerschulen. Sie finden an der jeweiligen Partnerschule in Form studentischer Tutorien abgestimmt auf den Stundenplan der SchülerInnen statt. Wenn die TeilnehmerInnen einer AG alle aus der gleichen Klasse kommen, wird die WiMINT-AG möglichst auch im Stundenplan verankert, um eine stärkere Verbindlichkeit zu erreichen. Dafür sind eine enge Abstimmung mit den Lehrkräften an den Schulen sowie eine vertrauensvolle Zusammenarbeit aller Beteiligten wesentlich.

Ein Hauptziel dieser AGs ist die Kommunikation der fachlichen Anforderungen in Mathematik bzw. Physik in einem WiMINT-Studium und der Abbau von Defiziten. Den SchülerInnen wird über die AGs schuljahresbegleitend ermöglicht, vorhandene Kompetenzen zu stärken, fehlende Kompetenzen zu erwerben sowie Lücken in den Vorkenntnissen zu schließen. Fachliche Probleme beim Studienstart sollen so verringert werden.

Außerdem gewinnen die SchülerInnen durch den Kontakt zu den didaktisch geschulten TutorInnen, die ihre Studieneingangsphase bereits erfolgreich gemeistert haben, erste Einblicke in den neuen Lebensabschnitt. Sie haben die Möglichkeit, offene Fragen anzusprechen und von deren Erfahrungen zu profitieren. Ideal ist es, wenn Studierende als TutorInnen gewonnen werden können, die an dieser Partnerschule ihre Hochschulzugangsberechtigung erworben haben. Dies erhöht die Motivation der SchülerInnen, da es ihnen zeigt, dass der erfolgreiche Start ins Studium auch für sie möglich ist.

Komplettiert wird das Konzept durch einen Beratungs- und Orientierungsworkshop, der eine Unterstützung bei der Studienwahl geben soll, sowie mit einer Abschlussveranstaltung. Die Abschlussveranstaltung soll dabei sowohl dem Aufnehmen des Feedbacks der SchülerInnen seitens der OrganisatorInnen der WiMINT-AGs zur Weiterentwicklung des Konzeptes als auch dem Kennenlernen der Hochschule seitens der SchülerInnen dienen. So können z.B. noch offen gebliebene Fragen im Bereich der

Studienwahl adressiert, aber auch ein erster persönlicher Kontakt zur Hochschule hergestellt werden.

Durch die Pandemie bedingt, waren in den letzten beiden Jahren leider keine Abschlussveranstaltungen zu den WiMINT-AGs, die in Kooperation mit der Technischen Hochschule Ulm stattfanden, möglich. Eine Abschlussveranstaltung der diesjährigen WiMINT-AG Physik wird aber gerade geplant.

3. Die Zielgruppen der WiMINT-AGs

Die Zielgruppe für die WiMINT-AG Mathematik sind SchülerInnen des einjährigen Berufskollegs zum Erwerb der Fachhochschulreife (BKFH, [11]). Diese SchülerInnen haben nach dem mittleren Bildungsabschluss eine Berufsausbildung abgeschlossen und waren teilweise auch bereits in ihrem Beruf tätig. Sie haben sich entschieden, die Fachhochschulreife zu erwerben, um dann an einer HAW ein Studium aufnehmen zu können. Diese SchülerInnen sind hoch motiviert, benötigen aber aufgrund ihrer Bildungsbiografie häufig zusätzliche Unterstützungsmaßnahmen, um ihr Ziel erreichen zu können. Am BKFH wird die WiMINT-AG üblicherweise klassenweise angeboten.

Für die Pilotphase der WiMINT-AG Physik wurde die Kooperation mit einem beruflichen Gymnasium mit wirtschaftlicher Ausrichtung (WG, Friedrich-List-Schule Ulm) genutzt. Zielgruppe sind hier SchülerInnen, die sich für das wirtschaftliche Gymnasium entschieden haben, aber nach dem Abschluss einen auch oder hauptsächlich technisch ausgerichteten Studiengang wählen möchten. Durch die wirtschaftliche Ausrichtung kommt es hier häufig dazu, dass die SchülerInnen in der Kursstufe keinen oder maximal zwei Stunden Physikunterricht pro Woche haben. Zielgruppenbedingt ergibt sich dadurch eine klassen- und zum Teil klassenstufenübergreifende WiMINT-AG, die die Terminfindung schwieriger macht und die auch nicht in den Stundenplänen verankert werden kann.

Der Versuch, die WiMINT-AG Mathematik in der vorgestellten Art auch an einem zweijährigen Berufskolleg in mehreren Klassen durchzuführen, war bisher leider nicht erfolgreich. Die fehlende Motivation der SchülerInnen führte leider zu einer sehr stark schwankenden Teilnahme. Hier müsste das Konzept wahrscheinlich stärker angepasst werden.

4. Der zeitliche Ablauf

Die WiMINT-AG startet mit einer Auftaktveranstaltung am Beginn des Schuljahres. Daran schließt sich der erste von zwei Blöcken mit je 5 Nachmittags-terminen á 4 Schulstunden an. Zwischen den beiden Blöcken findet der Workshop zur Beratung und Orientierung bei der Studienwahl und zum Bewerbungsverfahren statt. An den darauf folgenden zweiten Block schließt sich dann die Abschlussveranstaltung an.

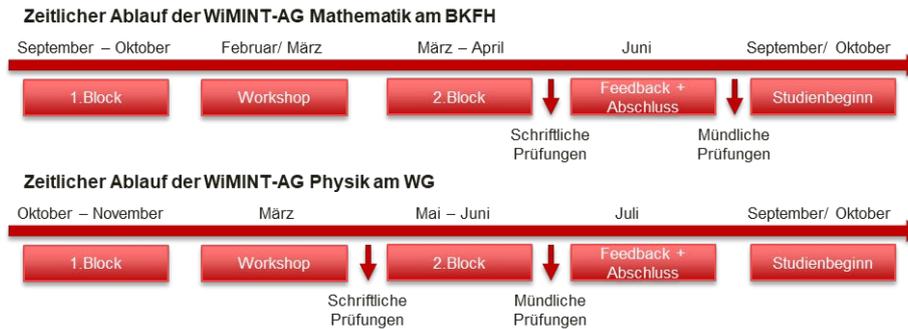


Abb. 1: Zeitliche Abläufe der WiMINT-AGs am BKFH und WG

Da alle TeilnehmerInnen einer WiMINT-AG Mathematik am BKFH auch schriftliche Prüfungen in diesem Fach abzulegen hatten, wurden die Termine so gelegt, dass der zweite Block bereits vor den schriftlichen Prüfungen, die Ende April oder im Mai stattfinden, beendet war.

Bei der WiMINT-AG Physik gab es den Wunsch der SchülerInnen, mit dem zweiten Block erst nach den schriftlichen Abiturprüfungen zu beginnen, da keine schriftlichen Prüfungen im Fach Physik abgelegt wurden.

Die sich damit ergebenden zeitlichen Abläufe der beiden WiMINT-AGs sind in Abb. 1 dargestellt.

5. Die Inhalte und Materialien

Die Inhalte und Materialien der WiMINT-AG Mathematik wurden in der Kooperation der Hochschule Aalen mit der Gewerblichen Schule Schwäbisch Gmünd entwickelt. Sie orientieren sich am Mindestanforderungskatalog Mathematik [7] und stehen allen cosh-Partnern zur Verfügung. Darauf basierende WiMINT-AGs finden derzeit in den Regionen Aalen/Schwäbisch Gmünd/Heidenheim, Ulm/Ehingen und in Karlsruhe statt.

Der erste Block der WiMINT-AG Mathematik wiederholt die Grundlagen der Sekundarstufe I wie Potenz- und Bruchrechnung, Prozentrechnung, Lineare Gleichungssysteme, Geometrie und Trigonometrie. Im zweiten Block werden verschiedene Funktionsarten, sowie die Differential- und Integralrechnung thematisiert.

Die Inhalte der WiMINT-AG Physik wurden im Rahmen des Verbundprojektes cosh an der Technischen Hochschule Ulm neu entwickelt [10]. Sie

orientieren sich am Mindestanforderungskatalog Physik [8]. Auch hier werden im ersten Block grundlegende Kompetenzen wie die Einheitenanalyse und das Interpretieren von Diagrammen vertieft. Außerdem werden Grundlagen der Kinematik, Dynamik und erste Teile der Elektrizitätslehre behandelt. Im zweiten Block folgen dann Kreisbewegungen, eine Vertiefung der Elektrizitätslehre, sowie erste Einstiege in Magnetismus, Optik und Wärmelehre. Abgerundet wird dieser Block durch die Integration von Prüfungsaufgaben der Fachhochschulreifeprüfung (FHR), die die Themen der Mechanik vertiefen, und eine Auswahl an Aufgaben aus einer Physik 1-Veranstaltung an der Hochschule. Eine Aufteilung der Themen auf die einzelnen Doppelstunden zeigt Abb. 2.

Unabhängig vom genauen Inhalt der jeweiligen Stunde besteht das entwickelte Material für jede Doppelstunde einer WiMINT-AG Mathematik und Physik aus

- einer Zusammenfassung für die TutorInnen mit den wichtigsten Stichpunkten und Definitionen (1-2 Seiten), die am Ende der Doppelstunde auch an die SchülerInnen ausgeteilt wird,
- einem Handzettel für die TutorInnen mit didaktischen Hinweisen zur Stunde und Skizzen für Erklärungen an der Tafel,
- den Übungsaufgaben mit ausführlichen Musterlösungen für die TutorInnen,
- den Übungsaufgaben mit kurzen Lösungen für die SchülerInnen und
- einem Feedbackbogen für die TutorInnen.

Block 1

1. Grundlegende Definitionen, physikalische Größen, Einheiten
2. Komplexere Einheitenanalyse, Analyse von Diagrammen
3. Geschwindigkeit, Beschleunigung, Bewegungsgleichungen
4. Interpretation von Diagrammen II, Freier Fall, senkrechter Wurf
5. Vektorielle Größen, Dichte
6. Kraft, Masse, Newton'sche Gesetze
7. Energie und Arbeit, Energieformen, Energieerhaltung, Wirkungsgrad
8. Energie und Leistung
9. Stromstärke, Spannung, elektrische Ladung
10. Elektrischer Stromkreis, Ohm'scher Widerstand

Block 2

1. Harmonische Schwingung, gleichförmige Kreisbewegung
2. Prüfungsaufgabe FHR
3. Punktladungen, elektrisches Feld, Kapazität, Kondensatoren
4. Prüfungsaufgabe FHR
5. Magnetische Felder
6. Prüfungsaufgabe FHR
7. Aggregatzustände, Temperatur, Wärmekapazität
8. Prüfungsaufgabe FHR
9. Licht, Reflexion, Brechung
10. Aufgaben aus einer Physik 1-Veranstaltung an der Hochschule

Abb. 2: Themenaufteilung der WiMINT-AG Physik auf die beiden Blöcke (jeweils 5 Termine mit zwei Doppelstunden)

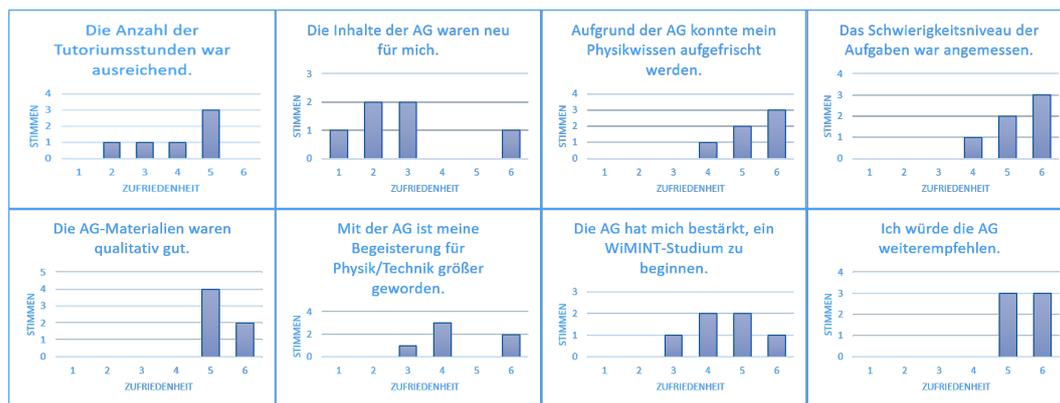


Abb. 3: Beispielhaftes Feedback der SchülerInnen der Pilotphase der WiMINT-AG Physik im Schuljahr 2020/21 (6: Trifft voll zu, 1: Trifft überhaupt nicht zu)

Die ausführlichen Unterlagen für die TutorInnen sollen diese bei ihrer Arbeit unterstützen und dadurch für eine möglichst gleichbleibende hohe Qualität der WiMINT-AGs sorgen. Die Feedbackbögen sollen durch die TutorInnen während bzw. nach jeder Veranstaltung ausgefüllt werden. Sie dienen der Weiterentwicklung des Konzeptes und der Materialien.

Auch die neu entwickelten Materialien der WiMINT-AG Physik stehen anderen Interessierten zur Verfügung.

6. Erfahrungen aus der Pilotphase der WiMINT-AG Physik

Die WiMINT-AG Physik wurde erstmals im Schuljahr 2020/21 an der Friedrich-List-Schule in Ulm angeboten. Die Auftaktveranstaltung und die ersten vier Termine des ersten Blocks konnten in Präsenz stattfinden, der fünfte Termin musste online gehalten werden. Der zweite Block konnte nicht mehr komplett durchgeführt werden, da die letzten beiden Termine leider ausfallen mussten.

Es nahmen immer 8-10 SchülerInnen der 13. Klasse teil, die über alle Termine hinweg sehr motiviert waren. Etwa die Hälfte der SchülerInnen hatte in der Kursstufe keinen Physikunterricht. Da keine Abschlussveranstaltung stattfinden konnte, wurde eine anonyme online-Befragung der SchülerInnen nach der Veranstaltung durchgeführt, um deren Feedback in die Weiterentwicklung einfließen lassen zu können. Das Feedback des Tutors aus den Feedbackbögen sowie das online-Feedback von 6 SchülerInnen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Form des studentischen Tutoriums wurde sehr gut bewertet
- Sehr hilfreiches Angebot, um Gelerntes aufzufrischen bzw. Neues zu lernen
- Angemessenes Tempo auch für SchülerInnen, die keinen Physikunterricht hatten
- Unterlagen qualitativ sehr gut
- Aufgabensammlung etwas zu umfangreich (der Tutor traf deshalb eine Vorauswahl)

- Zusammenfassungen sind sehr hilfreich
- Eingebauter Versuch (zur Dichte) kam sehr positiv an
- Wachsendes Interesse bei Verbindungen zum Alltag
- Schwierigkeiten der SchülerInnen in Mathematik (z.B. beim Umformen von Gleichungen)
- Zahl der Stunden insgesamt evtl. erhöhen
- Einmal Verteilung auf mehr Termine, die kürzer sind, angeregt

Die Antwortverteilungen der SchülerInnen auf einige der Feedbackfragen sind in Abb. 3 gezeigt.

Insgesamt war das Feedback beider Seiten – des Tutors und der TeilnehmerInnen – sehr positiv. Die Anregungen werden verwendet, um das Konzept der WiMINT-AG Physik weiterzuentwickeln. Es wird zum Beispiel über ein Format einer WiMINT-AG, die sowohl mathematische als auch physikalische Inhalte zum Thema hat, nachgedacht. Hierbei muss allerdings beachtet werden, dass der Umfang nicht einfach verdoppelt werden sollte.

Derzeit findet die WiMINT-AG Physik zum zweiten Mal statt. Es nehmen 12 SchülerInnen der Klassenstufen 12 und 13 der Friedrich-List-Schule teil. Auch diese Gruppe zeichnet sich durch eine sehr hohe Motivation und regelmäßige Teilnahme aus. Am Ende dieser AG soll erstmals eine Abschlussveranstaltung durchgeführt werden, so dass auch mit diesem Teil des Konzeptes Erfahrungen gesammelt werden können.

7. Zusammenfassung

Das Konzept der WiMINT-AGs Mathematik und Physik als Kombination aus fachlicher Studienvorbereitung und Studieninformationen in Form studentischer Tutorien an Partnerschulen wurde vorgestellt. Heublein et al. empfehlen in [1], die Übergangszeit zwischen Schule und Studium für die Studienvorbereitung zu nutzen. Die WiMINT-AGs gehen hier noch einen Schritt weiter und bieten diese Vorberei-

tung bereits parallel zur Abschlussklasse des BKFH bzw. WG an. Sie nutzen die Motivation der angehenden StudienanfängerInnen, um deren individuelle Kompetenzen zu stärken und zu erweitern sowie Lücken im Vorwissen zu schließen.

Heublein et al. [1] weisen außerdem darauf hin, dass es wichtig ist, den SchülerInnen Informationen über die konkreten Leistungsanforderungen in den verschiedenen Studienfächern zu geben und ihnen zu ermöglichen, diese Anforderungen unmittelbar zu erfahren. Dies wird im vorgestellten Konzept durch die Präsenz der studentischen Tutoren und die Weitergabe ihrer persönlichen Erfahrungen aus der Studieneingangsphase, aber auch durch das Einbeziehen von Übungsaufgaben aus Erstsemestervorlesungen erreicht.

Dass dieses Ziel mit den WiMINT-AGs erreicht werden kann, zeigt sich auch in der positiven Resonanz auf die Aussage „Die WiMINT-AG hat mich bestärkt, ein WiMINT-Studium zu beginnen.“ (s. Abb. 3), wenngleich die Stichprobe noch sehr klein ist. SchülerInnen werden durch die angebotenen Unterstützungsmaßnahmen darin bestärkt, ihren Fähigkeiten zu vertrauen, die Anforderungen beim Start in ein WiMINT-Studium erfolgreich bewältigen zu können.

8. Literatur

- [1] Heublein, Ulrich; Ebert, Julia; Hutzsch, Christopher; Isleib, Sören; König, Richard; Richter, Johanna; Woisch, Andreas (2017): Motive und Ursachen des Studienabbruchs an baden-württembergischen Hochschulen und beruflicher Verbleib der Studienabbrecherinnen und Studienabbrecher. Deutsches Zentrum für Hochschul- und Wissenschaftsforschung GmbH (DZHW) Projektbericht 6/2017 https://www.dzhw.eu/pdf/21/BaWue_Bericht_gesamt.pdf
- [2] Heublein, Ulrich; Schmelzer, Robert (2018): Die Entwicklung der Studienabbruchquoten an den deutschen Hochschulen. Berechnungen auf Basis des Absolventenjahrgangs 2016. Deutsches Zentrum für Hochschul- und Wissenschaftsforschung GmbH (DZHW) Projektbericht 10/2018 https://www.dzhw.eu/pdf/21/studienabbruchquoten_absolventen_2016.pdf
- [3] Buschhüter, D.; Spoden, Chr.; Borowski, A. (2017): Physics knowledge of first semester physics students in Germany. A comparison of 1978 and 2013 cohorts. In: International Journal of Science Education, 39 (9), p. 1109–1132 <https://doi.org/10.1080/09500693.2017.131847>
- [4] Kurz, Günther; Käß, Hanno (2019): Physikkenntnisse von Studienanfängern des Maschinenbaus – eine Fallstudie an der Hochschule Esslingen. In: PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung, 1 (2019), S. 189–195, <https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phydid-b/article/view/928/1055>
- [5] Ministerium für Kultus, Jugend und Sport, Baden-Württemberg <https://www.bildungsnavi-bw.de/schulsystem> (Stand 06/2022)
- [6] cosh cooperation Schule–Hochschule, <https://cosh-bw.de/> (Stand 06/2022)
- [7] cosh Mindestanforderungskatalog Mathematik, in <https://cosh-mathe.de/materialien/> (Stand 06/2022)
- [8] cosh Mindestanforderungskatalog Physik, in <https://cosh-physik.de/materialien/> (Stand 06/2022)
- [9] Schütter-Kerndl, Britta; Lunde, Karin; Boin, Manuela (2020): cosh-vor-Ort-Projekt "WiMINT-AG Mathematik/Physik". In: Wismarer Frege-Reihe, 2 (2020), Hrsg. Dieter Schott, ISBN 978-3-947929-14-6, S. 33-38, https://www.hs-wismar.de/storages/hs-wis-mar/HSW_zentral/Vernetzung/Institute_und_Hochschulunternehmen/Gottlob-Frege-Zentrum/publikationen/Frege-Reihe-2002-Schott.pdf
- [10] Hochschule Esslingen, Hochschule Karlsruhe, Hochschule für Technik Stuttgart, Technische Hochschule Ulm: Verbundantrag im Rahmen des Förderprogramms "Fonds Erfolgreich Studieren in Baden-Württemberg (FEST-BW)". Ausschreibung „Eignung und Auswahl“ (Förderlinie 4), 2018.
- [11] Baden-Württemberg – Ministerium für Kultus, Jugend und Sport. 1-jähriges Berufskolleg zum Erwerb der Fachhochschulreife, <https://www.bildungsnavi-bw.de/schulsystem/27>, (Stand 06/2022)

Danksagung

Das Verbundprojekt cosh wurde im Rahmen des Fonds Erfolgreich Studieren in Baden-Württemberg (FEST-BW) in der Förderlinie 4 „Eignung und Auswahl“ gefördert. Die Erarbeitung eines Konzeptes der WiMINT-AG Physik, die Erstellung der Materialien und die Erprobung in einem Pilotprojekt waren einer der Schwerpunkte der Förderung.

Einsatz von multiplen Repräsentationsformen zur qualitativen Beschreibung realer Phänomene der Fluidodynamik

Christian Rabe*, Vincent Drews*, Larissa Hahn*, Pascal Klein*

*Georg-August-Universität Göttingen, Didaktik der Physik, Friedrich-Hund-Platz 1, 37077 Göttingen
christian.rabe@stud.uni-goettingen.de

Kurzfassung

Empirische Studien zeigten, dass die qualitative Beschreibung realer Phänomene in der Fluidodynamik Lernenden häufig Schwierigkeiten bereitet, insbesondere wenn vektorielle Feldkonzepte eine Rolle spielen, wie z. B. bei der Kontinuitätsgleichung. Aus diesem Grund wurden multi-repräsentationale Lehr-Lern-Materialien zu vektoriellen Feldkonzepten entwickelt, die verschiedene für die Fluidmechanik relevante Repräsentationsformen (Formeln, Vektorfelder) sowie ihre Verbindung beinhalten. In der Physikdidaktik ist bekannt, dass sich die Verwendung von multiplen Repräsentationsformen in vielen Fällen als lernförderlich erweisen kann; eine kohärente Übersetzung zwischen realem Phänomen und Repräsentationsform allerdings auch Schwierigkeiten bereitet. Aus diesem Grund wurde im Rahmen einer Studie das studentische Verständnis der Kontinuitätsgleichung in Flüssigkeitsströmungen untersucht. Durch den Einsatz einer Akzeptanzbefragung konnten Lernschwierigkeiten im Umgang mit den Lehr-Lern-Materialien sowie bezüglich fluidmechanischer Konzepte identifiziert werden, die der Weiterentwicklung der Materialien im Stil des Design-Based Research dienen. Die Fluidodynamik erwies sich dabei als ein äußerst reichhaltiges Feld für physikdidaktische Forschungsarbeiten mit hoher Anschlussfähigkeit an die Elektrodynamik.

1. Einleitung

Die Aero- und Hydrodynamik als Teilgebiete der Fluidmechanik beschäftigen sich mit der Bewegung von Gasen und Flüssigkeiten. Die Beschreibung der Phänomene in diesem Zusammenhang beruht dabei zumeist auf zwei zentralen Gleichungen, der Kontinuitätsgleichung

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot (\rho \vec{v}) = 0 \quad \{1\}$$

mit Massendichte ρ und Strömungsgeschwindigkeit \vec{v} und der Bernoulli-Gleichung (siehe z. B. Demtröder, 2015). Die Kontinuitätsgleichung beschreibt die kontinuierliche Bewegung einer Masse anhand ihrer Dichte und Geschwindigkeit und folgt aus dem Grundprinzip der Massenerhaltung (Demtröder, 2015). In ihrer integralen Darstellung besagt sie, dass der Massestrom aus einer geschlossenen Oberfläche auf Veränderungen der Masse innerhalb des eingeschlossenen Volumens zurückzuführen ist. Dieser intuitive Zugang ist in vielen Abhandlungen der Ausgangspunkt zur Herleitung der Kontinuitätsgleichung in differentieller Form und zudem inhaltlich leicht verständlich, wenn auch die mathematische Formulierung über vektorielle Differentialoperatoren und mehrdimensionale Integrale erfolgt. Dieses einleitende Beispiel zeigt bereits, dass integrale und differentielle Darstellungen einer Gleichung inhaltlich zwar gleich sein mögen, psychologisch aber nicht äquivalent sind, wie es Feynman bereits formulierte (Feynman, 1967, zitiert nach Klein et al., 2018). In

Gleichung {1} wird die Flüssigkeitsströmung durch ein Vektorfeld \vec{v} beschrieben, welches Strömungsgeschwindigkeit und -richtung in jedem Raumpunkt charakterisiert. In der Kontinuitätsgleichung wird die Divergenz dieses Feldes betrachtet, welche für ein ebenes Strömungsfeld $\vec{v}(x, y)$ in kartesischen Koordinaten über die partiellen Ableitungen der Feldkomponenten definiert ist,

$$\operatorname{div} \vec{v} = \vec{\nabla} \cdot \vec{v} = \frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y}. \quad \{2\}$$

Für inkompressible Fluide reduziert sich die Kontinuitätsgleichung dann zu

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{v} = \frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} = 0. \quad \{3\}$$

Die Annahme der Inkompressibilität ist für kleine Strömungsgeschwindigkeiten leicht zu rechtfertigen. Demnach ist das Strömungsfeld für inkompressible Fluide immer divergenzfrei; es existieren keine Quellen oder Senken des Strömungsfeldes.

In der physikalischen Anwendung werden Kontinuitäts- und Bernoulli-Gleichung einander ergänzend zur ganzheitlichen Beschreibung von Phänomenen genutzt; eine aktuelle Studie zeigte jedoch, dass die Bernoulli-Gleichung bei der Bearbeitung von Problemstellungen häufig vorzugsweise für eine Argumentation herangezogen und der Gültigkeit der Kontinuitätsgleichung unbewusst entgegen gestellt wird (Schäfle & Kautz, 2021).

In Lehrbüchern (z. B. Demtröder, 2015) und in universitären Vorlesungen wird häufig eine vereinfachte Version der Kontinuitätsgleichung hergeleitet,

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{A_2}{A_1}, \quad \{4\}$$

die den Querschnitt des Stroms A beinhaltet (Abb.1). Dies ist eine einfache Form der Integraldarstellung unter der Annahme, dass die Fläche senkrecht durchströmt wird; oder exakt ausgedrückt, dass der orientierte Flächennormalenvektor parallel zum Geschwindigkeitsvektor liegt. Diese Gesetzmäßigkeit reduziert die Anwendbarkeit auf Situationen, in denen dieser Querschnitt bekannt ist.

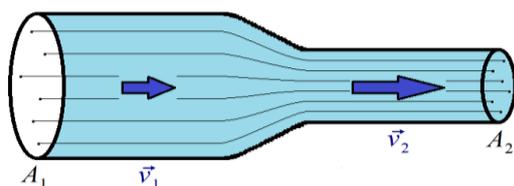


Abb. 1: Schema zur vereinfachten Integraldarstellung der Kontinuitätsgleichung für ein Strömungsfeld \vec{v} einer inkompressiblen Flüssigkeit mit Stromquerschnitt A .

Mit Blick auf Gleichung {3} wird deutlich, dass Vektorfeldern und vektoriellen Differentialoperatoren (z. B. Divergenz) eine zentrale Bedeutung in der Fluidmechanik zukommt. Vektorfelder sind darüber hinaus zentraler Gegenstand weiterer physikalischer Teilgebiete, wie z. B. der Maxwell'schen Gleichungen in der Elektrodynamik (Klein et al., 2019; 2021). Bisherige Forschungsergebnisse zeigten allerdings, dass die konzeptionellen Hintergründe dieser Feldkonzepte, welche insbesondere für das physikalische Verständnis relevant sind, Studierenden häufig Schwierigkeiten bereiteten (z. B. Bollen et al., 2015; Pepper et al., 2012; Singh & Maries, 2013). In den aufgeführten Arbeiten wird daher die Relevanz und Notwendigkeit neuer Ansätze, die ein konzeptionelles Verständnis der Divergenz adressieren, betont und hierfür vor allem die Verwendung visueller Repräsentationen vorgeschlagen.

Vor diesem Hintergrund haben Klein et al. (2018) einen visuellen Ansatz entwickelt, um die Divergenz eines Vektorfeldes qualitativ zu beurteilen. Dieser nutzt eine differentielle Strategie, die auf der visuellen Evaluation der Richtungsableitungen beruht. Empirische Untersuchungen zeigten positive Lerneffekte bei der Beurteilung, ob ein Vektorfeld divergenzfrei ist oder nicht, eine Anwendung im physikalischen Kontext wurde jedoch bisher nicht untersucht. Insbesondere Lehr-Lern-Materialien für konkrete Felder und Problemstellungen der Hydrodynamik fehlen noch. Im Rahmen dieser Arbeit wurden daher ebensolche Lehr-Lern-Materialien im Stil des Design-Based Research entwickelt und mit 13 Studierenden der Physik erprobt. Dafür wurden kognitive Lerntheorien und aktuelle Forschung im Bereich der Fluidmechanik zusammengetragen.

2. Theoretischer Hintergrund

In diesem Abschnitt werden die empirischen und theoretischen Grundlagen für die Entwicklung der Lehr-Lern-Materialien vorgestellt. Zu diesem Zweck werden zunächst bisherige empirische Ergebnisse zu Lernschwierigkeiten im Umgang mit Vektorfeldern, vektoriellen Feldkonzepten sowie Konzepten der Fluidmechanik zusammengefasst. Anschließend werden lerntheoretische und (fach-)didaktische Grundlagen sowie ein qualitativer Ansatz zur visuellen Interpretation der Divergenz vorgestellt.

2.1 Lernschwierigkeiten

Der FMCI (Martin et al., 2003) ist ein etablierter Konzepttest, der dazu dient, herauszufinden, bis zu welchem Grad Lernende die relevanten Konzepte der Fluidmechanik verstehen. Dazu gehört ein fundamentales Verständnis der Massenerhaltung und einer konvektiven Beschleunigung. Im Rahmen einer qualitativen Studie mit 21 Physiklehrer:innen in ihren ersten zwei Berufsjahren zeigten sich zahlreiche Präkonzepte im Bereich der Fluidmechanik, z. B. die Verwechslung von ontologischen Eigenschaften fester, flüssiger und gasförmiger Zustände (Jia et al., 2021). Wird Wasser als Festkörper behandelt, so entsteht die Vorstellung, dass nicht alle Körper gleichzeitig durch eine Engstelle passen und dass einzelne Teilchen warten müssen, „bis sie an der Reihe sind“. Die Autor:innen fanden zudem die Vorstellung, Flüssigkeitselemente könnten an der Engstelle zusammengepresst werden; eine Vorstellung, die auf Gase zutrifft, jedoch nicht auf eine inkompressible Flüssigkeitsströmung. Als Fazit stellen die Autor:innen fest, dass auch fortgeschrittene Lernende sich auf Alltagsvorstellungen berufen und dass inkorrekte Analogien Präkonzepte begünstigen (Jia et al., 2021). In einer weiteren Studie konzipierten Schäfle und Kautz (2021) eine Aufgabe mit einem großen Tank, aus dem Wasser über einen Ausfluss mit konstantem Querschnitt abfließt. Aufgrund der Kontinuitätsgleichung ändert sich die Geschwindigkeit des Wassers in dem Ausflussrohr nicht. Die Autor:innen präsentierten drei Varianten des Gedankenexperiments: In Variante (a) zeigt der Ausfluss schräg nach oben, in Variante (b) verläuft er waagrecht und in Variante (c) ist er zusätzlich mit Manometerrohren ausgestattet, die einen Druckabfall anzeigen (Schäfle & Kautz, 2021). Die Autor:innen stellten die Frage, ob das Verständnis der Kontinuitätsgleichung ($v = konst.$, $A = konst.$) den irreführenden Faktoren von Gravitation (Variante a) und Druckverlust durch Reibung (Variante c) standhält. Ihre Ergebnisse zeigten, dass viele Vorstellungen über Physik aus dem Alltagsleben stammen. Sie schlussfolgern daher, dass es zu wenig Lernmaterial gebe, welches diese Präkonzepte adressiere. Darüber hinaus helfe im Unterricht keine Standard-Instruktion. Es müsse ein generelles Verständnis über eigene Präkonzepte motiviert werden.

Vektorfeldern und vektoriellen Feldkonzepten kommt in der Fluidmechanik eine große Relevanz zu. Aufgrund ihrer Bedeutung auch für andere physikalische Teilgebiete gibt es bereits zahlreiche Untersuchungen zu Lernschwierigkeiten in diesem Bereich (siehe z. B. Hahn & Klein (2021) für einen Überblick). Eine Studie von Singh und Maries (2013) zeigte dabei, dass Lernende Probleme mit dem Divergenzoperator haben und Strategien zur Beurteilung der Divergenz inkonsistent verwenden (Klein et al., 2018). Im Hinblick auf die graphische Darstellung von Vektorfeldern zeigten weitere Untersuchungen, dass Studierende Schwierigkeiten haben, zu beurteilen, ob ein Vektorfelddiagramm divergenzfrei ist oder nicht (z. B. Bollen et al., 2015; Klein et al., 2018; 2019; Pepper et al., 2012; Singh & Maries, 2013). Die häufigsten Fehler und Probleme waren dabei auf Verständnisschwierigkeiten bezüglich der partiellen Ableitungen, der Richtung der Veränderung und der Kovariation von Komponenten und Koordinaten zurückzuführen (Pepper et al., 2012).

2.2 Leitlinien zur Entwicklung der Lehr-Lern-Materialien

Mit Blick auf die beschriebenen empirischen Forschungsbefunde wird die Relevanz und Notwendigkeit neuer Interventionen besonders deutlich; die Autor:innen der aufgeführten Arbeiten befürworten hierbei vor allem die Verwendung graphischer Repräsentationen zur Förderung einer Repräsentationskompetenz (z. B. Bollen et al., 2015). Diese dient dabei insbesondere der Entwicklung eines robusten Verständnisses, welches die Fähigkeit beschreibt, Wissen in anderen Situationen anzuwenden, aus denen es erworben wurde (McDermott, 2001).

Für die Entwicklung ebensolcher lernförderlicher Interventionen bieten kognitive Lerntheorien und didaktische Frameworks die wissenschaftliche Rahmung. Die CTML (Mayer, 2005) betont dabei insbesondere die Wichtigkeit von Kohärenz sowie einer Führung durch das Material, um Lernende beim Aufbau eines mentalen Modells zu unterstützen. Wird ein tieferes Verständnis bezweckt, so sollte nach Ainsworth (1999) eine Übersetzung zwischen multiplen Repräsentationen angeleitet werden. Auch visuelle Hilfen (Klein et al., 2019; 2021) stellen ein einfaches Mittel dar, um eine höhere Lernwirksamkeit zu erzielen. Zudem wurden Aufgaben, welche die Herstellung von Kohärenz erfordern, als nützlicher Ansatz in der Physik bewertet (Scheid et al., 2019). In einer Auffassung als fragmentarisch miteinander verbundene Wissensressourcen werden die Präkonzepte je nach Situation aktiviert, eine erfolgreiche Bearbeitung benötigt jedoch eine konsistente Anwendung multipler hydrodynamischer Konzepte.

2.3 Leitlinien zur Entwicklung der Lehr-Lern-Materialien

Mit Blick auf die Definition der Divergenz in kartesischen Koordinaten (Gl. 2) entwickelten Klein et al. (2018) textbasierte Interventionen zur visuellen Interpretation der Divergenz. Diese basiert auf der Beurteilung der Änderung von Feldkomponenten in Koordinatenrichtung und somit auf einer visuellen Interpretation der partiellen Ableitungen als Kovariation von Komponenten und Koordinaten (siehe auch Hahn & Klein, 2021). Ändert sich eine der Komponenten in Koordinatenrichtung, ist das Feld nicht divergenzfrei; der Fall, dass die Änderungen von einer weiteren Änderung kompensiert wird, wurde ausgeschlossen.

Für inkompressible Fluide ist jedoch insbesondere dieser Spezialfall von Bedeutung. Man betrachte eine laminare Strömung $\vec{v}(x, y)$ eines inkompressiblen Fluids in einem sich verengenden Rohr (Abb.2). In den geraden Rohrabschnitten ist die y -Komponente Null und die x -Komponente konstant, das Feld somit divergenzfrei. Im Bereich der Rohrverengung nimmt die x -Komponente v_x in x -Richtung zu. Die Divergenzfreiheit ist jedoch auch weiterhin gegeben, da die Verengung zu einer von Null verschiedenen y -Komponente v_y führt, welche in y -Richtung abnimmt. Für die Verengung gilt somit, dass die Zunahme der Geschwindigkeit in die eine Richtung gerade der Abnahme der Geschwindigkeit in die andere Richtung entspricht. Mit anderen Worten: Unter Annahme der Divergenzfreiheit muss aus der Engstelle (= Veränderung der v_y -Komponente in y -Richtung) eine Veränderung der v_x -Komponente in x -Richtung resultieren.

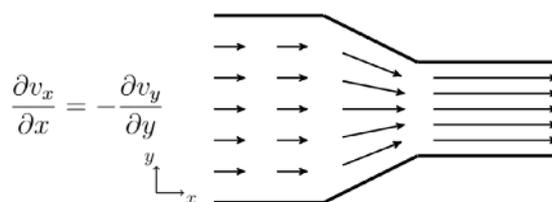


Abb. 2: Visuelle Strategie zur Beurteilung der Divergenz eines Geschwindigkeitsvektorfeldes \vec{v} einer inkompressiblen Strömung in einem sich verengenden Rohr.

Dies wirkt wie ein sonderbarer Spezialfall: Die Divergenz ist in ihrer Gesamtheit Null, da sich die beiden Summanden gegenseitig kompensieren, und nicht etwa, weil die Summanden für sich verschwinden. In der Tat zeigt sich aber, dass dieser Fall in der Elektro- und Magnetostatik zu den Regelfällen gehört. Beispielsweise ist das elektrische Feld außerhalb eines geladenen Körpers divergenzfrei, obgleich es Veränderungen der Feldkomponenten gibt.

3. Forschungsfragen

Mit Blick auf die beschriebenen Lernschwierigkeiten zu Konzepten der Hydrodynamik sowie zu vektoriel- len Feldkonzepten ergibt sich die Notwendigkeit zur Erstellung von Lehr-Lern-Materialien, welche diese spezifischen Probleme adressieren. Zu diesem Zweck wurde eine Lerneinheit für den Problemkontext der Kontinuitätsgleichung inkompressibler Fluide entwickelt. Diese nutzt vorangegangene Untersuchungen und Ansätze von Klein et al. (2018). Um die Wirksamkeit der Materialien zu untersuchen, stellt sich dabei die zentrale Frage:

Wie gut gelingt es Studierenden in der Studieneingangsphase Physik, die Gleichung {3} auf reale Problemstellungen der Hydrodynamik anzuwenden? (FF1)

Gleichzeitig können weitere Erkenntnisse über die Anforderungen einer Lerneinheit im Bereich der Fluidodynamik erlangt werden. Durch ein Interview nach dem Vorbild einer Akzeptanzbefragung wird auch folgende Frage beantwortet:

Welche Schwierigkeiten oder Verständnisprobleme treten im Umgang mit den Lehr-Lern-Materialien auf? (FF2)

4. Forschungsmethodik

Bei der Methode der Akzeptanzbefragung nach Jung (1992) stellt der Interviewende ein Informationsangebot zur Erklärung eines Phänomens vor. In der Erhebung der Reaktion des Interviewten und der anschließenden Anwendung auf ähnliche Situationen zeigen sich die Akzeptanzschwierigkeiten und damit die Lernwiderstände in Bezug auf das spezifische Informationsangebot. Für den Untersuchenden stellt die Notwendigkeit zur Formulierung einer kompakten Erklärung eine Herausforderung dar.

Diese Methode wurde für die Durchführung einer Feldstudie leicht modifiziert. Hierbei erhielten 13 Studierende der Studieneingangsphase Physik Lehr-Lern-Materialien in Form eines multi-repräsentationalen Erklärtextes mit der visuellen Strategie zur Beurteilung der Divergenz, der insbesondere den Spezialfall der Divergenzfreiheit trotz Komponentenänderung aufgreift. Hierbei wurde die beschriebene visuelle Strategie zunächst erklärt und konnte anschließend von den Teilnehmenden anhand verschiedener Vektorfelder geübt werden. Danach fand im Rahmen eines weiteren Erklärtextes eine Übertragung der Konzepte auf den Kontext der Fluidodynamik statt. Die konvektive Beschleunigung einer inkompressiblen Flüssigkeit bietet dabei das Potential für einen kognitiven Konflikt: Wie kann sich die Strömung in einer Verengung beschleunigen, wenn das zugehörige Vektorfeld divergenzfrei ist? Die Antwort liegt im beschriebenen Sonderfall (Abb.2) und wird durch

die Beurteilung der partiellen Richtungsableitungen deutlich. Im Sinne der Akzeptanzbefragung gaben die Studierenden nach jedem Sinnabschnitt des Erklärtextes eine kurze Inhaltszusammenfassung und beurteilten die Erklärung hinsichtlich ihrer Plausibilität. Im Sinne des Design-Based Research (Krüger et al., 2014) konnten so Anhaltspunkte für Anpassungen und Optimierungen der Lehr-Lern-Materialien erhalten werden. Schließlich wurden drei Problemlöseaufgaben gestellt, die auf die Anwendung des Gelernten bzw. der visuellen Strategie zur Beurteilung der Divergenz abzielten. Da sich die erste Forschungsfrage auf die Anwendung der Kontinuitätsgleichung in der Hydrodynamik bezieht, konzentriert sich der nachfolgende Abschnitt auf die multi-repräsentationale Problemlöseaufgaben zum Strahlverlauf einer laminaren Fontäne (Abb.3).

Die Aufgabe zeigt ein mit Wasser gefülltes Rohr, dessen Öffnung schräg nach oben zeigt. Blaue Pfeile und eine gepunktete Kurve geben den Verlauf einer laminaren Wasserfontäne durch die Luft an. Darunter sind vier Strahlprofile eingezeichnet, die den Durchmesser des Strahls darstellen. Die Aufgabenstellung fragt danach, welches der Profile den Durchmesser des Strahls in Abhängigkeit seines Verlaufs von links nach rechts korrekt beschreibt. Es wird um eine Bearbeitung in einem Freitextfeld gebeten; der Luftwiderstand wird in dieser Aufgabe vernachlässigt. Die Aufgabe lässt sich sowohl mithilfe einer physikalischen Erklärung über die Volumenerhaltung und den Zusammenhang von Geschwindigkeit und Querschnitt als auch mithilfe der differentiellen Strategie zur Beurteilung der Divergenz lösen.

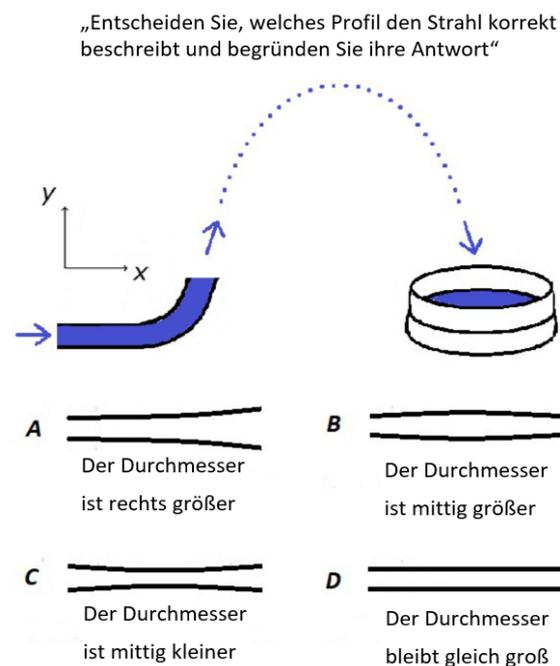


Abb. 3: Phänomenorientierte Aufgabe einer laminaren Fontäne.

Physikalisch betrachtet beschleunigt die Gravitation die Strömung. Bis zum Scheitelpunkt wird die Geschwindigkeit geringer, weniger Strecke pro Zeiteinheit wird passiert, daher muss die sich dort befindende Masse ein breiteres Volumen einnehmen. Beim Fallen läuft der Prozess umgekehrt ab. Um die Aufgabe mit der instruierten Strategie bearbeiten zu können, hilft das Einzeichnen der Vektorpfeile und ihrer Komponenten (Hahn & Klein, 2021): Nach der Divergenzfreiheit des Feldes folgt für eine Verringerung der Pfeillänge in die eine Koordinatenrichtung eine Verlängerung der Länge in die andere Koordinatenrichtung. Folglich kann nur Antwort B korrekt sein.

5. Ergebnisse und Diskussion

In den Antworten der Studierenden wurden einige Missverständnisse gefunden. Manche wählten die Form A, welche mit der Erfahrung im Umgang mit Gartenschläuchen begründet wurde. Diese Auswahl zeigt die Alltäglichkeit fluiddynamischer Situationen. Andere interpretierten die Begrenzungen der Grafiken nicht als strenge Grenzfläche zwischen Wasser und Luft, sondern als Kennzeichnung des Raumes, in dem sich Wasser und Luft aufhalten können. Die Form A wurde auch gewählt, weil eine Rohrverbreiterung Gegenstand des Lernmaterials war und die Studierenden die gegebene Situation fälschlicherweise mit der Situation in dem Material verbanden. Einige gaben an, dass nun mehr Platz vorhanden sei und das Wasser sich ausbreiten könne. Einige Studierende zeichneten Vektorfelder zu der Situation. Einmal wurde dabei versucht, die differentielle Strategie zu nutzen; dabei wurde die Primärgröße mit ihrer Ableitung verwechselt und mehrmals wurde die Änderung der Pfeillängen nicht entlang der Koordinaten sondern im Strahlverlauf beurteilt. Ein anderer Teilnehmer folgerte, dass die Kontinuitätsgleichung in diesem Fall nicht gelte. Die Hälfte aller Teilnehmenden schloss von einer geringeren Geschwindigkeit auf einen höheren Querschnitt und wählte daher die Antwort B.

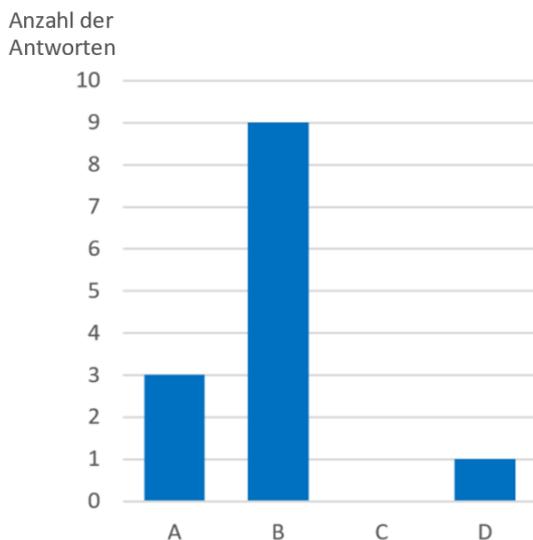


Abb. 4: Anzahl der Antworten für die Strahlprofile A bis D in der Aufgabe der laminaren Fontäne.

Die Verwendung der Vektorpfeile war für diese Argumentation nicht zwingend notwendig; die Studierenden wählten gewissermaßen eine mentale Integraldarstellung der Kontinuitätsgleichung. Nur ein Teilnehmer beurteilte die Änderung entlang der Flussrichtung sowie der dazu senkrechten Richtung und fand so zur korrekten Lösung mithilfe der instruierten Strategie. Vier Teilnehmende versuchten, die partiellen Ableitungen zu bestimmen, obwohl keine Vektorpfeile eingezeichnet waren. Dies zeigte, dass das Erstellen adäquater Vektorfelddarstellungen eine Transferleistung ist, indem die Repräsentationsform der Vektorfelder in das Phänomen hineingetragen werden muss. Perspektivisch sollten weitere, einfache Strömungen die Möglichkeit bieten, Vektorpfeile einzuzeichnen, um diese Fähigkeit zu fördern.

Die Bearbeitung der Aufgabe lieferte neben studentischen Schwierigkeiten bei der Aufgabenbearbeitung auch Anhaltspunkte für ein Re-Design der Lernumgebung. Um diese Aufgabe mit der instruierten Strategie bearbeiten zu können, gibt es zu viele Schwierigkeiten, die durch das Lehr-Lern-Material nicht berücksichtigt oder nicht hinreichend reflektiert werden. Beispielsweise könnte die Erklärung hinsichtlich einer Integraldarstellung der Divergenz erweitert werden, womit dann der Fluss durch Flächen betrachtet wird – da sich einige Studierende diesem Konzept schon intuitiv bedienen, erscheint dies anschlussfähig für diese Zielgruppe. Außerdem wurde deutlich, welche Teile des Erklärtextes zu Missverständnissen führen und anders formuliert werden müssen oder weiterer Unterstützung bedürfen.

Zudem zeigten sich Verbesserungsmöglichkeiten bezüglich der Aufgabenformulierung und -darstellung. Das Rohr am Anfang sollte in einer geraden Linie verlaufen, um der Vorstellung von Wirbeln entgegen zu wirken. Es ist sinnvoll, die Antwortmöglichkeiten blau zu hinterlegen, in Parabelform und ohne schwarzen Rand anzugeben, um den Transfer zu erleichtern. Gleichzeitig wird deutlich, dass sich keine Luft innerhalb des markierten Bereichs befindet. Für die Lehre in der Fluiddynamik lässt sich schließen, dass die Inkompressibilität als Eigenschaft der meisten Flüssigkeiten stärker hervorgehoben werden sollte. Zudem muss eine Trennung von einer äußeren Struktur erfolgen: Das Wasser kann sich nicht in einen freien Raum ausbreiten, ohne an Geschwindigkeit zu verlieren. Außerdem ist es wichtig, einen Gültigkeitsbereich für physikalische Gesetze anzugeben. Scheid et al. (2019) schlagen vor, Aufgaben mit den Operatoren „Vergleichen“, „Vervollständigen“ und „Korrigieren“ zu stellen, welche explizit die Herstellung von Kohärenz verlangen. Dies würde bedeuten, dass Studierende in einem ersten Schritt eine Abstraktion von dem realen Phänomen (auch als photorealistische Abbildung) hin zu einem Vektorfelddiagramm machen, bevor sie die erlernten Strategien anwenden. Das ist auch deshalb sinnvoll, weil sich der/die Lernende die Frage stellen muss, welche physikalische Gesetzmäßigkeit gilt.

6. Schlussfolgerungen und Ausblick

Im Stil des Design-Based Research wurden Lehr-Lern-Materialien für den Problemkontext der Kontinuitätsgleichung inkompressibler Fluide erstellt. Ein Beitrag zur Grundlagenforschung besteht in der Bewertung der Wirksamkeit der Lerneinheit und der Reflexion der Lernschwierigkeiten in diesem bisher wenig erforschten Themengebiet der physikalischen Hochschullehre. Bevor ein Re-Design stattfinden kann, müssen konkrete Konzeptwechselstrategien anhand der Ergebnisse dieser Arbeit diskutiert werden. Die Ergebnisse zeigen, dass die Divergenzfreiheit der Strömung von einigen Studierenden herangezogen wird, um die phänomenologischen Problemstellungen zu bearbeiten. Die Argumentation taucht auch bei Aufgaben auf, die keine Vektorpfeile zeigen. Das bedeutet, dass die Repräsentationsform der Vektorfelder von den Proband:innen erfolgreich in das Phänomen hineingetragen wurde. Die anschließende Arbeit mit dieser selbsterstellten Repräsentationsform gelingt jedoch nicht in allen Fällen. Die vereinfachte Darstellung der Kontinuitätsgleichung (gewonnen aus der integralen Darstellung der Kontinuitätsgleichung) stellt eine sinnvolle Alternative zur Beschreibung von Strömungen mithilfe der Divergenzfreiheit des Feldes dar. In Folgestudien werden beide Ansätze als zueinander komplementäre Sichtweisen auf die Physik inkompressibler Fluide eingebettet.

Die gefundenen Schwierigkeiten im Umgang mit dem Lernmaterial beinhalten die Beurteilung der partiellen Ableitungen, wie Klein et al. (2018) es bereits vorher gefunden haben. Verständnisprobleme können auch als Folge der Erklärungen im Kontext festgestellt werden: Einige Teilnehmende erkennen die äußere Struktur als Ursache für die Form der Strömung. Außerdem ist der Transfer auf offene Strömungen bedingt möglich: Wird die Grenzfläche von der Flüssigkeit als äußere Struktur begriffen, gelingt die korrekte Anschauung. Die entwickelten Lehr-Lern-Materialien im Kontext der Fluidodynamik besitzen durch die Schwerpunktsetzung auf vektoranalytische Konzepte hohes Potential, auf andere Kontexte erweitert zu werden. Bezüglich des oben genannten komplementären Integralansatzes zur Beurteilung der Divergenz über dem Fluss durch (geschlossene) Flächen formulierten Klein et al. (2018) bereits qualitative Zugänge ohne Kontextanbindung. Die hier beschriebene Studie lieferte wichtige Hinweise darauf, wie sinnstiftende Anwendungen dieser Strategie im Kontext der Fluidodynamik aussehen können.

7. Literatur

- Ainsworth, Shaaron (1999): The functions of multiple representations. In: *Computers and Education*, 33(2), 131-152, [https://doi.org/10.1016/S0360-1315\(99\)00029-9](https://doi.org/10.1016/S0360-1315(99)00029-9)
- Bollen, Laurens; Van Kampen, Paul; De Cock Mieke (2015): Students' difficulties with vector calculus in electrodynamics. In: *Physical*

Review Physics Education Research, 11(2), 020129, <https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.11.020129>

- Demtröder, Wolfgang (2015): *Experimentalphysik1 Mechanik und Wärme*. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum, [Url: https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-662-46415-1.pdf](https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-662-46415-1.pdf)
- Feynman, Richard P. (1967): *The Character of Physical Law* (MIT Press, Cambridge, MA, 1967), [Url: https://mitpress.mit.edu/books/character-physical-law](https://mitpress.mit.edu/books/character-physical-law)
- Hahn, Larissa; Klein, Pascal (2021): Multiple Repräsentationen als fachdidaktischer Zugang zum Satz von Gauß - Qualitative Zugänge zur Interpretation der Divergenz von Vektorfeldern. In: *J. Grebe-Ellis & H. Grötzebauch (Hrsg.): PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung, 1*, S. 95-100, [Url: http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/1151/1237](http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/1151/1237)
- Jia, Zehao; Ding, Lin; Zhang, Ping (2021): Using sequential synthesis problems to investigate novice teachers' conceptions of hydrodynamics. In: *Review Physics Education Research*, 17(1), 010142, <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEduRes.17.010142>
- Jung, Walter (1992): Probing acceptance: A technique for investigating learning difficulties. In: R. Duit & E. Goldberg und H. Niedderer (Hrsg.): *Research in physics learning. Theoretical issues and empirical studies*, S. 278-295, Kiel: IPN, [Url: https://www.researchgate.net/profile/Hans-Niedderer/publication/330993365_Research_in_Physics_Learning_Theoretical_Issues_and_Empirical_Studies/links/5c5f8abea6fdccb608b40ca2/Research-in-Physics-Learning-Theoretical-Issues-and-Empirical-Studies.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Hans-Niedderer/publication/330993365_Research_in_Physics_Learning_Theoretical_Issues_and_Empirical_Studies/links/5c5f8abea6fdccb608b40ca2/Research-in-Physics-Learning-Theoretical-Issues-and-Empirical-Studies.pdf)
- Klein, Pascal; Viiri, Jouni; Mozaffari, Saleh; Dengel, Andreas; Kuhn, Jochen (2018): Instruction-based clinical eye-tracking study on the visual interpretation of divergence: How do students look at vector field plots? In: *Physical Review Physics Education Research*, 14(1), 10116, <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEduRes.14.010116>
- Klein, Pascal; Viiri, Jouni; Kuhn, Jochen (2019): Visual cues improve students' understanding of divergence and curl: Evidence from eye movements during reading and problem solving. In: *Physical Review Physics Education Research*, 15(1), 010126, <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEduRes.15.010126>

Klein, Pascal; Hahn, Larissa; Kuhn, Jochen (2021): Einfluss visueller Hilfen und räumlicher Fähigkeiten auf die graphische Interpretation von Vektorfeldern: Eine Eye-tracking-Untersuchung. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 27, 181–201, <https://doi.org/10.1007/s40573-021-00133-2>

Krüger, Dirk; Parchmann, Ilka; Schecker, Horst (2014): *Methoden in der naturwissenschafts-didaktischen Forschung*. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum, Url: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-642-37827-0.pdf>

Martin, Jay; Mitchell, John; Newell, Ty (2003): Development of a concept inventory for fluid mechanics. In: *33rd Annual Frontiers in Education*, 2003, 1, S. T3D-T3D, <https://doi.org/10.1109/FIE.2003.1263340>

Mayer, Richard E. (2005): *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*. Cambridge: University Press, Url: <https://www.cambridge.org/core/books/cambridge-handbook-of-multimedia-learning/09E09224829AB8D3D327EF8A0E9B5288>

McDermott, Lillian C. (2001): *Oersted Medal Lecture: "Physics education research – The key to student learning"*, *American Journal of Physics*, 69, 1127, <https://doi.org/10.1119/1.1389280>

Pepper, Rachel E.; Chasteen, Stephanie V.; Pollock, Steven J.; Perkins, Katherine K. (2012): Observations on student difficulties with mathematics in upper-division electricity and magnetism, In: *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 8(1), 010111, <https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.8.010111>

Schäfle, Claudia; Kautz, Christian (2021): Student reasoning in hydrodynamics: Bernoulli's principle versus the continuity equation. In: *Review Physics Education Research*, 17(1), 010147, <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.17.010147>

Scheid, Jochen; Müller, Andreas; Hettmannsperger, Rosa; Schnotz, Wolfgang (2019): Improving learners' representational coherence ability with experiment-related representational activity tasks. In: *Review Physics Education Research*, 15(1), 010142, <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.15.010142>

Singh, Chandrulekha; Maries, Alexandru (2013): Core graduate courses: A missed learning opportunity? In: *AIP Conference Proceedings*, 1513, S. 382-385, <https://doi.org/10.1063/1.4789732>

Anhang

Alle Materialien können auf Anfrage bereitgestellt werden.

Hochschuldidaktischer Vergleich von smartphonebasierten Experimentierhausaufgaben und klassischen Übungsaufgaben

Andreas Kaps* und Frank Stallmach*

Universität Leipzig, Fakultät für Physik und Geowissenschaften, Bereich Didaktik der Physik
andreas.kaps@uni-leipzig.de

Kurzfassung

Smartphonebasierte Experimentieraufgaben wurden als Teil der wöchentlichen Hausaufgaben in einem einführenden Mechanikkurs an der Universität eingesetzt und im Rahmen einer quasi-experimentellen Feldstudie im zwei Kohorten Design mit klassischen algorithmischen Übungsaufgaben verglichen. Die Auswirkungen des jeweiligen Aufgabentyps auf Motivation, Interesse und konzeptionelles Verständnis der Studierenden wurden gemessen. Die empirischen Ergebnisse zum Lernerfolg zeigen einen signifikant positiven Einfluss der smartphonebasierten Aufgabe zur Thema Dynamik starrer Körper mit einer mittleren Effektgröße von $d = 0,42$. Für das Thema Analyse von Drehbewegungen konnte ein positiver Lernerfolg für beide Gruppen nachgewiesen, wobei die Effektgröße der smartphonebasierten Experimentieraufgabe mit $d = 0,20$ nur geringfügig besser als die der klassische Übungsaufgabe ist. Die extrinsische kognitive Belastung in der Interventionsgruppe mit den smartphonebasierten Aufgabenstellung zeigte sich als signifikant geringer, was als Grund dafür angenommen wird, dass die komplexere experimentelle Aufgabenstellung das konzeptionelle Verständnis der Studierenden fördern können.

1. Einleitung

Smartphones sind aus dem Leben der Lernenden und der Lehrenden an Schulen und Universitäten nicht mehr wegzudenken. Durch die Vielzahl an integrierten Sensoren wird es insbesondere in der Physik immer häufiger als digitales Messinstrument zur Erfassung physikalischer Phänomene genutzt. Deshalb sind in den letzten Jahren eine Reihe von Softwareanwendungen (im Folgenden nur noch als "App" bezeichnet) für die Nutzung von Smartphones oder Tablets als Lehr-Lern-Medien entwickelt worden. Für den Bereich Lernen und Lehren in der Physik lassen sich hier die Apps Andro Sensor, Sensor Kinetics Pro, Physics Toolbox oder phyphox nennen [1-3].

Auslöser für diese Erweiterung von Aufgabenstellungen in der universitären Physiklehre sind die Lernerfolge der Lernenden, welche durch das Experimentieren mit dem Smartphone erzielt und überwiegend positiv in der Literatur diskutiert werden [4-13]. Hochberg et al. (2020) zeigten, dass der Einsatz von Smartphones und Tablets zu einem signifikant höheren Lernerfolg beiträgt [5]. Mazella und Testa (2016) konnten belegen, dass smartphonebasierte Aufgabenstellungen für das Konzept der Beschleunigung ein effektiver Ersatz traditioneller Lehr-Lern-Settings sein können und eine wertvolle Ergänzung darstellen, um experimentelles Arbeiten zu verstärken [13]. Sokolov et al. (2007) zeigten, dass ein computergestützter Zugang zu experimentellen Aufgabenstellungen es den Studierenden ermöglicht, sich ein kohärentes physikalisches Konzeptverständnis aufzubauen und dabei gleichzeitig traditionelle experimentelle Fähigkeiten zu erwerben [14]. Wieman und Holmes (2015)

hingegen sehen die Lernwirksamkeit und die Effektivität experimenteller Aufgabenstellungen in der Studieneingangsphase kontrovers und argumentieren, dass praktische Fähigkeiten nicht signifikant zum besseren Verstehen der fachlichen Inhalte beitragen [15,16].

Im Rahmen dieses vieldiskutierten Themas hat sich der Bereich der Didaktik der Physik in mehreren Lehr-Lern-Projekten der Entwicklung und didaktischen Analyse smartphonebasierter Aufgabenstellungen gewidmet [17]. Ab dem Jahr 2020 förderte die Universität Leipzig das Smarte Physiklabor über das Doktorandenförderprogramm, sodass die Vorbereitung und die Durchführung einer empirischen Lernwirksamkeitsstudie vorangetrieben werden konnte. Die Studie wurde im Frühjahr 2022 erfolgreich abgeschlossen. Ihre Ergebnisse wurden teilweise in den Arbeiten [18,19] bereits publiziert. Sie werden in diesem Beitrag und zusammenfassend dargestellt und diskutiert.

2. Studiendesign und Methodik

2.1 Design der Vergleichsstudie

Nach dem erfolgreichen Abschluss der Präpilotierungsphase (siehe Ref. [20]) fand die Hauptstudie zur Lernwirksamkeit im Wintersemester 2021/22 an der Universität Leipzig statt. Es nahmen 85 Erstsemesterstudierende aus den Studiengängen Lehramt Physik sowie Bachelor of Science Physik und Meteorologie im Kurs Experimentalphysik 1 (Mechanik) teil. Die Interventionsgruppe bildeten die Studierenden des Lehramts Physik. Die Kontrollgruppe bestand aus den Studierenden des 1. Fachsemesters Bachelor of

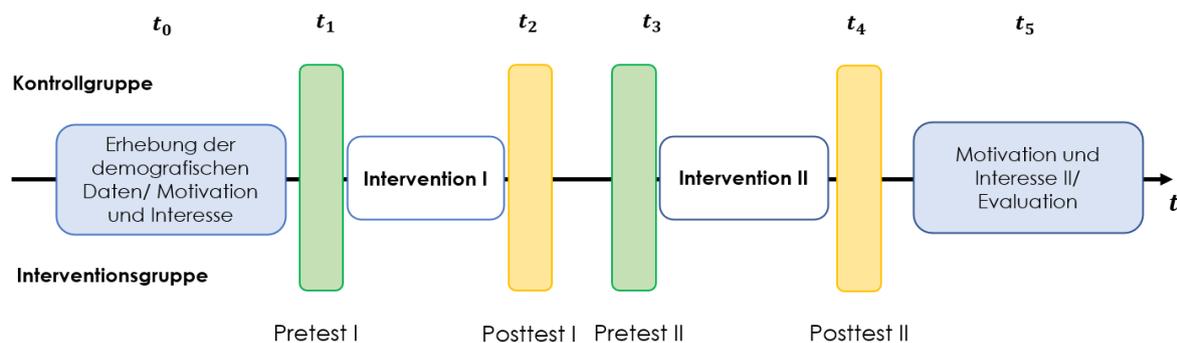


Abb. 1: Ablauf der empirischen Vergleichsstudie zu den smartphonebasierten Experimentieraufgaben im Wintersemester 2021/22.

Science Physik und Bachelor of Science Metrologie. Das Design der Untersuchung ist in Abb. 1 dargestellt.

2.2 Erhobene Variablen und Messinstrumente

Zu Beginn der Studie wurden mittels einer Umfrage die demografischen Daten der beiden Kohorten erhoben. Die Umfrage fand online über die Lehr-Lern-Management-Plattform MOODLE der Universität Leipzig statt. In dieser Umfrage wurden zugleich die Motivation und das Interesse für das Studium erhoben. Gegenstand der Studie waren zwei Themenschwerpunkte aus dem Kurs Experimentalphysik 1 - Mechanik: Analyse von Drehbewegungen (Intervention I) und die Dynamik starrer Körper (Intervention II). In der ersten Intervention der Analyse von Drehbewegungen auf Kreisbahnen, ermittelten die Studierenden die Lage des MEMS-Sensors im Smartphone. In der zweiten Intervention aus den Lehrbereichen Dynamik starrer Körper und der Erhaltung der mechanischen Gesamtenergie ermittelten die Studierenden das Trägheitsmoment ihres Smartphones aus seiner Kippbewegung [20].

Die Studie fand von der vierten bis zur zehnten Vorlesungswoche im Mechanikkurs statt (siehe Abbildung 1). Bevor die Studierenden die jeweiligen Übungsblätter mit den entsprechenden Aufgaben der Interventionen erhielten, wurde ein Pretest zur Erhebung des Vorwissensstandes beider Gruppen bezüglich jeder der Thematiken durchgeführt. In der darauffolgenden Woche erhielten die Studierenden beider Gruppen ein Übungsblatt mit vier Aufgaben. Drei der Aufgaben, klassische algorithmische Übungsaufgaben aus der Physik, waren identisch. Die vierte Aufgabe war die entsprechende Interventionsaufgabe. In der Interventionsgruppe handelte es sich dabei um die smartphonebasierten experimentellen Aufgabenstellungen zur Analyse von Drehbewegungen (Intervention I) und zur Dynamik starrer Körper (Intervention II). Der Kontrollgruppe wurde jeweils eine inhaltlich ähnliche algorithmische Übungsaufgabe gestellt. Die Aufgaben sind mit ihren Erwartungsbildern in den Publikationen [18,19] detailliert vorgestellt.

Das smartphonebasierte Experiment in der Interventionsgruppe wurde zu zweit bearbeitet, alle anderen Aufgaben in beiden Gruppen wurden in Einzelarbeit bearbeitet. Nach Abgabe der Lösungen durch die Studierenden erfolgte ein Posttest zur Messung des Wissenszuwachses. Sowohl der Pre- als auch der Posttest wurden dabei über die Lernmanagementplattform MOODLE durchgeführt und waren Bestandteil eines Übungsblattes der jeweils folgenden Woche. Zum Abschluss der Studie nahmen die Studierenden nochmals an einer Befragung über MOODLE teil, in der die Motivation und das Interesse der Studierenden für ihr Studium nochmals gemessen wurde, um den Einfluss der beiden Interventionen auf diese Variablen für beiden Gruppen zu erfassen. Zusätzlich wurden Fragen zur wahrgenommenen kognitiven Belastung der Studierenden durch die Bearbeitung der entsprechenden Aufgabenstellung gestellt. Einen Überblick über die verwendeten Fragen und die entwickelten Aufgabenstellungen gibt das folgende Unterkapitel.

2.3 Instruktions- und Testmaterialien

Für die Abfrage der Motivation und des Interesses der Studierenden wurden validierte Testinstrumente adaptiert und mittels einer vierstufigen Likert-Skala gemessen. Alle verwendeten Items bezogen sich nicht nur auf spezielle Inhalte des Moduls, sondern auch auf die Physik als Fach im Allgemeinen. Das Interesse wurde in beiden Umfragen mit sieben Items und mit einer vierstufigen Likert-Skala gemessen, die ebenfalls aus einem bewährten Testinstrument adaptiert wurden [22].

Für die kognitive Belastung wurde ein Testinstrument verwendet, welches eine Unterteilung in die drei entsprechenden Kategorien der Cognitive Load Theory zulässt. Die in der Originalarbeit zugehörige zehnstufige Likert-Skala wurde zu einer sechsstufigen Skalierung modifiziert [23].

Einen Überblick über die verwendeten Items und die Skalenreliabilität liefert Tab. 1.

	Einsatz	Anzahl	Cronbachs α
Interesse	t_0	7	0,77
	t_5	8	0,75
Motivation	t_0	6	0,78
	t_5	7	0,79
Cognitive Load	t_5	7	0,78

Tab. 1: Überblick über die verwendeten Testinstrumente in der Vergleichsstudie im

Um den Lernzuwachs in den einzelnen Lernphasen zu ermitteln, wurden für beide Themengebiete jeweils Pre- und Posttests im Multiple-Choice-Design entwickelt, mit welchen das physikalische Konzeptverständnis gemessen wurde. Die Leistungstests hatten neun bzw. zehn Fragen und befassten sich mit den wichtigsten inhaltlichen Konzepten der jeweiligen Themenbereiche. Um die Validität der Pre- und Posttests zu steigern, wurden auch hier validierte Testinstrumente adaptiert. Tab. 2 liefert einen Überblick über die Skalenreliabilität sowie die mittlere Itemschwierigkeit der Pre- und Posttests. Die Tab. 2 zeigt, dass die verwendeten Items mittlere bis hohe Schwierigkeitsindizes ($0,4 < p_i < 0,8$) aufweisen und somit als Testinstrument gut geeignet sind [24].

	Cronbachs α	Itemschwierigkeit p_i (gemittelt)
Intervention I: Analyse von Drehbewegungen		
t_1	0,70	0,62
t_2	0,71	0,64
Intervention II: Dynamik starrer Körper		
t_3	0,70	0,68
t_4	0,75	0,69

Tab. 2: Überblick über die verwendeten Konzeptfragen und die dazugehörige Itemanalyse.

Um die Daten aus den Konzepttests auszuwerten und den Lernzuwachs zu quantifizieren, wurde der Hake Index g zwischen Pre- und Posttest berechnet.

Dieser skaliert den Anteil der richtig beantworteten Antworten zu den Zeitpunkten des Pre- und des Posttests [25]. Dabei wird das Verhältnis des maximal

möglichen Lernzuwachses zum Zeitpunkt des Pretests durch die Differenz der Leistung der Studierenden von Post- und Pretest dividiert. Um zu überprüfen, ob die in Kontroll- und Interventionsgruppe unterschiedlichen Aufgabentypen einen nachweisbaren Einfluss auf den Lernzuwachs hatten, wurde der Lernzuwachs g mittels Kovarianzanalysen bezüglich der Gruppenzugehörigkeit untersucht und die Effektstärken mit dem Cohen's d berechnet.

2.4 Aufgabenstellungen für Interventions- und Kontrollgruppe

Bei der Konstruktion der Aufgaben für die Interventions- und Kontrollgruppe wurde darauf geachtet, dass an beide Gruppen vergleichbare Anforderungen gestellt wurden. Beide Aufgaben bezogen sich jeweils auf dasselbe physikalische Konzept und stellten ähnliche mathematische Anforderungen. Der größte Unterschied zwischen der Experimentierhausaufgabe und der Rechenaufgabe bestand darin, dass die Studierenden der Interventionsgruppe selbst erhobene experimentelle Daten nutzten und diese entsprechend analysierten. Für die Studierenden der Kontrollgruppe entfiel die eigenständige experimentelle Arbeit. Sie erhielten eine klassische algorithmische Übungsaufgabe, bei der alle notwendigen Zahlenangaben bzw. Werte der physikalischen Größen in der Aufgabenstellung inkludiert waren.

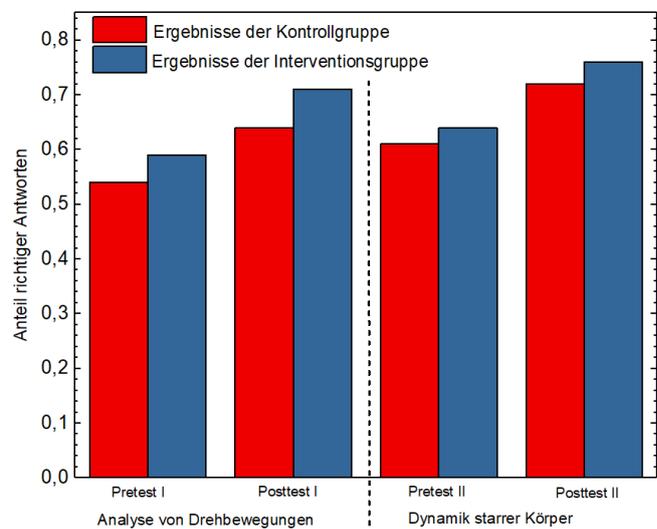


Abb. 2: Darstellung der Ergebnisse aus den Pre- und Posttests für Intervention I und Intervention II der Vergleichsstudie aus dem Wintersemester 2021/22. Die Ergebnisse der Kontrollgruppe sind rot dargestellt, die der Interventionsgruppe blau.

Variable		Interventionsgruppe $N = 40$		Kontrollgruppe $N = 45$		t	p
		\bar{x}	δ	\bar{x}	δ		
Interesse	t_0	2,15	0,81	2,11	0,84	0,24	0,42
	t_5	1,97	0,68	1,82	0,69	0,97	0,16
Motivation	t_0	2,09	0,72	1,99	0,68	0,63	0,26
	t_5	2,25	0,74	2,09	0,73	0,97	0,17
Kognitive Belastung	t_5	-	-	-	-	-	-
Intrinsische Belastung		3,06	0,94	3,18	1,03	0,55	0,29
Extrinsische Belastung		3,61	1,33	3,12	1,13	1,80	0,04
Lernrelevante Belastung		2,03	0,56	2,01	0,73	0,13	0,45

Tab. 3: Entwicklung der Mittelwerte \bar{x} und Standardabweichungen δ von Motivation, Interesse und kognitiven Belastungen im Verlauf der Studie für beide Gruppen verglichen mit einem einseitigen t -Test einschließlich Angabe der Signifikanz p . Die Zeitangaben beziehen sich auf den Ablauf der Studie aus Abbildung 1.

3. Studienergebnisse aus dem Wintersemester 2021/22

Die Daten in Tab. 3 zeigen für die Motivation und das Interesse keine signifikanten Unterschiede zwischen der Interventionsgruppe und der Kontrollgruppe. Für beide Gruppen wurde jedoch eine leichte Zunahme bei beiden Lernvariablen über die Dauer der Studie festgestellt. Die Daten für die intrinsische und die lernrelevante kognitive Belastung verhalten sich für beide Gruppen ebenfalls ähnlich und weisen keine signifikanten Unterschiede auf. Die extrinsische kognitive Belastung, welche durch die smartphonebasierten Experimentieraufgaben bei den Studierenden der Interventionsgruppe hervorgerufen wurde, ist jedoch signifikant geringer als bei den Studierenden der Kontrollgruppe, welche die klassischen Übungsaufgaben bearbeiteten ($p < 0,05$). Für die Untersuchung der Lernleistung wurde der Hake-Index g_i für alle Studierenden der Studie aus den Daten des Pre- und des Posttests berechnet. Die Abb. 2 zeigt den Vergleich der erbrachten Leistungen beider Gruppen in den Pre- und Posttests für beide Themenschwerpunkte.

Die Daten der Pre- und Posttests zeigen, dass die Interventionsgruppe mit den smartphonebasierten Experimentieraufgaben in beiden Interventionen bessere Ergebnisse erzielt als die Kontrollgruppe. Aus dem Anteil der richtig beantworteten Fragen in den Pre- und Posttests beider Interventionen wurde jeweils der Hake-Index g ermittelt. Die Auswertung hat ergeben, dass bei der Intervention I (Analyse von Drehbewegungen) kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen bestand. Stattdessen zeigte sich, bei der Intervention II (Dynamik starrer Körper) ein Unterschied beider Gruppen zu Gunsten der Interventionsgruppe.

Bei der Intervention I zeigte sich für beide Gruppen ein leichter Lernzuwachs, ohne dass ein signifikanter Gruppenunterschied festgestellt werden konnte ($p > 0,05$; Cohen's $d = 0,20$). In der Intervention II wurde ein signifikant höherer Lernzuwachs für die Interventionsgruppe nachgewiesen ($p < 0,05$). Auch die Effektstärke der smartphonebasierten Aufgaben ist mit $d = 0,42$ deutlich größer einzuschätzen als für den Untersuchungsschwerpunkt der Analyse von Drehbewegungen (siehe Abb. 2).

Es ist davon auszugehen, dass die geringere extrinsische kognitive Belastung der Lernenden bei den smartphonebasierten Experimentieraufgaben (siehe Tab. 3) der Grund für den höheren Lernzuwachs ist. Die Lernenden der Interventionsgruppe sind zum Zeitpunkt der Interventionen bereits damit vertraut, ihre Smartphones als Messgeräte in physikalischen Experimenten zu nutzen. Sie lernten somit effektiver im Mechanik-Kurs als Lernende, die nur traditionelle Paper-Pencil-Tests im Rahmen der wöchentlichen Hausaufgaben lösten.

Es hat sich gezeigt, dass die Effektstärke und der Lernzuwachs stark von der untersuchten Thematik und von der Aufgabe selbst abhängen. Die Analyse von Drehbewegungen, Schwerpunkt der Intervention I, wird bereits in vielen Physikkursen der Sekundarstufe II behandelt. Anders als die Dynamik starrer Körper (Intervention II) ist dieses Thema für die Lernenden beider Gruppen nicht völlig neu. Da die physikalischen Konzepte der Intervention II den Studierenden im Einführungskurs Mechanik zum ersten Mal vermittelt wurden, konnten diese nicht durch Präkonzepte aus der Schule überlagert werden. Deshalb ist davon auszugehen, dass sich die lernfördernde Wirkung smartphonebasierter Experimentieraufgaben in der Intervention II deutlicher zeigt.

4. Zusammenfassende Diskussion aller durchgeführten Studien zu den smartphonebasierten Experimentieraufgaben

Alle Daten zum Lernzuwachs durch den Einsatz smartphonebasierter Experimentierhausaufgaben im Kurs Experimentalphysik Mechanik, die im Rahmen unserer Lehr-Lern-Projekte zum Smarten Physiklabor mittels empirischer Studien erhoben wurden, sind in Tab. 4 zusammengefasst. Der in den Studien gemessene Hake-Index für die smartphonebasierte Experimentieraufgabe zur Analyse von Drehbewegungen (Intervention I, in der Vergleichsstudie vom WiSe 2021/22, Spalte IG) liegt in dem Bereich, der für traditionelle Lehrformate $g \approx 0,20$ erwartet wird. Hake definiert dabei ein traditionelles Lehrformat als die frontal unterrichtete Vorlesung mit den dazugehörigen kalkülmäßigen, algorithmischen Übungsaufgaben. Aus diesem Grund unterscheidet sich der ermittelte Hake-Index auch nicht signifikant von dem Lernzuwachs der Kontrollgruppe, die nur die klassischen Übungsaufgaben (also ein traditionelles Lernformat) bearbeitet hat.

Zeitpunkt	Gruppe	Intervention I	Intervention II
2019/20	IG	0,31	-
	KG	-	-
2020/21	IG	0,19	-
	KG	0,09	-
2021/22	IG	0,28	0,19
	KG	0,08	0,11

Tab. 4: Vergleich der Hake-Indizes g für die Interventions- (IG) und Kontrollgruppe

Für die Experimentieraufgabe zur Dynamik Starrer Körper (kippendes Smartphone) wurde im Wintersemester 2019/20 ein Hake-Index von $g = 0,31$ gemessen [17,20]. Diese erste empirische Untersuchung fand allerdings noch ohne Kontrollgruppendesign und ohne validiertes Testinstrument statt. Ab dem Wintersemester 2020/21 wurden die Untersuchungen mit einer Interventions- und Kontrollgruppe durchgeführt. Dabei zeigten sich in beiden Vergleichsstudien signifikante Gruppenunterschiede und ein höherer Lernzuwachs bei den Studierenden mit den smartphonebasierten Experimentieraufgaben.

Der Hake-Index der Interventionsgruppe ist zweimal bzw. dreimal so hoch wie der in der Kontrollgruppe. Mit $g = 0,28$ wurde im Wintersemester 2021/22 ein

höherer Lernzuwachs gemessen, als es von traditionellen Lehrformaten erwartet wird [18,19]. Dieser Wert reicht allerdings noch nicht an den Bereich für aktivierende Lernformate heran ($g = 0,48 \pm 0,14$), welcher von Hake (1998) publiziert wurde und von Riegler und Kautz für die aktuelle Physikausbildung bestätigt werden konnte [26,27].

In den vorgestellten Untersuchungsergebnissen von Hake wurden traditionelle Lehrveranstaltungen, also Vorlesungen, welche die klassischen formalen Rechenaufgaben einsetzen, hinsichtlich des konzeptionellen Verständnisses der Studierenden, mit Lehrveranstaltungen, die Interactive-Engagement-Lehrformate einsetzen (bspw. Flipped Classroom oder Peer-Instruction) verglichen. In einer Lehrveranstaltung mit Interactive-Engagement setzen sich die Lernenden selbstständig und aktiv mit den Begriffen und Konzepten auseinander, erarbeiten sich die Inhalte teils selbst und die Lehrenden nehmen eher die Rollen von Moderatoren ein. In den empirischen Vergleichsstudien unserer smartphonebasierten Experimentieraufgaben wurden einzelne Aufgaben einer wöchentlichen Übungsserie ersetzt und der Einfluss des verwendeten Aufgabentyps auf die Lernleistung der Studierenden untersucht. Aus diesem Grund sind die Werte der vorgestellten Studienergebnisse nur bedingt mit den Daten von Hake vergleichbar. Sie belegen allerdings, dass die smartphonebasierten Experimentieraufgaben ein neues, aktivierendes Aufgabenformat darstellen, die es tendenziell ermöglichen, höhere Lernerfolge bei den Studierenden zu erzielen, als es durch klassischen Paper-Pencil-Tests erwartet wird.

Die lernförderliche Wirkung der smartphonebasierten Experimentieraufgaben resultiert aus deren didaktischer Gestaltung. Indem das Smartphone in den Problemlöse- und Arbeitsprozess integriert wird, werden die Lernenden kognitiv aktiviert und zugleich entlastet. Die Verwendung der App phyphox ermöglicht es, die Messdaten aus dem Experiment kohärent, visuell und textbasiert darzustellen, was die beiden Eingangskanäle des menschlichen Arbeitsgedächtnis entsprechend aktiviert. Durch das zeitsynchrone Vorhandensein der Aufgabenstellung sowie die Darstellung der Messwerte in Graphen erhöht sich die Elementinteraktivität im Arbeitsprozess, welche durch die Aufgabenstellung hervorgerufen wird [28,29]. Durch die höhere Elementinteraktivität wird die lernirrelevante kognitive Belastung minimiert, wodurch mehr kognitive Ressourcen für die aktive Wissensgenerierung zur Verfügung stehen. Das stellt einen großen Vorteil gegenüber den klassischen algorithmischen Übungsaufgaben dar.

Die smartphonebasierten Aufgabenstellungen haben auch Nachteile gegenüber den klassischen Übungsaufgaben. In der Anfangsphase des Lernprozesses in einem Themenbereich ist es essenziell für die Studie-

renden, zuerst die physikalischen und mathematischen Grundkonzepte zu verstehen und diese sicher in Grundroutinen anzuwenden. Dafür sind die Experimentieraufgaben nicht geeignet. Nachdem die neuen Konzepte, Begriffe und Theorien gefestigt und verstanden worden sind, ist es sinnvoll, eine smartphonebasierte Experimentieraufgabe als Anwendungs- bzw. Problemlöseaufgabe zu stellen, um das Wissen zu vertiefen und entsprechend zu vernetzen.

Die Ergebnisse aus den Untersuchungen zum Lehrkonzept des Smarten Physiklabors und zum Einsatz von smartphonebasierten Experimentieraufgaben unterstützen die Ergebnisse zum Einsatz von Smartphones in Lehr-Lern-Szenarien. Die entwickelten smartphonebasierten Experimentieraufgaben bieten die Möglichkeit, physikalische Konzepte und Begriffe kontextorientiert zu vermitteln. Unsere Daten liefern weitere Hinweise bezüglich einer von Zydney und Warner (2016) in einer Metaanalyse festgestellten Forschungslücke zur Integration von Smartphones in naturwissenschaftliche Lernformate [11]. Insbesondere liefern die vorgestellten Untersuchungsergebnisse erste konkrete Daten und Implikationen zur Integration des Smartphones in ein experimentelles Lehr-Lern-Setting, welche von Oliviera et al. (2019) in einer Literaturanalyse gefordert wurden [12]. Die Einbindung des Smartphones in das Experiment hat zum Ziel, die Lernenden zu motivieren und zugleich den Lernerfolg zu vergrößern. Durch die Reduktion der extrinsischen und lernirrelevanten kognitiven Belastung wird die lernrelevante kognitive Belastung intensiviert, was zu einem größeren konzeptionellen Wissenszuwachs bei den Studierenden führt. Unsere Daten aus den vorgestellten Studien (siehe Tab. 3) zum Smarten Physiklabor belegen dies.

Im Einklang mit den Ergebnissen von Hochberg et al. (2018) riefen die smartphonebasierten Experimentieraufgaben bei den Lernenden eine geringere extrinsische kognitive Belastung hervor als die klassischen algorithmischen Übungsaufgaben [5,6]. Das bestärkt die Annahme der lernförderlichen Wirkung smartphonebasierter Experimentieraufgaben. Die Daten von Wieman und Holmes, welche die Lernwirksamkeit experimenteller Aufgabenstellungen als nicht gewinnbringend einschätzen, wurden damit durch unsere Untersuchungen nicht bestätigt. Die Daten aus Tab. 3 zeigen klar, dass man mit smartphonebasierte Aufgabenstellungen einen höheren Lernzuwachs erzielen kann als die klassischen algorithmischen Übungsaufgaben. In unseren Vergleichsstudien aus den Wintersemestern 2020/21 und 2021/22 wurden erste Untersuchungsergebnisse bezüglich der wahrgenommenen kognitiven Belastung der Lernenden durch den Einsatz des Smartphones erhoben. Diese Daten bestätigen, dass sich Smartphones als Ergänzung zu den traditionellen Lehrformaten positiv auf den Lernerfolg auswirken und nicht zu einer extrinsischen kognitiven Überbelastung durch die erhöhte Informationsdichte führen. Es zeigte sich allerdings

eine Abhängigkeit des Lernerfolgs von der Aufgabenstellung und dem zugrundeliegenden Thema. Für die entsprechende Intervention I wurde die mangelhafte Passung und Einbindung des Smartphones als Kritikpunkt festgestellt, was letztendlich die Lerneffektivität der smartphonebasierten Experimentieraufgabe schmälerte.

5. Fazit

Im Rahmen einer quasi-experimentellen Feldstudien mit Kontroll- und Interventionsgruppe wurden im WiSe 2021/22 zwei smartphonebasierte Experimentieraufgaben ausgewählt und für die Kontrollgruppe durch konzeptgleiche algorithmische Übungsaufgaben ersetzt. Beide Aufgabentypen wurden von den Studierenden der jeweiligen Kohorte als Teil der wöchentlichen Übungsaufgaben im Mechanikkurs bearbeitet. Sie thematisierten die beiden Schwerpunkte Analyse von Drehbewegungen und Dynamik starrer Körper. Unsere Untersuchungen zeigen, dass mittels überlegt formulierter smartphonebasierter Experimentieraufgaben ein besserer Lernzuwachs als mit klassischen algorithmischen Übungsaufgaben für Studierende in der Studieneingangsphase erzielt werden kann, da smartphonebasierte Experimentieraufgaben die extrinsische kognitive Belastung der Studierenden im Vergleich zu den algorithmischen Übungsaufgaben vermindern. Interessierten Fachkollegen stellen wir unsere Aufgabenstellungen auf Nachfrage zur Nutzung und Weiterentwicklung gern zur Verfügung. Eine Reihe von Publikationen zu anspruchsvollen Experimentierideen für Smartphone sind der gängigen Literatur veröffentlicht.

6. Literatur

- [1] C. Stampfer, H. Heinke und S. Staacks. A lab in the pocket. *Nature Reviews Materials*, 5:S.169–170, 2020.
- [2] S. Staacks et al. Advanced tools for smartphone-based experiments: phyphox. *Physics Education*, 53(4), 2018.
- [3] R. Vieyra et al. Turn your smartphone into a science laboratory. *Science Teach.*, 82:S. 32–40, 2018.
- [4] J. Kuhn und P. Vogt. Smartphone & Co. in Physics Education: Effects of Learning with New Media Experimental Tools in Acoustics. In W. Schnotz, A. Kauertz, H. Ludwig, A. Müller & J. Pretsch (Eds.), *Multidisciplinary Research on Teaching and Learning*. Palgrave Macmillan, Basingstoke UK, 2015.
- [5] K. Hochberg, J. Kuhn und A. Müller. Using Smartphones as Experimental Tools - Effects on Interest, Curiosity and Learning in Physics Education. *Journal of Science Education and Technology*, 27:S. 385–403, 2018.
- [6] K. Hochberg et al. Using Smartphones as Experimental Tools - a Follow-up: Cognitive Effects by Video Analysis and Reduction of Cog-

- nitive Load by Multiple Representations. *Journal of Science Education and Technology*, 29:S. 303–317, 2020.
- [7] P. Klein, J. Kuhn und A. Müller. Förderung von Repräsentationskompetenz und Experimentbezug in den vorlesungsbegleitenden Übungen zur Experimentalphysik. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 24:S. 17–34, 2018.
- [8] A. Y. Nuryantini, M. R. Adawiyah und M. A. Ariayuda. The application of smartphone sensors to promote cognitive abilities easier and more effective physics learning. *Journal of Physics: Conference Series*, 1:012023, 2021.
- [9] D. Hillmayr et al. The potential of digital tools to enhance mathematics and science learning in secondary schools: A context-specific meta-analysis. *Computers and Education*, 153, 2020.
- [10] S. Becker et al. Using mobile devices to enhance inquiry-based learning processes. *Learning and Instruction*, 69:101350, 2020.
- [11] J. Zydney und Z. Warner. Mobile apps for science learning: Review of research. *Computers and Education*, 94:S.1–17, 2016.
- [12] A. Oliveira et al. Emerging technologies as pedagogical tools for teaching and learning science: A literature review. *Human Behavior and Emerging Technologies*, 1(2):S. 149–160, 2019.
- [13] A. Mazzella und I. Testa. An Investigation into the effectiveness of smartphone experiments on students conceptual knowledge about acceleration. *Physics Education*, 51(5), 2016.
- [14] D. R. Sokoloff, P. W. Laws und R. K. Thornton. RealTimePhysics: active learning labs transforming the introductory laboratory. *European Journal of Physics*, 28(3):S. 83–94, 2007.
- [15] C. Wiemann und N.G. Holmes. Measuring the impact of an instructional laboratory on the learning of introductory physics. *American Journal of Physics*, 83(11):S. 972–978, 2015.
- [16] N.G. Holmes et al. Value added or misattributed? A multi-institution study on the educational benefit of labs for reinforcing physics content. *Phys. Rev. Phys. Educ. Rev.*, 13:S. 972–978, 2017.
- [17] A. Kaps, T Splith, und F Stallmach. Implementation of smartphone-based experimental exercises for physics courses at universities. *Physics Education*, 56(3):035004, 2021.
- [18] A. Kaps und F Stallmach. Development and didactic analysis of smartphone-based experimental exercises for the smart physics lab, *Physics Education*, im Druck, 2022.
- [19] A.Kaps. Entwicklung und Analyse smartphone-basierter Experimentieraufgaben für die universitäre Physikausbildung, Dissertationsschrift, eingereicht, Universität Leipzig, 2022.
- [20] A. Kaps und F. Stallmach. Tilting motion and the moment of inertia of the smartphone, *The Physics Teacher* 58, 216-217 (2020).
- [21] A. Kaps und F. Stallmach. Lernwirksamkeitsanalyse smartphonebasierter Experimentierhausaufgaben, *PhyDid B – Didaktik der Physik*, Beiträge zur Frühjahrstagung, 2021.
- [22] J. Kuhn. Authentische Aufgaben im theoretischen Rahmen von Instruktions- und Lehr-Lern-Forschung: Effektivität und Optimierung von Ankermedien für eine neue Aufgabenkultur im Physikunterricht. *Habilitationsschrift*, 2010.
- [23] M. Klepsch, F. Schmitz und T. Seufert. Development and Validation of Two Instruments Measuring Intrinsic, Extraneous, and Germane Cognitive Load. *Frontiers in Psychology*, 8, 2017.
- [24] J. Bortz und N. Döring. *Forschungsmethoden und Evaluation - für Human- und Sozialwissenschaftler*, 5. Auflage. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2016.
- [25] R. Hake. Interactive-Engagement Versus Traditional Methods: A Six-Thousand-Student Survey of Mechanics Test Data for Introductory Physics Courses. *American Journal of Physics*, 66:S. 64–74, 1998.
- [26] P. Riegler und C. Kautz. *Physik der Hochschullehre - Die Hochschullehre ist zu einem gesellschaftlich wichtigen Forschungsgegenstand der Physik geworden*. *Physik- Journal*, 5:Wiley-VCH GmbH, 2021.
- [27] J. von Korff *et al.* Secondary analysis of teaching methods in introductory physics - A 50k-student study. *American Journal of Physics*, 84(12):S. 969–974, 2016.
- [28] J. Sweller. Element interactivity and intrinsic, extraneous, and germane cognitive load. *Educ Psychol Rev*, 22:S. 123–138, 2010.
- [29] R. Mayer und R. Moreno. Nine ways to reduce cognitive load in multimedia learning. *Educational Psychologist*, 38(1): S.43–52, 2003.

Danksagung

Wir danken Prof. Dr. C. S. Schönherr und PD Dr. H. von Wenckstern (beide Felix-Bloch-Institut für Festkörperphysik, Universität Leipzig) für ihre Unterstützung bei dieser Studie, sowie allen Studierenden der Mechanikkurse an unserer Fakultät in den Wintersemester 2020/2021 und 2021/22 für ihre aktive Teilnahme an der Studie und das positive Feedback zu den neu entwickelten Aufgaben mit dem Smarten Physiklabor. Andreas Kaps bedankt sich bei der Universität Leipzig für die finanzielle Unterstützung des Promotionsstipendiums.

Lehramtsspezifischer Professionsbezug in Fachveranstaltungen

Benedikt Gottschlich, Jan-Philipp Burde

Eberhard Karls Universität Tübingen, AG Didaktik der Physik, Auf der Morgenstelle 14, 72076 Tübingen
benedikt.gottschlich@uni-tuebingen.de, jan-philipp.burde@uni-tuebingen.de

Kurzfassung

Die Notwendigkeit einer fundierten fachlichen Ausbildung für Physik-Lehramtsstudierende ist unbestritten, insbesondere für angehende Gymnasiallehrkräfte. Eine rein fachsystematische Studienstruktur mit vielen Überschneidungen zur Ausbildung von B.Sc.-Studierenden birgt allerdings die Gefahr, die Lehramtsstudierenden nicht ausreichend auf die Herausforderungen des Physikunterrichts vorzubereiten. Nicht wenige Standorte – so auch die Universität Tübingen – beabsichtigen daher, den lehramtsspezifischen Professionsbezug in der fachlichen Ausbildung der Lehramtsstudierenden zu stärken. Bisherige Veröffentlichungen zu diesem Themenkomplex beschreiben in der Regel Ansätze und Maßnahmen einzelner Standorte zur Integration von mehr Professionsbezug in die fachliche Ausbildung. Mit dem Anliegen, ein breiteres Bild über entsprechende Strukturen und Maßnahmen an deutschen Universitäten zu zeichnen, wurde eine entsprechende Befragung derjenigen Standorte durchgeführt, welche für das gymnasiale Lehramt ausbilden. Die in diesem Beitrag vorgestellten Ergebnisse machen deutlich, dass insbesondere in der Theoretischen Physik viele Standorte separate Angebote für Lehramtsstudierende machen, diese aber nur selten die spezifischen Bedarfe der angehenden Lehrkräfte berücksichtigen.

1. Hintergrund und Motivation

1.1. Fachausbildung in Lehramtsstudiengängen

Die fachliche Ausbildung im Physikstudium befähigt Lehramtsstudierende häufig nicht, das an der Hochschule erworbene Fachwissen im späteren Unterricht adressatengerecht und flexibel einzusetzen (John & Starauschek, 2021). Diese Beobachtung ist nicht neu: Bereits 2006 forderte die DPG ein Studium *sui generis* für das Lehramt Physik, um angehende Lehrkräfte bestmöglich auf die Herausforderungen des modernen Physikunterrichts vorzubereiten (Großmann & Urban, 2006). Zwar sei nicht jede Dimension physikalischen Wissens für eine Lehrkraft bedeutsam (John & Starauschek, 2021), aber zumindest das auf den Schulunterricht abgestimmte Fachwissen weise eine große Relevanz auf (Merzyn, 2017). Allerdings erfolge der Erwerb von schulrelevantem Wissen häufig erst im Laufe des Referendariats (Borowski et al., 2011). Im Sinne eines kumulativen Lernfortschritts im Rahmen einer professionsbezogenen Physikausbildung sei es nach John und Starauschek (2021) allerdings notwendig, dass bereits im Studium das sogenannte vertiefte Schulwissen (vgl. Riese et al., 2015) eine zentrale Rolle spielt. Zudem solle eine Auseinandersetzung mit Alltagskonzepten erfolgen sowie fachliche Inhalte als für den Schulberuf relevant wahrgenommen werden.

Vor diesem Hintergrund war es der AG Didaktik der Physik der Universität Tübingen ein Anliegen, die Ausbildung der Lehramtsstudierenden im Fach Physik entsprechend zu reformieren und dabei bewährte

Konzepte anderer Standorte zu berücksichtigen. Es existieren bereits zahlreiche Veröffentlichungen, welche unterschiedliche Ansätze von verschiedenen Standorten zur Reformierung der Fachausbildung für Lehramtsstudierende beschreiben (z.B. Eller et al., 2012; Massolt & Borowski, 2016). Bisher fehlt allerdings eine empirische Erhebung des Status quo über die Strukturen der Physik-Fachausbildung für Lehramtsstudierende und somit eine Bestandsaufnahme davon, in welchem Maße die Forderungen der DPG (Großmann & Urban, 2006) umgesetzt wurden.

1.2. Situation an der Universität Tübingen

An der Universität Tübingen gliedert sich das Lehramtsstudium in den sechsemestrigen Bachelor of Education (B.Ed.) und den viersemestrigen Master of Education (M.Ed.). B.Ed.-Studierende mit dem Fach Physik belegen im ersten Studienjahr gemeinsam mit den Physik-B.Sc.-Studierenden die *Grundkurse Physik I & II*. Diese Grundkurse befassen sich mit Experimentalphysik und Theoretischer Physik in integrierter Form, wobei der Grundkurs I jeweils im Wintersemester die Themen Mechanik und Wärmelehre und der Grundkurs II im Sommersemester den Elektromagnetismus behandelt. Für B.Sc.- und B.Ed.-Studierende gelten im Rahmen dieser Grundkurse die gleichen Rahmenbedingungen in Bezug auf die wöchentlichen Übungsblätter, die Klausurzulassung und die Klausur.

Üblicherweise teilten sich B.Sc.- und B.Ed.-Studierende ausschließlich in Abhängigkeit ihrer eigenen zeitlichen Präferenzen in die vorlesungsbegleitenden Übungsgruppen ein. Im Wintersemester

2021/22 wurde erstmalig eine Übungsgruppe speziell für B.Ed.-Studierende angeboten. In dieser erfolgte zusätzlich zur Behandlung der regulären Übungs- und Präsenzaufgaben eine weiterführende Diskussion von typischen Schülervorstellungen und Verständnisschwierigkeiten zu den aktuell behandelten Themen. Dies nahm etwa 15-20 Minuten pro Termin in Anspruch. Als Aufhänger haben sich hierbei Fragestellungen im Multiple-Choice-Format bewährt (vgl. Abb. 1), welche die Studierenden vor der Diskussion zunächst anonym mit dem Smartphone beantworten und welche unmittelbar durch eine Software ausgewertet wurden. Dadurch wurde nicht nur eine kognitive Aktivierung der Studierenden gewährleistet, sondern auch dem Übungsgruppenleiter die Möglichkeit gegeben, mit Blick auf das Abstimmungsergebnis mögliche Defizite im konzeptionellen Verständnis bei den Studierenden auszumachen. Der Methodenwechsel sorgte in der Übungsgruppe für Abwechslung und Auflockerung; zudem war eine gesteigerte Motivation und eine breitere Beteiligung zu beobachten.



Abb.1: Beispiel einer diskutierten Fragestellung zum Verständnis des dritten newtonschen Axioms (Schecker & Wilhelm, 2018)

Nicht zuletzt verfolgte dieser Ansatz die Absicht, den B.Ed.-Studierenden eine Verknüpfung der universitären mit den schulischen Inhalten aufzuzeigen. Neben motivationalen Aspekten bestand das Ziel der Verschränkung von fachlichen und fachdidaktischen Inhalten vor allem darin, Studierenden die Gelegenheit zu geben, ihre eigenen Vorstellungen zu zentralen physikalischen Konzepten zu erkennen, zu reflektieren und ggf. zu korrigieren. Das reflektierte Wissen über fachliche Konzepte und Schülervorstellungen kann als Teilaspekt eines professionsbezogenen Fachwissens verstanden werden (Harms & Riese, 2018; John & Staruschek, 2021). Der beschriebene Ansatz wird aktuell im Sommersemester 2022 auch in einer Übungsgruppe für B.Ed.-Studierende im Grundkurs II fortgesetzt.

2. Forschungsanliegen

Das Forschungsdesiderat basiert auf der in Abschnitt 1.1 beschriebenen Befund, dass bislang kein standortübergreifender Überblick zu Maßnahmen zur Steigerung des lehramtspezifischem Professionsbezugs bei Fachveranstaltungen im Physikstudium vorliegt. Ein solcher Überblick kann besonders für

jene Standorte von Interesse sein, welche die Struktur des Lehramtsstudiums im Fach Physik überarbeiten bzw. eine solche Maßnahme planen. Eine Übersicht über konkrete Ansätze und Ideen ist darüber hinaus allgemein für Dozierende an lehrerbildenden Standorten von Interesse – insbesondere dann, wenn es sich um vergleichsweise einfach umzusetzende Maßnahmen handelt, welche nur wenig Kapazitäten in Anspruch nehmen. Der in Abschnitt 1.2 beschriebene Tübinger Ansatz, lehramtspezifische Elemente in die Übungsgruppe zu integrieren, kann als ein Beispiel für eine Stärkung des Professionsbezugs im Rahmen einer Physik-Fachveranstaltung betrachtet werden.

Das Forschungsanliegen ist insofern eingegrenzt, als dass lediglich die aktuelle Situation in der *gymnasialen* Lehrkräfteausbildung und nicht in Bezug auf andere Schulformen betrachtet wird. Weiterhin ist zentral, dass der Professionsbezug im Rahmen der Physik-Fachausbildung des Lehramtsstudiums betrachtet wird. Fachdidaktische oder allgemeinpädagogische Elemente der Lehrkräfteausbildung an den verschiedenen Standorten waren explizit nicht Gegenstand der Befragung.

3. Methodik

Um einen Überblick über unterschiedliche Herangehensweisen im Hinblick auf Maßnahmen zur Stärkung des Professionsbezugs in der Fachausbildung im Lehramtsstudium Physik zu erlangen, wurde über die Plattform *SosciSurvey* eine Befragung durchgeführt. Der entsprechende Link wurde an alle 51 Standorte in Deutschland versendet, welche Physiklehrkräfte für das Gymnasium ausbilden. Hierbei wurden zunächst die Lehrstuhlinhaberinnen und -inhaber der Didaktik der Physik kontaktiert. Falls diese eine andere Person an ihrem Standort für besser geeignet hielten, den Fragebogen zu beantworten, so waren sie gebeten, den Fragebogen entsprechend weiterzuleiten. Das Ausfüllen der Fragebögen nahm bei den Befragten etwa 5-10 Minuten in Anspruch. Insgesamt nahmen 34 Standorte an der Befragung teil, was einer Rücklaufquote von 66,7% entspricht.

Der selbst entwickelte Fragebogen befasst sich im Wesentlichen mit den fachlichen Veranstaltungen aus dem ersten Teil des Lehramtsstudiums, d.h. der klassischen Experimentalphysik (Mechanik, Elektrizitätslehre, Thermodynamik, Optik) und den Grundvorlesungen aus der Theoretischen Physik (Theoretische Mechanik, Theoretische Elektrodynamik, Einführung in die Quantenmechanik). Er erhebt, inwieweit zu den einzelnen fachlichen Gebieten separate Arrangements für Lehramtsstudierende im Vergleich zu Fachstudierenden vorliegen (z.B. Differenzierungen in Bezug auf Vorlesung, Klausur, Klausurzulassung bzw. Übungsgruppen). Hierbei handelt es sich um Informationen, welche üblicherweise nicht vollständig aus den online verfügbaren Studienplänen der einzelnen Standorte ersichtlich sind und damit

die Notwendigkeit einer persönlichen Befragung begründeten.

Der Fragebogen weist ein adaptives Format auf: Gibt eine befragte Person z.B. an, dass an ihrem Standort im Bereich der Theoretischen Physik separate Vorlesungen für Lehramtsstudierende existieren, so wird diese Person im nächsten Schritt danach gefragt, welche Charakteristika diese separaten Veranstaltungen aufweisen. Falls angegeben wird, dass keine separaten Veranstaltungen vorliegen, wird entsprechend adaptiv gefragt, inwieweit im Rahmen der gemeinsamen Veranstaltungen spezielle Arrangements für Lehramtsstudierende vorliegen. Beispiele für Testitems können der Darstellung der Ergebnisse in Abschnitt 4 entnommen werden. Ferner war es den Befragten auch möglich, die Situation bzw. etwaige Maßnahmen an ihrem Standort in offenen Textfeldern schriftlich zu beschreiben sowie bei Bedarf weitere Kommentare zum Thema der Befragung zu verfassen.

Das Veranstaltungsangebot und die Studienstruktur im Bereich der Modernen Physik variiert zwischen den Standorten naturgemäß mehr als bei den bislang angesprochenen grundlegenden Modulen aus Experimentalphysik und Theoretischer Physik. Deshalb wurde auf eine systematische Abfrage bezüglich der Veranstaltungen aus der Modernen Physik verzichtet. Die Befragten wurden allerdings in einer offenen Frage aufgefordert, zu beschreiben, welche Spezifika die von Lehramtsstudierenden zu belegenden Veranstaltungen an ihrem Standort aufweisen.

4. Ergebnisse

Ein zentrales Ergebnis der Befragung sind die deutlichen Unterschiede in Bezug auf Veranstaltungen aus den Bereichen Experimentalphysik bzw. Theoretischer Physik: Für Vorlesungen aus dem Bereich der Experimentalphysik zeigt sich nämlich, dass bei einem Großteil der Standorte keine eigenen Veranstaltungen für Lehramtsstudierende existieren (siehe Abb. 2).

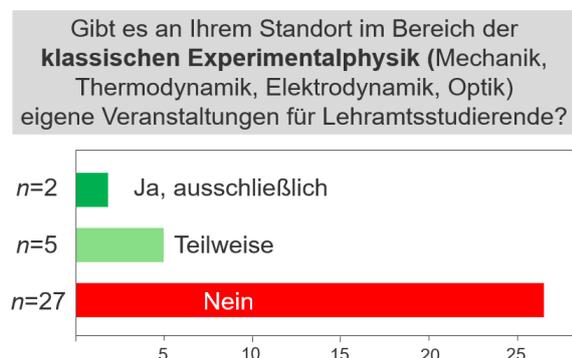


Abb.2: Antworten zur Frage nach separaten Veranstaltungen in der klassischen Experimentalphysik

Die adaptive Nachfrage ergab, dass bei einer Mehrheit dieser gemeinsamen Veranstaltungen auch die organisatorischen Rahmenbedingungen identisch sind (siehe Abb. 3).

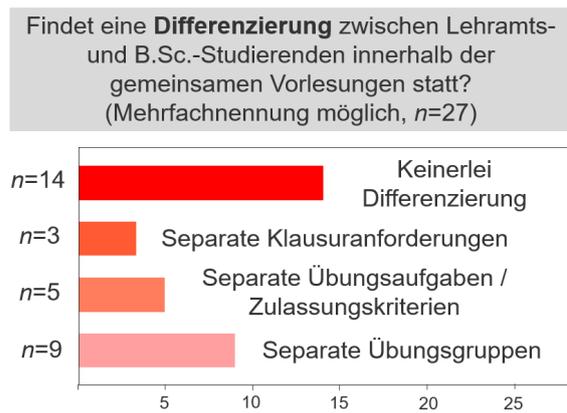


Abb.3: Antworten zur Frage nach Differenzierungen in gemeinsamen Vorlesungen zur Experimentalphysik

Für die Grundvorlesungen in der Theoretischen Physik zeigt sich jedoch ein anderes Bild (siehe Abb. 4):

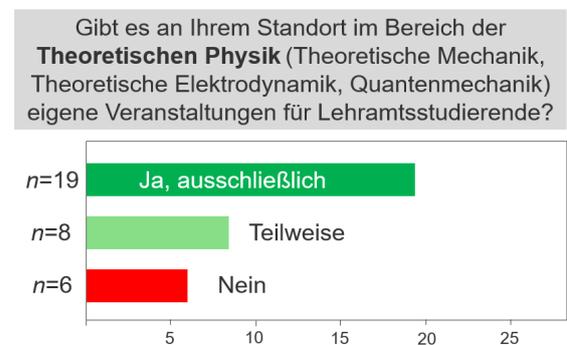


Abb.4: Antworten zur Frage nach separaten Veranstaltungen in der Theoretischen Physik

An einer Mehrzahl der Standorte werden separate Vorlesungen zur Theoretischen Physik für Lehramtsstudierende angeboten. Von besonderer Relevanz sind die Ergebnisse der Nachfrage auf die Antworten „Ja, ausschließlich“ und „Teilweise“, was diese separaten Veranstaltungen charakterisiert. Hierbei zeigt sich, dass nur eine Minderheit dieser strukturell lehramtsspezifischen Veranstaltungen tatsächlich einen inhaltlichen Professionsbezug aufweist, während die meisten Veranstaltungen rein fachsystematisch vorgehen (siehe Abb. 5)

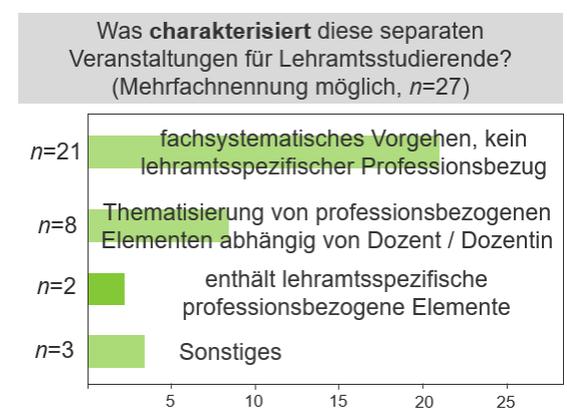


Abb.5: Antworten zur Frage der Ausgestaltung der lehramtsspezifischen Vorlesungen zur Theoretischen Physik

Trotz der Dominanz des fachsystematischen Vorgehens geht aus zahlreichen Kommentaren der Befragung hervor, dass die separaten fachlichen Veranstaltungen für Lehramtsstudierende in der Regel einen geringeren mathematischen Anspruch und eine reduzierte inhaltliche Tiefe als parallele Vorlesungen für Fachstudierende aufweisen.

In Bezug auf die Antworten zur Modernen Physik ist aufgrund der großen Heterogenität in den beschriebenen Ansätzen keine sinnvolle Kategorisierung möglich. Dies liegt nicht zuletzt daran, dass die angebotenen Veranstaltungen auch inhaltlich stark variieren und an einigen Standorten zudem Wahlmöglichkeiten für die Studierenden existieren. Die Mehrheit der Standorte bietet Vorlesungen zur Modernen Physik separat für Lehramtsstudierende an, wobei der Grad an lehramtsspezifischem Professionsbezug sehr unterschiedlich ist und häufig von den verantwortlichen Dozierenden abhängt.

Im Rahmen der allgemeinen offenen Fragen wiesen zahlreiche Befragte darauf hin, dass an ihren Standorten bereits unterschiedliche Maßnahmen zur Stärkung des Professionsbezugs erprobt wurden. Diese seien aber häufig von befristeten Fördergeldern bzw. Projekten abhängig gewesen, sodass keine Verstetigung gelang. Demgegenüber betonte etwa die gleiche Anzahl von Befragten, dass an ihren Standorten aktuell – ähnlich wie in Tübingen – über die Einführung von Maßnahmen zur Steigerung des Professionsbezugs nachgedacht wird.

Es existieren allerdings auch ganzheitliche Ansätze, die über individuelle Maßnahmen zu einzelnen Veranstaltungen hinausgehen. Beispielfähig hierfür sind die integrierten Module aus Fach und Fachdidaktik an der Universität Kassel, wobei jeweils die Fachvorlesung in die ersten Semesterhälfte und die Behandlung thematisch entsprechender didaktischer Elemente in der zweiten Semesterhälfte erfolgt. Eine strukturelle Besonderheit ist die Einführung des Studiengangs „Mathematik und Physik im Verbund“ an der Universität Potsdam, der explizit zukünftige Lehrkräfte mit der Fächerkombination Mathematik und Physik ausbildet. Neben der Verzahnung dieser beiden Fächer, die auch Module zu Rechenmethoden für das Lehramt Physik vorsieht, wurden hierbei auch Module geschaffen, welche explizit Physik und Physikdidaktik in Beziehung zueinander setzen (Universität Potsdam, 2022).

5. Diskussion

Die Ergebnisse der Befragung bestätigen den vorab gewählten Ansatz, das Befragungsinstrument nach Experimentalphysik und Theoretischer Physik zu unterteilen. Während Veranstaltungen zur Experimentalphysik häufig für Lehramts- und B.Sc.-Studierende gemeinsam angeboten werden, weisen insbesondere in der Theoretischen Physik die Studienstrukturen an zahlreichen Standorten bereits einen hohen Grad an äußerer Differenzierung zwischen Lehramts- und B.Sc.-Studierenden auf. Aller-

dings ist auch damit die Forderung nach einem Studium *sui generis*, das angehende Lehrkräfte gezielt auf die Herausforderungen des Physikunterrichts vorbereitet, nicht notwendigerweise erfüllt: In den meisten Fällen gehen diese Vorlesungen trotzdem rein fachsystematisch vor und weisen keinen unmittelbaren Professionsbezug auf. Aus der Befragung ist zu schließen, dass dies vielfach auch für Veranstaltungen aus dem Bereich der Modernen Physik gilt.

Ein möglicher Grund ist, dass fachliche Veranstaltungen für Lehramtsstudierende in der Regel von Fachphysikern gehalten werden. Diese haben vermutlich vor dem Hintergrund ihrer Berufsbiografie und ihrer zeitlichen Kapazitäten nur selten die Möglichkeiten, sich mit didaktischen Fragen auseinanderzusetzen oder gar neue Lehrkonzepte speziell für ihre lehramtsspezifischen Veranstaltungen zu entwickeln. Insgesamt zeigen die Rückmeldungen, dass Maßnahmen für Lehramtsstudierende häufig an das Engagement einzelner Dozierender gebunden sind und deshalb in manchen Fällen nicht nachhaltig implementiert sind. In Bezug auf Ressourcen zur Ausgestaltung von Fachveranstaltungen für Lehramtsstudierende ist allerdings zu beobachten, dass es neben online verfügbaren Skripten auch immer mehr Lehrbücher gibt, die explizit die Bedarfe von Lehramtsstudierenden in den Fokus nehmen. Beispielfähig ist hierbei die Reihe „Physik für Lehramtsstudierende“ zu nennen (Erb, 2022; Meyn, 2021; Müller, 2021).

Insgesamt hat sich gezeigt, dass nicht wenige Standorte sich der Problematik bewusst sind und an speziellen Angeboten für Lehramtsstudierende arbeiten. Ein mehrfach genannter Punkt ist hierbei eine bessere Verzahnung zwischen fachlichen und fachdidaktischen Veranstaltungen. Die Rückmeldungen machen aber auch deutlich, dass der Austausch und das gegenseitige Verständnis zwischen Dozierenden aus dem Fach und aus der Fachdidaktik hierbei die Grundlage für die Umsetzung etwaiger Maßnahmen sind. Die Befragung hat zudem gezeigt, dass eine einmalig erfolgreich durchgeführte Maßnahme nur ein erster Schritt ist: Die zahlreichen wieder eingestellten Ansätze weisen darauf hin, dass eine weitere zentrale Herausforderung in der Verstetigung dieser Maßnahmen besteht.

6. Ausblick

Das Ringen um eine optimale fachliche Ausbildung für Physik-Lehramtsstudierende im Spannungsfeld zwischen didaktischen Erkenntnissen auf der einen und beschränkten Ressourcen auf der anderen Seite wird viele Standorte auch weiterhin beschäftigen. An der Universität Tübingen ist geplant, den in diesem Artikel eingangs vorgestellten Ansatz ab dem Wintersemester 2022/23 auszuweiten. Vor dem Hintergrund, dass in den Grundvorlesungen eine stärkere Fokussierung auf das konzeptionelle Verständnis auch für B.Sc.-Studierende sinnvoll ist, soll

die Beschäftigung damit – z.B. im Rahmen von Multiple-Choice-Fragen – zukünftig in *allen* Übungsgruppen erfolgen. Zusätzlich soll ein digitales Angebot insbesondere Lehramtsstudierenden durch ein Self-Assessment die Möglichkeit geben, ihr eigenes konzeptionelles Verständnis zu den verschiedenen Inhaltsbereichen der Physik systematisch zu überprüfen und mit Alltagsvorstellungen zu kontrastieren. Ein niederschwelliges Unterstützungsangebot mit dem Namen „Physik-Café“, bei der im persönlichen Austausch insbesondere auch Verständnisschwierigkeiten konzeptioneller Natur geklärt werden können, wird das Angebot ab dem Wintersemester 2022/23 abrunden.

7. Literatur

- Borowski, A., Kirschner, S., Liedtke, S. & Fischer, H. (2011). Vergleich des Fachwissens von Studierenden, Referendaren und Lehrenden in der Physik. *PhyDid A - Physik und Didaktik in Schule und Hochschule*, 1(10), 1–9.
<http://www.phydid.de/index.php/phydid/article/view/230>
- Eller, S., Albrecht, A. & Nordmeier, V. (2012). Reform der Studiengangphase im Lehramt Physik – Erhebungen von Beliefs im Lehramtsstudium Physik. *PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*.
<http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/410>
- Erb, R. (2022). *Elektrizität und Magnetismus*. De Gruyter Studium: Band 2. De Gruyter.
<https://doi.org/10.1515/9783110495768>
- Großmann, S. & Urban, K. (2006). Thesen für ein modernes Lehramtsstudium im Fach Physik.
https://www.dpg-physik.de/static/info/lehramtsstudie_2006.pdf
- Harms, U. & Riese, J. (2018). Professionelle Kompetenz und Professionswissen. In *Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 283–298). Springer, Berlin, Heidelberg.
https://doi.org/10.1007/978-3-662-56320-5_17
- John, T. & Staraschek, E. (2021). Ein Modell für Kumulatives Lehren im Lehramtsstudium Physik. *PhyDid A - Physik und Didaktik in Schule und Hochschule*, 1(19), 23–44.
<http://phydid.physik.fu-berlin.de/index.php/phydid/article/view/1005>
- Massolt, J. & Borowski, A. (2016). Motivationssteigerung durch Fokussierung auf das vertiefte Schulwissen im Rahmen der Fachvorlesungen Physik. *Implementation fachdidaktischer Innovation im Spiegel von Forschung und Praxis*. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik Jahrestagung in Zürich 2016, 660–663.
https://gdcp-ev.de/wp-content/tb2017/TB2017_660_Massolt.pdf
- Merzyn, G. (2017). Merkmale guter Lehrer in Physik, Chemie, Biologie. *PhyDid A - Physik und Didaktik in Schule und Hochschule*, 1(16), 67–
80. <http://phydid.physik.fu-berlin.de/index.php/phydid/article/view/689>
- Meyn, J.-P. (2021). *Wärme und Energie*. De Gruyter Studium: Band 4. De Gruyter.
<https://doi.org/10.1515/9783110495799>
- Müller, R. (2021). *Mechanik*. De Gruyter Oldenbourg Studium: Band 1. De Gruyter.
<https://doi.org/10.1515/9783110495812>
- Riese, J., Kulgemeyer, Christoph, Zander, Simon, Borowski, A., Fischer, H., Gramzow, Y., Reihnhold, P., Schecker, H. & Tomczyszyn, E. (2015). Modellierung und Messung des Professionswissens in der Lehramtsausbildung Physik. *Zeitschrift für Pädagogik*(61), 55–79.
https://www.pedocs.de/frontdoor.php?source_opus=15503
- Schecker, H. & Wilhelm, T. (2018). Schülervorstellungen in der Mechanik. In H. Schecker, T. Wilhelm, M. Hopf & R. Duit (Hrsg.), *Schülervorstellungen und Physikunterricht* (S. 63–88). Springer Berlin Heidelberg.
https://doi.org/10.1007/978-3-662-57270-2_4
- Universität Potsdam. (2022). *Bachelor und Master Lehramt Mathematik und Physik im Verbund: Verbundstudiengang mit fester Fächerkombination*.
<https://www.uni-potsdam.de/de/mnfakul/studium-und-lehre/lehramt/mathephysik>

Mindestanforderungskatalog Physik

Hanno Käß¹, Tilmann Berger², Manuela Boin³, Kim Fujan⁴, Marc Güßmann⁵, Edme H. Hardy⁶, Florian Karsten⁷, Gerrit Nandi⁸, Ronny Nawrodt⁹, Carsten Raudzis¹⁰, Ina Rieck¹¹, Florian Schifferer¹², Stefan Schwarzwälder¹³, Stefanie Walz¹⁴

¹Hochschule Esslingen, ²Gymnasium Renningen, ³TH Ulm, ⁴Gewerbliche Schule Ehingen, ⁵Lessing-Gymnasium Winnenden, ⁶MINT-Kolleg KIT Karlsruhe, ⁷Seminar Stuttgart, ⁸DHBW Heidenheim, ⁹Universität Stuttgart, ¹⁰Hochschule Reutlingen, ¹¹Grafenbergschule Schorndorf, ¹²Gewerbliche Schule Göppingen, ¹³Carl-Engler-Schule Karlsruhe, ¹⁴Gertrud-Luckner-Gewerbeschule Freiburg
hanno.kaess@hs-esslingen.de

Kurzfassung

Erstsemester im Bereich der WiMINT-Studiengänge (Wirtschaft, Mathematik, Informatik, Naturwissenschaft, Technik) an den Hochschulen für Angewandte Wissenschaften (HAW) in Baden-Württemberg haben zu Studienbeginn sehr heterogene Kenntnisse in Mathematik und Physik. Dies erschwert den Übergang Schule–Hochschule. Die Arbeitsgruppe „cosh Mathematik“ hat hier 2012 mit ihrem Mindestanforderungskatalog Pionierarbeit geleistet. Er beschreibt mathematische Kenntnisse und Fertigkeiten, die Erstsemester zur erfolgreichen Aufnahme eines WiMINT-Studiums besitzen sollten. In Analogie dazu wurde nun 2019 eine paritätisch aus den Bereichen Schule und Hochschulen zusammengesetzte Arbeitsgruppe „cosh Physik“ gegründet. Die Vorarbeiten der HAWen an einem Mindestanforderungskatalog Physik wurden von ihr weitergeführt und im Oktober 2021 zu einem Abschluss gebracht. Der Beitrag stellt den damit erreichten Stand vor.

1. Ausgangssituation

Lehrende in ingenieurwissenschaftlichen Studiengängen an den Hochschulen für Angewandte Wissenschaften (HAW) in Baden-Württemberg haben schon seit längerer Zeit den subjektiven Eindruck, dass die zu Studienbeginn vorhandenen Vorkenntnisse der Studierenden im ersten Semester eher abnehmen. Ihrem Eindruck nach betrifft dies insbesondere die Fächer Mathematik und Physik [1].

Der objektive Nachweis dieser vielen persönlichen Einschätzungen ist schwierig. Während in der Mathematik eine Reihe von HAWen selbst entwickelte Tests zur Erhebung der Kenntnisse bei Studienbeginn einsetzen, erfolgt dies für Physik in der Regel nicht.

Nur im Bereich der Universitäten wurde 2013 in einer vergleichenden Untersuchung eine umfassende Bestandsaufnahme der Eingangskenntnisse von Erstsemestern im Studiengang Physik an 24 Standorten durchgeführt und mit dem Kenntnisstand von 1978 verglichen. Das Ergebnis war, dass die Kenntnisse in Mathematik – bei Verschiebungen zwischen den Teilgebieten – etwa gleichgeblieben sind, während sie in Physik über alle Teilgebiete hinweg abgenommen haben [2]. Leider existiert bis heute keine vergleichbar breite Untersuchung für ingenieurwissenschaftliche Studiengänge an HAWen, weder auf Bundesebene noch in Baden-Württemberg.

Eigene Erhebungen der Eingangskenntnisse in Physik von Erstsemestern im Studiengang Maschinenbau wurden an der Hochschule Esslingen ab dem WS

2016/17 durchgeführt (teilweise publiziert in [3], [4]). Wegen der Corona-Situation konnten die Tests zwar nicht über das WS 2019/20 hinaus in gleicher Weise weitergeführt werden. Aber schon im Verlauf dieser sieben Semester ergab sich tendenziell eine leichte Abnahme des Kenntnisstands. Neben diesem Trend zeigte sich, dass das Testresultat für Studierende mit der Hochschulzugangsberechtigung „Allgemeine Hochschulreife“ durchweg besser ausfiel als für solche mit einer „Fachhochschulreife“.

Diese Testergebnisse der Hochschule Esslingen illustrieren eine weitere fundamentale Herausforderung im Studieneingangsbereich: Es ist ein erklärtes Ziel der Bildungspolitik, allen daran Interessierten den Zugang zu einem Studium zu ermöglichen und dafür auch neue Wege an die Hochschulen zu öffnen. So kann heute in Baden-Württemberg die Hochschulreife neben dem klassischen Weg über ein allgemeinbildendes Gymnasium zum Beispiel auch über ein berufliches Gymnasium, eine Gemeinschaftsschule, ein Berufskolleg mit nachfolgender Berufsoberschule, eine Fachschule und die Berufsoberschule sowie über Berufsaufbauschule und Berufsoberschule erworben werden. Hinzu kommt die stetig wachsende Zahl der Studierenden ohne klassische Hochschulzugangsberechtigung [5]. Es ist natürlich sehr zu begrüßen, dass es alle diese Wege an die Hochschulen gibt, wobei dies dann in den allermeisten Fällen die HAWen sind. Allerdings führt dies auch zu einer erheblichen Heterogenität der Kenntnisse bei Aufnahme des Studiums. Daraus folgt für viele Erstsemester, dass die Passung

zwischen ihrer schulischen Vorbildung und den Anforderungen im nachfolgenden Studium nicht optimal ist. Die Spanne reicht dabei von Problemen beim Studieneintritt bis hin zum Studienabbruch [6].

Auch ohne weitere Erhärtung durch flächendeckende, quantitative Erhebungen an HAWen bleiben also zwei generelle Trends für den mittleren Kenntnisstand im Bereich Physik bei den Erstsemestern der WiMINT-Studiengänge zum Zeitpunkt der Studienaufnahme festzuhalten: Der Kenntnisstand nimmt ab und wird aufgrund der vielen Wege an die Hochschulen zunehmend heterogener.

2. Mindestanforderungskatalog – HAW-Version

Vor diesem Hintergrund hatten Lehrende für Physik verschiedener HAWen in Baden-Württemberg schon 2012 begonnen, im Rahmen von semesterweisen Arbeitstreffen die schulspezifischen Bildungspläne für Physik und die sich daraus ergebenden Folgerungen für den Übergang Schule–Hochschule zu diskutieren. Im Lauf der Zeit stellte sich heraus, dass es für die Aufnahme eines Ingenieurstudiums an einer HAW sinnvoll ist, analog zu dem Vorgehen in der Mathematik die folgende Leitfrage zu formulieren: *Welche Vorkenntnisse in Physik sind für den erfolgreichen Start in ein (WiMINT) Studium an einer HAW notwendig?* Wie in [7] beschrieben, entstand davon ausgehend in der folgenden Zeit bis Ende 2018 ein aus fünf Kapiteln bestehender Mindestanforderungskatalog. Im Unterschied zur Mathematik beruhte er in dieser Form im Wesentlichen auf der Perspektive der beteiligten HAW-Kolleginnen und -Kollegen.

3. Mindestanforderungskatalog – cosh-Version

Eine Verbesserung der Situation am Studieneingang mit dem Ziel, dass weniger Erstsemester an den Anforderungen der Hochschulen scheitern, erfordert die Kooperation beider Seiten, Schule und Hochschule. Diese Erkenntnis führte zu dem cosh-Ansatz (cosh = COoperation Schule Hochschule): Lehrende aus Schulen und Hochschulen mit dem gemeinsamen Ziel, Studieninteressierte bei dem Übergang Schule–Hochschule zu unterstützen, arbeiten gemeinsam und gleichberechtigt zusammen.

Dies, um zuerst einmal eine gemeinsame Sicht herzustellen und um dann davon ausgehend Maßnahmen und Angebote zu entwickeln. Hier hat die Arbeitsgruppe „cosh–Mathematik“ in ihrem Fachgebiet Pionierarbeit geleistet. Bekanntestes Resultat ihrer Aktivitäten ist der 2012 erstmals publizierte Mindestanforderungskatalog Mathematik. Er definiert, welche Eingangskenntnisse bei Studienbeginn vorhanden sein sollten, damit der Einstieg in ein WiMINT-Studium voraussichtlich einigermaßen problemlos gelingt [8].

In Kenntnis dieser Aktivitäten war schon bei Erstellung der HAW-Version des Mindestanforderungskatalogs Physik allen daran Beteiligten bewusst, dass der nächste logische Schritt eine Weiterentwicklung im Sinne des cosh-Ansatzes sein musste.

Mit diesem Ziel wurde – in Anlehnung an das seinerzeitige Vorgehen in der Mathematik – eine Arbeitsgruppe zusammengestellt, in der alle Seiten vertreten sind. Eine Zwischenstufe konnte dabei sogar übersprungen werden: Die Arbeitsgruppe „cosh–Mathematik“ wurde 2002 von Mathematikerinnen und Mathematikern aus HAW und beruflichem Schulbereich gegründet. 2010 erfolgte dann eine Erweiterung um Mitglieder aus allgemeinbildendem Gymnasium, Universität, Dualer Hochschule und Pädagogischer Hochschule. In der am 12. Juli 2019 gegründeten Arbeitsgruppe „cosh–Physik“ – den Autorinnen und Autoren dieses Artikels – waren dagegen von Beginn an beruflicher Schulbereich, allgemeinbildendes Gymnasium, HAW, Duale Hochschule und Universität vertreten (die aktuelle Zusammensetzung beider Arbeitsgruppen, Physik und Mathematik, ist auf der Website von cosh zu sehen [9]).

Nach der Gründung der Arbeitsgruppe galt es zuerst, sich über das mit dem Mindestanforderungskatalog verfolgte Ziel klar zu werden: Er sollte den von beiden Seiten – Schulen und Hochschulen – in gleicher Weise und aus Überzeugung getragenen Konsens dokumentieren, welche Vorbildung im Bereich Physik die Studierenden zu Beginn eines WiMINT-Studiengangs haben sollten, um ihr Studium ohne große Schwierigkeiten erfolgreich aufnehmen zu können.

Dieser Mindestanforderungskatalog bietet dann über daran ausgerichtete (Selbst-)Tests die Möglichkeit, fehlende Vorkenntnisse Studieninteressierter festzustellen, idealerweise noch geraume Zeit vor ihrem Schulabschluss. In einem weiteren Schritt können davon ausgehend auch Hilfs- und Unterstützungsmaßnahmen wie etwa (Selbst-)Lernmaterialien angeboten werden. Die Auswahl und Erarbeitung solcher Werkzeuge und Materialien erfolgt im Rahmen der laufenden cosh-Aktivitäten und dies wird auch weiterhin ein Ziel der Arbeitsgruppe „cosh–Physik“ sein.

Grundlage für alles ist der Mindestanforderungskatalog. Die Arbeitsgruppe stellte bald fest, dass die Konzeption der HAW-Version beibehalten werden sollte. So umfasst er auch in der cosh-Version fünf Kapitel:

- Grundlagen
- Mechanik
- Elektrizität und Magnetismus
- Wärmelehre
- Optik

Diese wurden gegenüber der HAW-Version in einigen Teilgebieten etwas erweitert. So werden im Kapitel „Grundlagen“ (das vorher die Überschrift „Allgemeine physikalische Kompetenzen“ trug) nun auch explizit skalare und vektorielle Größen angesprochen. Das Kapitel „Mechanik“ enthält jetzt zusätzlich Impulserhaltung und Rückstoß sowie Wellen. Und im Kapitel „Wärmelehre“ wurde der 1. Hauptsatz in seiner Deutung als erweiterter Energieerhaltungssatz unter Berücksichtigung der Wärme mit aufgenommen. Dabei wird die Wärme nicht strikt von der Ar-

beit abgegrenzt, sondern als übertragene Energie angesehen. Da es hier um Mindestanforderungen geht, wird davon ausgegangen, dass der Unterschied zwischen Zustands- und Prozessgrößen erst später an der Hochschule eingeführt wird, wo dann auch der Wärmebegriff zu präzisieren wäre. Alle Erweiterungen wurden nach intensivem Austausch beider Seiten – Schule und Hochschule – vorgenommen. Dies ist ein gutes Beispiel dafür, wie die Perspektiverweiterung durch die Bildung der gemeinsamen Arbeitsgruppe „cosh-Physik“ zu einem Ergebnis im Konsens geführt hat.

Aus dem gleichen Grund – es geht um Mindestanforderungen – war sich die Arbeitsgruppe auch darüber einig, dass die in der HAW-Version vorgenommene Auswahl der Themengebiete beibehalten werden soll. Somit waren keine weiteren Bereiche zu ergänzen, wie beispielsweise Atomphysik.

Die immer gleiche Struktur der einzelnen Kapitel wurde ebenfalls beibehalten:

- Zuerst werden die zugehörigen Kompetenzen und Anforderungen stichwortartig aufgeführt.
- Dann werden diese Anforderungen anhand beispielhafter Fragestellungen erklärt, deren Beantwortung die jeweils angesprochenen Kenntnisse erfordern. Der Aufbau des Mindestanforderungskatalogs Physik ist damit weiterhin völlig analog zu der bewährten Grundstruktur des Mindestanforderungskatalogs Mathematik.

Es sei nochmals unterstrichen, dass diese exemplarischen Fragen nicht als Prüfungsaufgaben zu verstehen sind. Dennoch führten die intensiven Diskussionen in der Arbeitsgruppe bezüglich der beispielhaften Aufgaben zu einer ganz wesentlichen Erweiterung des Mindestanforderungskatalogs. Auf Wunsch der Schulseite wurden nun für alle Aufgaben Erwartungshorizonte erstellt, also jeweils passende Lösungsvorschläge formuliert. Wo es angebracht schien, sind zudem weitere Hinweise zur Bearbeitung gegeben.

4. Einige beispielhafte Abschnitte:

Im zweiten Kapitel „Mechanik“ werden folgende Themenbereiche angesprochen:

- Kinematik
- Statik und Dynamik
- Erhaltungssätze
- Schwingungen und Wellen

In den jeweiligen Abschnitten werden sie in Unterpunkten anhand von Schlüsselbegriffen erläutert. Das erfolgt durch eine an den Kompetenzen orientierte Beschreibung von Inhalten, die die Erstsemester kennen sollten und von Problemstellungen, die damit zu bearbeiten sind. In Abbildung 1 ist dies für den Abschnitt Kinematik zu sehen. Dazu ist die Aufgabe „M4 Fall“ gezeigt. Jede Aufgabe trägt einen kurzen, möglichst prägnanten Titel.

2.1.1 Kinematik

Die Studienanfängerinnen und Studienanfänger sind vertraut mit den Begriffen der Translationsbewegung in einer Dimension, das heißt, sie können ...

- eine dem Problem angepasste Koordinatenachse wählen, Positionen anhand dieser Koordinatenachse angeben und daraus Verschiebungen (Δx) und zurückgelegte Strecken berechnen. Das Vorzeichen der Verschiebung gibt ihre Richtung an (M1),
- die Geschwindigkeit als Quotient aus Verschiebung und Zeitdauer nach $v = \Delta x / \Delta t$ berechnen (M2),
- Momentan- und Durchschnittsgeschwindigkeit unterscheiden und eine Relativgeschwindigkeit als Geschwindigkeitsdifferenz berechnen (M2),
- die Beschleunigung als Quotient aus Geschwindigkeitsdifferenz und Zeitdauer nach $a = \Delta v / \Delta t$ berechnen (M3), (G21a),
- Bewegungsdiagramme (Ort-Zeit, Geschwindigkeit-Zeit, Beschleunigung-Zeit) interpretieren, auswerten und für einfache Bewegungen mit konstanter Beschleunigung zeichnen (G16, G21, G22, G23, G24, G29) (M4),

M4 Fall

Ein Stein wird in der Höhe h über dem Boden in Ruhe gehalten und von dort fallen gelassen. Zeichnen Sie qualitativ das Orts-Zeit-, das Geschwindigkeits-Zeit- und das Beschleunigungs-Zeit-Diagramm für diesen freien Fall.

Abb. 1: Ausschnitte aus dem Kapitel „Mechanik“ mit markierten Verweisen auf Aufgaben in „Grundlagen“ [10]

Die Aufgaben sind entsprechend der Kapitel alphanumerisch durchnummeriert. In diesem zweiten Kapitel „Mechanik“ beginnt die Nummerierung immer mit „M“, in den anderen Kapiteln mit entsprechenden anderen Buchstaben G, E, W und O. So kann auch auf ebenfalls passende, beispielhafte Aufgaben aus anderen Bereichen verwiesen werden, und es ist dabei sofort klar, zu welchem Kapitel die Aufgaben gehören.

Abbildung 2 zeigt zwei weitere beispielhafte Aufgaben aus dem Kapitel „Mechanik“ zum Thema Wurf. Sie illustrieren ein weiteres Ergebnis der Diskussionen in der Arbeitsgruppe „cosh-Physik“: Die Aufgaben wurden zur Klassifikation in Standardaufgaben – die lediglich Grundkenntnisse erfordern – und ergänzende Aufgaben mit etwas höherem Anspruch an den Kenntnisstand eingeteilt. Die Aufgabe „M7 Wurf“ ist mit einem „K“ gekennzeichnet, das bedeutet, sie ist eine solche ergänzende „Kann“-Aufgabe.

In manchen Fällen folgt auf den eigentlichen Erwartungshorizont noch ein weiterer Abschnitt „Ergänzungen“. Dies sind zusätzliche, vertiefende Informationen, die über die eigentliche Lösung hinausgehen und im Blick auf besonders Interessierte angefügt wurden. In der Aufgabe „M7 Wurf“ wird darin nochmals auf die Bedeutung der Orientierung der Koordinatenachse für die Höhenangabe verwiesen. Das Vorzeichen hat hier eine Bedeutung (allerdings wird sich die Mehrheit der Schülerinnen und Schüler wohl in der Regel mit der Berechnung des Betrags begnügen und das Vorzeichen nicht weiter beachten).

Die Kapitel „Grundlagen“, „Elektrizität und Magnetismus“, „Wärmelehre“ und „Optik“ sind analog aufgebaut.

M6 Wurfweite

Ein Junge steht auf einem horizontalen Boden und schleudert einen Ball waagrecht in einer Höhe von 1,50 m mit der Geschwindigkeit 13,0 m/s von sich weg. In welcher Entfernung zu dem Jungen trifft der Ball auf dem Boden auf? Die Luftreibung ist zu vernachlässigen.

M7 Wurf

(K)

Ein Junge wirft einen Ball mit 10 m/s waagrecht gegen eine 4,0 m entfernte Wand. In welcher Höhe relativ zur Abwurfhöhe trifft der Ball auf die Wand? Die Luftreibung ist zu vernachlässigen.

Erwartungshorizont M6 Wurfweite

Die Dauer der vertikalen Fallbewegung aus der Höhe h folgt aus

$$h = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 \Leftrightarrow_{t>0} t = \sqrt{2 \cdot h/g}.$$

Zwischenergebnis: $t = \sqrt{2 \cdot \frac{1,50 \text{ m}}{9,81 \text{ m/s}^2}} = 0,553 \text{ s}.$

Daraus folgt die Wurfweite

$$s = v \cdot t = 13,0 \text{ m/s} \cdot 0,553 \text{ s} = 7,19 \text{ m}.$$

Erwartungshorizont M7 Wurf

(K)

Mit dem Überlagerungsprinzip wird die Flugzeit t aus der Horizontalgeschwindigkeit v und dem Abstand s zur Wand berechnet: $t = s/v$. Diese kann als Zwischenergebnis zu $t = \frac{4,0 \text{ m}}{10 \text{ m/s}} = 0,40 \text{ s}$ berechnet werden. Damit ist die gesuchte Fallstrecke

$$y = -\frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 = -\frac{1}{2} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot (0,40 \text{ s})^2 = -0,78 \text{ m}.$$

Ergänzungen

Da nach der Höhe relativ zu der Abwurfhöhe gefragt ist, kann mit einer nach oben gerichteten y -Achse die Fallstrecke mit negativem Vorzeichen angegeben werden. Ohne das Vorzeichen wäre das Ergebnis der Betrag der Fallstrecke. Bei der Fallbeschleunigung wird mit g hier der Betrag bezeichnet, so dass in der obigen Rechnung mit nach oben gerichteter y -Achse $-g$ eingesetzt wird.

Abb. 2: Aufgaben aus dem Kapitel „Mechanik“, davon eine „Kann“-Aufgabe, mit Erwartungshorizonten [10]

In alle Kapitel wurden sowohl quantitative als auch qualitative Fragestellungen aufgenommen. Ein Beispiel für letztere ist in Abbildung 3 zu sehen, hier geht es um das elektrische Feld.

5. Ergänzende Anhänge

Der Mindestanforderungskatalog enthält einen „Anhang A“ mit allen darin verwendeten Formeln und in den Berechnungen verwendeten Naturkonstanten.

Wie bereits in der HAW-Version wurde auch in der nun vorliegenden cosh-Version des Mindestanforderungskatalogs wieder besondere Sorgfalt darauf verwendet, dass alle in Text und Formeln verwendeten Größenbuchstaben und Schrifttypen durchweg den geltenden technischen Normen entsprechen. Hier sind insbesondere die Normen DIN 1304, DIN 1313 und DIN 1338 zu berücksichtigen. Demnach sind Größenbezeichnungen immer kursiv zu setzen, Einheiten dagegen nicht. Nicht zulässig ist auch die leider immer noch häufig anzutreffende Angabe von Einheiten an Diagrammachsen in eckigen Klammern. Um hier Klarheit über die korrekten Bezeichnungen zu schaffen, enthält der Anhang eine ergänzende Tabelle, welche die korrekten Bezeichnungen nach DIN den anderen, zwar oft verwendeten, aber dennoch nicht zulässigen Bezeichnungen gegenüberstellt.

Die Verwendung normgemäßer Darstellungsformen erscheint wichtig, da der Mindestanforderungskatalog Physik dazu beitragen soll, den Übergang in WiMINT-Studiengänge zu unterstützen, also in den weiteren Bereich der Ingenieurwissenschaften und der Technik. Deswegen sollten sich die Studieninteressierten möglichst frühzeitig an die korrekten Darstellungsformen gewöhnen.

Die Darstellung von Zahlen in Zwischen- und Endergebnissen erfolgt im Mindestanforderungskatalog nach Regeln, die in „Anhang B“ kurz und pragmatisch zusammengefasst sind. Entsprechend werden Endresultate im Mindestanforderungskatalog in der Regel mit zwei oder drei signifikanten Stellen angegeben.

Ein weiterer „Anhang C“ gibt noch einige Hinweise zur Notation von Vektorgrößen bei eindimensionalen Fragestellungen.

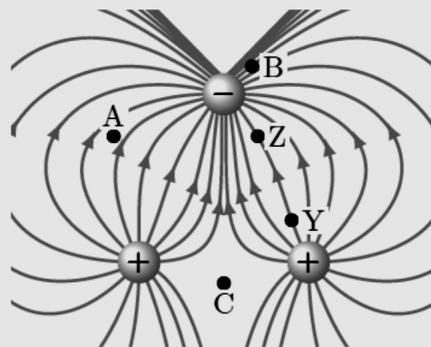
Die Anhänge B und C können – und sollen – die darin angesprochenen Punkte nicht in allen Einzelheiten vertiefen. Sie stellen daher auch keine Mindestanforderungen im engeren Sinn dar, sondern sollen die daran Interessierten für die Thematik sensibilisieren.

Im „Anhang D“ werden schließlich einige wenige für das Selbststudium geeignete Bücher und insbesondere auch Angebote im Internet empfohlen.

E7 E-Feld einer Ladungsverteilung

Die Abbildung zeigt ein Feldlinienbild dreier Ladungen.

- Ordnen Sie die eingezeichneten Punkte A, B, C nach steigender elektrischer Feldstärke.
- Nehmen Sie an, die Feldstärke in Punkt Y sei 2 V/m . Ist die Feldstärke in Punkt Z kleiner, größer oder ähnlich groß?



Erwartungshorizont E7 E-Feld einer Ladungsverteilung

Die Feldliniendichte ist ein Maß für die elektrische Feldstärke E .

- Die Reihung der Feldstärkewerte in den Punkten nach ansteigendem Betrag ist: $E_C < E_A < E_B$.
- Die Feldstärke in Punkt Z ist ähnlich groß wie in Punkt Y, also $E_Z \approx E_Y$.

Abb. 3: Aufgabe mit Erwartungshorizont aus dem Kapitel „Elektrizität und Magnetismus“ [10]

6. Organisatorische Hinweise

Der Mindestanforderungskatalog in der cosh-Version wurde mit allen beispielhaften Aufgaben – aber noch ohne Erwartungshorizonte – im Oktober 2021 der Öffentlichkeit vorgestellt und in der Folge auch in gedruckter Form an Interessierte ausgegeben.

Die Erwartungshorizonte sind vorerst nur über das Internet abrufbar. Sie wurden in den Mindestanforderungskatalog Physik eingebunden, der allen Interessierten auf der Website der Arbeitsgruppe cosh [9] unter der Creative Commons Lizenz CC BY-SA 4.0 zur Verfügung steht. Dort findet er sich in zwei verschiedenen Darstellungsformen [10]:

- Als Datei im PDF-Format
- Als HTML-Version mit Hyperlinks

Inhaltlich sind beide Varianten identisch.

7. Ausblick

Der Mindestanforderungskatalog Physik in der hier vorgestellten cosh-Version dokumentiert den in der Arbeitsgruppe „cosh-Physik“ erreichten Konsens. Er wird von der gesamten Gruppe gemeinsam getragen und soll als Diskussionsgrundlage mit allen am Studiengang interessierten Personen aus Schulen, Hochschulen, anderen Bildungseinrichtungen aller Art und der Politik dienen. Davon ausgehend gilt es nun in einem nächsten Schritt weitere Hilfsmaßnahmen zur Unterstützung des Übergangs Schule–Hochschule im Bereich der WiMINT-Studiengänge zu entwickeln und andere Angebote damit abzustimmen, wie etwa den Online-Brückenkurs Physik [11].

Die Mitglieder der Arbeitsgruppe „cosh-Physik“ sind in der Lehre in Baden-Württemberg tätig. Sie sind der Überzeugung, dass das hier geschilderte Vorgehen auch in anderen Bundesländern möglich ist. Mit den HAW-Kolleginnen und Kollegen in Bayern besteht diesbezüglich schon seit einiger Zeit ein Austausch, dort werden nun ebenfalls Aktivitäten im Rahmen des cosh-Ansatzes aufgenommen.

Sollte es in weiteren Bundesländern Kolleginnen und Kollegen mit dem gleichen Anliegen geben, steht die Arbeitsgruppe „cosh-Physik“ gerne für Diskussionen zur Verfügung, um so den cosh-Ansatz weiter zu verbreiten.

8. Literatur

- [1] Käß, Hanno.: Persönliche Quintessenz aus vielen Diskussionen im Rahmen der jedes Semester stattfindenden, von der GHD finanzierten Arbeitstreffen „Physik vermitteln und verstehen“ an den Hochschulen in Baden-Württemberg.
- [2] Buschhüter, D.; Spoden, Chr.; Borowski, A. (2017): Physics knowledge of first semester physics students in Germany. A comparison of 1978 and 2013 cohorts. In: International Journal of Science Education, 39 (9), p. 1109–1132 <https://doi.org/10.1080/09500693.2017.1318457>

- [3] Kurz, Günther; Käß, Hanno (2019): Physikkenntnisse von Studienanfängern des Maschinenbaus – eine Fallstudie an der Hochschule Esslingen. In: PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung, 1 (2019), S. 189-195, Url: <https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phydid-b/article/view/928/1055>
- [4] Käß, Hanno: Mindestanforderungskatalog Physik. Vortrag DD 5.2, virtuelle DPG-Frühjahrstagung, 21.03.-25.03.2022. Vortragsfolien als zusätzliche Medien diesem Artikel beigelegt
- [5] Übersicht: Ministerium für Kultus, Jugend und Sport, Baden-Württemberg, <https://www.bildungsnavi-bw.de/schulsystem> (März 2022). Dazu: www.studieren-ohne-abitur.de/web/
- [6] Heublein, Ulrich; Ebert, Julia; Hutzsch, Christopher; Isleib, Sören; König, Richard; Richter, Johanna; Woisch, Andreas (2017): Motive und Ursachen des Studienabbruchs an baden-württembergischen Hochschulen und beruflicher Verbleib der Studienabbrecherinnen und Studienabbrecher. Deutsches Zentrum für Hochschul- und Wissenschaftsforschung GmbH (DZHW)
- [7] Käß, Hanno; Boin, Manuela; Braunmiller, Ulrich; Dambacher, Karl Heinz; Giel, Dominik; Harten, Ulrich; Jödicke, Bernd; Kurz, Günther; Löffler, Axel; Pitsch, Stephan; Sum, Jürgen; Vinzelberg, Stefan; Wenzel, Talea; Werner, Joachim (2019): Mindestanforderungskatalog Physik – ein Vorschlag. In: PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung, 1 (2019), S. 73-78, Url: <https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phydid-b/article/view/930/1057>
- [8] Die aktuelle Version des Mindestanforderungskatalogs Mathematik findet sich unter: <https://cosh-mathe.de/materialien/>
- [9] Website von cosh: <https://cosh-bw.de/>
- [10] Die aktuelle Version des Mindestanforderungskatalogs Physik findet sich unter: <https://cosh-physik.de/materialien/>
- [11] Website: www.brueckenkurs-physik.de

9. Dem Beitrag beigelegte Medien

Datei im PDF-Format mit den Folien des Vortrags von Käß, Hanno: Mindestanforderungskatalog Physik (DD 5.2), virtuelle DPG-Frühjahrstagung, 21.03.-25.03.2022. (30 Seiten).

Danksagung und Förderung

Die hier beschriebenen Arbeiten erfolgten innerhalb des Verbundprojekts „*cosh – Eignungsfeststellung und -förderung für ein erfolgreiches WiMINT-Studium*“. Dieses wurde gefördert vom Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst Baden-Württemberg im Rahmen der Förderlinie 4 des *Fonds Erfolgreich Studieren in Baden-Württemberg* (FEST-BW)

Für die jahrelange, stetige und zuverlässige Unterstützung der Arbeit am Mindestanforderungskatalog danken darüber hinaus alle Beteiligten von Seiten der HAWEs der im Auftrag und mit Finanzierung des Ministeriums für Wissenschaft, Forschung und Kunst (MWK) Baden-Württemberg tätigen *Geschäftsstelle der Studienkommission für Hochschuldidaktik* (GHD) an der Hochschule Karlsruhe.

Schließlich danken wir Günther Kurz (Hochschule Esslingen) für die Information über die restlichen Resultate aus den Kenntnistests Physik von SS 2019 und WS 2019/20 mit den Erstsemestern Maschinenbau.

Peer Instruction in der Theoretischen Physik

Philipp Scheiger**+, Ronny Nawrodt*, Holger Cartarius⁺

*Physik und ihre Didaktik, Universität Stuttgart, 70569 Stuttgart,

⁺AG Fachdidaktik der Physik und Astronomie, Friedrich-Schiller-Universität Jena, 07743 Jena
p.scheiger@physik.uni-stuttgart.de

Die Peer Instruction mit Verständnisfragen und Diskussionen in Kleingruppen hat sich als aktivierenden Lehrmethode in vielen Lehrveranstaltungen etabliert. Für Themengebiete wie die Theoretische Physik gibt es aber noch kaum konkrete Umsetzungen, bzw. kaum Peer-Fragen zur Adaption oder zur Orientierung für Dozierende. In diesem Artikel beschreiben wir, welche Art von Peer-Fragen sich in der Theoretischen Physik einsetzen lassen und geben dazu jeweils Beispiele. Neben den klassischen Verständnis- und Konzeptfragen, wie sie bisher in der Peer Instruction gefordert werden, liefern wir Argumente für das aktive Trainieren von Formelverständnis und den Umgang mit Formalismen im Rahmen der Peer Instruction in Theoretischer Physik. Fragen und Fragentypen, mit denen dies möglich ist, werden ebenfalls aufgezeigt und beschrieben. Abschließend werden kurz die ersten Lehrerfahrungen mit der Peer Instruction in Theoretischer Physik beschrieben, die überwiegend positiv sind.

1. Einleitung

Von Eric Mazur [1] entwickelt, hat sich die Peer Instruction (PI) in den USA schon lange etabliert und findet auch in Deutschland immer häufiger Anwendung in verschiedenen Vorlesungen [2]. Dies überrascht nicht weiter, wenn man die verschiedenen Nutzen aufzählt [3], die entstehen, sobald man Lernenden gezielt Verständnisfragen stellt und sie anschließend darüber diskutieren lässt.

Lernende werden bei zentralen Fragestellungen des jeweiligen Themas zum Nachdenken angeregt, lernen über fachliche Themen zu diskutieren und logisch zu argumentieren, können mit Hilfe der Kommiliton*innen bekannte Verständnisschwierigkeiten überwinden und erhalten substantielles Feedback, um den eigenen Lernfortschritt besser einschätzen zu können. Auch für Lehrende bietet die PI Vorteile. Sie erhalten im Rahmen der PI ebenfalls Feedback über den aktuellen Kenntnisstand der Lernenden und können mit Studierenden einfacher in fachliche Diskussionen kommen.

Gerade weil die Peer Instruction als Lehrmethode überzeugt hat, wurde sie zum Exportschlager aus der der Physiklehre in andere Fächer wie Mathematik und Naturwissenschaften [2]. Eine große Herausforderung bei der Umstellung von traditionellen Lehrveranstaltungen auf die PI ist die Entwicklung geeigneter Fragen. Und während man in Grundvorlesungen auf eine große Sammlung von Fragen [1] zurückgreifen kann, gibt es im deutschsprachigen Raum kaum Fragen oder Beispiele, die Vorlesungen in der Theoretischen Physik im Sinne der PI unterstützen. Aus dem englischsprachigen Raum gibt es aber einige Ansätze [4–6].

Ziel dieser Veröffentlichung ist es, von ersten Erfahrungen der PI in Theorie Vorlesungen in klassischer Mechanik, Quantenmechanik, Elektrodynamik und

Thermodynamik zu berichten und Kategorien zu bilden, welche Art von Peer-Fragen in der Theoretischen Physik besonders gewinnbringend sind.

Darüber hinaus wird Mazurs Methode der PI um das Konzept des Formelverständnisses erweitert, um mit Peer-Fragen ganz gezielt den Umgang mit dem mathematischen Formalismus in der Theoretischen Physik zu trainieren.

2. Peer Instruction nach Mazur

Grundprinzip [1] der PI ist es, Lernenden eine Frage zu stellen und Multiple-Choice-Antworten zur Verfügung zu stellen. Aufgabe der Lernenden ist es, die Aufgabe zu verstehen und sich auf eine Antwortmöglichkeit festzulegen, bzw. für diese abzustimmen. Anschließend sollen die Lernenden in Kleingruppen sich gegenseitig von den eigenen Antworten überzeugen oder allgemein über das Thema diskutieren. Nach dieser Peerdiskussion erfolgt eine zweite Abstimmung. War die Frage verständlich formuliert und das Anforderungsniveau angemessen, geht die Tendenz in der zweiten Abstimmung zur richtigen Antwort. Im Anschluss sollten die fachlichen Prinzipien und die richtige Antwort von der Lehrperson für alle nochmals eingeordnet werden.

Mazur gibt gewisse Kriterien für solche Fragen vor. Die Fragen sollten

- auf ein einziges Konzept fokussieren,
- nicht durch Anwendung von Formeln zu lösen sein,
- attraktive Multiple-Choice Distraktoren anbieten,
- eindeutig formuliert sein,
- nicht zu leicht oder zu schwer sein.

Mazur selbst hat seine Fragen nach diesen Kriterien entwickelt, überarbeitet, angepasst und aussortiert

[1]. Daneben ist die statistische Auswertung des Antwortverhaltens eine wichtige Überprüfungsmethode der Kriterien. Bei der ersten Abstimmung sollte die Quote der richtigen Antworten bei 40 % - 80 % liegen. Liegt die Quote darunter, kommt oft keine Diskussion unter den Lernenden auf einem ausreichenden Niveau zustande. Liegt die Quote darüber hat eine deutliche Mehrheit das Konzept bereits verstanden und eine Diskussionsphase hätte wenig Mehrwert.

2.1. Entwicklung neuer Fragen und angepasste Gütekriterien

Im Rahmen dieser Untersuchung lag die Teilnehmeranzahl nie in einem Bereich, der für eine adäquate statistische Auswertung von Nöten gewesen wäre, weshalb die Gütekriterien hier angepasst sind.

Über einen Zeitraum vom Wintersemester 19/20 bis zum Sommersemester 22 wurden die verschiedenen Fragen an der Universität Stuttgart begleitend zu den Vorlesungen „Grundlagen der Theoretischen Physik für Lehramt I & II“ mit den Schwerpunkten klassische Mechanik, Quantenmechanik, Elektrodynamik und Thermodynamik entwickelt und getestet. Teile davon wurden ebenfalls an der Friedrich-Schiller-Universität Jena in den Vorlesungen „Theoretische Mechanik für Lehramt“ und „Elektrodynamik für Lehramt“ getestet.

Statt der statistischen Auswertung wurden die Fragen nach folgenden Kriterien weiter entwickelt, verbessert oder verworfen.

- Eine Tendenz zur richtigen Antwort ist in der zweiten Abstimmung erkennbar.
- Die Frage regt zur Diskussion unter den Studierenden an.
- Fehler oder missverständliche Aufgabenstellungen werden ausgetauscht oder überarbeitet.

Die PI, wie sie klassisch nach Mazur gedacht ist, stieß bei nahezu allen Studierenden auf reges Interesse mit Feedback. Dies wurde genutzt, um bei der Entwicklung neuer Fragen immer wieder auf die aktuellen Probleme und Anregungen der Studierenden Bezug zu nehmen. So wurde gewährleistet, dass die neuen Fragen auch die Probleme und Interessen der Studierenden adressieren.

3. Konzeptfragen

Zunächst werden die Fragen, die im Rahmen der klassischen PI entwickelt wurden, vorgestellt. Dies sind Fragen der folgenden Kategorien:

1. Fachbegriffe zu klären/definieren/konkretisieren
2. Physikalische Konzepte
3. Darstellungen/Graphen verstehen/interpretieren
4. Schülervorstellungen beurteilen

Diese Arten von Fragen wurden von Studierenden regelmäßig gewünscht, bzw. vom Dozierenden mit regen Diskussionen und Lernfortschritt verbunden. Im Folgenden werden diese Kategorien kurz beschrieben und mit einem Beispiel veranschaulicht.

3.1. Fachbegriffe zu klären/definieren/konkretisieren

Die Studierenden waren häufig sehr schnell in der Lage, die Fachbegriffe aus den Vorlesungen zu übernehmen und in den eigenen Sprachgebrauch zu übernehmen. Bei Nachfragen oder Detaildiskussionen wurde aber oft der Eindruck erweckt, dass die Bedeutung der Begriffe nicht immer vollständig durchdrungen wurde. Mit gezielten Peer-Fragen können Fachbegriffe aber greifbarer gemacht werden. Beispiel Inertialsystem:

„Bei welchem/welchen Beispiel/en handelt es sich um ein Inertialsystem?“

1. Ein Kettenkarussell
2. Ein optischer Tisch in einem Physiklabor
3. Ein Fallschirmspringer im freien Fall
4. Ein Schulklassenzimmer
5. Die Erde
6. Die internationale Raumstation ISS
7. Keines der genannten Beispiele ist ein echtes Inertialsystem

Der Begriff des Inertialsystems wird von vielen Studierenden als wichtig eingeschätzt. Werden sie jedoch gefragt, ein konkretes Beispiel zu nennen oder zu beurteilen, ob es überhaupt ein gutes Beispiel gibt, sind viele überfordert. Das zeigt auch die Peer-Frage zum Inertialsystem, wenn hier viele Studierende nicht erkennen, dass kein Beispiel ein gutes Inertialsystem darstellt. Im Anschluss an diese Frage bietet es sich aber an, die Frage zu wiederholen und nach dem näherungsweise besten Inertialsystem zu fragen und so eine Diskussion über Näherungen und Abschätzungen anzuregen.

3.2. Physikalische Konzepte

Verständnisfragen nach physikalischen Konzepten sind die typischsten Fragen für die PI. Im Rahmen der Theoretischen Physik bietet es sich an, Konzepte, die in Vorlesung und Übungen an sehr elementaren Beispielen berechnet werden auf reale Anwendungen oder Phänomene zu übertragen. Beispiel Potentialstufe in der Quantenmechanik nach [7] :

„Ein Strahl von Elektronen, bei dem alle dieselbe Energie E besitzen, bewegt sich durch einen Leiter. An der Stelle $x = 0$ wechselt das Material des Leiters, sodass die potentielle Energie der Elektronen von U_0 auf null fällt. Sei nun $E > U_0$, welche Aussage beschreibt die Transmission und Reflektion der Elektronen am akkuratesten?“

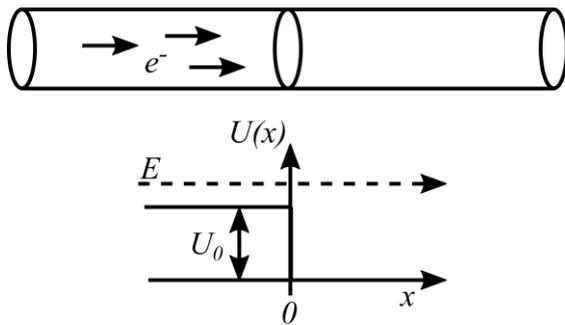


Abb.1: Abbildung zur Peer-Frage Potentialstufe (nach einer Idee aus [7]).

1. Alle Elektronen werden transmittiert, da alle eine Energie von $E > U_0$ haben.
2. Ein Teil der Elektronen wird transmittiert und ein Teil reflektiert, da die Elektronen tatsächlich Energien einer Spanne besitzen.
3. Ein Teil der Elektronen wird transmittiert und ein Teil reflektiert, da sie sich wie Wellen verhalten.
4. Alle Elektronen werden transmittiert. Weil das Potential abnimmt, gibt es keinen Grund für die Elektronen reflektiert zu werden.

Das abstrakte Beispiel der Potentialstufe wird hier auf ein Themengebiet der klassischen Physik, nämlich der Elektronik angewandt. Viele Studierende erkennen die Verknüpfung der Kontexte nicht und wenden das gelernte neue Wissen aus der Quantenmechanik nicht auf die Elektronik an. Dabei gilt auch hier, dass ein Teil der Elektronen reflektiert wird und bei sensiblen Stromkreisen auf die Impedanz geachtet werden muss, um Reflexionsphänomene zu unterbinden. Die Peer-Diskussion kann bei Erkenntnissen zur Vernetzung sehr hilfreich sein.

Selbstverständlich lassen sich auch neue Phänomene und Konzepte mit der PI konkretisieren oder verfestigen wie beim Kollaps der Wellenfunktion in Messprozessen, z.B. beim Stern-Gerlach-Experiment.

3.3. Darstellungen/Graphen verstehen/interpretieren.

Das Interpretieren von Graphen ist schon bei Mazur selbst eine beliebte Methode, um Studierende zum Nachdenken anzuregen. Dies kann selbstverständlich auch in der Theoretischen Physik genutzt werden. Selbst wenn bestimmte Konzepte oder Fragen in vorausgegangen Experimentalphysikvorlesungen bereits behandelt wurden, kann eine Wiederholung sinnvoll oder auch nötig sein, wie zum Beispiel beim Vergleich von Zustandsänderungen in der Thermodynamik.

„Im pV -Diagramm ist eine isotherme Zustandsänderung (schwarz) dargestellt von p_1, V_1 zu p_2, V_2 .

Würde man das System vom Zustand p_1, V_1 adiabatisch expandieren lassen, wie sähe dann die Zustandsänderung im Graph aus?“

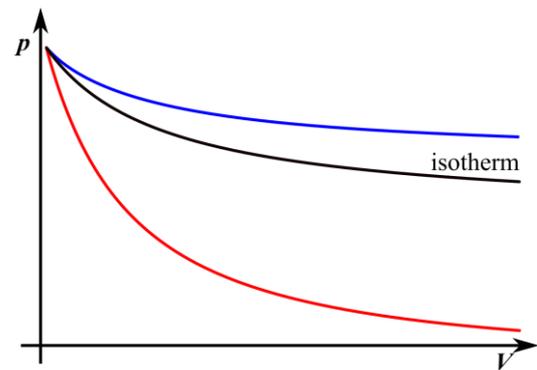


Abb.2: Abbildung zur Peer-Frage isotherme vs. Adiabatische Zustandsänderung.

1. Der Graph der adiabatischen Zustandsänderung muss über der isothermen liegen (blau).
2. Der Graph der adiabatischen Zustandsänderung muss unter der isothermen liegen (rot).
3. Isotherme und adiabatische Zustandsänderungen lassen sich im pV -Diagramm nicht unterscheiden.
4. Eine adiabatische Zustandsänderung lässt sich im pV -Diagramm nicht darstellen, nur im pT -Diagramm.

Die Frage nach der Interpretation von Graphen kann genutzt werden, um Lernende dazu anzuregen, über die Entwicklung von physikalischen Größen unter verschiedenen Bedingungen nachzudenken und zu diskutieren. Im Beispiel hier muss der Druck bei der adiabatischen Zustandsänderung schneller fallen als bei der isothermen, da von außen nur bei der isothermen Energie zugeführt wird.

3.4. Beurteilung von Schülervorstellungen

Da im Untersuchungszeitraum bevorzugt Lehramtsstudierende begleitet wurden, hat sich diese vierte Kategorie etabliert, um fachliche Inhalte mit fachdidaktischen zu verknüpfen. Aufgabe der Studierenden ist es, typische Schülervorstellungen zu erkennen und in einem fachlichen Rahmen einzuordnen.

Bewerten Sie folgende Schüleraussage: „Die Jahreszeiten entstehen aufgrund der Ellipsenbahn der Erde. Im Sommer befinden wir uns näher an der Sonne als im Winter.“

1. Die Aussage stimmt.
2. Die Aussage ist falsch. Jahreszeiten entstehen aufgrund der gekippten Erdachse.
3. Die Aussage ist falsch. Jahreszeiten entstehen, da die Corioliskraft im Sommer heiße Luft gen Norden und im Winter gen Süden treibt.
4. Die Aussage ist falsch. Die Ellipsenbahn erklärt nur, warum es auf der Südhalbkugel im Jahresschnitt wärmer ist als im Norden.

Die richtige Antwort hier ist 2. Für Lehramtsstudierende kann es gewinnbringend sein, fachliche Inhalte in einem fachdidaktischen Kontext zu behandeln [8]. Ein zentraler Punkt der fachdidaktischen Ausbildung

in der Physik sind die Schülervorstellungen. Bei anonymen Abstimmungen in der PI können angehende Lehrkräfte eigene Vorstellungen reflektieren, ohne dass ihnen ein Nachteil entsteht, bzw. sie üben Erklärungsmuster, um Schülervorstellungen bei Lernenden ausräumen zu können.

4. Peer Instruction für Formelverständnis

Eric Mazur will explizit konzeptionelles Verständnis fördern und verzichtet deshalb aktiv auf die Anwendung von Formeln in der PI. Im Kontext der Theoretischen Physik ist dieser Ansatz in Teilen ebenfalls gerechtfertigt, weil ein konzeptionelles Verständnis einfachem Formelanwenden vorzuziehen ist. Andererseits dringt die Theoretische Physik in Gebiete vor, in denen mit konzeptionellem Verständnis oder Vorstellungen nicht mehr gearbeitet werden kann, weil die Themen zu komplex werden oder, wie im Falle der Quantenmechanik, kein intuitiver Zugang gefunden werden kann.

Wir halten es an dieser Stelle für gewinnbringend, den Punkt in Mazurs Grundregeln (Die Fragen sollten nicht durch die Anwendung von Formeln zu lösen sein.) aufzubrechen und dafür ein konzeptioneller und qualitativer Umgang mit Formeln gezielt trainiert werden. Dabei soll es nicht darum gehen, schlicht Zahlen in Formeln einzusetzen, sondern das Wechselspiel zwischen Mathematik und Physik zu veranschaulichen oder zu trainieren.

In diesem Sinne schlagen wir vor, die Grundregeln von Mazur für die Theoretische Physik anzupassen. Die Fragen sollten

- ~~nicht durch Anwendung von Formeln zu lösen sein,~~
- das Wechselspiel zwischen Mathematik und Physik veranschaulichen/trainieren,

Die Nutzung solcher Peer-Fragen über die Jahre hat gezeigt, dass vor allem Fragen in den Kategorien

1. Übersetzung Physik-Mathematik
2. Übersetzung Mathematik-Physik
3. Interpretation von Formeln
4. Abschätzungen aus Formeln

bei Studierenden gut ankommen, bzw. hier viel Diskussions- und Klärungsbedarf auf studentischer Seite besteht. Im Folgenden werden diese Kategorien wieder näher beschrieben und mit Beispielen veranschaulicht.

4.1. Übersetzung Physik-Mathematik & Mathematik-Physik

Diese Kategorie trainiert die absolute Grundlage, die nötig ist, um Informationen aus Formeln zu gewinnen oder physikalische Probleme mathematisch darzustellen, um überhaupt damit weiter arbeiten zu können. Dieses Können ist in der Theoretischen Physik essentiell, um an Problemen, bei denen man allein mit konzeptionellen Vorstellungen nicht zum Ziel kommt, arbeiten zu können. Unserer Erfahrung nach

haben leider viele Studierende genau hier Probleme, dabei geht es auch um die Abschätzung, unter welchen Umständen bestimmte Formeln und Formalismen gelten, bzw. angewendet werden können. Das eigentliche Rechnen im Anschluss ist häufig nicht das Problem.

Erste Übungen können im Rahmen der PI gemacht werden, wenn schlicht physikalische Rahmenbedingungen mathematisch ausformuliert werden müssen wie z.B. bei der Bestimmung von Zwangsbedingungen in der Lagrange-Mechanik.

„Ein Rad, das nicht umfallen und nicht rutschen kann, rollt auf einer Ebene. Wie sieht die passende Zwangsbedingung / sehen die passenden Zwangsbedingungen aus?“

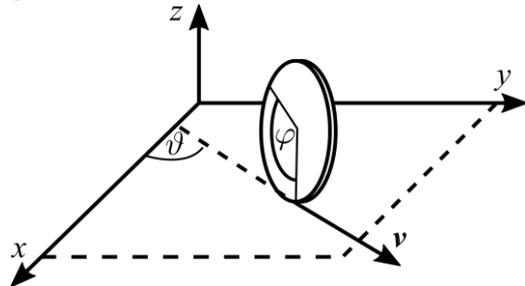


Abb.3: Abbildung zur Peer-Frage Zwangsbedingungen.

1. $\omega \cdot t = \varphi;$
 $z = a$
2. $x - y \cdot \tan^{-1} \vartheta = 0;$
 $z = a$
3. $z = a$
4. 1. und 2. sind richtig.

Häufig ist dies auch eine Stelle, bei der Studierende Probleme beim Bearbeiten von Übungsaufgaben haben. Im Rahmen der PI können Studierende bereits in der Vorlesung dieses Vorgehen begleitet trainieren. Richtig ist hier Antwort 2.

Die Übersetzung Physik-Mathematik lässt sich logischerweise auch umkehren. In der Lagrange-Mechanik könnten Studierende z.B. aufgefordert werden, aus gegebenen generalisierten Koordinaten auf die Bewegung Rückschlüsse zu ziehen.

4.2. Interpretation von Formeln

Geht man einen Schritt weiter und lässt Studierende Lösungen der Euler-Lagrange-Gleichung dem ursprünglichen physikalischen Problem zuordnen, ist man in der Kategorie der Interpretation aus Formeln. Wenn es also darum geht, physikalische Informationen aus einem System zu lesen, die über die reine Ortsinformation hinaus geht. Die Auswirkungen des Satzes von Steiner auf den Trägheitstensor eines Körpers sind ein Beispiel dafür.

„Die Drehachsen vom dünnen Stab mit dem Trägheitstensor

$$\frac{m}{12} l^2 \begin{pmatrix} 0 & & \\ & 1 & \\ & & 1 \end{pmatrix}$$

werden vom Zentrum auf ein Ende verschoben.

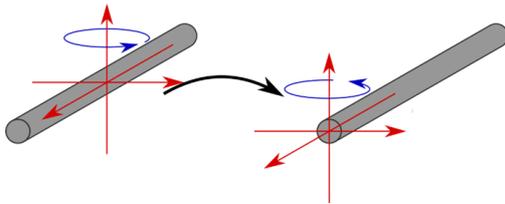


Abb.4: Abbildung zur Peer-Frage Satz von Steiner.

Der Satz von Steiner beschreibt die Änderung eines Trägheitsmoments $\Theta = \Theta_S + Ml_S^2$. Wie sieht der neue Trägheitstensor aus?“

$$1. \begin{pmatrix} 0 & & \\ & \frac{m}{3} l^2 & \\ & & \frac{m}{3} l^2 \end{pmatrix} \quad 2. \begin{pmatrix} m \left(\frac{l}{2}\right)^2 & & \\ & \frac{m}{12} l^2 & \\ & & \frac{m}{12} l^2 \end{pmatrix}$$

$$3. \begin{pmatrix} -m \left(\frac{l}{2}\right)^2 & & \\ & \frac{m}{12} l^2 - m \left(\frac{l}{2}\right)^2 & \\ & & \frac{m}{12} l^2 - m \left(\frac{l}{2}\right)^2 \end{pmatrix}$$

Relevant zur Beantwortung dieser Frage ist lediglich die Erkenntnis, dass bei der Drehung um die dünne Achse das Trägheitsmoment im Trägheitstensor verschwindet. Diese Eigenschaft ändert sich beim Verschieben des Drehpunktes nicht. Der einzige Tensor, der diese Information behält, ist die Nummer 1.

4.3. Abschätzungen aus Formeln

Diese Informationen müssen auch nicht immer analytisch exakt oder vollständig sein. Oft ist es hilfreich, wenn man grobe Vorhersagen aus Formeln macht, um abzuschätzen, welche Auswirkungen bei realen Problemen ein bestimmtes Phänomen oder eine bestimmte Eigenschaft hat. Als Beispiel nennen wir den komplexen Brechungsindex:

„Für den komplexen Brechungsindex gilt

$$\hat{n} = n(1 + ik) = n - ik.$$

Eingesetzt in die Formel für eine ebene Welle ergibt das

$$\hat{\vec{E}} = \hat{\vec{E}}_0 \cdot e^{-k\frac{\omega}{c}x} \cdot e^{i(n\frac{\omega}{c}x - \omega t)}.$$

In der Abbildung ist der Brechungsindex für Wasser dargestellt. Bei welchen Wellenlängen kann Licht am weitesten in Wasser eindringen?“

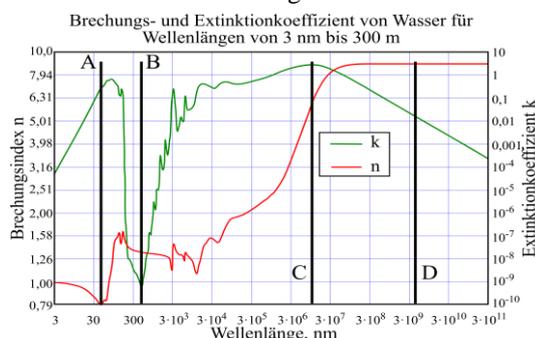


Abb.5: Abbildung zur Peer-Frage Brechungsindex, Д.Ильин: (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Brechungsindex_Wasser_1-de.svg), bearbeitet, <https://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/legalcode> [9].

1. A ca. 40nm
2. B ca. 400nm
3. C ca. 6mm
4. D ca. 4m

Ziel ist es hier die Absorption von Licht mit einer Dämpfung also dem ersten, rein reellen exponentiellen Term der ebenen Welle zu verknüpfen. Die Abschätzung ist dann, je kleiner die Dämpfung, umso weiter die Eindringtiefe. Dies erreicht man mit einem möglichst kleinen Extinktionskoeffizienten k . Also ist B korrekt.

Die Fähigkeit zur Abschätzung kann im Studium oder allgemein sehr hilfreich sein bei der Überprüfung von Rechen- oder Simulationsergebnissen. Sie sollte deshalb auch in Vorlesungen mit solchen Peer-Fragen gezielt gefördert werden.

5. Lehrerfahrung

Die hier beschriebenen Peer Fragen wurden für Begleitseminare zur Theoretischen Physik an der Universität Stuttgart und der Friedrich-Schiller-Universität Jena entwickelt und getestet. Mehrere Fragen, die nicht den Gütekriterien aus Abschnitt 2.1 entsprachen, wurden überarbeitet oder aussortiert.

Eine empirische Untersuchung über den Lernzuwachs durch die PI war aufgrund der kleinen Stichprobe und der Form des Seminars leider nicht möglich. Da es sich hier zumeist um Begleitveranstaltungen handelt, wäre zusätzlich mindestens eine Kontrollgruppe nötig, um den Lernzuwachs der regulären Veranstaltung vom Lernzuwachs der PI zu trennen, was die Teilnehmerzahlen aber nicht erlauben.

Die Erfahrung zeigt aber, dass Studierende großes Interesse an der Einbettung der PI in Lehrveranstaltungen der Theoretischen Physik haben. Bei Lehrevaluationen durch die Fachschaften wurde diese Methode ausschließlich positiv bewertet und für die Zukunft häufiger gefordert. Auch konnte in Phasen der PI die aktivste Beteiligung aller Studierenden beobachtet werden, in Präsenz sowie digital. Die PI war in der Lage ohne Verpflichtungen durch Scheinkriterien o.ä. in Zeiten der Onlinevorlesungen alle Studierende zur aktiven Mitarbeit zu bewegen.

Pro Peer-Frage, mit zweifacher Abstimmung und Diskussion dazwischen, sollten ca. 10 Minuten in der Vorlesung eingeplant werden. Dies verhält sich etwas anders bei den Fragen zum Formelverständnis. Hier benötigten die Studierenden wesentlich mehr Zeit zum Nachdenken und zur Diskussion (insgesamt ca. 15 Minuten pro Frage). Ob dies generell der Fall ist oder ein solcher Umgang mit Formeln schlicht ungewohnt war und die Studierenden deshalb mehr Zeit benötigten, kann diese Untersuchung nicht klären.

Die PI benötigt also wesentlich mehr Zeit pro Thema im Vergleich zu klassischen Lehrveranstaltungen. Dafür werden aber alle Studierenden zum Nachdenken angeregt und nicht nur die üblich aktiven Einzelnen.

6. Zusammenfassung

Die Peer Instruction (PI) lässt sich gut in komplexeren Themengebieten der Theoretischen Physik einsetzen. Da es noch wenig konkrete Beispiele für Peer-Fragen in der Theoretischen Physik gibt, wurden in diesem Artikel Kategorien von Fragen mit Beispielen vorgestellt, die sich in unseren Lehrveranstaltungen als gewinnbringend erwiesen haben. Nach der klassischen PI sind dies Konzeptfragen in den Kategorien:

1. Fachbegriffe zu klären/definieren/konkretisieren
2. Physikalische Konzepte
3. Darstellungen/Graphen verstehen/interpretieren
4. Schülervorstellungen beurteilen

In der Theoretischen Physik ist das Konzept des Formelverständnisses essentiell und sollte ebenfalls geübt werden. Dabei geht es nicht darum, Werte in Formeln einzusetzen, sondern qualitative Informationen aus Formeln zu gewinnen, bzw. in den mathematischen Formalismus hineinzuparse. Folgende Kategorien von Fragen haben sich in unseren Lehrveranstaltungen bewährt:

1. Übersetzung Physik-Mathematik
2. Übersetzung Mathematik-Physik
3. Interpretation von Formeln
4. Abschätzungen aus Formeln

Beispiele sind auch für diese Arten von Fragen im Artikel aufgeführt.

Die PI kam in unseren Lehrveranstaltungen bei allen Studierenden gut an und wurde nach der ersten Anwendung immer häufiger von Studierenden eingefordert. Allerdings muss in der PI mit mehr Zeit pro Thema eingeplant werden als in klassischen Vorlesungen. Dieser zeitliche Mehraufwand sollte aber durch ein tieferes und besseres Verständnis der behandelten Themen gerechtfertigt sein.

7. Literatur

- [1] MAZUR, Eric: *Peer Instruction* : Springer Berlin Heidelberg, 2017
- [2] RIEGLER, Peter ; KAUTZ, Christian: *Physik der Hochschullehre : Die Hochschullehre ist zu einem gesellschaftlich wichtigen Forschungsgegenstand der Physik geworden*. In: *Physik Journal* 20 (2021), Nr. 5, S. 43–47
- [3] HEINER, Cynthia E. ; KURZ, Günther: *Wenn sprechen mehr bringt als zuhören : Das Lehrkonzept "Peer Instruction" hilft, das Physikverständnis zu erhöhen*. In: *Physik Journal* 21 (2022), Nr. 6, S. 35–38
- [4] POLLOCK, Steven J. ; CHASTEEN, Stephanie V. ; DUBSON, Michael ; PERKINS, Katherine K. ; SINGH, Chandralekha ; SABELLA, Mel ; REBELLO, Sanjay: The use of concept tests and peer instruction in upper-division physics. In: AIP, 2010 (AIP Conference Proceedings), S. 261–264
- [5] GOLDBERGER, Steve ; POLLOCK, Steven ; DUBSON, Mike ; BEALE, Paul ; PERKINS, Katherine ; SABELLA, Mel ; HENDERSON, Charles ; SINGH, Chandralekha: Transforming Upper-Division Quantum Mechanics: Learning Goals and Assessment. In: AIP, 2009 (AIP Conference Proceedings), S. 145–148
- [6] CHASTEEN, Stephanie V. ; POLLOCK, Steven J. ; SABELLA, Mel ; HENDERSON, Charles ; SINGH, Chandralekha: A Research-Based Approach to Assessing Student Learning Issues in Upper-Division Electricity & Magnetism. In: AIP, 2009 (AIP Conference Proceedings), S. 7–10
- [7] MCKAGAN, S. B. ; PERKINS, K. K. ; WIEMAN, C. E.: *Design and validation of the Quantum Mechanics Conceptual Survey*. In: *Physical Review Special Topics - Physics Education Research* 6 (2010), Nr. 2
- [8] KULGEMEYER, Christoph ; RIESE, Josef: *From professional knowledge to professional performance: The impact of CK and PCK on teaching quality in explaining situations*. In: *Journal of Research in Science Teaching* 55 (2018), Nr. 10, S. 1393–1418
- [9] WIKIMEDIA COMMONS: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Brec_hungsindex_Wasser_1-de.svg (Stand: 07/2022)

Physikalisches Vorwissen in Physik-Nebenfachveranstaltungen

Kevin Schmitt, Verena Spatz

Physikdidaktik, Fachbereich Physik
Technische Universität Darmstadt
Hochschulstraße 12
64289 Darmstadt

kevin_richard.schmitt@tu-darmstadt.de,
verena.spatz@tu-darmstadt.de

Kurzfassung

Aktuelle Forschungsergebnisse u.a. im Zusammenhang mit den tendenziell hohen Misserfolgs- bzw. Abbruchquoten in Physik belegen immer wieder, dass besonders mathematische aber auch physikspezifische (Vor-)Kenntnisse erheblichen Einfluss auf den Studienerfolg haben können. Dabei konzentrieren sich die bisherigen Erhebungen vorwiegend auf Studierende im Hauptfach (Müller et. al), während für die Gruppe der Physik-Nebenfachstudierenden, die im Hinblick auf voruniversitäre physikalische Ausbildung besonders heterogen ist, kaum empirische Erkenntnisse vorliegen.

Vor diesem Hintergrund wurde ein Vorwissenstest entwickelt, um zunächst das physikalische Vorwissen von Studierenden in Physik-Nebenfachveranstaltungen zu untersuchen. Basierend auf der theoretischen Grundlage nach Hailikari (Hailikari et al., 2007; Hailikari, 2009), wird das physikalische Wissen dabei in verschiedene Wissensbereiche und Inhaltsfelder segmentiert. Es konnte auf bereits bestehende Messinstrumente (Binder et al., 2019; Binder, Schmiemann & Theyssen, 2019; Müller, 2018; Riese et al., 2015) zurückgegriffen werden, die zielgruppengerecht adaptiert wurden.

Der Vorwissenstest wurde im Wintersemester 21/22 in vier Lehrveranstaltungen der TU Darmstadt pilotiert. Die Auswertung der Ergebnisse lässt neben der Überarbeitung und Reliabilitätsprüfung des Tests auch vorläufige Aussagen über die Unterschiede im physikalischen Vorwissen zwischen den unterschiedlichen Studierendengruppen zu. Anhand der statistischen Ergebnisse werden die Konsequenzen für die Überarbeitung des Tests beschrieben.

1. Einleitung

Bereits im Jahr 1978 wurde das Vorwissen in Mathematik und Physik an deutschen Hochschulen über einen bundesweiten Studieneingangstest erhoben (Krause & Reiners-Logothetidou, 1981). Seitdem finden Vorwissenstests in oder vor der Studieneingangsphase besonders in MINT-Fächern Anwendung. Da sich in den letzten Jahren etwa gleichbleibend hohe Studienabbruchquoten in MINT-Fächern verzeichnen lassen (Heublein et al., 2020; Heublein & Schmelzer, 2018) werden Vorwissenstests vermehrt dafür genutzt, Ursachen für den Studienabbruch zu identifizieren und Unterstützungsangebote bereitzustellen. Aktuelle Forschungsergebnisse belegen den Zusammenhang zwischen dem mathematischem sowie dem physikalischem Vorwissen und dem Studienerfolg in naturwissenschaftlichen und technischen Studiengängen (Binder, Sandmann et al., 2019; Buschhüter et al., 2016; Müller, 2018). Dabei ist die Rolle des mathematischen Vorwissens in Bezug auf den Studienerfolg empirisch besonders belegt (vgl. Müller, 2018; Buschhüter et al., 2016), was zu einem breiten Angebot an mathematischen Vor- und

Brückenkursen an deutschen Hochschulen führte (Bausch et al., 2014).

Deutlich wird dieser Zusammenhang des Weiteren bei Befragungen von Exmatrikulierten im Fach Physik, in denen Gründe für den Studienabbruch aufgeklärt werden sollen (Albrecht, 2011). Am häufigsten nennen die Befragten als Abbruchmotiv zu hohe inhaltliche Anforderungen bezogen auf die ersten Studiensemester. Weiterhin werden unzureichende mathematische und physikalische Vorkenntnisse und zeitökonomische Schwierigkeiten beim Nachholen fehlender Kenntnisse als Grund für Studienabbrüche genannt. Daher liegt die Vermutung nahe, dass Studienanfänger*innen im Fach Mathematik oder Physik mit den kumulativen Anforderungen im Studium besser zurecht kommen könnten, wenn Vorwissen vorhanden und abrufbar ist.

2. Forschungsdesiderate und Projektziele

Um aufzuklären, in welchen Bereichen und in welchen Inhalten Studierende explizit über genügend Vorwissen verfügen sollten, damit sich dies positiv auf den Studienerfolg auswirkt, erweist sich eine Betrachtung des Vorwissens nach Hailikari (2007) als praktikabel. Im deutschsprachigen Raum wurde das

Vorwissensmodell von Hailikari für die Konzeption von Vorwissenstests zum Studienbeginn in den Fächern Physik und Biologie herangezogen (Binder, Sandmann et al., 2019). Demnach werden die Wissensbereiche Faktenwissen, Konzeptwissen, Anwendungswissen und vernetztes Wissen unterschieden (siehe Abschnitt 3 zur Testkonstruktion). Gezeigt werden konnte durch die Studie der ALSTER Forschungsgruppe, dass diese Differenzierung des Vorwissens in verschiedene Wissensbereiche valide Prädiktoren für den Studienerfolg liefern kann. Speziell für Studierende mit Physik als Hauptfach konnten Zusammenhänge des Konzeptwissens sowie des Anwendungswissens mit dem Studienerfolg festgestellt werden. Für Studierende mit Physik als Nebenfach liegen hierzu dagegen noch keine empirischen Erkenntnisse vor.

Um auch in dieser Studierendengruppe die Relevanz der verschiedenen Wissensbereiche für den Studienerfolg untersuchen zu können ist es das Ziel unseres Projektes, zunächst ein für die Stichprobe geeignetes Testinstrument des physikalischen Vorwissens zu entwickeln und zu validieren. Weiterhin soll das Testinstrument in einem nächsten Schritt dazu eingesetzt werden, Vorwissensprofile von Studierenden mit Physik als Nebenfach in unterschiedlichen Studiengängen herauszuarbeiten.

Im Folgenden werden die Konstruktion des Testinstruments und erste Ergebnisse aus der Pilotierung im Wintersemester 2021/2022 vorgestellt. Dabei wird sowohl ein Vergleich der Ergebnisse zwischen verschiedenen Studiengängen als auch innerhalb der Studiengänge zwischen den Wissensbereichen und Inhaltsfeldern vorgenommen.

3. Testkonstruktion

Als Grundlage für die Testentwicklung wird sich an dem Vorwissenstest nach Binder et al. (2019) orientiert. Da sich die Zielgruppe der Hauptfachstudierenden bei Binder et al. (2019) jedoch von der hier in den Blick genommen Gruppe der Nebenfachstudierenden unterscheidet, müssen auch strukturelle und inhaltliche Anpassungen vorgenommen werden.

Der Test basiert auf dem Vorwissensmodell nach Hailikari et al. (2007). Im genannten Modell wird das fachspezifische Vorwissen zunächst in zwei prozessbasierte Arten aufgeteilt (Anderson et al., 2001). Es folgt die Unterscheidung zwischen deklarativem Vorwissen (Wissenswiedergabe) und prozeduralem Vorwissen (Verstehen und Anwenden). Weiterhin werden diese beiden Arten feiner in insgesamt vier Vorwissensbereiche segmentiert. Das deklarative Wissen kann in zwei verschiedenen komplexe Stufen aufgeteilt werden. Dabei wird eine Wissenswiedergabe in Form von Knowledge of facts (Faktenwissen) und Knowledge of meaning (Konzeptwissen) unterschieden. Das prozedurale Wissen hingegen beinhaltet: Integration of knowledge (vernetztes Wissen) und Application of

knowledge (Anwendungswissen) (Hailikari et al., 2007). Beide Bereiche implizieren, neben der Wissenswiedergabe, das Verstehen (vernetztes Wissen) sowie das Verstehen und Anwenden (Anwendungswissen) von Inhalten und Zusammenhängen.

Im Modell steigt die Komplexität des (Vor)Wissens in der dargestellten Reihenfolge an.

3.1. Wissensbereiche

Nach den Ergebnissen der Prädiktionsstudie von Binder et al. (2019) werden in die Entwicklung des Tests zum einen die Vorwissensbereiche Konzept- und Anwendungswissen integriert. Zum anderen wird diese Auswahl durch das Faktenwissen ergänzt, um einen möglichen Bodeneffekt bei der Messung zu vermeiden. Auf die Erhebung des vernetzten Wissens wird aus zeitökonomischen Gründen verzichtet, da dieses bei Binder et al. nicht mit dem Studienerfolg im Zusammenhang stand.

Der Testteil Faktenwissen besteht aus Multiple-Choice-Aufgaben (Single Select), die das Wissen über physikalische Einheiten, Formeln und einfache physikalische Zusammenhänge, wie z.B. vektorielle Größen beinhaltet. Die Bewertung erfolgt für jedes Testitem dichotom („richtig“ oder „falsch“).

17. G-06

Die Kraft auf einen sich bewegenden Ladungsträger in einem elektromagnetischen Feld nennt man auch Lorentzkraft.

Welche der folgenden Gleichungen beschreibt die Lorentzkraft?

- $F_L = q \cdot \vec{v} \times \vec{B}$
- $F_L = \vec{v} + q \cdot \vec{B}$
- $F_L = \vec{v} \times q \cdot \vec{B}$
- $F_L = q \cdot (\vec{E} \times \vec{B})$

Abb. 1: Beispielimitem zur Lorentzkraft aus dem Testteil Faktenwissen.

Der Teil Konzeptwissen besteht aus Fragen zu physikalischen Konzepten oder Gesetzen, die über die Wiedergabe einer Formel hinausgehen. Die Studierenden bekommen zu jedem Item einen Satzanfang vorgegeben und sollen zur Beantwortung ein bis zwei Sätze als Freitext formulieren. Bewertet werden die im jeweiligen Item enthaltenen Kernaspekte des Konzepts anhand eines Kodiermanuals durch Bepunktung in drei Abstufungen: „0 Punkte - Kernaspekt nicht genannt“, „1 Punkt – Kernaspekt teilweise (richtig) beschrieben“ und „2 Punkte – Kernaspekt richtig beschrieben“. Falls ein Item mehrere Kernaspekte enthält, werden die Punkte der einzelnen Kernaspekte bei der Auswertung aufsummiert. Das Anwendungswissen wird mittels Sortieraufgaben (Friege, 2001) erhoben. Bei diesen wird überprüft, ob die Teilnehmenden über bestimmte Lösungsschemata von vorgegebenen Physikaufgaben verfügen.

43. KW-E6
 Beurteilen Sie physikalisch die Aussage „Elektrischer Strom und elektrische Spannung treten immer gemeinsam auf“.

Es gilt: ...

Abb. 2: Beispielitem zum dritten Newtonschen Gesetz“ aus dem Testteil Konzeptwissen.

Im Test bestehen die Sortieraufgaben aus zwei separat bewerteten Aufgabenteilen: Im ersten Aufgabenteil sollen richtige Lösungsansätze für Physikaufgaben gefunden werden. Im zweiten Teil werden die Aufgaben anhand gemeinsamer Lösungsansätze sortiert. Neben dem Finden richtiger Lösungsansätze sollen die Teilnehmenden demnach auch Gemeinsamkeiten innerhalb der Aufgaben identifizieren. Die Bewertung der beiden Aufgabenteile erfolgt jeweils dichotom („richtig“ oder „falsch“). Um eine möglichst eindeutige Bewertung zu garantieren, wurden die erstellten Aufgaben vor der Pilotierung von insgesamt vier Doktorand*innen der Physik getestet. Die daraus entstandenen Expert*innensortierungen wurden im Anschluss mit den intendierten Lösungsansätzen und Sortierungen verglichen. Bis auf wenige Stellen, die geändert werden mussten, war eine gute Passung festzustellen.

11. Aufgabe – Schiefer Lichteinfall
 Ein dünner Lichtstrahl trifft unter einem Winkel von 30° zur Flächennormalen auf eine 2 cm dicke planparallele Glasplatte mit einem Brechungsindex von 1.4.

Aufgabenstellung: Bestimmen Sie um wie viel cm der Strahl beim Durchgang durch die Glasplatte parallel versetzt wird.

(Sie brauchen diese Aufgabenstellung nicht tatsächlich zu lösen. Es geht nur um den Lösungsansatz, mit dem sie die Aufgabe lösen würden!)

Lösungsansatz:

Abb. 3: Beispielitem zum schiefen Lichteinfall aus dem Testteil Anwendungswissen (Aufgabenteil 1).

Lösungsansatz	Aufgaben
Impulserhaltung, Formel Impuls: Stöße	1,2,3,4
Erster Hauptsatz der Thermodynamik	5,6

Abb. 4: Lösungsbeispiel für Aufgabensortierungen aus dem Testteil Anwendungswissen (Aufgabenteil 2).

3.2. Inhaltsfelder

In jedem der drei Wissensbereiche werden die Inhalte jeweils grob in die Inhaltsfelder Mechanik, Elektrizitätslehre und Optik aufgeteilt. Um die inhaltliche Validität des Tests zu verbessern, werden die Items anhand der Vorgaben aus dem schulischen Kerncurriculum (Hessisches Kultusministerium,

2016a, 2016b) ausgewählt und auf die Stoffpläne der betreffenden Lehrveranstaltungen an der TU Darmstadt angepasst.

Die feinere Aufteilung der Inhaltsfelder erfolgt nach den folgenden Inhalten.

Das Inhaltsfeld Mechanik wird aufgeteilt in:

- Dynamik und Kinematik: Weg-Zeit-Gesetz, Bewegungsgleichung, beschleunigte und gleichförmige Bewegungen
- Arbeit und Leistung (auch Elektrizitätslehre)
- Energieerhaltung und Energie im Allgemeinen (auch Elektrizitätslehre und z.T. Optik)
- Kräftegleichgewicht, (wirkende) Kräfte (auch Elektrizitätslehre und z.T. Optik)
- Schwingungen und Wellen (auch Elektrizitätslehre und Optik)

Das Inhaltsfeld Elektrizitätslehre wird aufgeteilt in:

- Ohm'sches Gesetz, Spannung und Stromstärke
- Schaltungen
- Elektrisches und magnetisches Feld

Das Inhaltsfeld Optik wird aufgeteilt in:

- Sehvorgang und Farben
- Optischer Übergang zwischen Medien, Reflexionsgesetz und Brechungsgesetz
- Abbildungen mit Linsen

Die Inhaltsfelder Mechanik, Elektrizitätslehre und Optik sind anteilig im Verhältnis 2:2:1 im Test enthalten. Dies folgt daraus, dass Mechanik und Elektrizitätslehre sowohl in der Sekundarstufe II als auch in den Lehrveranstaltungen für Physik als Nebenfach zeitlich und inhaltlich anspruchsvoller behandelt werden als das Inhaltsfeld Optik.

4. Pilotierung

Die Pilotierung des Vorwissenstests fand im Wintersemester 2021/2022 an der TU Darmstadt statt. Der Test wurde in den vier verschiedenen Physik-Nebenfachvorlesungen „Physik für Chemiestudierende I“, „Physik für Biologiestudierende“, „Physik für Maschinenbau“ und „Physik für Elektrotechnik I“ in der ersten Vorlesungswoche im Rahmen einer ersten Hausübung eingesetzt. In den Modulhandbüchern der Fachbereiche ist der Besuch der Veranstaltung im ersten (Elektrotechnik und Biologie) bzw. im dritten Semester (Maschinenbau und Chemie) vorgesehen. Neben Studierenden der namensgebenden Fachbereiche der Veranstaltungen, nehmen in kleineren Anteilen auch Studierende anderer Fachbereiche teil. Für die Teilnahme am Test haben die Studierenden die Möglichkeit bekommen, Übungspunkte für einen Klausurbonus am Ende des Semesters zu erhalten. Die Durchführung fand rein digital über die Plattform SoSciSurvey, außerhalb der

regulären Vorlesungs- bzw. Übungszeiten statt. Vorgesehen war eine Bearbeitungszeit von 60-70 Minuten für den gesamten Test. Zusammengesetzt hat sich der Test in der Pilotierung aus 30 Aufgaben zum Faktenwissen, 22 Aufgaben zum Konzeptwissen und 18 Aufgaben im Bereich Anwendungswissen. Insgesamt haben $N = 744$ Studierende den Vorwissenstest begonnen. Vollständig bearbeitet wurde der Test von $N = 530$ Studierenden. Diese für die Auswertung relevante Stichprobe setzt sich folgendermaßen zusammen:

- Biologiestudierende: $N_{\text{Bio}} = 28$
- Chemiestudierende: $N_{\text{Chem}} = 78$
- Maschinenbaustudierende: $N_{\text{Maschbau}} = 198$
- Elektrotechnikstudierende: $N_{\text{ETT}} = 226$

Bis auf die Veranstaltungen „Physik für Biologiestudierende“, in der nur ca. 30% aller eingetragenen Studierenden am Test teilnahmen, lag die Teilnahme in den anderen Lehrveranstaltungen bei über 50%.

5. Auswertung und Ergebnisse

5.1. Testgüte der verschiedenen Wissensbereiche

Die Testvalidität wird getrennt nach den einzelnen Wissensbereichen betrachtet. Da beim Anwendungswissen die Sortierungen der Lösungsansätze (Sortierungen, Aufgabenteil 2) einen großen Bodeneffekt in allen vier Lehrveranstaltungen aufweisen, werden diese im Folgenden nicht ausgewertet. Beim Anwendungswissen werden daher weiterhin nur die Lösungsansätze der einzelnen Aufgaben (Lösungsansätze, Aufgabenteil 1) betrachtet.

Um nachzuweisen, dass die Items eines jeden Wissensbereichs die entsprechende Vorwissensart messen, wird eine explorative Faktorenanalyse (maximum likelihood) mit Varimax-Rotation (Werner, 2014) durchgeführt. Diese ergibt eine vierfaktorielle Struktur zur Messung des physikalischen Vorwissens. Drei Faktoren ergeben sich größtenteils anhand der Aufteilung der Aufgaben nach den drei Wissensbereichen. Der vierte Faktor setzt sich aus Items verschiedener Wissensbereiche zusammen, welche in Abschnitt 4.3. diskutiert werden.

Die Itemkorrelationen innerhalb des Fakten-, Konzept- oder Anwendungswissens werden nach dem Kaiser-Meyer-Olkin-Kriterium (Backhaus et al., 2018) überprüft. Für jeden Wissensbereich wird in diesem Zusammenhang die measure of sampling adequacy (MSA) als Prüfgröße berechnet (Kaiser, 1981; Kaiser & Rice, 1974). Diese kann einen Wert zwischen 0 – völlig unkorreliert und 1 – vollständig korreliert annehmen. Für das Faktenwissen ergibt sich ein MSA von 0.82, für das Konzept- und Anwendungswissen (Lösungsansätze, Aufgabenteil 1) ein MSA von 0.92. Nach Kaiser (1974) entspricht

dies sehr guten (> 0.8) bis ausgezeichneten (> 0.9) Itemkorrelationen. Der Test weist anhand der Ergebnisse der Faktorenanalyse und der Item-Korrelationen insgesamt eine gute Testvalidität auf. Die Reliabilität des Tests wird über die Berechnung von Cronbachs Alpha (Streiner, 2003) bestimmt. Diese werden ebenfalls getrennt nach den Wissensbereichen berechnet. Es ergibt sich allgemein eine gute Messgenauigkeit für das Faktenwissen [$\alpha=0.77$, $SD=0.16$] mit den niedrigsten Werten für Aufgaben aus dem Inhaltsfeld Optik. Für das Konzept- [$\alpha=0.88$, $SD=0.20$] und Anwendungswissen (Lösungsansätze, Aufgabenteil 1) [$\alpha=0.91$, $SD=0.29$] ergeben sich sehr gute Messgenauigkeiten.

5.2. Allgemeine Testergebnisse

Es folgt eine Betrachtung der Mittelwerte der Testergebnisse. Diese werden nach den Studierendengruppen verschiedener Lehrveranstaltungen für jeden der drei Wissensbereiche separat betrachtet.

In Tabelle 1 sind die Mittelwerte mit dazugehörigen Standardabweichungen der Testergebnisse nach der beschriebenen Aufteilung angegeben. Anhand der Ergebnisse können die theoretischen Vorüberlegungen des Vorwissensmodells nach Hailikari (2007) bestätigt werden. Danach besitzen die Wissensbereiche unterschiedliche Schwierigkeitsgrade, die durch die entsprechenden Mittelwerte repliziert werden. Die Testergebnisse nehmen damit für alle Gruppen vom Faktenwissen, über das Konzeptwissen bis zum Anwendungswissen deutlich ab. Im Bereich des Anwendungswissens ist, wie bereits in 5.1. genannt, ein starker Bodeneffekt für die Sortierungen der Aufgaben (Sortierungen, Aufgabenteil 2) zu erkennen. Dieser Aufgabenteil liefert damit kaum Informationen über das physikalische Vorwissen der Befragten. Bei der Diskussion der Schlussfolgerungen für die weitere Testentwicklung wird dies von Relevanz sein.

	Biologie	Chemie	E- Technik	Masch.- bau
Faktenwissen	0.44 ± 0.16	0.59 ± 0.15	0.61 ± 0.15	0.69 ± 0.14
Konzeptwissen	0.35 ± 0.17	0.50 ± 0.20	0.47 ± 0.21	0.56 ± 0.18
Anwendungswissen				
Lösungsansätze	0.13 ± 0.19	0.35 ± 0.29	0.31 ± 0.28	0.38 ± 0.30
Sortierungen	0.06 ± 0.11	0.18 ± 0.20	0.15 ± 0.19	0.18 ± 0.21

Tab. 1: Mittelwerte und Standardabweichungen der Testergebnisse. Aufteilung nach Lehrveranstaltungen und Wissensbereichen. Sortierungen (rot) werden in der Auswertung nicht betrachtet.

Der Vergleich der Daten der unterschiedlichen Studierendengruppen zeigt zunächst auffallende Ergebnisse der Biologiestudierenden. Das Vorwissensniveau der Befragten ist dabei wesentlich geringer als das der anderen Studierendengruppen. Es bestehen Unterschiede in allen drei Wissensbereichen von 0.12 bis maximal 0.25 zwischen den Mittelwerten der Biologiestudierenden und den Studierenden der anderen Lehrveranstaltungen. Die Ergebnisse der Gruppen Elektrotechnik und Chemie sind in allen Wissensbereichen mit einem maximalen Unterschied von 0.04 beim Anwendungswissen (Lösungsansätze, Aufgabenteil 1) vergleichbar gut. Insgesamt haben die Maschinenbaustudierenden die besten Ergebnisse über alle drei Testbereiche hinweg.

5.3. Anpassungen des Testinstruments

Anhand der dargestellten Ergebnisse der Pilotierung werden nun Schlussfolgerungen für die Anpassung des Testinstruments gezogen. Das angepasste Testinstrument soll in Folge dessen in einer weiteren Pilotierungsschleife im Sommer 2022 getestet werden.

Die weitreichendsten Änderungen struktureller Art werden am Testteil Anwendungswissen durchgeführt. Wie bereits in vorangegangenen Abschnitten gezeigt, treten vor allem für die Sortierung (Testteil 2) der einzelnen Lösungsansätze erhebliche Bodeneffekte in allen Lehrveranstaltungen auf. Es lässt sich daraus schließen, dass das aus dem Vorwissenstest für Physik-Hauptfachstudierende übernommene Fragenformat von Binder et al. (2019) nicht direkt für die Physik-Nebenfachstudierenden übertragbar ist.

Für die Weiterentwicklung des Testinstruments werden die Items aus dem Wissensbereich Anwendungswissen daher so abgeändert, dass Studierenden mehrere Lösungsansätze zur Auswahl vorgegeben werden. Dabei wird sich bei der Formulierung von Distraktoren zu den Lösungsansätzen an der Vorgabe von sogenannten Tiefen- und Oberflächenmerkmalen (Chi et al., 1981) orientiert. Mit dem Begriff Tiefenmerkmal sind im Zusammenhang mit den gestellten Aufgaben die korrekten Lösungsansätze (z. B. „Ohm'sches Gesetz“, „Kräftegleichgewicht“, ...) gemeint. Oberflächenmerkmale beschreiben die Merkmale der Aufgaben, die einen oberflächlichen Bezug zum Kontext einer Aufgabe aufweisen, aber keinen Lösungsansatz zur konkreten Aufgabenstellung liefern. Diese werden als Distraktoren in die Liste der Auswahlmöglichkeiten integriert. Durch die Unterscheidung zwischen Tiefen- und Oberflächenmerkmalen als Antworteingabe kann damit nach Chi et al. (1981) untersucht werden, ob ein tieferes Verständnis der Aufgabenstellung vorliegt oder nur der Kontext extrahiert werden kann. Neben Lösungsansätzen mit Tiefen- und Oberflächenmerkmalen werden auch einige wenige Auswahlmöglichkeiten ergänzt, die in keinem Zusammenhang zu den Items stehen.

Ein Beispiel für ein Item aus dem überarbeiteten Wissensbereich Anwendungswissen ist in Abbildung 4 zu sehen. Das enthaltene Tiefenmerkmal bzw. der richtige Lösungsansatz zur Aufgabe wird durch „Energieerhaltung“ beschrieben. Als mögliche Oberflächenmerkmale sind in diesem Fall „Arbeit und Leistung“ oder „Impulserhaltung“ möglich. Die Sortierung gemeinsamer Lösungsansätze soll durch die begrenzte Anzahl an Auswahlmöglichkeiten für Lösungsansätze zumindest teilweise wie in der ersten Pilotierung erhalten bleiben. Durch die Änderung soll gleichzeitig der Schwierigkeitsgrad des Tests deutlich verringert werden um potentiell mehr Informationen im Bereich des Vorwissensniveaus der betreffenden Zielgruppe erheben zu können.

1. Aufgabe – Austrittsgeschwindigkeit von Elektronen

Beim lichtelektrischen Effekt werden Elektronen von Photonen aus Metall herausgelöst. Die Photonen mit einer Energie von 5 eV treffen auf eine Goldplatte. Die Austrittsarbeit beträgt dabei ungefähr 3.5 eV .

Aufgabenstellung. Berechnen Sie die Geschwindigkeit, mit der die Elektronen austreten.

(Sie brauchen diese Aufgabenstellung nicht tatsächlich zu lösen. Es geht nur um den Lösungsansatz, mit dem Sie die Aufgabe lösen würden!)

Lösungsansatz: [Bitte auswählen] ▼

- [Bitte auswählen]
- Impulserhaltung
- Arbeit und Leistung
- Ohmsches Gesetz, Schaltungen
- Schwunungs- & Wellengleichung
- Kräfteansatz, Kräftegleichgewicht
- Energieerhaltung
- Erster Hauptsatz der Thermodynamik
- Strahlungsgesetze
- Weg-Zeit Gesetz, Bewegungsgleichung
- Elektrische Leitfähigkeit, Leitvorgänge
- Gravitationsgesetz
- Keiner der vorgegebenen Ansätze

Abb. 5: Beispielitem „Austrittsgeschwindigkeit von Elektronen“ aus dem angepassten Testteil Anwendungswissen.

Weitere Anpassungen können anhand der Ergebnisse der Faktorenanalyse getroffen werden. Items mit besonders geringen Faktorladungen werden dabei identifiziert und inhaltlich sowie statistisch analysiert. Zusätzlich werden Items untersucht die auf den in 5.1. beschriebenen zusätzlichen vierten Faktoren laden.

Besonders auffällig sind die niedrigen Faktorladungen der Optik-Items aus dem Wissensbereich Faktenwissen. Diese unterscheiden sich retrospektiv betrachtet in der Art der Wissensabfrage von den Items aus den Inhaltsfeldern Mechanik und Elektrizitätslehre insofern, dass weniger physikalisches Faktenwissen als Konzeptverständnis abgefragt wird. Die Optik-Aufgaben im Bereich Faktenwissen werden daher insgesamt zu den Aufgaben aus der Mechanik und der Elektrizitätslehre vereinheitlicht, sodass diese untereinander eine bessere Passung haben.

Die Items aus dem Bereich Konzeptwissen liefern bei der Faktorenanalyse insgesamt gute Ergebnisse. Aus zeitökonomischen Gründen wird das Testinstrument in diesem Bereich jedoch um die statistisch und inhaltlich unpassendsten Items gekürzt.

6. Fazit

Die Ergebnisse der ersten Pilotierung liefern Aufschluss über die Anwendbarkeit des physikalischen Vorwissenstests aus dem ALSTER-Projekt (Binder, Sandmann et al., 2019) für die Zielgruppe der Studierenden mit Physik-Nebenfachveranstaltungen. Anhand der Auswertung kann der Test zielgruppengerecht adaptiert werden, ohne die zugrundeliegende theoretische Struktur des Instruments zu verändern.

In einer zweiten Pilotierung im Sommersemester 2022 wird das überarbeitete Testinstrument in der Lehrveranstaltung „Physik für Umwelt- und Bauingenieure“ getestet. Des Weiteren sollen erste Zusammenhänge der erzielten Testergebnisse mit den Noten der Modulabschlussprüfung exploriert werden.

7. Literatur

- Albrecht, A. (2011). Längsschnittstudie zur Identifikation von Risikofaktoren für einen erfolgreichen Studieneinstieg in das Fach Physik. Freie Universität Berlin, Berlin. <https://doi.org/10.17169/REFUBIUM-8615>
- Anderson, L. W., Krathwohl, D. R., Airasian, P. W., Cruikshank, K. A., Mayer, R. E., Pintrich, P. R., Raths, J. & Wittrock, M. C. (2001). A taxonomy for learning teaching and assessing: A revision of Bloom's taxonomy of educational objectives. Addison Wesley Longman.
- Backhaus, K., Erichson, B., Plinke, W. & Weiber, R. (2018). Multivariate Analysemethoden: Eine anwendungsorientierte Einführung (15. Aufl.). Lehrbuch. Springer Gabler. <http://swbplus.bsz-bw.de/bsz50793413xcov.htm> <https://doi.org/10.1007/978-3-662-56655-8>
- Bausch, I., Biehler, R., Bruder, R., Fischer, P. R., Hochmuth, R., Koepf, W., Schreiber, S. & Wassong, T. (2014). Mathematische Vor- und Brückenkurse. Springer Fachmedien Wiesbaden. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-03065-0>
- Binder, T., Sandmann, A., Sures, B., Frieger, G., Theyssen, H. & Schmiemann, P. (2019). Assessing prior knowledge types as predictors of academic achievement in the introductory phase of biology and physics study programmes using logistic regression. *International Journal of STEM Education*, 6(1). <https://doi.org/10.1186/s40594-019-0189-9>
- Binder, T., Schmiemann, P. & Theyssen, H. (2019). Knowledge Acquisition of Biology and Physics University Students—the Role of Prior Knowledge. *Education Sciences*, 9(4), 281. <https://doi.org/10.3390/educsci9040281>
- Buschhüter, D., Spoden, C. & Borowski, A. (2016). Mathematische Kenntnisse und Fähigkeiten von Physikstudierenden zu Studienbeginn. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 22(1), 61–75. <https://doi.org/10.1007/s40573-016-0041-4>
- Chi, M. T. H., Feltovich, P. J. & Glaser, R. (1981). Categorization and Representation of Physics Problems by Experts and Novices *Cognitive Science*, 5(2), 121–152. https://doi.org/10.1207/s15516709cog0502_2
- Frieger, G. (2001). Wissen und Problemlösen: Eine empirische Untersuchung des wissenszentrierten Problemlösens im Gebiet der Elektrizitätslehre auf der Grundlage des Experten- Novizen-Vergleichs. Studien zum Physiklernen: Bd. 19. Logos Verlag.
- Hailikari, T. (2009). *Assessing University Students' Prior Knowledge.: Implications for Theory and Practice* [Dissertation]. University of Helsinki, Helsinki.
- Hailikari, T., Nevgi, A. & Lindblom-Ylänne, S. (2007). EXPLORING ALTERNATIVE WAYS OF ASSESSING PRIOR KNOWLEDGE, ITS COMPONENTS AND THEIR RELATION TO STUDENT ACHIEVEMENT: A MATHEMATICS BASED CASE STUDY. *Studies in Educational Evaluation*, 33(3–4), 320–337. <https://doi.org/10.1016/j.stueduc.2007.07.007>
- Hessisches Kultusministerium. (2016a). Bildungsstandards und Inhaltsfelder Physik: Das neue Kerncurriculum für Hessen. Sekundarstufe I. Gymnasium.
- Hessisches Kultusministerium. (2016b). Kerncurriculum gymnasiale Oberstufe.
- Heublein, U., Richter, J. & Schmelzer, R. (2020). DZHW-Brief 03|2020 - Die Entwicklung der Studienabbruchquoten an den deutschen Hochschulen. DZWH Brief(03).
- Heublein, U. & Schmelzer, R. (2018). Die Entwicklung der Studienabbruchquoten an den deutschen Hochschulen. DZWH Projektbericht.
- Kaiser, H. F. (1981). A Revised Measure of Sampling Adequacy for Factor-Analytic Data Matrices. *Educational and Psychological Measurement*, 41(2), 379–381. <https://doi.org/10.1177/0013164448104100216>
- Kaiser, H. F. & Rice, J. (1974). Little Jiffy, Mark Iv. *Educational and Psychological Measurement*, 34(1), 111–117. <https://doi.org/10.1177/0013164447403400115>
- Krause, F. & Reiners-Logothetidou, A. (1981). Kenntnisse und Fähigkeiten naturwissenschaftlich orientierter Studienanfänger in Physik und Mathematik. Die Ergebnisse des bundesweiten Studieneingangstests Physik 1978. Universität Bonn.

- Moosbrugger, H. & Kelava, A. (Hrsg.). (2020).
Lehrbuch. Testtheorie und Fragebogenkonstruktion (3. Aufl.). Springer.
<http://www.springer.com/>
- Müller, J. (2018). Studienerfolg im Fach Physik: Zusammenhang zwischen Modellierungskompetenz und Studienerfolg [Dissertation].
Universität Duisburg-Essen.
- Riese, J., Kulgemeyer, C., Zander, S., Borowski, A., Fischer, H. E., Gramzow, Y., Reinhold, P., Schecker, H. & Tomczyszyn, E. (2015). Modellierung und Messung des Professionswissens in der Lehramtsausbildung Physik. In S. Blömeke & O. Zlatkin-Troitschanskaia (Hrsg.), Zeitschrift für Pädagogik, Beiheft: Bd. 61. Kompetenzen von Studierenden (S. 55–79). Beltz Juventa.
- Saris, W. E. & Gallhofer, I. N. (2014). Design, Evaluation, and Analysis of Questionnaires for Survey Research (Second edition). John Wiley & Sons.
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9781118634646>
<https://doi.org/10.1002/9781118634646>
- Streiner, D. L. (2003). Starting at the beginning: an introduction to coefficient alpha and internal consistency. *Journal of personality assessment*, 80(1), 99–103.
https://doi.org/10.1207/S15327752JPA8001_18
- Werner, C. S. (2014). Explorative Faktorenanalyse: Einführung und Analyse mit R. Universität Zürich, Psychologisches Institut.
<https://www.psychologie.uzh.ch/>

Quantenphysik und Astronomie – mehr als nur bunte Farben?

Tobias Reinsch¹, Lukas Maczewsky², Holger Cartarius³, Ronny Nawrodt¹

¹ 5. Physikalisches Institut, Abt. Physik und ihre Didaktik, Pfaffenwaldring 57, 70569 Stuttgart

² Experimentelle Festkörperphysik, Universität Rostock, Albert-Einstein-Str. 23, 18059 Rostock

³ AG Fachdidaktik der Physik und Astronomie, Friedrich-Schiller-Universität Jena, 07743 Jena

treinsch@pi5.physik.uni-stuttgart.de

Kurzfassung

Die Beobachtung des Sternenhimmels gehört nicht nur zu den ältesten Wissenschaften, sondern bietet einen interessanten Einstieg in moderne Fragestellungen der Physik für Schüler*innen und Studierende. Die Analyse von Stern- und Sonnenspektren bietet einen motivierenden und vielfältigen Einstieg in die Quantenphysik. In diesem Beitrag wird eine unterrichtstaugliche experimentelle Herangehensweise auf Basis einfacher spektroskopischer Messungen der Linien im Sonnenspektrum vorgestellt. Quantenphysikalische Grundkonzepte wie Spin, Wellen- und ferner Teilchencharakter lassen sich damit direkt experimentell aus den Spektren ableiten. Zusätzlich können diskrete Übergänge als Lösungen der Schrödingergleichung hergeleitet werden. Aus der Beobachtung weit entfernter Prozesse in unserem Universum lassen sich also Rückschlüsse auf die mikroskopischen Prozesse quantenmechanischer Natur auf Atomebene schließen und umgekehrt.

1. Einleitung

Die moderne Physik, insbesondere die Quantenphysik, ist aus unserem Alltag nicht mehr wegzudenken. Berichte über Quantencomputer machen regelmäßig Schlagzeilen [1]. Von Kryptografie bis hin zur Problemlösung spezifischer Probleme wird von Erfolgen berichtet. Zumindest Grundbegriffe der Quantenphysik kommen auch bei Schüler*innen an. Um die Quantenphysik in der Schule einzuführen, gibt es unzählige Möglichkeiten. Ein historischer Weg über die Quantenhypothese oder dem Photoeffekt wird traditionell gewählt. Auch ein Einstieg über die Quantenoptik und Einzelphotonenstatistik wird zunehmend populärer [2]. Aufgrund der Komplexität der Experimente und den damit verbundenen hohen Anschaffungskosten ist ein experimenteller Zugang in der Quantenoptik nicht breitflächig realisierbar. Analogieexperimente mit Interferometern lassen sich bereits kostengünstig dem 3D-Drucker erstellen [3]. Nichtklassische Experimente, welche die Quantenphysik veranschaulichen sind hingegen rar. Aus dem Teilbereich der Astronomie lässt sich bereits kostengünstig oder mit vorhandenen Mitteln einer Physiksammlung ein Einstieg in die Quantenphysik umsetzen. Ausgehend von einem breiten Interesse an der Astronomie [4] und einer technisch einfacheren Umsetzbarkeit als über die Quantenphysik, soll folgendes Paper die Möglichkeiten, Vorteile und Einschränkungen eines solchen Zugangs aufzeigen.

2. Herausforderungen in der Didaktik der Quantenphysik

Es gibt gute Gründe, warum in gängigen Physikcurricula eines Studiums die Quantenphysik nicht im ersten Semester vorgesehen ist. Das mag sowohl an der Vielseitigkeit anderer Themen liegen,

aber vor allem an der mathematischen Komplexität, die die Quantenphysik unweigerlich mitbringt. Eigenwertgleichungen, Skalarprodukte und Vektorräume seien an dieser Stelle nur wenige Grundvoraussetzungen, die beherrscht werden müssen. Erschwerend kommt hinzu, dass die Modelle in der Quantenphysik zunehmend komplex und abstrakter als in der klassischen Physik sind. Obwohl Quantencomputer in den Medien präsent sind [1], gibt es keinen wirklichen Alltagsbezug. Phänomene und Prinzipien lassen sich selten direkt ohne aufwendige und teure Experimentsetups beobachten. Quantenphysik lässt sich zwar zur Erklärung von beinahe Allem nutzen, aber nur auf mikroskopischer Ebene. Makroskopisch bereitet die Beobachtung Schwierigkeiten. Trotz der Schwierigkeiten wird die Lehre der Quantenphysik in den Bildungsplänen der Bundesländer gefordert. Im Bildungsplan des Landes Baden-Württembergs Stand 2016 hat die Quantenphysik zum Beispiel seit der jüngsten Neuerung wieder an Umfang zugenommen [5]. Der Fokus wird hierbei explizit auf quantenmechanische Experimente gelegt. Es sollen Aussagen zu diesen getroffen werden und mit Wahrscheinlichkeitsinterpretationen erklärt werden. Die Entwicklung der Bildungspläne aus Baden-Württemberg spiegelt die zunehmende Wichtigkeit moderner Physik für die Gesellschaft wieder. Aufgrund der genannten Schwierigkeiten ist das tiefere Verständnis leistungsfähigeren Schüler*innen oftmals vorbehalten. Ziel eines allgemeinbildenden Gymnasiums sollte eine Grundbildung auch in der Quantenphysik sein. Gesellschaftliche Interessen, aber auch die Forderung nach einer Mündigkeit von jungen Menschen, machen dies erforderlich. Die Kenntnis der Grundzüge der Quantenmechanik kann der gezielten Täuschung durch Halbwissen vorbeugen.

3. Einstieg in die Quantenphysik ab Sekundarstufe II über die Astronomie

Um den Herausforderung der Lehre der Quantenphysik entgegenzuwirken, soll an dieser Stelle ein Einstieg in die Quantenphysik über die Astronomie vorgestellt werden. Dabei wird ein der Fokus auf einen experimentellen Zugang gelegt. Der Einstieg empfiehlt sich aufgrund der nötigen Vorkenntnisse für die Sekundarstufe II. Einige Prinzipien lassen sich jedoch bereits in der Sekundarstufe I andeuten und diskutieren. Im Folgenden sollen nun Themen diskutiert werden, die sich für einen Einstieg in die Quantenphysik über die Astronomie anbieten.

Aus den Absorptionsspektren von Sternen und der Sonne lassen sich nicht nur die Elemente in der Sternatmosphäre nachweisen, sondern auch auf diskrete Übergänge in der Struktur der Energieniveaus der Atome schließen. Das Schalenmodell der Atome wird bereits in der Sekundarstufe I in der Chemie behandelt. Für die Erklärung der Herkunft diskreter Niveaus wird die Quantenphysik benötigt. Aus der Lösung der Schrödingergleichung für das Wasserstoffatom ergeben sich diskrete Werte. Der hierfür notwendige Separationsansatz und die Anwendung von Laguerre-Polynomen wird aus gutem Grund erst im Physikstudium behandelt. Mathematisch geht das deutlich über das Anforderungsniveau eines allgemeinbildenden Gymnasiums hinaus. Dennoch bleibt die Grundidee bestehen. Aus einer postulierten Gleichung, die experimentell sehr gut bestätigt ist:

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \Delta\psi + V\psi = E\psi \quad \{1\}$$

folgt die Quantisierung physikalischer Größen wie Energie E , Drehimpuls L , die durch natürliche Zahlen, den Quantenzahlen, beschrieben werden kann:

$$E_n = -E_R \frac{1}{n^2}, \quad \vec{L}^2\psi = \hbar^2 l(l+1)\psi \quad \{2\}$$

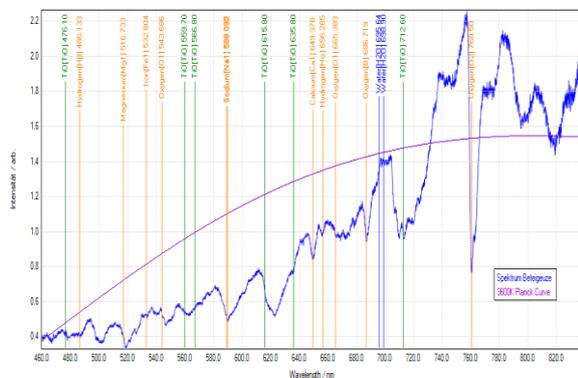


Abb. 1: Spektrum des Sterns Beteigeuze mit Molekülbanden und diskreten Elementlinien. ($f = 500 \text{ mm}$, 10 Bilder mit $t = 374 \text{ ms}$ Belichtungszeit, Transmissionsgitter, CCD)

Die Quantisierung der Energien kann des Weiteren durch das Nachvollziehen der Quantenhypothese experimentell untersucht werden. Auch hierfür sind ausschließlich die Spektren der Sterne als Daten notwendig. Durch Annäherung des Sternenspektrums als schwarzer Strahler kann die Oberflächentemperatur der Sterne abgeschätzt werden. Die zugrundeliegende Formulierung des Planck'schen Strahlungsgesetzes beruht auf der Annahme, dass die Energieabgabe eines schwarzen Strahlers nicht kontinuierlich, sondern als Vielfache der Energie einzelner Lichtquanten abhängig ihrer Frequenz geschieht. Die Quantisierung ist hierbei weniger versteckt als aus der Herleitung aus der Schrödingergleichung. Auch ist die Einführung von Quantenzahlen nicht erforderlich.

Je nach Auflösung des Spektrometers kann des Weiteren die Natrium-D-Linie beobachtet werden. Es handelt sich hierbei um ein prominentes Beispiel einer Feinstrukturaufspaltung, die durch die Spin-Bahn-Wechselwirkung hervorgerufen wird. Der Spin als intrinsische quantenphysikalische Größe kann hier zwar nicht direkt beobachtet werden, aber die Aufspaltung gibt einen Hinweis darauf, dass zu den bisherigen Quantenzahlen weitere Quantenzahlen existieren, die in der klassischen Physik nicht vorkommen.

Die Wellennatur von Photonen kann über die Beobachtung des Dopplereffekts entdeckt werden. So ist mit passenden Messinstrumenten die Beobachtung der Sonnenrotation beobachtbar. Auch die kosmologische Rotverschiebung entfernter Galaxien oder Quasare ist bereits mit einfacher astronomischer Ausrüstung messbar.

4. Experimentelle Umsetzung

Zur Aufnahme eines Sternspektrums ist in einfachster Ausführung ein Transmissionsgitter und eine Kamera (idealerweise eine Spiegelreflexkamera mit großer Objektivöffnung) erforderlich. Auch kann in den Strahlengang eines Teleskops ein Transmissionsgitter und der Body einer Spiegelreflexkamera eingebracht werden. Der Chip wird dann als Projektionsfläche verwendet. Sterne erscheinen uns als Punktquellen, weshalb nicht zwingend ein Spaltspektrometer erforderlich ist. Sollen ausgedehnte Objekte spektroskopiert werden, wird man um die Anschaffung eines Spaltspektrometers nicht herumkommen. Eine schulpraktische Möglichkeit, die auch tagsüber bei nahezu jedem Wetter durchführbar ist, ist die Aufnahme des Sonnenspektrums via USB-Spektrometers. Diese Methode funktioniert auch zuverlässig bei bewölktem Himmel. Absorptionslinien sind direkt auslesbar. Die Fraunhoferlinien können bereits mit einem Handspektroskop beobachtet werden. Eine

Auflösung der Natrium-D-Linie ist damit aber nicht möglich.

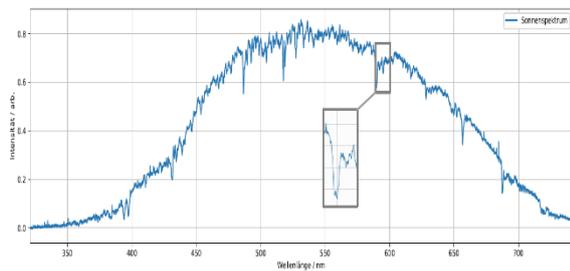


Abb. 2: Spektrum der Sonne aufgenommen an einem bewölkten Tag mit USB-Spektrometer. Die Natrium-D-Doppellinie ist schwach erkennbar.

Die Bestimmung der Sterntemperatur ist zwar mit Daten eines Spektrometers möglich, aber erfordert einiges an Geschick und ist je nach Stern sehr ungenau. Eine sehr kostengünstige Variante, die wiederum mit einer

Spiegelreflexkamera umsetzbar ist, ist die Bestimmung des sogenannten Farbindex. Dabei handelt es sich um einen Helligkeitsindex, der die Differenz der scheinbaren Helligkeit eines Objektes bei unterschiedlichen Farben angibt. Aus dem Index ist mit Hilfe einer mathematischen Näherung ebenfalls die Sterntemperatur berechenbar. Der theoretische Hintergrund ist das Planck'sche Strahlungsgesetz. Am weitesten verbreitet ist das UBV-System. Für dieses existieren photometrische Farbfilter, die im Bereich von wenigen hundert Euro liegen. Günstiger sind einfache Farbfolien (grün und blau) aus dem Lichttechnikbedarf. Diese stimmen von der Transmission zwar nicht mehr exakt mit dem UBV-System überein, aber bei passender Auswahl sind vergleichbare Transmissionskurven zu finden. Allerdings lässt sich der Farbindex einfacher ohne zusätzliche Filter ermitteln. Hierfür wird nur eine Farbkamera benötigt, die Bilder im Raw-Format abspeichern kann. In komprimierten Bildformaten gehen zu viele erforderliche Daten verloren. Die Transmissionspektren der Farbfilter pro Farbpixel stimmen häufig sehr gut mit den Transmissionsprofilen des UBV-Systems überein. Es genügt ein Bild eines Sterns aufzunehmen. Im Anschluss werden aus der ersten Aufnahme zwei Bilder erstellt. Das erste Bild besitzt nur noch den Grün-Kanal (V) und das zweite Bild nur noch den Blau-Kanal (B). Aus der Integration der Intensität des Sterns pro Bild und aus der anschließend berechneten Differenz lässt sich der B-V-Index ermitteln. Die Bildbearbeitung und Helligkeitsintegration kann über die Freeware Fitswork stattfinden.

Für die direkte Beobachtung des Dopplereffekts ist ein Sonnenteleskop obligatorisch. Dazu gehören passende scharfe Bandpassfilter um den Kontrast zu erhöhen. Aufgrund der kleinen Verschiebung von unter 0,1nm ist ein hochauflösendes Spektrometer erforderlich, wenn ein solches verwendet werden soll. Auch für die Beobachtung der kosmologischen Rotverschiebung wird ein richtiges Teleskop benötigt. Objekte mit großer Rotverschiebung sind entsprechend weit entfernt, weshalb sie zum einen klein erscheinen und sehr lichtschwach erscheinen. Ohne ein nachführbares Teleskop und mehrminütiger Belichtungszeit sind diese nicht zu beobachten.

5. Vor- und Nachteile eines solchen Einstiegs

Ein Vorteil eines solchen Einstiegs ist, wie bereits erwähnt, ein hohes, breites Interesse an der Astronomie unabhängig des Geschlechts der Schüler*innen [4]. Als Unterkategorie der Astronomie knüpft die Astrophysik direkt an das Beobachten an und sucht Erklärungen für die beobachteten Himmelsphänomene. In diesem Konzept werden primär Phänomene beobachtet, die mit der Quantenphysik in Verbindung gebracht werden können, wodurch ein differenziertes Weltbild vermittelt werden kann.

Erste Experimente sind ohne großen finanziellen Aufwand realisierbar. Das Spektrum eines Sterns kann bereits mit einem Transmissionsgitter vor einer Spiegelreflexkamera aufgenommen werden. Einige Schulen verfügen zusätzlich über ein Schulteleskop in der Physiksammlung. Die Beobachtung mit einem Teleskop ist für die meisten Schüler*innen zwar eine neue Erfahrung, dennoch ist das Funktionsprinzip eines Teleskops einfacher verständlich als ein Interferometer mit Einzelphotonenmessungen und möglicherweise von Ferngläsern bereits bekannt.

Nachteile der Himmelsbeobachtung sind schlechte Wetter- und Lichtverhältnisse und ein größerer Aufwand durch eine außerunterrichtliche Veranstaltung. Sollen die Daten vielseitiger und höherwertiger werden liegen die Anschaffungskosten zusätzlich schnell im Bereich mehrerer tausend Euro. Ein möglicher Ausweg können Originaldaten modernster terrestrischer Teleskope und Weltraumteleskope sein, die kostenlos von der ESA (siehe ESASky [6]) oder der NASA [7] bereitgestellt werden. Rohdaten und aufgearbeitete Daten der großen Messinstrumente von Gaia bis Hubble oder dem Spitzer-Teleskop sind dort archiviert und abrufbar. Es existieren Daten von allen Himmelsbereichen und sämtlichen Spektralbereichen frei zugänglich in genannten Archiven. Mit diesen Daten lassen sich auch neue wissenschaftliche Erkenntnisse gewinnen. Hierfür ist jedoch eine umfassende Datenanalyse erforderlich, was wiederum nur mit leistungsstarken Rechnern und thematisch eher im Informatikunterricht umsetzbar ist. Eine Beobachtung auf dem Schulhof dient

hingegen zur reinen Lehre und bietet gegenüber der reinen Datenanalyse durch die direkte Arbeit an einem Teleskop die Möglichkeit zum Erlernen praktischer Kompetenzen.

6. Erforderliche Vorkenntnisse

Um den Messprozess eines Teleskops und einer Fotokamera zu verstehen sind grundlegende optische Kenntnisse erforderlich. Dies umfasst die Ausbreitung von Licht, die Strahlenoptik in Linsen, die Lichtbrechung und -beugung. Um diskrete Energieniveaus zu diskutieren ist das Schalenmodell der Atome aus der Chemie Voraussetzung. Dazu gehört auch der Aufbau der Atome mit Atomkern und Elektronen in der Hülle. Auch sollte die Zuordnung einer Schale zu einer spezifischen Energie bereits bekannt sein. Mathematisch ist die Schrödingergleichung auf Operatorebene mit Zeit- und Ortsableitungen auf Schulniveau zu abstrakt. Eine rein qualitative Diskussion kann dennoch stattfinden.

7. Ausblick

Ausgehend von den in der Astronomie erlernten Prinzipien und Techniken lässt sich der Unterrichtsverlauf in Richtung moderner quantenphysikalischer Forschungsobjekte fortsetzen. Über die Untersuchung von Fluoreszenz in Festkörpern lässt sich zum Beispiel auf die Forschung an NV-Zentren in Diamanten leiten. Auch hier treten diskrete Energieniveaus und der Spin mit seiner Wechselwirkung direkt auf, die spektroskopisch untersucht werden können. Kostengünstige Aufbauten zu Experimenten an NV-Zentren kommen mittelfristig auf den Markt [8] und werden auch für Schulen verfügbar sein. NV-Zentren werden bereits in der Sensorik eingesetzt. An ihnen lassen sich die Spinzustände des Systems manipulieren und daraus echte Überlagerungszustände umsetzen. Aktuell wird daran geforscht, wie mit NV-Zentren Quantencomputer aufgebaut werden können. Einzelne Qubits sind mit, für die Forschung geringem, Aufwand bereits aufbaubar. Als Einzelphotonenquelle werden Diamanten mit NV-Zentren bereits eingesetzt. Die erlernten Methoden aus der Astronomie können also passend für die Arbeit an quantenphysikalischen Objekten angewandt werden und sollen keinen Ersatz, sondern vielmehr eine Ergänzung darstellen.

8. Literatur

- [1] Quantencomputer: “Wir sind in einer Übergangsphase“: <https://www.mdr.de/wissen/quantencomputer-stand-quantentechnologien-forschung-foerderung-zukunft-100.html> (Stand 5/2021)
- [2] Bitzenbauer, P. ; Meyn, J.-P. (2020). A new teaching concept on quantum physics in secondary schools. In: Physics Education 55 055031, URL: <https://doi.org/10.1088/1361-6552/aba208>
- [3] 3D-printable Laserlab, S’Cool LAB: <https://scoolab.web.cern.ch/laserlab3D> (Stand 6/22)
- [4] Elster, Doris (2010): Zum Interesse Jugendlicher an den Naturwissenschaften. Ergebnisse der ROSE Erhebung aus Deutschland und Österreich. In: Shaker Verlag, URL: <http://www.shaker.de/de/content/catalogue/index.asp?lang=de&ID=8&ISBN=OND-00000-0000091>
- [5] Bildungsplan Baden-Württemberg für das allgemeinbildende Gymnasium 2016: <http://www.bildungsplaene-bw.de/.Lde/LS/BP2016BW/ALLG/GYM/PH/IK/11-12-BF-QUANTEN/06> (Stand 5/2021)
- [6] Archivübersicht der ESA: https://www.esa.int/About_Us/ESAC/The_archives_a_scientific_treasure_trove (Stand 6/2022)
- [7] NASA Open Data Portal, Überblick der Archive: <https://www.nasa.gov/open/data.html>
- [8] Webseite von Advanced Quantum: <https://www.advanced-quantum.de/products> (Stand 6/2022)

Danksagung

Die vorliegende Arbeit wurde im Rahmen der gemeinsamen Qualitätsoffensive Lehrerbildung von Bund und Ländern aus Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung im Projekt „Lehrerbildung PLUS“ (Förderkennzeichen 01JA1907A) unterstützt. Zusätzlich wird das Projekt durch den IQST-Verbund sowie durch die Carl-Zeiss-Stiftung gefördert.

Vektorielle Feldkonzepte verstehen durch Zeichnen?

Erste Wirksamkeitsuntersuchungen

Larissa Hahn*, Pascal Klein*

*Georg-August-Universität Göttingen, Didaktik der Physik, Friedrich-Hund-Platz 1, 37077 Göttingen
larissa.hahn@uni-goettingen.de

Kurzfassung

Divergenz und Rotation sind (vektorielle) Differentialoperatoren, die als Quell- bzw. Wirbelstärke von Vektorfeldern interpretiert werden können und mit den Integralsätzen von Gauß und Stokes einen zentralen Bestandteil der Vektoranalysis bilden. Im Elektromagnetismus treten sie prominent in den (differentiellen) Maxwell'schen Gleichungen hervor und verbinden beispielsweise elektrische und magnetische Felder mit den physikalischen Größen der lokalen Ladungs- und Stromdichte. Die Integralsätze von Gauß und Stokes führen hier zu Integraldarstellungen dieser Maxwell'schen Gleichungen, den Gesetzen von Gauß und Ampère. Für die physikalische Anwendung ist dabei neben der mathematischen Berechnung vor allem ein konzeptionelles Verständnis dieser Feldkonzepte von Bedeutung, welches Studierenden jedoch im Gegensatz zu algebraischen Berechnungen häufig Schwierigkeiten bereitet. Bisherige Forschungsergebnisse betonen daher die Notwendigkeit zur Förderung des konzeptionellen Verständnisses und zur Verbindung zwischen mathematischem und qualitativem Wissen u. a. durch multi-repräsentationale Zugänge. Zu diesem Zweck stellt dieser Beitrag die Entwicklung multi-repräsentationaler Lernaufgaben zur Vektoranalysis vor, die empirische Forschungsergebnisse zu studentischen Lernschwierigkeiten aufgreifen und Zeichenaktivitäten zur Förderung von Repräsentationskompetenzen integrieren. Neben der theoretischen Fundierung der Materialentwicklung werden Beispiele konkreter Lernaufgaben vorgestellt.

1. Einleitung

Vektorfelder sind integraler Bestandteil der Elektrodynamik und finden darüber hinaus Anwendung in vielen Teilgebieten der Physik, z. B. der (Fluid-) Mechanik. Ebene Vektorfelder im \mathbb{R}^2 können anhand einer Orthonormalbasis aus den kartesischen Einheitsvektoren \hat{e}_x und \hat{e}_y definiert werden, sodass sich die Vektoren des Vektorfeldes durch die Komponentenzerlegung

$$\vec{v}(x, y, z = 0) = v_x(x, y)\hat{e}_x + v_y(x, y)\hat{e}_y \quad \{1\}$$

(x -Komponente v_x und y -Komponente v_y) als Linearkombination der kartesischen Einheitsvektoren darstellen lassen. In der physikalischen Anwendung ist außerdem eine äquivalente Darstellung in nicht-kartesischen Koordinaten, z. B. in Polarkoordinaten

$$\vec{v}(r, \varphi) = v_r(r, \varphi)\hat{e}_r + v_\varphi(r, \varphi)\hat{e}_\varphi, \quad \{2\}$$

häufig von Vorteil. Neben der algebraischen Form werden Vektorfelder typischerweise graphisch mithilfe von Pfeilen dargestellt, die die Richtung und den Betrag des Feldes in jedem Punkt repräsentieren.

Im Zusammenhang mit der Darstellung einer Größe, z. B. einer Geschwindigkeit, als Vektorfeld sind besonders die Eigenschaften des Feldes von Bedeutung für die physikalische Anwendung. So gibt die Divergenz eines ebenen Vektorfeldes $\vec{v}(x, y, z = 0)$

$$\operatorname{div} \vec{v} = \vec{\nabla} \cdot \vec{v} = \frac{\partial}{\partial x} v_x + \frac{\partial}{\partial y} v_y \quad \{3\}$$

mit den partiellen Ableitungen $\frac{\partial}{\partial x}$ und $\frac{\partial}{\partial y}$ Aufschluss über die Quellen und Senken von \vec{v} und seine Rotation

$$\operatorname{rot} \vec{v} = \vec{\nabla} \times \vec{v} = \left(\frac{\partial}{\partial x} v_y - \frac{\partial}{\partial y} v_x \right) \hat{e}_z \quad \{4\}$$

indiziert die Wirbelstärke des Feldes. Mit Blick auf die integrale Darstellung der Maxwell'schen Gleichungen sind diese vektoriellen Feldkonzepte in der Elektrodynamik insbesondere in den Integralsätzen von Gauß,

$$\int_V \operatorname{div} \vec{v} dV = \oint_{\partial V} \vec{v} \cdot d\vec{n} \quad \{5\}$$

(für ein Volumen V mit der Oberfläche ∂V , dem Volumenelement dV und dem Flächendifferential $d\vec{n}$), und Stokes,

$$\int_A \operatorname{rot} \vec{v} \cdot d\vec{n} = \oint_{\partial A} \vec{v} \cdot d\vec{l} \quad \{6\}$$

(für eine Fläche A mit der Randkurve ∂A , dem Flächendifferential $d\vec{n}$ und dem vektoriellen Wegelement $d\vec{l}$), von Bedeutung. Während der Gauß'sche Integralsatz eine Relation zwischen der Divergenz eines Vektorfeldes und dem Fluss durch eine

Randfläche herstellt, verbindet der Stokes'sche Integralsatz die Rotation eines Vektorfeldes mit der Zirkulation entlang einer Randkurve. Diese Sätze sind von großer Relevanz für das Herzstück des Elektromagnetismus, die Maxwell'schen Gleichungen, die die wesentlichen Zusammenhänge und Eigenschaften elektrischer und magnetischer Felder zusammenfassen. Dementsprechend hoch ist die Bedeutung eines fundierten Verständnisses vektorieller Feldkonzepte für das Physikstudium. So ergab eine Studie von Burkholder et al. (2021) einen signifikanten Zusammenhang zwischen einer umfangreichen Vorbereitung der Vektorrechnung und der Leistung von Studierenden in einem Einführungskurs zum Elektromagnetismus. Weitere Forschungsergebnisse zeigten außerdem, dass Studierende kaum Probleme mit den mathematischen Grundlagen der vektoranalytischen Konzepte hatten; die für das physikalische Verständnis relevanten konzeptionellen Hintergründe bereiteten ihnen jedoch Schwierigkeiten (z. B. Bollen et al., 2015; Pepper et al., 2012; Singh & Maries, 2013). Da in der gängigen Praxis häufig formal-abstrakte, mathematische Erklärungsansätze genutzt werden (Smith, 2014), zeigt sich an dieser Stelle die Notwendigkeit neuer Zugänge zu vektoriellen Konzepten und den entsprechenden Integralsätzen.

Während die Darstellung von Vektorfeldern als algebraische Gleichung für quantitative Berechnungen nützlich ist, bieten Vektorfelddiagramme den Vorteil, viele Eigenschaften des Feldes auf einen Blick darzustellen. Im Sinne eines multi-repräsentationalen Ansatzes bietet die Integration von Formeln und Vektorfelddiagrammen in Lernaufgaben zur Vektoranalysis somit die Möglichkeit, die Entwicklung eines umfassenden, sowohl operationalen als auch konzeptuellen, Wissens zu unterstützen. Daher wird in diesem Beitrag die Entwicklung forschungsbasierter, multi-repräsentationaler Lernaufgaben zur Vektoranalysis vorgestellt, die auf der visuellen Interpretation der vektoriellen Feldkonzepte beruht und zudem Zeichenaktivitäten und digitale Tools als fachdidaktische Methoden integriert.

2. Fachdidaktischer Hintergrund

In diesem Abschnitt werden die empirischen und theoretischen Grundlagen für die Entwicklung der Lernaufgaben diskutiert. Zu diesem Zweck werden zunächst bisherige empirische Ergebnisse zu Lernschwierigkeiten im Umgang mit Vektorfeldern und vektoriellen Feldkonzepten zusammengefasst, um anschließend auf Basis des DeFT-Frameworks den Mehrwert multipler Repräsentationen in diesem Zusammenhang zu erläutern.

2.1. Lernschwierigkeiten im Umgang mit Vektorfeldern und vektoriellen Feldkonzepten

Der Repräsentationswechsel zwischen der graphischen Darstellung von Vektorfeldern als Vektorfelddiagramm und der algebraischen Beschreibung als Formel (Gl. 1) bereitet Studierenden zahlreiche Probleme (Bollen et al., 2017). Neben typischen

Schwierigkeiten im Umgang mit Vektoren, die sich vor allem auf die Länge und Richtung der Vektoren oder die Verwendung von Einheitsvektoren beim Skalar- oder Vektorprodukt beziehen (Barniol & Zavala, 2014), fällt Studierenden bei der Konstruktion eines Vektorfelddiagramms anhand eines algebraischen Formelausdrucks vor allem die Vektoraddition schwer (Bollen et al., 2017). Beim umgekehrten Repräsentationswechsel von der graphischen zur algebraischen Form stellt die Wahl eines geeigneten Koordinatensystems (vor allem in nicht-kartesischen Koordinaten, z. B. Gl. 2), die Verwendung von Einheitsvektoren und die Differenzierung zwischen Komponenten und Koordinaten ein Problem dar (Bollen et al., 2017; Gire & Price, 2012).

Neben konzeptionellen Lücken im Umgang mit Vektorfeld-Repräsentationen sind vor allem Lernschwierigkeiten von (Physik-)Studierenden im Umgang mit vektoranalytischen Konzepten Gegenstand aktueller Untersuchungen. Diese ergaben zahlreiche Lücken bezüglich der konzeptionellen Erläuterung der Divergenz und Rotation eines Vektorfeldes. So fanden Bollen et al. (2015), dass nur etwa 20% der Studienteilnehmenden bei der Frage nach einer Interpretation von „ $\vec{v} \cdot \vec{F}$ “ und „ $\vec{v} \times \vec{F}$ “ konzeptionell antworteten, die Mehrheit gaben einen algebraischen Ausdruck an (Baily et al. (2016) und Singh & Maries (2013) berichteten ähnliche Ergebnisse). Im Hinblick auf die graphische Darstellung von Vektorfeldern zeigten weitere Untersuchungen, dass Studierende Schwierigkeiten haben, zu beurteilen, ob ein Vektorfelddiagramm divergenz- bzw. rotationsfrei ist oder nicht (Ambrose, 2004; Bollen et al., 2015; Jung & Lee, 2012; Klein et al., 2018; 2019; Pepper et al., 2012; Singh & Maries, 2013). Außerdem finden sich bei Studierenden z. T. Vorstellungen über Divergenz und Rotation, die einer wörtlichen Übersetzung der Begriffe gleichkommen, wie beispielsweise Divergenz als ein „Auseinanderlaufen“ des Feldes (Baily et al., 2016; Bollen et al., 2016; Pepper et al., 2012) oder Rotation als „Biegung von Vektoren“ (Baily et al., 2016; Bollen et al., 2016; 2018; Jung & Lee, 2012). Weiterhin findet eine lose Assoziation der Divergenz mit Quellen und Senken statt, Rotation wird an der Richtungsänderung der Vektoren festgemacht, sowohl Divergenz als auch Rotation wird als globale Eigenschaften eines Feldes aufgefasst und Physikstudierende verwechseln die Quantitäten der Divergenz und Rotation als Skalar oder Vektor (Baily et al., 2016; Bollen et al., 2018). In einer Untersuchung zu Lernschwierigkeiten von Physikstudierenden bezüglich der Rotation von Vektorfeldern diagnostizierten Jung und Lee (2012) die Lücke zwischen mathematischem und konzeptionellem Wissen (reasoning) als eine Hauptquelle für Verständnisprobleme. Singh und Maries (2013) schlussfolgerten treffend, dass selbst Studierende mit Hochschulabschluss Schwierigkeiten mit den Konzepten der Divergenz und Rotation haben, obwohl sie wissen, wie diese für ein gegebenes Vektorfeld mathematisch berechnet werden.

Mehrere Studien vertieften diese Forschungslinie und identifizierten verschiedene Lernschwierigkeiten, die auch im Umgang mit verschiedenen Vektorfeld-Repräsentationen deutlich wurden, und sich vor allem auf die Vektorkomponentenzerlegung und das Konzept der Kovariation zwischen Feldkomponenten und Koordinaten beziehen. So zeigte sich beispielsweise hinsichtlich der partiellen Vektorableitungen, dass Studierende die Änderung eines Vektorpfeils mit seinem Wert verwechselten (Pepper et al., 2012). Die beschriebenen Schwierigkeiten konnten durch eine Analyse der Blickdaten von Studierenden bei der Betrachtung von Vektorfeld-Diagrammen mittels Eye-Tracking validiert werden (Klein et al., 2018; 2019; 2021). Neben der Divergenz und Rotation von Vektorfeldern sind bei den Integralsätzen von Gauß und Stokes vor allem Weg-, Oberflächen- und Volumenintegrale zentral, welche in ihrer physikalischen Anwendung in der Elektrodynamik zumeist als Summe infinitesimaler Änderungen interpretiert werden. Hier fanden Pepper et al. (2012), dass Studierenden, die einen Kurs zum Elektromagnetismus besuchten, sowohl die Berechnung als auch die Interpretation von Weg-, Oberflächen- und Volumenintegralen als Summe infinitesimaler Änderungen Probleme bereitet.

Verschiedene Studien im Kontext der Elektrostatik und des Elektromagnetismus gingen über die Untersuchung von mathematischen Problemlöseszenarien mit Vektorfeldern und Integralen hinaus. Sie zeigten, dass konzeptionelle Lücken bezüglich vektoranalytischer Inhalte zu einem unsachgemäßen Verständnis und Fehlern bei der Anwendung essentieller Prinzipien in der Physik führten, z. B. in Bezug auf die Maxwell'schen Gleichungen des Elektromagnetismus (Bollen et al., 2015; 2016), das Gauß'sche Gesetz (Li & Singh, 2017) oder bei konservativen (Kraft-)Feldern (Ambrose, 2004; Jung & Lee, 2012).

2.2. Multiple Repräsentationen und Zeichenaktivitäten als fachdidaktische Methoden

Smith (2014) zeigte anhand eines Überblicks über verschiedene physikalische Lehrbücher, dass die Divergenz und der Gauß'sche Integralsatz in einführenden Texten zur Physik in der Regel lediglich als mathematischer Ausdruck gegeben allerdings nicht oder nur unzureichend qualitativ erklärt werden (Smith, 2014). Auch in weiterführenden Physiklehrbüchern findet kaum eine geometrische Erläuterung oder Diskussion vektorieller Feldkonzepte und Integralsätze statt (Smith, 2014). Vor dem Hintergrund der beschriebenen empirischen Forschungsbefunde wird somit die Relevanz und Notwendigkeit neuer Interventionen, die ein konzeptionelles und visuelles Verständnis adressieren, umso deutlicher. In den aufgeführten Arbeiten wird hierfür vor allem die Verwendung visueller Repräsentationen vorgeschlagen. Dies unterstützt den grundsätzlichen didaktischen Konsens zur Förderung der Repräsentationskompetenz, die mit dem Wissenserwerb in Verbindung steht (z. B. Nieminen et al., 2012; Rau, 2017). Das DeFT-

Framework, welches der Charakterisierung multi-repräsentationaler Lernumgebungen dient (Ainsworth, 2006) greift dabei drei zentrale Funktionen multipler Repräsentationen (MRs) auf, die positive Auswirkungen auf die Kognitionsprozesse von Lernenden haben können (Ainsworth, 1999): (i) MRs enthalten ergänzende Informationen oder unterstützen komplementäre kognitive Prozesse (Seufert, 2003); (ii) Verschiedene Repräsentationen können Lernenden helfen, ein besseres Verständnis einer Thematik zu entwickeln, indem eine Repräsentation verwendet wird, um mögliche (Fehl-)Interpretationen einer anderen einzuschränken; (iii) Die Verwendung von MRs ermöglicht ein tieferes Verständnis einer Situation oder eines Konstrukts. Um von MRs profitieren zu können, bedarf es daher Repräsentationskompetenzen, die auf einem Verständnis davon beruhen, wie einzelne Repräsentationen Informationen darstellen, wie sie miteinander in Verbindung stehen und wie eine passende Repräsentation für eine Problemlösung zu wählen ist (Ainsworth, 2006).

Vor diesem Hintergrund entwickelten Bollen et al. (2018) eine fünfteilige, aufgabenbasierte (guided-inquiry) Lehr-Lern-Sequenz zu vektoranalytischen Inhalten der Elektrodynamik mit dem Ziel, die Verbindung zwischen graphischen Vektorfeld-Repräsentationen, algebraischen Berechnungen zur Divergenz und Rotation sowie den Maxwell'schen Gleichungen zu stärken. Empirische Untersuchungen zeigten einen positiven Effekt der Interventionen auf das strukturelle Verständnis der Differentialoperatoren, das konzeptionelle Verständnis der Maxwell'schen Gleichungen und die Fähigkeit der Interpretation von Divergenz und Rotation anhand von Vektorfelddiagrammen bei Physikstudierenden. Darüber hinaus äußerten die Proband:innen überwiegend positives Feedback hinsichtlich des Lernansatzes.

Mit Blick auf die Schwierigkeiten von Studierenden bezüglich der Evaluation vektorieller Feldkonzepte anhand von Vektorfelddiagrammen entwickelten Klein et al. (2018) textbasierte Anweisungen zur visuellen Interpretation der Divergenz, die sich zum einen auf die differentielle Definition anhand der Kovariation von Komponenten und Koordinaten (Gl. 3) und zum anderen auf die integrale Repräsentation über den Fluss durch eine Randfläche im Sinne des Gauß'schen Integralsatzes (Gl. 5) beziehen. In einer experimentellen Folgestudie wurde die Instruktion der differentiellen Strategie zusätzlich durch Hinweise zur Komponentenzerlegung unterstützt und anschließend auf die Rotation eines Vektorfeldes übertragen (Klein et al., 2019; Gl. 4). Empirische Untersuchungen zur Performanz der Studierenden ergaben einen quantitativ gemessenen Zuwachs des konzeptionellen Verständnisses infolge der Interventionen. In anschließenden Interviews äußerten die Proband:innen als Problemquelle vor allem die Komponentenzerlegung (Klein et al., 2018), weshalb eine experimentelle Folgestudie Zeichenaktivitäten zur Unterstützung der visuellen Interpretation der Divergenz

involvierte (Hahn & Klein, 2021; 2022). Hier zeigte sich neben positiven Lerneffekten, dass die Skizzierung der Feldkomponenten die wahrgenommene kognitive Belastung durch die Anwendung der visuellen Strategie zur Beurteilung der Kovariation signifikant reduzieren konnte (Hahn & Klein, 2022). Dieses Ergebnis unterstützt die Forderung von Bollen et al. (2016) nach modernen Unterrichtsszenarien, da der traditionelle Unterricht nicht ausreicht, um ein vollständiges Verständnis von Differentialoperatoren zu ermöglichen. Neben der Unterstützung instruktionsbasierten Lernens durch Zeichenaktivitäten zeigten erste Arbeiten zudem den Mehrwert des Zeichnens beim Lernen mit Simulationen (Kohnle et al., 2020; Wu & Rau, 2018). So können Zeichenaktivitäten während der Nutzung von Simulationen eine Vertiefung des Verständnisses der dargestellten Repräsentation unterstützen und gelten daher als vielversprechender Ansatz beim (multi-repräsentationalen) Lernen in den Naturwissenschaften (Ainsworth et al., 2011; Kohnle et al., 2020; Wu & Rau, 2018).

3. Materialentwicklung

Auf Grundlage bisheriger empirischer Ergebnisse zu Lernschwierigkeiten bezüglich der Vektoranalysis und vor dem Hintergrund der vorgestellten fachdidaktischen Ansätze wird im Folgenden die Entwicklung der Lernaufgaben erläutert. Dafür werden zunächst die wichtigsten Prinzipien der Materialentwicklung beschrieben und anschließend ihre Umsetzung anhand konkreter Beispielaufgaben konkretisiert. Alle weiteren Lernaufgaben sind als zusätzliche Medien beigefügt.

3.1. Prinzipien zur Entwicklung der Lernaufgaben

Im Sinne einer multi-repräsentationalen Lehr-Lern-Umgebung berücksichtigt die Entwicklung der Lernaufgaben die Design-Parameter des DeFT-Frameworks. So konzentrieren sich die Aufgaben auf drei verschiedene heterogene Repräsentationsformen von Vektorfeldern – Formel, Diagramm und schriftliche Beschreibung (Ainsworth, 2006). Diese enthalten z. T. redundante Informationen, z. B. ist die Komponentenerlegung zentraler Bestandteil der Formel- und der graphischen Darstellungsform. Allerdings stehen in den unterschiedlichen Repräsentationsformen verschiedene Eigenschaften und Charakteristika von Vektorfeldern im Zentrum der Darstellung. So fokussiert die Formeldarstellung u. a. das Konzept der Einheitsvektoren und stellt die Eigenschaften eines Vektorfeldes präzise und auf abstrakte Weise dar, während Vektorfelddiagramme eher globale Informationen des Vektorfeldes beinhalten und einen visuellen Zugang zur Kovariation von Komponenten und Koordinaten ermöglichen (Bollen et al., 2018). Schriftliche Beschreibungen und Erläuterungen dienen zudem der Verbindung von algebraischer und graphischer Darstellungsform, indem sie die Korrespondenz der Repräsentationsformen auf semantischer Ebene explizieren und somit eine globale

Kohärenzbildung und die Entwicklung von Repräsentationskompetenzen unterstützen (Seufert & Brücken, 2004).

Der Fokus der Lernaufgaben liegt dabei vor allem auf der visuellen Interpretation der vektoranalytischen Formeln anhand von Vektorfelddiagrammen, welche durch Zeichenaktivitäten und den Einsatz einer Vektorfeld-Simulation unterstützt wird. Die Triangulation dieser Methoden dient zum einen der Visualisierung der Konzepte und fördert zum anderen die Aktivität der Lernenden z. B. durch das Abzeichnen eines Vektorfeldes aus der Simulation, um sicherzustellen, dass auf zentrale Eigenschaften geachtet wird (Ainsworth & Scheiter, 2021; Kohnle et al., 2020; Schmidgall et al., 2018). Gleichzeitig unterstützt dieser Ansatz die Verbindung verschiedener Problemlösestrategien, indem z. B. die differentielle und die integrale Definition der Divergenz sowohl getrennt als auch in ihrer Verbindung im Integralsatz von Gauß visuell interpretiert werden.

Die Struktur der Lernaufgaben folgt dem Ansatz der Modelling Instruction (z. B. Padden & Brewe, 2017), indem jede Aufgabe ein vektoranalytisches Konzept thematisiert, bei dem die Repräsentationsformen für die Entwicklung eines konzeptuellen Verständnisses koordiniert eingesetzt werden. Die Materialien umfassen somit vier Einheiten (Conceptual Models) zur Divergenz von Vektorfeldern, dem Satz von Gauß, der Rotation von Vektorfeldern und dem Satz von Stokes, wobei die Lernaufgaben zum Satz von Gauß bzw. Stokes auf Inhalte der Lernaufgaben zur Divergenz bzw. Rotation zurückgreifen. Neben dieser inhaltlichen Vernetzung der Lernaufgaben folgt die Aufgaben-Sequenz dem Ansatz von Huang et al. (2013), indem die Rotation und der Satz von Stokes auf Basis der Interpretation der Divergenz und des Satzes von Gauß eingeführt werden. Weiter sind die Aufgaben zur Rotation und Divergenz bzw. zum Satz von Gauß und Stokes dem Prinzip „den Unterschied in der Ähnlichkeit suchen“ folgend in paralleler Form konzipiert (Huang et al., 2013). Dabei gilt es, die visuelle Interpretation, z. B. der Kovariation, von der Divergenz auf die Rotation zu übertragen, wobei die Eigenschaften der Rotation als Abgrenzung gegenüber der Divergenz über Unterschiede der Differentialoperatoren ermittelt werden. Analog ergibt sich die Idee des Stokes'schen Integralsatzes, als Überführung eines geschlossenen Wegintegrals über einem Vektorfeld in ein Flächenintegral, aus dem Satz von Gauß durch dimensionale Reduktion und unter Berücksichtigung spezifischer Charakteristika, z. B. der vektoriellen Eigenschaft der Rotation.

Ein zentrales Ergebnis bisheriger Studien war, dass Vektorfelder in nicht-kartesischen Koordinaten Studierende vor große Herausforderungen stellten. Da diese Felder in der physikalischen Anwendung allerdings besonders relevant sind, werden diese in den Lernaufgaben explizit thematisiert, wiederholt aufgegriffen und insbesondere ihre Verbindung mit der Darstellung in kartesischen Koordinaten fokussiert.

3.2. Ausgewählte Beispiele

Im Sinne des DeFT-Frameworks liegt der Fokus der multi-repräsentationalen Lernaufgaben in der Sequenzierung und Unterstützung von Verbindungen zwischen den verschiedenen Repräsentationsformen. Als zentrale Komponente einer Repräsentationskompetenz gilt dabei das Wissen darüber, wie einzelne Repräsentationen Informationen darstellen und wie sie miteinander in Verbindung stehen (Ainsworth, 2006). Aus diesem Grund zielt der erste Teil der Divergenz-Aufgabe auf Darstellungsformen von Vektorfeldern ab:

Zeichnen Sie ein zweidimensionales Vektorfeld $\vec{A}_1(x, y)$, das nur eine x -Komponente besitzt, die von der y -Koordinate abhängt. Geben Sie $\vec{A}_1(x, y)$ in der Form $\vec{A}_1(x, y) = A_{1,x}\hat{e}_x + A_{1,y}\hat{e}_y$ an. Zeichnen Sie dann ein zweidimensionales Vektorfeld $\vec{A}_2(r, \varphi)$, das nur eine von der r -Koordinate abhängige φ -Komponente besitzt und geben Sie es in der Form $\vec{A}_2(r, \varphi) = A_{2,r}\hat{e}_r + A_{2,\varphi}\hat{e}_\varphi$ an.

In dieser Aufgabe werden alle drei Repräsentationsformen thematisiert; die verbale Beschreibung ist in der Aufgabenstellung gegeben, die formale sowie die graphische Repräsentationsform gilt es zu erarbeiten. Durch die Darstellung desselben Vektorfeldes in allen drei Repräsentationsformen liegt der Fokus auf dem Wechsel zwischen den Darstellungen und ihrer Korrespondenz. Außerdem führt die Skizzierung der Felder in die Zeichenaktivitäten der Lernaufgaben ein, bei der auch die Vektorfeld-Simulation zu Hilfe genommen werden kann. In diesem Sinne beginnen auch die übrigen Aufgaben(-teile) zumeist mit der Skizzierung eines Vektorfeldes, um anhand dessen exemplarisch konzeptuelle Zusammenhänge zu untersuchen. So sind bei den Lernaufgaben zur Divergenz und Rotation nach der Definition für ein zweidimensionales Vektorfeld in kartesischen Koordinaten folgende Aufgabenstellungen zu bearbeiten:

Betrachten Sie das Vektorfeld $\vec{B}(x, y)$ mit $\vec{B}(x, y) = -k(x\hat{e}_x + y\hat{e}_y)$ mit $k \in \mathbb{R}$ konstant.

- (1) Skizzieren Sie $\vec{B}(x, y)$ für $k = -1$.
- (2) Wählen Sie einen beliebigen Ort in Ihrer Skizze aus und zeichnen Sie die Feldkomponenten für den Vektor an diesem Ort und für die Vektoren in seiner unmittelbaren Umgebung ein.
- (3) Beurteilen Sie qualitativ anhand Ihrer Skizze, wie sich die Feldkomponenten entlang der Koordinatenrichtungen verändern: Geben Sie also an, ob die partiellen Ableitungen $\frac{\partial}{\partial x}B_x$ und $\frac{\partial}{\partial y}B_y$ positiv, negativ oder Null sind. Folgern Sie aus diesem Ergebnis, ob die Divergenz an dem von Ihnen gewählten Ort positiv, negativ oder Null ist. Überprüfen Sie Ihr Ergebnis mithilfe der Simulation sowie einer Rechnung. [Aufgabe zur Divergenz]

Betrachten Sie das Vektorfeld $\vec{B}(x, y, z)$ mit $\vec{B}(x, y, z) = -y\hat{e}_x + x\hat{e}_y$.

- (1) Skizzieren Sie $\vec{B}(x, y, z)$ in der x - y -Ebene.
- (2) Fügen Sie ein Schaufelrad [als Abbildung eingefügt] an einem beliebigen Ort im Feld ein und zeichnen Sie die Feldkomponenten in der Umgebung des Rades ein. Stellen Sie sich vor, das Vektorfeld interagiere mit dem Rad wie eine Fluid. Markieren Sie die Komponenten des Feldes, die auf das Schaufelrad wirken. Rotiert das Schaufelrad? Begründen Sie!
- (3) Beurteilen Sie anhand Ihrer Skizze, wie sich die Feldkomponenten entlang der Koordinatenachsen verändern: Geben Sie also an, ob die partiellen Ableitungen $\frac{\partial}{\partial y}B_x$ und $\frac{\partial}{\partial x}B_y$ positiv, negativ oder Null sind. Folgern Sie aus diesem Ergebnis, ob die Rotation an dem von Ihnen gewählten Ort Null ist, in positive oder negative \hat{e}_z -Richtung zeigt. Überprüfen Sie Ihr Ergebnis mithilfe der Simulation sowie einer Rechnung. [Aufgabe zur Rotation]

Kern dieser Lernaufgaben ist dabei die Interpretation der Feldkonzepte anhand der partiellen Vektorableitungen (differentielle Strategie; Klein et al., 2018). Da bisherige Untersuchungen zeigten, dass Studierende besondere Schwierigkeiten mit der Komponentenzerlegung und der Kovariation von Komponenten und Koordinaten haben, sollen hier in einem ersten Schritt zunächst die Feldkomponenten skizziert werden, um anschließend die Verbindung mit der formalen Schreibweise herzustellen. In der Parallelität der Aufgaben zeigen sich die Ähnlichkeiten der Feldkonzepte, indem beide auf Veränderungen der Feldkomponenten entlang der Koordinaten beruhen, aber auch ihre Unterschiede. So basiert die Divergenz auf Veränderungen der x -Komponente in x -Richtung bzw. der y -Komponente in y -Richtung, während bei der Rotation Veränderungen der x -Komponente in y -Richtung bzw. der y -Komponente in x -Richtung relevant sind. Die bereits in der Literatur untersuchte qualitative Evaluation der Rotation über das Schaufelrad-Modell unterstützt dabei das Verständnis für den vektoriellen Charakter der Rotation, indem sich das Rad um eine zur x - y -Ebene senkrechte Achse dreht, sofern sich die Feldkomponenten auf die beschriebene Weise ändern (Huang et al., 2013; Jung & Lee, 2012). Dies unterstützt eine erste intuitive Vorstellung der Rotation und dient insbesondere der Verbindung zwischen qualitativem und mathematischem Verständnis (Huang et al., 2013; Jung & Lee, 2012).

Auch bei den Lernaufgaben zu den Integralsätzen von Gauß und Stokes steht diese Verbindung und damit die Vernetzung verschiedener Repräsentationsformen im Fokus. Nachdem in einem ersten Aufgabenteil der Fluss durch eine Fläche bzw. die Zirkulation entlang einer Kurve qualitativ und mathematisch eingeführt wurde, zielt der nachfolgende Aufgabenteil auf die Gleichheit von differentieller und integraler

Strategie anhand eines exemplarischen Vektorfeldes ab. Nach Definition der Integralsätze ist die folgende Aufgabenstellung zu bearbeiten:

Begründen Sie anhand des Beispiels von $\vec{F}(x, y)$ den Zusammenhang zwischen der Änderung von Feldkomponenten und dem Fluss durch Flächen. Fertigen Sie dazu eine Skizze an. [Aufgabe zum Satz von Gauß]

Begründen Sie anhand des Beispiels von $\vec{F}(x, y, z)$ (in der x-y-Ebene) den Zusammenhang zwischen der Änderung von Feldkomponenten und der Zirkulation entlang einer geschlossenen Randkurve. Fertigen Sie dazu eine Skizze an. [Aufgabe zum Satz von Stokes]

Die Parallelität der Aufgaben (Huang et al., 2013) bietet dabei über die Lernaufgaben hinaus Anknüpfungspunkte für weitere (vektoranalytische) Fundamentalsätze (z. B. des Gradienten).

4. Fazit und Ausblick

In einem nächsten Schritt werden die entwickelten Lernaufgaben in die Übungen eines Kurses zum Elektromagnetismus im zweiten Studiensemester implementiert. In einer empirischen Studie wird der (kognitive) Mehrwert von multiplen Repräsentationen beim aufgabenbasierten Lernen vektoranalytischer Inhalte untersucht. Die Aufgaben zielen auf die Förderung der Repräsentationskompetenz und des fachlichen Konzeptverständnisses ab. In einem mixed-methods-Design soll eine Interventionsgruppe (mit multi-repräsentationalen Lernaufgaben) gegenüber einer Kontrollgruppe (mit traditionellen, zumeist rechenbasierten Aufgaben) verglichen werden. Die Ergebnisse dieser Studie dienen der Weiterentwicklung der Lernaufgaben mit dem Ziel, diese perspektivisch mit entsprechender Schulung der Tutor:innen als festen Bestandteil in den Kurs zum Elektromagnetismus zu integrieren.

5. Literatur

- Ainsworth, Shaaron (1999): The functions of multiple representations. In: *Computers and Education*, 33(2), 131-152, [https://doi.org/10.1016/S0360-1315\(99\)00029-9](https://doi.org/10.1016/S0360-1315(99)00029-9)
- Ainsworth, Shaaron (2006): DeFT: A conceptual framework for learning with multiple representations. In: *Learning and Instruction*, 16(3), 183-198, <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2006.03.001>
- Ainsworth, Shaaron; Prain, Vaughan; Tytler, Russell (2011): Drawing to learn in science. In: *Science*, 333(6046), 1096-1097, <https://doi.org/10.1126/science.1204153>
- Ainsworth, Shaaron; Scheiter, Katharina (2021): Learning by drawing visual representations: Potential, purposes, and practical implications. In: *Current Directions in Psychological Science*, 30(1), 61-67, <https://doi.org/10.1177/0963721420979582>
- Ambrose, Bradley S. (2004): Investigating student understanding in intermediate mechanics: Identifying the need for a tutorial approach to instruction. In: *American Journal of Physics*, 72, 453-459, <https://doi.org/10.1119/1.1648684>
- Baily, Charles; Bollen, Laurens; Pattie, Andrew; Van Kampen, Paul; De Cock, Mieke (2016): Student thinking about the divergence and curl in mathematics and physics contexts. In: *Proceedings of the Physics Education Research Conference 2016*, College Park, MD (AIP, New York, 2016), S. 51-54, <https://doi.org/10.1119/perc.2015.pr.008>
- Barniol, Pablo; Zavala, Genaro (2014): Test of understanding of vectors: A reliable multiple-choice vector concept test. In: *Physical Review Special Topics – Physics Education Research*, 10(1), 010121, <https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.10.010121>
- Bollen, Laurens; Van Kampen, Paul; De Cock, Mieke (2015): Students' difficulties with vector calculus in electrodynamics. In: *Physical Review Special Topics – Physics Education Research* 11(2), 020129, <https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.11.020129>
- Bollen, Laurens; Van Kampen, Paul; Baily, Charles; De Cock, Mieke (2016): Qualitative investigation into students' use of divergence and curl in electromagnetism. In: *Physical Review Physics Education Research*, 12(2), 020134, <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.12.020134>
- Bollen, Laurens; Van Kampen, Paul; Baily, Charles; De Cock, Mieke (2017): Student difficulties regarding symbolic and graphical representations of vector fields. In: *Physical Review Physics Education Research*, 13(2), 020109, <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.13.020109>
- Bollen, Laurens; Van Kampen, Paul; De Cock, Mieke (2018): Development, implementation, and assessment of a guided-inquiry teaching-learning sequence on vector calculus in electrodynamics. In: *Physical Review Physics Education Research*, 14(2), 020115, <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.14.020115>
- Burkholder, Eric; Murillo-Gonzalez, Gabriel; Wieman, Carl (2021): Importance of math prerequisites for performance in introductory physics. In: *Physical Review Physics Education Research*, 17(1), 010108, <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.17.010108>

- Gire, Elizabeth; Price, Edward (2012): Graphical representations of vector functions in upper-division E&M. In: *AIP Conference Proceedings*, 1413(1), S. 27-30, <https://doi.org/10.1063/1.3679985>
- Hahn, Larissa; Klein, Pascal (2021): Multiple Repräsentationen als fachdidaktischer Zugang zum Satz von Gauß- Qualitative Zugänge zur Interpretation der Divergenz von Vektorfeldern. In: *PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung, 1*, S. 95-100, Url: <https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phydid-b/article/view/1151>
- Hahn, Larissa; Klein, Pascal (2022): Kognitive Entlastung durch Zeichenaktivitäten? Eine empirische Untersuchung im Kontext der Vektoranalyse. In: *Unsicherheit als Element von naturwissenschaftsbezogenen Bildungsprozessen, Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, virtuelle Jahrestagung 2021*, S. 384-387, Url: https://www.gdcp-ev.de/wp-content/tb2022/TB2022_384_Hahn.pdf
- Huang, Hui; Wang, Jinbao; Chen, Cheng; Zhang, Xiaoqing (2013): Teaching divergence and curl in an Electromagnetic Field course. In: *International Journal of Electrical Engineering Education*, 50(4), 351-357, <https://doi.org/10.7227/IJEEE.50.4.1>
- Jung, Kyesam; Lee, Gyoungcho (2012): Developing a tutorial to address student difficulties in learning curl: A link between qualitative and mathematical reasoning. In: *Canadian Journal of Physics*, 90(6), 565-572, <https://doi.org/10.1139/p2012-054>
- Klein, Pascal; Viiri, Jouni; Mozaffari, Saleh; Dengel, Andreas; Kuhn, Jochen (2018): Instruction-based clinical eye-tracking study on the visual interpretation of divergence: How do students look at vector field plots? In: *Physical Review Physics Education Research*, 14(1), 010116, <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.14.010116>
- Klein, Pascal; Viiri, Jouni; Kuhn, Jochen (2019): Visual cues improve students' understanding of divergence and curl: Evidence from eye movements during reading and problem solving. In: *Physical Review Physics Education Research*, 15(1), 010126, <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.15.010126>
- Klein, Pascal; Hahn, Larissa; Kuhn, Jochen (2021): Einfluss visueller Hilfen und räumlicher Fähigkeiten auf die graphische Interpretation von Vektorfeldern: Eine Eye-Tracking-Untersuchung. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 27, 181-201, <https://doi.org/10.1007/s40573-021-00133-2>
- Kohnle, Antje; Ainsworth, Shaaron; Passante, Gina (2020): Sketching to support visual learning with interactive tutorials. In: *Physical Review Physics Education Research*, 16(2), 020139, <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.16.020139>
- Li, Jing; Singh, Chandralekha (2017): Investigating and improving introductory physics students' understanding of symmetry and Gauss's law. In: *European Journal of Physics*, 39(1), 015702, <https://doi.org/10.1088/1361-6404/aa8d55>
- McPadden, Daryl; Brew, Eric (2017): Impact of the second semester University Modeling Instruction course on students' representation choices. In: *Physical Review Physics Education Research*, 13(2), 020129, <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.13.020129>
- Nieminen, Pasi; Savinainen, Antti; Viiri, Jouni (2012): Relations between representational consistency, conceptual understanding of the force concept, and scientific reasoning. In: *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 8(1), 010123, <https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.8.010123>
- Pepper, Rachel; Chasteen, Stephanie; Pollock, Steven; Perkins, Katherine (2012): Observations on student difficulties with mathematics in upper-division electricity and magnetism. In: *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 8(1), 010111, <https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.8.010111>
- Rau, Martina (2017): Conditions for the effectiveness of multiple visual representations in enhancing STEM learning. In: *Educational Psychology Review*, 29(4), 717-761, <https://doi.org/10.1007/s10648-016-9365-3>
- Schmidgall, Steffen; Eitel, Alexander; Scheiter, Katharina (2019): Why do learners who draw perform well? Investigating the role of visualization, generation and externalization in learner-generated drawing. In: *Learning and Instruction*, 60, 138-153, <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2018.01.006>
- Seufert, Tina (2003): Supporting coherence formation in learning from multiple representations. In: *Learning and Instruction*, 13(2), 227-237, [https://doi.org/10.1016/S0959-4752\(02\)00022-1](https://doi.org/10.1016/S0959-4752(02)00022-1)
- Seufert, Tina; Brünken, Roland (2004): Supporting coherence formation in multimedia learning. In: *Instructional design for effective and enjoyable computer-supported learning. Proceedings of the first joint meeting of the EARLI SIGs Instructional Design and Learning and Instruction with Computers*, Tübingen, S. 138-147, Url: https://www.iwm-tuebingen.de/workshops/sim2004/pdf_files/Seufert_et_al.pdf
- Singh, Chandralekha; Maries, Alexandru (2013): Core graduate courses: A missed learning

opportunity? In: *AIP Conference Proceedings*, 1513, S. 382-385, <https://doi.org/10.1063/1.4789732>

Smith, Emily (2014): *Student & textbook presentation of divergence*. Master's thesis (Corvallis, OR: Oregon State University), Url: https://ir.library.oregonstate.edu/concern/graduate_thesis_or_dissertations/s7526h05k

Wu, Sally P.; Rau, Martina A. (2018): Effectiveness and efficiency of adding drawing prompts to an interactive educational technology when learning with visual representations. In: *Learning and Instruction*, 55, 93–104, <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2017.09.010>

Anhang

Folgende Medien sind dem Beitrag beigefügt:

- Lernaufgabe „1 Divergenz von Vektorfeldern“
- Lernaufgabe „2 Satz von Gauß“
- Lernaufgabe „3 Rotation von Vektorfeldern“
- Lernaufgabe „4 Satz von Stokes“

Welche Rolle spielt das Mindset beim Studienabbruch im MINT-Studium?

- Eine fächerübergreifende Erhebung im ersten Semester. -

Malte Diederich, Verena Spatz

Didaktik der Physik, TU Darmstadt, Hochschulstraße 12, 64289 Darmstadt
malte.diederich@physik.tu-darmstadt.de

Kurzfassung

Die Studie untersucht bei $N = 201$ MINT-Erstsemesterstudierenden den Zusammenhang von Mindset und fachspezifischem akademischen Selbstkonzept mit Studienabbruch- und -wechselintentionen. Hierbei wurden mit zwei Messungen die Veränderungen in den ersten zwei Monaten des Studiums ermittelt. Das Mindset wurde hierbei mit allgemeinen und fachspezifischen Facetten operationalisiert. Die Auswertung bestätigt eine Entwicklung hin zu einem Fixed Mindset bzw. einem niedrigerem akademischen Selbstkonzept bei einem hohen Anteil der Studierenden. Es zeigt sich ein signifikanter Zusammenhang zwischen einem fachspezifischen Growth Mindset und geringeren Studienwechselintentionen.

1. Einleitung

Ein Studium aus dem MINT-Bereich (**M**athematik, **I**nformatik, **N**aturwissenschaften und **T**echnik) stellt im Vergleich zur Schule viele neue Herausforderungen an Studierende. Nicht alle Studierenden meistern diese Herausforderungen erfolgreich. Die Abbruchquote liegt hier seit Jahren überdurchschnittlich hoch (Heublein et al., 2020). Bei weiterhin hoher Nachfrage nach Studienabsolvent*innen (Christoph et al., 2017), den gesellschaftlichen Kosten sowie persönlichen negativen Folgen eines Studienabbruchs (Berlingieri et al., 2021) ist dies problematisch.

Ein Studienabbruch wird als mehrdimensionaler und multikausaler Prozess verstanden (Heublein et al., 2017). Eine mögliche Unterstützungsebene liegt hierbei auf der individuell-motivationalen Ebene, denn bereits innerhalb des ersten Semesters wurde ein dramatischer Motivationseinbruch bei einem erheblichen Anteil der Studierenden beobachtet (Dresel und Grassinger, 2013).

In dieser Studie wird die Rolle der Mindset-Theorie nach Dweck (Dweck und Leggett, 1988) in der Eingangsphase eines MINT-Studiums untersucht, um zu einem differenzierteren Verständnis dieses Motivationseinbruchs beizutragen. Daraus folgend kann die Möglichkeit einer Mindset-Intervention evaluiert werden.

2. Theoretische Fundierung

2.1. Mindset nach Dweck

Unter dem Mindset nach Dweck versteht man die Überzeugung, dass persönliche Eigenschaften wie Intelligenz durch Anstrengung, gute Strategien und Unterstützung entwickelbar (Growth Mindset) oder zu einem großen Teil vorherbestimmt und unveränderbar sind (Fixed Mindset) (Yeager und Dweck, 2020). Neben dem Begriff *Mindset* ist die Theorie auch unter dem Namen implizite Theorien, Selbstbild („self-theories“) oder Laientheorie bekannt (Lüftenegger und Chen, 2017). Ähnliche wie eine wissenschaftliche

Theorie bildet das Mindset einen Rahmen, um Vorhersagen zu treffen und die Bedeutung von Ereignissen in der eigenen Welt zu beurteilen (Yeager und Dweck, 2012). Dadurch erschafft es ein Bedeutungssystem („meaning system“), welches einen vielfältigen Einfluss auf das Lernen haben kann. So steht ein Fixed Mindset mit einem stärkeren Fokus auf Leistungs- gegenüber Lernzielen (z.B. „Ich möchte in meinen Kursen lieber gute Noten bekommen als dabei möglichst viel zu lernen.“), einem hilflosen Umgang mit Herausforderungen und Rückschlägen (z.B. „Wenn ich eine Prüfung trotz Anstrengung nicht bestehe, würde ich denken, dass ich einfach nicht begabt bin.“) und einer negativen Konnotation von Anstrengung (z.B. „Je mehr Aufwand man für Aufgaben in Schule und Universität investieren muss, desto weniger begabt ist man vermutlich.“) in Verbindung (Dweck und Yeager 2019, Beispielitems aus Dweck, 1999 und Robins und Pals, 2002).

2.2. Studienwechsel und -abbruch

Ein Studienabbruch verläuft in mehreren Phasen. Bülke et al. (2021) entwickelten hierbei ein fünfstufiges Modell, welches zusätzlich zwischen Studienabbruch und Studienwechsel unterscheidet. Ausgehend von einem Gefühl der nicht Passung („non-fit perception“ – erste Phase) werden die Gedanken bzgl. Studienabbruch bzw. -wechsel bis zur endgültigen Entscheidung immer konkreter. In dieser Studie wird hierbei die erste Phase untersucht.

3. Forschungsstand

3.1. Bedingungsstrukturen

Auch wenn Studienabbruch ein multikausaler Prozess ist, können zentrale Motive identifiziert werden. In einer Befragung von 6029 Exmatrikulierten von Heublein et al. (2017) wurden zu hohe Leistungsanforderungen von 33% der Studierenden (Universität) in Mathematik/Naturwissenschaften (MaNat) und 38% in den Ingenieurwissenschaften (ING) mit Ab-

stand am häufigsten als ausschlaggebender Abbruchsgrund genannt (ebd.). 89% (Ma/Nat) bzw. 86% (ING) der Studienabbrecher*innen gaben an, dass zumindest ein Aspekt von Leistungsproblemen und Überforderung eine Rolle beim Abbruch gespielt hat. Die drei wichtigsten Unterpunkte sind hierbei zu viel Studien- und Prüfungsstoff (53% Ma/Nat bzw. 55% ING), zu hohe Studienanforderungen (55% bzw. 57%) und Zweifel an der persönlichen Eignung für das Studienfach (48% bzw. 47%). Für einen großen Teil der Studienabbrecher*innen zeigen sich diese Schwierigkeiten bereits im ersten Semester. Fachliche Vorkenntnisse sowie Wissen über Zeitmanagement, selbständigem Arbeiten und Lernen sind hier wichtige Prädiktoren für einen erfolgreichen Studieneinstieg. Nur ein Bruchteil der Studierenden nimmt hier Unterstützungsangebote wahr. Die Befundlage zeigt andererseits aber auch, dass nicht wenige Studierende trotz schlechteren Schulnoten und ungünstigerem Vorwissen erfolgreich studieren. (ebd.)

3.2. Mindset und fachspezifisches akademisches Selbstkonzept

Während es sich beim Mindset um eine Überzeugung zur Veränderbarkeit der eigenen Fähigkeiten handelt, stellt das fachspezifische akademische Selbstkonzept (FSK) eine - nicht notwendigerweise realistische - Überzeugung zur Höhe der eigenen Fähigkeiten dar (Dresel und Lämmle, 2017). Das FSK steht in verschiedenen Studien positiv mit der Studienmotivation in Zusammenhang (z.B. Dresel und Grassinger, 2013). Dweck (1999) geht davon aus, dass beide Konstrukte in einer Situation ohne direkte Bedrohung für das Selbstkonzept unabhängig voneinander auftreten. Bei einem Rückschlag käme es aber bei Personen mit Fixed Mindset eher zu einem Einbruch des Fähigkeitsselbstkonzeptes, da der Rückschlag internal z.B. auf eine mangelnde Intelligenz attribuiert würde (ebd.). Andere Autor*innen gehen wiederum von einem positivem Zusammenhang zwischen Growth Mindset und dem akademischen Selbstkonzept aus (Lüftenegger et al., 2021).

Durch den Übergang in das Studium mit einem durchschnittlich höheren Leistungsniveau ist nach dem „big-fish-little-pond effect“ (Marsh, 1987) ein Rückgang des fachspezifischen akademischen Selbstkonzeptes zu erwarten. Dieser Rückgang konnte im universitären Kontext über den Verlauf des ersten Semesters mit mittlerer Effektstärke ($d^2=0,51$) nachgewiesen werden (Dresel und Grassinger, 2013) und hängt mit erhöhten Wechsel- bzw. Abbruchsintentionen zusammen. Aus theoretischen Überlegungen ist zu erwarten, dass das Mindset einen moderierenden Effekt auf diesen Rückgang haben könnte. Ein Growth Mindset könnte demnach eine Art Schutzwirkung vor der Verringerung des fachspezifischen akademischen Selbstkonzeptes entfalten. Gleichzeitig beobachteten Cutts et al. (2010) aber auch eine Entwicklung des Mindsets hin zu einem Fixed Mindset im Verlauf einer Informatikveranstaltung, was vom Limeri et al. (2020a) in der Chemie bestätigt werden

konnte. Mindset und akademische Leistung ständen somit unter den hohen Anforderungen eines MINT-Studiums in einem wechselseitigen Zusammenhang, was die erhoffte Schutzwirkung des Mindsets beeinträchtigen könnte.

Insgesamt ist die Befundlage zum Einfluss des Mindsets auf Studienerfolgs- und -abbruchsquoten im universitären Bereich heterogen. Dies könnte damit zusammenhängen, dass das Mindset typischerweise mit Fragen über die Veränderbarkeit von Intelligenz erhoben wird (Yeager und Dweck, 2020). Neben diesem sehr allgemeinen Ansatz gibt es inzwischen verschiedene Versuche, das Mindset mit fachspezifischen Skalen zu operationalisieren, um so eine höhere Vorhersagekraft zu erreichen. Hierbei wird meistens lediglich das Wort Intelligenz durch einen fachspezifischen Begriff ersetzt (z.B. „chemistry intelligence“ (Limeri et al., 2020b), „programming aptitude“ (Scott und Ghinea, 2014), siehe (Sisk et al. 2018) für eine Übersicht von Mindset-Skalen). Dagegen gibt es bisher nur wenige Ansätze, welche die spezifischen Charakteristika der Mindsets in Bezug auf das eigene Studienfach mit angepassten Skalen abbilden wollen (z.B. Lou und Noels, 2017 für ein Sprach-Mindset). Ausgehend von Interviewstudien (Spatz und Goldhorn, 2021) wurde deshalb für die Physik eine fachspezifische Skala entwickelt, die für Physikstudierende bereits pilotiert und inhaltlich validiert wurde (Diederich und Spatz, 2021; Rehberg et al., 2020). Diese Herangehensweise soll nun mit dieser Studie auf weitere MINT-Bereiche ausgeweitet werden.

4. Forschungshypothesen

Vor dem Hintergrund des dargestellten Forschungsstandes sollen im Projekt GroMM (Growing MINT-Mindsets, gefördert vom BMBF in der Linie „Studienerfolg und Studienabbruch“) folgende Forschungshypothesen überprüft werden:

- a) Das fachspezifische Mindset der Studierenden unterscheidet sich vom allgemeinen Intelligenz-Mindset.
- b) Im Verlauf des ersten Semesters gibt es eine Entwicklung der Mittelwerte hin zu...
 1. einem geringeren fachspezifischen akademischen Selbstkonzept.
 2. einem Fixed Mindset in beiden Operationalisierungen.
- c) Ein Growth Mindset schützt vor einem Rückgang des fachspezifischen akademischen Selbstkonzeptes.
- d) Ein Growth Mindset hängt mit geringeren Studienabbruchs- bzw. Studienwechselintentionen zusammen.

5. Methodik

5.1. Durchführung und Stichprobe

Um diesen Hypothesen nachzugehen wurde im WiSe21/22 eine Onlinebefragung in den Einführungsveranstaltungen der MINT-Studiengänge an der TU Darmstadt zu zwei Zeitpunkten durchgeführt (T1: in der ersten Vorlesungswoche im Okt. 21, T2: nach zwei Monaten Studium im Dez. 21). Den Studierenden wurde dabei zum Teil während der Vorlesungszeit ein Zeitfenster zur freiwilligen Teilnahme ermöglicht oder sie wurden über eine moodle-Nachricht zur Teilnahme aufgefordert. Zum ersten Zeitpunkt wurde der Fragebogen von 824 Studierenden ausgefüllt. Dies entspricht 29% aller Studienanfänger*innen der MINT-Fächer. Unvollständige Datensätze und Studierende, die für jedes Item durchschnittlich weniger als 2 Sekunden benötigten, wurden aussortiert, so dass für T1 805 Fälle berücksichtigt wurden. Zum zweiten Zeitpunkt nahmen 341 Studierende an der Erhebung teil, wovon 338 Fälle berücksichtigt wurden. Über ein Codesystem konnten N = 201 Studierende (59,5% von T2) identifiziert werden, die an beiden Erhebungen teilgenommen haben. Hierbei wurde ein fehlertolerantes Verfahren eingesetzt so dass eine Identifikation des auch dann als erfolgreich angesehen wurde, wenn drei der vier Codes übereinstimmen und zusätzlich in beiden Erhebungen das gleiche Studienfach und das gleiche Geschlecht angegeben wurde. In der Stichprobe sind Studierende (88,5% im ersten Semester eingeschrieben) aus 24 verschiedenen Studiengängen, die mit einem Bachelor of Science abschließen, wobei die größten Gruppen (Wirtschaftsingenieur MB, Informatik, Physik) jeweils etwa 10 % der Stichprobe ausmachen. Die auf diese Weise identifizierte Teilstichprobe, über deren Ergebnisse im Folgenden berichtet wird, stellt gegenüber der zum Zeitpunkt T1 erfassten Grundgesamtheit eine verzerrte Auswahl dar, die deutscher und weiblicher ist und eine bessere Hochschulzugangsberechtigung hat (39% vs. 31% Frauenanteil, 30% vs. 37% keine primäre Bezugsperson mit Hochschulabschluss, 14% vs. 26% keine primäre deutschsprachige Bezugsperson, HZB-Note \bar{x} 1,82 vs. 2,07).

5.2. Erhebungsinstrumente

In der Umfrage wurden fünf verschiedene Konstrukte erhoben: das fachspezifische akademische Selbstkonzept, das fachspezifische Mindset, das Intelligenz Mindset sowie Studienwechsel- und Studienabbruchintentionen. Hierbei wurde jeweils eine Likert-Skala von 1 (stimme überhaupt nicht zu) bis 6 (stimme vollkommen zu) verwendet. Höhere Werte stehen hierbei für eine stärkere Ausprägung des Konstruktes. Beim Mindset stehen höhere Werte für einen Growth Mindset. Inverse Items wurden entsprechend umkodiert.

5.2.1. Mindset

Das Intelligenz Mindset (MS Intel) wurde mit drei negativ formulierten Items über die Veränderbarkeit

von Intelligenz erhoben, die für die Auswertung invertiert wurden (Beispielitem: „Ich kann zwar Neues lernen, aber meine Intelligenz kann ich nicht wirklich ändern.“). Die Items gehen auf Dweck (1999) zurück. Für die Übersetzung ins Deutsche wurde sich hierbei an Spinath und Stiensmeier-Pelster (2001) und der deutschen PISA Erhebung orientiert (OECD, 2019).

Das fachspezifische Mindset (MS Fach) wurde mit einer Skala aus fünf Items erhoben, welche aus der Physik (Rehberg et al., 2020) auf ein allgemeines Studienfach angepasst wurden (Beispielitem: „Ich glaube, manche Leute sind gut in meinem Studienfach und andere werden es nie richtig können, egal wie viel sie dafür lernen.“).

5.2.2. Fachspezifisches Selbstkonzept

Das fachspezifische akademische Selbstkonzept (FSK) wurde von Dresel und Grassinger (2013) übernommen, welche die Skala „Confidence in one’s own intelligence“ (Dweck 1999) auf den Studienkontext angepasst haben. Jedes Item-Paar bestand aus einer Aussage zu einem hohen bzw. einem niedrigen Selbstkonzept, welche als Endpunkt einer 6-Stufigen Antwortskala dargestellt wurden (Beispiel-Item Paar: „Ich habe nicht sonderlich viel Vertrauen in meine Fähigkeiten, die ich in meinem Studiengang benötige.“ - „Ich habe vollstes Vertrauen in meine Fähigkeiten, die ich in meinem Studium benötige.“).

5.2.3. Studienwechsel- /Studienabbruchintention

Für die Studienwechsel- (SWI) bzw. Studienabbruchintention (SAI) wurden zwei getrennte Skalen mit jeweils drei Items aus Bäumle et al. (2021) übernommen (Beispielitem: „Aktuell kommt mir oft in den Sinn, dass [mein Studienfach /ein Studium] nicht gut zu mir passt.“). Durch diese Operationalisierung wird entsprechend des oben erwähnten fünfstufigen Abbruchsmodells die erste Phase („non-fit perception“) erfasst.

6. Auswertung

Tabelle 1 zeigt die deskriptive Statistik der Erhebung. Alle Instrumente zeigen gute Reliabilität (Cronbachs Alpha zwischen ,79 und ,91). Bei den drei Prädiktorvariablen gibt es eine Verschiebung von T1 nach T2 hin zu einem Fixed Mindset bzw. zu einem niedrigen fachspezifischen akademischen Selbstkonzept (**Abb. 1**). Die Studienwechsel- bzw. Studienabbruchintentionen sind in der Stichprobe nach zwei Monaten Studium noch niedrig (Zweifel (Werte > 3) am Studienfach: 32%, an einem Studium insgesamt: 20%).

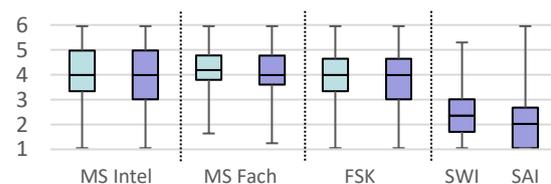


Abb. 1: Boxplots für den Zeitpunkt T1 (hellblau) und T2 (dunkelblau).

Variable	T	M	s	α	Range	Skew
FSK	T1	3,91	1,03	,80	1-6	-,35
	T2	3,79	1,23	,90	1-6	-,50
MS	T1	4,03	1,13	,89	1-6	-,34
Intel	T2	3,88	1,17	,91	1-6	-,22
MS	T1	4,32	0,82	,79	1,6-6	,10
Fach	T2	4,15	0,94	,85	1,2-6	-,23
SWI	T2	2,45	1,00	,84	1-5,3	,78
SAI	T2	2,07	0,96	,83	1-6	,85

Tab. 1: Deskriptive Statistik. N=201, T1: Zu Beginn des Semesters, T2: Nach 2 Monaten im ersten Semester, Variablen: FSK – Fachspez. akad. Selbstkonzept, MS Intel – Intelligenz Mindset, MS Fach – fachspez. Mindset, SWI – Studienwechselintention, SAI – Studienabbruchintention.

6.1. Fachspezifisches und Intelligenz Mindset (Hypothese a)

Die bivariaten Korrelationen zwischen den beiden Mindset-Skalen sind zu beiden Zeitpunkten hoch (Tabelle 5). In einer konfirmatorischen Faktorenanalyse (lavaan-Paket in R) wurde daher der Fit von einem Modell, bei dem alle acht Mindset-Items auf einen Faktor laden, mit einer zweifaktoriellen Struktur verglichen (Tabelle 2). Die Modellgüte kann hierbei mit verschiedenen Kriterien beurteilt werden. Diese liefern alle einen besseren Fit des Zwei-Faktor-Modells. Nach dem χ^2 -Test muss auch das zweifaktorielle Modell abgelehnt werden. Dieses Kriterium ist allerdings abhängig von der Stichprobengröße. Bei dem RMSEA (root mean square error of approximation) liegt der Fit mit 0,07 ebenfalls knapp außerhalb eines guten Fit ($\leq ,06$). Die deskriptiven Kriterien des Standardized Root Mean Square Residual (SRMR) und des Comparative-Fit-Index (CFI) liegen dagegen innerhalb der Grenzwerte für ein Modell mit guter Passung (SRMR $\leq ,05$, CFI $\geq ,95$), sodass das zwei-Faktormodell die empirischen Daten hinreichend gut erklärt. (Döring und Bortz, 2016)

Demnach lässt sich bei den Studierenden ein fachspezifisches Mindset identifizieren, welches sich klar vom Intelligenz Mindset unterscheidet.

Model	df	χ^2	RMSEA	SRMR	CFI
1-Faktor	20	193,1*	,20	,14	,73
2-Faktor	19	38,1*	,07	,04	,97

Tab. 2: Modellgüte des Ein-Faktor- und Zwei-Faktor-Modell für die Mindset-Skalen. N=201. RMSEA root mean square error of approximation ($\leq ,06$) SRMR standardized root mean square residual ($\leq ,05$), CFI comparative fit index ($\geq ,95$), * $p < ,00$ für alle χ^2 -Werte

6.2. Veränderungen im ersten Semester (Hypothese b)

Die Veränderung im fachspezifischen akademischen Selbstkonzept sowie in den beiden Mindsets wurden auf Ebene der Mittelwerte und auf individueller Ebene untersucht (analog zu Dresel und Grassinger, 2013; vergleiche auch Muis und Edwards, 2009).

Hierfür wurde zunächst die differenzielle Stabilität mittels Autokorrelationen berechnet (Tabelle 3). Diese zeigen eine hohe Stabilität über den Zeitraum von zwei Monaten. r' ist hierbei die um die Reliabilität korrigierte Autokorrelation. Das fachspezifische Mindset zeigt demnach die höchste Stabilität.

Variable	R	r'
FSK	0,62	0,73
MS Intel	0,73	0,81
MS Fach	0,73	0,88

Tab. 3: Differenzielle Kontinuität. R gibt die Pearson Autokorrelation zwischen T1 und T2 an. r' ist die durch die geringere Reliabilität nach oben korrigierte Korrelation.

Auf Ebene der Mittelwerte zeigt sich bei allen drei Variablen ein Rückgang (Tabelle 4). Überprüft man dies jeweils mit einem einseitigen t-Test für gepaarte Stichproben, so sind alle Rückgänge signifikant. Hierbei liegt die Effektstärke im kleinen bis mittleren Bereich von 0,16 beim fachspezifischen akademischen Selbstkonzept bis zu 0,41 beim fachspezifischen Mindset. Der Rückgang beim fachspezifischen Mindset hin zu einem Fixed Mindset ist daher am größten. Die Erhebung stärkt demnach Hypothese b).

Variable	Veränderung des Mittelwertes ^a				Veränderung auf individuellem Level ^b		
	$M_{T2} - M_{T1}$	t-Wert	95% Konfidenz	d'	% Decr	% Simi	% Incr
FSK	-0,12	-1,74*	< -0,01	-0,16	31%	42%	27%
MS Intel	-0,15	-2,54**	< -0,05	-0,22	32%	52%	16%
MS Fach	-0,17	-3,54***	< -0,09	-0,41	38%	42%	22%

Tab. 4: N=201, T1: Zu Beginn des Semesters, T2: Nach 2 Monaten im ersten Semester. ^aErgebnisse eines einseitigen t-Tests für gepaarte Stichproben (H1: Abnahme der jeweiligen Variable). Die Effektstärke wurde hierbei mittels $d' = (M_{T2} - M_{T1}) / (s_1 \cdot \sqrt{2 \cdot (1 - r')})$ bestimmt, wobei s_1 die jeweilige Standardabweichung zum Zeitpunkt T1 und r' die korrigierte Autokorrelation ist. * $p < ,05$; ** $p < ,01$; *** $p < ,001$ ^b% Decr = Anteil der Studierenden mit einer Abnahme von $d' = -0,5$ oder mehr. % Incr = Anteil der Studierenden mit analoger Zunahme. % Simi = Anteil der Studierenden mit ähnlichen Werten zu beiden Messzeitpunkten.

Auf individueller Ebene wurde der Anteil der Studierenden berechnet, bei der es eine substantielle Erhöhung oder Verringerung in der jeweiligen Variablen gab. Hierfür wurde eine absolute Veränderung von $d' = 0,50$ als Grenze gewählt, was einer mittleren Effektgröße nach Cohen (1988) entspricht. Hiernach beobachten wir beim fachspezifischen akademischen Selbstkonzept einen Rückgang bei etwa einem Drittel der Studierenden, während es bei etwa 40% keine Veränderung im Verlauf des Semesters gab. Bei einem Viertel der Studierenden gab es sogar eine Zunahme des fachspezifischen akademischen Selbstkonzeptes im ersten Semester. Beim Mindset sieht diese Verteilung ähnlich aus, wobei beim fachspezifischen Mindset auch auf individueller Ebene der stärkste Rückgang zu verzeichnen ist.

6.3. Korrelationsanalyse

Tabelle 5 zeigt die Pearson-Korrelationen zwischen den untersuchten Variablen zu den Zeitpunkten T1 und T2.

6.3.1. Zusammenhang zwischen fachspezifischem akademischem Selbstkonzept und Mindset (Hypothese c)

Zum Zeitpunkt T1 korrelieren beide Mindset-Skalen nur schwach mit dem fachspezifischen akademischen Selbstkonzept (FSK). Die Korrelation zwischen Mindset und FSK ist in der Gesamtstichprobe noch niedriger (N=805, Korrelation mit FSK: fachspezifisches Mindset $r=.01$, Intelligenz Mindset $r=.06$), sodass beide Konstrukte zu Beginn des Studiums als unabhängig betrachtet werden können.

Beide Mindset-Komponenten korrelieren nicht mit der Veränderung des FSK über den Verlauf des Semesters. Die Hypothese, dass ein Growth Mindset zu Beginn des Semesters eine Schutzwirkung vor einem Rückgang im FSK hat, kann somit nicht bestätigt werden.

Zum Zeitpunkt T2 korrelieren dagegen fachspezifisches Mindset und fachspezifisches akademisches Selbstkonzept mit schwacher bis mittlerer Effektstärke. Zu diesem Zeitpunkt hängt daher ein Growth Mindset mit einem hohen fachspezifischen akademischen Selbstkonzept zusammen.

6.3.2. Zusammenhang zwischen Mindset und Studienabbruch- bzw. Studienwechselintentionen (Hypothese d)

Beide Mindset Messungen korrelieren zu beiden Zeitpunkten in die erwartete Richtung mit niedrigeren Studienabbruchs- (SAI) bzw. Studienwechselintentionen (SWI). Hierbei sind die Korrelationen des fachspezifischen Mindsets jeweils höher als die Korrelationen des Intelligenz Mindsets und die Korrelation mit SWI höher als die Korrelationen mit SAI. Alle Korrelationen liegen im schwachen bis mittleren Bereich. Nur die Korrelation zwischen fachspezifischem Mindset und SWI sind statistisch signifikant. Das fachspezifische akademische Selbstkonzept korreliert mit mittlerer Stärke sowohl mit SWI als auch SAI.

Für die Vorhersage der SWI wurde eine hierarchische Regressionsanalyse gerechnet (Tabelle 6). Hierbei wurden die Prädiktoren blockweise hinzugefügt. Block 1 enthält die Kontrollvariablen (HZB-Note,

Variable	T1			T2		
	MS Fach	MS Intel	FSK	MS Fach	MS Intel	FSK
T1						
MS Fach						
MS Intel	.45** [.33, .55]					
FSK	.12 [-.02, .25]	.18* [.04, .31]				
T2						
MS Fach	.73** [.65, .79]	.40** [.28, .51]	.14 [-.00, .27]			
MS Intel	.47** [.36, .58]	.73** [.66, .79]	.14* [.01, .28]	.56** [.45, .64]		
FSK	.12 [-.02, .25]	.12 [-.01, .26]	.62** [.53, .70]	.24** [.10, .36]	.09 [-.05, .22]	
SWI	-.24** [-.36, -.10]	-.08 [-.22, .06]	-.34** [-.46, -.22]	-.25** [-.38, -.12]	-.09 [-.22, .05]	-.57** [-.65, -.46]
SAI	-.08 [-.21, .06]	-.02 [-.15, .12]	-.32** [-.44, -.19]	-.11 [-.24, .03]	-.01 [-.15, .12]	-.40** [-.51, -.28]
FSK T2 – FSK T1	.02 [-.12, .16]	-.03 [-.17, .11]	-.27** [-.40, -.14]	.15* [.01, .28]	-.04 [-.18, .10]	.58** [.49, .67]

Tab. 5: Pearson-Korrelationen. N=201, T1: Zu Beginn des Semesters, T2: Nach 2 Monaten im ersten Semester. [..., ...]: 95% Konfidenzintervall. * $p < .05$; ** $p < .01$. Variablen: FSK – Fachspez. Selbstkonzept, MS Intel – Intelligenz Mindset, MS Fach – fachspez. Mindset, SWI – Studienwechselintention, SAI – Studienabbruchintention, FSK T2 – FSK T1 – Veränderung des fachspez. Selbstkonzeptes.

Geschlecht, primäre Bezugspersonen mit Hochschulabschluss, primäre Bezugspersonen sprechen Deutsch). Block 2 enthält das fachspezifische akademische Selbstkonzept. Block 3 fügt die beiden Mindset-Variablen hinzu.

Aus der Analyse ergeben sich das fachspezifische akademische Selbstkonzept und das fachspezifische Mindset als signifikante Prädiktoren. Das Intelligenz Mindset sagt die SWI nicht voraus. Das fachspezifische Mindset führt dagegen zu einer weiteren Varianzaufklärung von $dR^2=0,03$. Somit kann die Hypothese, dass das Mindset mit geringeren SWI zusammenhängt, für das fachspezifische Mindset bestätigt werden. Für SAI ergeben sich für das Mindset keine signifikanten Zusammenhänge.

Prädiktor	Studienwechselintention	
	dR^2	b
Block 1: Kontrollvariablen	,00	
Geschlecht		-,05
HZB-Note		-,01
Akad. Familienhintergrund		,08
Bezugspersonen sprechen deutsch		-,05
Block 2: FSK	,11	
Fachspez. akad. Selbstkonzept		-,32***
Block 3: Mindset	,03	
Mindset Fachspez.		-,28**
Mindset Intelligenz		,08
R^2 Gesamt	,14	

Tab. 6: N = 201. b gibt die nicht standardisierten Regressionskoeffizienten des vollständigen Modells an. ** $p < ,01$, *** $p < ,001$.

7. Zusammenfassung und Diskussion

In dieser Studie sollte die Rolle des Mindsets beim Studienabbruch- und Studienwechsel im ersten Semester eines MINT-Fachs und hierfür die Unterschiede zwischen einer allgemeinen und einer fachspezifischen Messung des Mindsets untersucht werden (Hypothese a). Aus dem bisherigen Forschungsstand ist eine Entwicklung hin zu einem niedrigeren fachspezifischen akademischen Selbstkonzept (Dresel und Grassinger, 2013) und einem Fixed Mindset (Cutts et al., 2010; Limeri et al., 2020a) über das erste Semester zu erwarten (Hypothese b). Diese Entwicklung wurde sowohl auf Ebene der Mittelwerte als auch auf individueller Ebene untersucht. Hierbei wurde aus theoretischen Überlegungen ein Zusammenhang zwischen einem Fixed Mindset und einem Rückgang des fachspezifischen akademischen Selbstkonzept vermutet (Hypothese c). In einem weiteren Analyseschritt wurde der Zusammenhang mit Studienwechsel- und Studienabbruchintentionen untersucht. Hierbei wurde ein negativer Zusammenhang von Growth Mindset und Studienabbruchs- sowie Studienwechselintentionen vermutet (Hypothese d).

Mit einer konfirmatorischen Faktorenanalyse ließ sich das fachspezifische Mindset klar vom Intelligenz

Mindset trennen, womit Hypothese a) bestätigt werden konnte. Bei der weiteren Analyse erwies sich das fachspezifische Mindset immer als der stärkere Prädiktor gegenüber dem Intelligenz Mindset. Dies ist bedeutend, da das Intelligenz Mindset in sehr vielen Studien verwendet wird und in diesem Fall zum Beispiel keinen signifikanten Zusammenhang mit Studienwechselintentionen zeigt.

Der Rückgang des fachspezifischen akademischen Selbstkonzeptes sowie die Entwicklung zu einem Fixed Mindset konnte in dieser Studie bestätigt werden (Hypothese b), obwohl der Messzeitraum nur zwei Monate betrug. Dies zeigt sich insbesondere in der fachspezifischen Mindset Skala, wo bei fast 40% der Studierenden ein Rückgang von mindestens mittlerer Effektstärke zu beobachten ist. Eine Betrachtung auf individueller Ebene zeigt aber auch, dass es bei etwa einem Viertel der Studierenden eine Entwicklung zu einem Growth Mindset bzw. zu einem höheren fachspezifischen akademischen Selbstkonzept gibt.

Die prognostizierte Schutzwirkung des Mindsets gegenüber einem Rückgang des fachspezifischen akademischen Selbstkonzeptes ließ sich in der Studie nicht bestätigen. So gibt es keine Korrelationen zwischen dem Mindset zu Beginn des Semesters und der Entwicklung des fachspezifischen akademischen Selbstkonzeptes im Semester. Während es zu Beginn des Semesters (wie von (Dweck, 1999) prognostiziert) keinen Zusammenhang zwischen Mindset und dem fachspezifischen akademischen Selbstkonzept gab, zeigte sich nach zwei Monaten ein signifikanter Zusammenhang zur fachspezifischen Facette des Mindsets (These von Lüftenegger et al., 2021). Dies spricht für eine komplexere Wechselwirkung zwischen beiden Konstrukten. Ein Growth Mindset hängt damit mit einem hohen fachspezifischen Mindset innerhalb der Herausforderungssituation des Studieneinstiegs in ein MINT-Studium zusammen. Da sich das Mindset über das Semester stärker verändert als das fachspezifische akademische Selbstkonzept, könnte es die Schutzwirkung nur geben, wenn die Überzeugung von einem Growth Mindset stabil bleibt.

Bezogen auf den Zusammenhang mit Studienabbruch- und -wechselintentionen liefert die Studie heterogene Ergebnisse. Während das fachspezifische akademische Selbstkonzept mit beiden Skalen mit mittlerer Effektstärke korreliert, hängt das Mindset nur in der fachspezifischen Facette und nur mit Studienwechselintentionen zusammen. Hierbei führt das fachspezifische Mindset zu einer zusätzlichen Varianzaufklärung. Die höhere Vorhersagekraft des fachspezifischen akademischen Selbstkonzeptes ist gut zu erklären. Ein geringes Vertrauen in die eigenen Fähigkeiten hängt direkt negativ mit einem Gefühl der Eignung für den eigenen Studiengang zusammen. So korreliert das fachspezifische akademische Selbstkonzept zum Zeitpunkt T2 z.B. sehr hoch mit dem Item „Aktuell fühle ich mich für mein Studienfach

nicht geeignet“ aus der Skala Studienwechselintentionen. Demgegenüber hat das Mindset auch aus theoretischen Überlegungen nicht notwendigerweise negative Folgen für den Studienverlauf. Wenn der Einstieg in das Studium nicht zu großen Schwierigkeiten führt und das Vertrauen in die eigene Begabung weiterhin hoch bleibt, müssen fixe Überzeugungen keine negativen Auswirkungen haben. Erst wenn es zu Rückschlägen und Leistungsschwierigkeiten kommt, könnte ein Fixed Mindset den Studienverlauf negativ beeinflussen.

Bei Studienabbruchintentionen konnte in dieser Studie kein signifikanter Zusammenhang mit dem Mindset festgestellt werden. Hier könnte neben dem oberen Mechanismus hereinspielen, dass ein Fixed Mindset zunächst zu einem Wechsel in ein vermeintlich einfacheres MINT-Fach führt. Hier besteht weiterer Forschungsbedarf.

8. Limitationen

Die Studie weist einige Limitationen auf. So wurde lediglich die Intention zu Studienwechseln bzw. -abbrüchen erhoben, nicht die tatsächliche Entscheidung. Außerdem befindet sich der zweite Messzeitpunkt zu einem frühen Zeitpunkt im ersten Semester. Weitere Studien sollten zusätzliche Messzeitpunkte, besonders nach der Klausurenphase berücksichtigen. Weiterhin differenziert die Studie aufgrund der geringen Gruppengrößen nicht zwischen den einzelnen MINT-Fächern. Es ist zu vermuten, dass es Unterschiede zwischen einzelnen Fächern wie z. B. Mathematik und Biologie gibt, da sich der Grad der Abstraktheit stark unterscheidet. Bei der betrachteten Stichprobe handelt es sich zusätzlich um eine Auswahl, welche sich systematisch von der zu Beginn des Semesters erfassten Grundgesamtheit unterscheidet. Daher bleibt zu prüfen, ob sich die Beobachtungen auf andere Stichproben übertragen lassen. Aus theoretischer Sicht wäre es allerdings überraschend, wenn das Mindset bei Studierenden mit schlechteren Voraussetzungen als in dieser Stichprobe geringere Auswirkungen hätte.

9. Ausblick

Aus unserer Sicht unterstreichen die dargestellten Befunde die Forderung von Dresel und Grassinger (2013) nach Maßnahmen zur Förderung der Motivation zu Beginn des Studiums, um einer Entwicklung des Mindsets zum Fixed Mindset entgegenzuwirken. Die Veränderung des Mindsets in der Anforderungssituation der Studieneingangsphase deutet allerdings auch darauf hin, dass eine Mindset Intervention genau an die Studiensituation angepasst werden muss, da sich die Erfahrungen der Studierenden im ersten Semester ebenfalls auf das Mindset auswirken. So zeigte zum Beispiel eine Intervention bestehend aus einem expliziten Vortrag über das Mindset (McCabe et al., 2020) keinen Erfolg. Dweck betont in ihren neueren Arbeiten (Dweck, 2017) den Dreiklang von Anstrengung, Lerntechniken und Unterstützung für

erfolgreiches Lernen. Zusätzlich zeigt sich, dass eine Mindset Intervention in einer unterstützenden Umgebung, welche Chancen zur Verbesserung lässt, erfolgreicher ist (Yeager und Dweck, 2020).

Vor diesem Hintergrund wird im Rahmen des Projektes derzeit an der Entwicklung einer Mindset Intervention für das WiSe 22/23 gearbeitet, welche nicht nur die Überzeugung fördert, dass man sich in den MINT-Disziplinen durch Anstrengungsbereitschaft immer weiter verbessern kann (Growth Mindset), sondern gleichzeitig Lerntechniken und Unterstützungsmöglichkeiten aufzeigt, die konkret auf den neuen Kontext der Universität bezogen sind. Die Universität bietet hier bereits vielfältige Unterstützungsmöglichkeiten an, welche aber häufig zu wenig genutzt werden (Heublein et al., 2017). Die Mindset-Intervention ersetzt dabei diese Unterstützungsangebote nicht, sondern soll die Voraussetzungen schaffen, dass diese überhaupt wahrgenommen und wirksam werden können. Sie den produktiven Umgang mit Herausforderungen fördern und dabei die Eigenverantwortlichkeit für das Lernen bei den Studierenden stärken, ohne die Universitäten aus ihrer Verantwortung zu entlassen. Der Weg durch ein MINT-Studium ist - abhängig von gesellschaftlichen Faktoren und zusätzlichen Belastungen - für einzelne Studierende unterschiedlich schwer und der Ausgleich von Chancen bleibt ein wichtiges Ziel, welches vielfältige Maßnahmen benötigt. Ein Growth Mindset soll dabei die Überzeugung stärken, dass dieser Weg prinzipiell möglich ist, wenn man sich anstrengt, seine Lernstrategien stetig verbessert und Unterstützungsmöglichkeiten bewusst sucht und annimmt.

10. Literatur

- Bäulke, L.; Grunschel, C.; Dresel, M. (2021): Student dropout at university: a phase-orientated view on quitting studies and changing majors. In: *Eur J Psychol Educ.* DOI: <https://doi.org/10.1007/s10212-021-00557-x>.
- Berlingieri, F.; Heigle, J.; Pfeiffer, F.; Stichnoth, H. (2021): Analysen zu Kosten und Erträgen von Fachwechsel und Studienabbruch. In: M. Neugebauer, H.-D. Daniel und A. Wolter (Hg.): *Studienerfolg und Studienabbruch*. Wiesbaden: Springer VS, 261 - 280.
- Christoph, B.; Leber, U.; Stüber, H. (2017): Einkommen von Bachelor- und anderen Hochschulabsolventen: Höhere Abschlüsse zahlen sich mit dem Alter zunehmend aus. In: *IAB Kurzbericht* (13).
- Cohen, J. (1988): *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. 2. Auflage. New York: Lawrence Erlbaum Associates.
- Cutts, Q.; Cutts, E.; Draper, S.; O'Donnell, P.; Saffrey, P. (2010): *Manipulating Mindset to Positively Influence Introductory Programming Performance*. New York N.Y.: ACM.
- Diederich, M.; Spatz, V. (2021): Validierung eines Mindset-Fragebogens für Physik- (Lehramts-)

- Studierende mittels Interviewstudie. In: *PhyDid B Didaktik der Physik Beiträge zur Frühjahrstagung*. Online verfügbar unter www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/download/1135/1224, zuletzt geprüft am 15.06.2022.
- Dresel, M.; Grassinger, R. (2013): Changes in Achievement Motivation among University Freshmen. In: *Journal of Education and Training Studies* 1 (2). DOI: <https://doi.org/10.11114/jets.v1i2.147>.
- Dresel, M.; Lämmle, L. (2017): Motivation. In: T. Götz (Hg.): *Emotion, Motivation und selbstreguliertes Lernen*. 2., aktualisierte Auflage. Paderborn: Ferdinand Schöningh, S. 79–142.
- Dweck, C. (2017): *Mindset - Updated Edition: Changing The Way You think To Fulfil Your Potential*. London: Robinson.
- Dweck, C. S. (1999): *Self-theories. Their role in motivation, personality, and development*. Philadelphia, Pa.: Psychology Press (Essays in social psychology).
- Dweck, C. S.; Leggett, E. L. (1988): A social-cognitive approach to motivation and personality. In: *Psychological review* 95 (2), S. 256–273. DOI: <https://doi.org/10.1037/0033-295X.95.2.256>.
- Dweck, C. S.; Yeager, D. S. (2019): Mindsets: A View From Two Eras. In: *Perspectives on psychological science : a journal of the Association for Psychological Science* 14 (3), S. 481–496. DOI: <https://doi.org/10.1177/1745691618804166>.
- Heublein, U.; Ebert, J.; Hutzsch, C.; Isleib, S.; et al. (2017): Zwischen Studiererwartungen und Studienwirklichkeit. Ursachen des Studienabbruchs, beruflicher Verbleib der -Studienabbrecherinnen und Studienabbrecher und Entwicklung der -Studienabbruchquote an deutschen -Hochschulen. In: *Forum Hochschule* (1).
- Heublein, U.; Richter, J.; Schmelzer, R. (2020): Die Entwicklung der Studienabbruchquoten in Deutschland (DZHW Brief 03|2020). (03). Online verfügbar unter https://www.dzhw.eu/pdf/pub_brief/dzhw_brief_03_2020.pdf, zuletzt geprüft am 15.06.2022.
- Limeri, L. B.; Carter, N. T.; Choe, J.; Harper, H. G.; Martin, H. R.; Benton, A.; Dolan, E. L. (2020a): Growing a growth mindset: characterizing how and why undergraduate students' mindsets change. In: *IJ STEM Ed* 7 (1). DOI: <https://doi.org/10.1186/s40594-020-00227-2>.
- Limeri, L. B.; Choe, J.; Harper, H. G.; Martin, H. R.; Benton, A.; Dolan, E. L. (2020b): Knowledge or Abilities? How Undergraduates Define Intelligence. In: *CBE life sciences education* 19 (1), ar5. DOI: <https://doi.org/10.1187/cbe.19-09-0169>.
- Lou, N. M.; Noels, K. A. (2017): Measuring Language Mindsets and Modeling Their Relations With Goal Orientations and Emotional and Behavioral Responses in Failure Situations. In: *The Modern Language Journal* 101 (1), S. 214–243. DOI: <https://doi.org/10.1111/modl.12380>.
- Lüftenegger, M.; Chen, J. A. (2017): Conceptual Issues and Assessment of Implicit Theories. In: *William & Mary School of Education*.
- Lüftenegger, M.; Holzer, J.; Schober, B. (2021): Implizite Fähigkeitstheorien, akademisches Selbstkonzept und schulisches Wohlbefinden. In: *Unterrichtswiss* 49 (4), S. 567–584. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42010-021-00130-x>.
- Marsh, H. W. (1987): The big-fish-little-pond effect on academic self-concept (79). Online verfügbar unter <https://psycnet.apa.org/record/1988-02830-001>.
- McCabe, J. A.; Kane-Gerard, S.; Friedman-Wheeler, D. G. (2020): Examining the utility of growth-mindset interventions in undergraduates: A longitudinal study of retention and academic success in a first-year cohort. In: *Translational Issues in Psychological Science* 6 (2), S. 132–146. DOI: <https://doi.org/10.1037/tps0000228>.
- Muis, K. R.; Edwards, O. (2009): Examining the stability of achievement goal orientation. In: *Contemporary Educational Psychology* 34 (4), S. 265–277. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2009.06.003>.
- OECD (2019): *Deutschland Ländernotiz Ergebnisse PISA 2018*. Online verfügbar unter https://www.oecd.org/pisa/publications/PISA2018_CN_DEU_German.pdf zuletzt geprüft am 13.07.2022.
- Rehberg, J.; Wilhelm, T.; Spatz, V.; Goldhorn, L. (Hg.) (2020): *Pilotierung eines Mindsetfragebogens mit Physik-(Lehramts-)Studierenden*. Unter Mitarbeit von S. Habig. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik. Wien: Universität Duisburg-Essen. Online verfügbar unter https://www.gdcp-ev.de/wp-content/tb2020/TB2020_397_Rehberg.pdf, zuletzt geprüft am 05.05.2022.
- Robins, R. W.; Pals, J. L. (2002): Implicit Self-Theories in the Academic Domain: Implications for Goal Orientation, Attributions, Affect, and Self-Esteem Change. In: *Self and Identity* 1 (4), S. 313–336. DOI: <https://doi.org/10.1080/15298860290106805>.
- Sisk, V. F.; Burgoyne, A. P.; Sun, J.; Butler, J. L.; Macnamara, B. N. (2018): To What Extent and Under Which Circumstances Are Growth Mindsets Important to Academic Achievement? Two Meta-Analyses. In: *Psychological science* 29 (4), S. 549–571. DOI: <https://doi.org/10.1177/0956797617739704>.

Spatz, V.; Goldhorn, L. (2021): When It's More Difficult, I Just Cram More! An Exploratory Interview Study on Students' Mindsets in Physics. In: *EUR J SCI MATH ED* 9 (3), S. 92–109. DOI: <https://doi.org/10.30935/scimath/10948>.

Spinath, B.; Stiensmeier-Pelster, J. (2001): Implicit theories about the malleability of intelligence and ability. In: *Psychologische Beiträge* (43, 1), S. 53–76.

Yeager, D. S.; Dweck, C. S. (2012): Mindsets That Promote Resilience: When Students Believe That Personal Characteristics Can Be Developed. In: *Educational Psychologist* 47 (4), S. 302–314. DOI: <https://doi.org/10.1080/00461520.2012.722805>.

Yeager, D. S.; Dweck, C. S. (2020): What can be learned from growth mindset controversies? In: *The American psychologist* 75 (9), S. 1269–1284. DOI: <https://doi.org/10.1037/amp0000794>.

Förderung

Das Projekt GROMM wird im Rahmen des Themenfeldes „Präventions- und Interventionsmaßnahmen im Studium zur Reduzierung des Studienabbruchs“ aus Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gefördert.



Ausbildung in drei Dimensionen: Theorie, Praxis, Forschung

Johannes F. Lhotzky*, Nadine Baston⁺, Klaus Wendt*, Marius Harring⁺

*Institut für Physik, Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Staudingerweg 7, 55128 Mainz

⁺Institut für Erziehungswissenschaft, Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Jakob-Welder-Weg 12, 55128 Mainz

lhotzky@uni-mainz.de

Kurzfassung

Im Projekt „Lehr-Lern-Forschungslabore als Orte vertieften Lernens: Das Mainzer Modell kooperativer Lehrerbildung“ der BMBF Qualitätsoffensive Lehrerbildung partizipieren Studierende des gymnasialen Lehramtsstudiengangs im Teilprojekt Physik an Lehr-Lern-Labor-Seminaren. Diese sind an bildungswissenschaftliche Veranstaltungen im Bachelor- und Masterstudiengang gekoppelt. In der fachdidaktischen Lehrveranstaltung werden drei zentrale und empirisch geforderte Aspekte der universitären Lehramtsausbildung in einer Veranstaltung zusammengefügt: Theorieinput, Praxisphase und Forschungsperspektive. Die Veranstaltung umfasst inhaltlich gleichermaßen praxisrelevante Schwerpunkte der Unterrichtsplanung, deren Umsetzung sowie zentrale theoretische und methodische Schwerpunkte, wozu u.a. die Auseinandersetzung mit den Aspekten der kognitiven Aktivierung (Lipowsky, 2007) und des vertieften Lernens (Meyer et al., 2017) auf der Grundlage indikatorenbasierter Videoanalyse gehören. Mithilfe der Videoanalyse gelingt eine enge Verzahnung von Forschung und Theorie mit einem konkreten Bezug zur Praxis und Anwendung. Zur Unterstützung des Analyseprozesses wird eine im Projektkontext entwickelte, interaktive Lehr-Lern-Plattform eingesetzt. Der kooperativ gestaltete Beitrag präsentiert und diskutiert die theoretische Verortung, das Seminarkonzept, konkrete Studierendenergebnisse aus den Lehrveranstaltungen, die im Rahmen von individueller wie auch kooperativer Arbeit mit den bereitgestellten Tools entstanden sind, sowie die Resultate der summativen Evaluation.

1. Einleitung

Das Rahmenprojekt „Lehr-Lern-Forschungslabore als Orte vertieften Lernens: Das Mainzer Modell kooperativer Lehrer:innenbildung“ der Johannes Gutenberg-Universität Mainz existiert bereits seit 2016, wobei in der ersten Förderphase eine Kooperation der Fächer Englisch, Geschichte und Physik mit den Bildungswissenschaften über den Aufbau von Lehr-Lern-Forschungslaboren initiiert worden ist. Der Schwerpunkt der Labore wurde dabei auf die Verbindung von Theorie, Empirie und Praxis gelegt, wobei die Entwicklung und die praktische Erprobung von kognitiv aktivierenden Aufgabenformaten (Lipowsky, 2007) sowie die Vermittlung des Konzeptes des Deeper Learnings (Meyer et al., 2018) im Vordergrund standen. Das Lehr-Lern-Konzept setzt sich dabei sowohl aus der Konzeption konkreter Lehr-Lern-Gelegenheiten an betreuten Schülerexperimentiertagen an der Universität bzw. in Schulen als auch aus einer forschungsorientierten Videoanalyse von Unterrichtsmitschnitten und -materialien aus diesen Laboren zusammen. Als zentraler Aspekt der zweiten Förderphase wurde 2019 zudem eine systematische Ausweitung durch Konzeption, Entwicklung und Einsatz einer interaktiven digitalen und fächerübergreifenden Lehr-Lern-Plattform in der Lehrer:innenbildung betrieben. Bisher haben über alle Projektfächer hinweg insgesamt mehr als 700 Studierende an 51 Lehr-Lern-Forschungslaboren teilgenommen.

Dadurch konnten inzwischen etwa 110 Stunden videografierten Unterricht aufgezeichnet und zu Ausbildungs- und Forschungszwecken zur Verfügung gestellt werden. Damit existiert eine breite Materialvielfalt zu unterschiedlichen und individuellen fachdidaktischen Themen als Grundlage der interaktiven Lehr-Lern-Plattform, die dadurch suggestive aktualisiert und weiterentwickelt wird. Eine eigenständige und kooperative Analyse sowie die Interpretation und Reflexion von videografierten Unterrichtssituationen und -materialien sowohl an Fremd- als auch an Eigenmaterial werden dabei angeregt und befördert, dadurch gezielt die Lehrer:innenprofessionalisierung durch verschiedene Beobachtungsperspektiven.

Ziel der Analysearbeit innerhalb des Seminarkontextes ist es, lernwirksame Unterrichtsmomente zu erkennen, zu analysieren, zu bewerten und (alternative) Handlungsoptionen ableiten zu können. Dieses Konglomerat aus Kompetenzen gilt als entscheidendes Merkmal für professionelles Lehrer:innenhandeln (Blomberg et al., 2013; Steffensky et al., 2015; van Es & Sherin, 2002, 2008). Seit dem Start der Lehr-Lern-Plattform im Sommersemester 2021 konnten mehr als 600 Studierende verschiedener fachdidaktischer und bildungswissenschaftlicher Seminare die Inhalte und Tools der Plattform nutzen oder diese im Rahmen der Anfertigung von Qualifikationsarbeiten einsetzen. Ziel des vorliegenden Beitrages ist die Vorstellung der Plattform und ihrer Einbindung als

Baustein für eine zeitgemäße, kompetenzorientierte und forschend-entwickelnde Veranstaltung der Fachdidaktik im Bachelorstudiengang Physik.

2. Seminarkonzept

Das Teilprojekt Lehr-Lern-Labor Physik präsentiert sich als fachdidaktische Kombinationsveranstaltung für Studierende am Ende des Bachelors of Education, die sich aus Vorlesungs-, Seminar- und Praktikumsanteilen zusammensetzt. Die Studierenden erlernen hierin, Konzepte für einen problemorientierten und forschend-entwickelnden Unterricht zu erstellen, wobei der Fokus auf der Gestaltung von Experimentierumgebungen für Lernende der Sekundarstufe I liegt. Bei der Entwicklung wird Wert auf die fachdidaktische Begründung, Bewertung und Reflexion von fremden, aber auch besonders von eigenen Materialien gelegt. Die Kopplung des Lehr-Lern-Labors Physik mit einer bildungswissenschaftlichen Veranstaltung ermöglicht es dabei, die angestrebte Kombination von Theorieinput, Forschungsperspektive und Praxisphasen optimal umzusetzen und aus der Sicht der Fachdidaktik und Bildungswissenschaft zu beleuchten. Die Konzeption, Durchführung und Evaluation eines forschend-entwickelnden naturwissenschaftlichen Unterrichts mit dem Schwerpunkt auf kognitiver Aktivierung und vertieftem Lernen bilden in diesem Zusammenhang das Zentrum der Lehrveranstaltung. Nachdem die Studierenden entsprechende videografierte Unterrichtsminiaturen auf der Lehr-Lern-Plattform gesichtet und analysiert haben, machen sie anschließend eigene Praxiserfahrungen in konkreten Lehr-Lern-Situationen.

Die Physik-Veranstaltung gliedert sich in eine vierteilige Struktur (s. Abb. 1). In der ersten Phase erhalten die Studierenden theoretischen Input und explorieren die Konzepte der kognitiven Aktivierung und des vertieften Lernens. Die darauffolgende Anwendungsphase baut auf dieser theoretischen Grundlage auf, indem Unterrichtsplanung an einem Beispiel erarbeitet, Übungen zur konkreten Durchführung erstellt und die vorgegebene Planung analysiert wird. In der anschließenden Praxisphase werden die Studierenden selbstständig in der Konzeption eigenen Unterrichts, in der Testung von Prototypen sowie in der Erprobung mit Schüler:innen aktiv. Den Abschluss bilden ausführliche Reflexionsphasen. Hierin erfolgen eine deduktiv/induktive Bewertung der Unterrichtsminiaturen sowie die Extraktion von Aussagen für die Praxis. Der Schwerpunkt liegt dabei auf den Dimensionen der Gelingensfaktoren der personalen und materialen Unterrichtsgestaltung (Leisen, 2014).

Die Erarbeitung und Anwendung von theoriebezogenen Indikatoren zur Unterrichtsanalyse stellen methodische Arbeitsschritte dar, die parallel zur Durchführung erarbeitet werden. Als zentrales Werkzeug wird dazu die Lehr-Lern-Plattform zur Analyse von Transkripten, Begleitmaterialien, Videosequenzen und Screen-Records aus den Lehr-Lern-Laboren der un-



Abb. 1: Überblick zum Seminarkonzept

terschiedlichen Fächer herangezogen. Damit wird unter anderem auch ein multimedialer Zugang zu kooperativen Analyseprozessen von Unterrichtsszenen eröffnet. Zudem bietet die Plattform eine breite Auswahl von empirischem Datenmaterial für die Anfertigung von Qualifikations- und Abschlussarbeiten.

Das Wissen über grundlegende Inhalte in Theorie und Praxis der Fachdidaktik Physik, über theoretische Grundlagen in den Bildungswissenschaften, über das Angebots-Nutzungs-Modell nach Helmke und über die Basisdimensionen guten Unterrichts ist bei den Studierenden bereits vorhanden. Auf dieser theoretischen Grundlage erfolgt in dem Seminarkontext die Analyse des Einsatzes von Fachsprache, der Phasierung der Unterrichtsabschnitte (bspw. Experimentierphase, Ergebnissicherung) oder der personalen und materialen Unterrichtsgestaltung, was durch verbale Impulse und die Gestaltung von Arbeitsaufträgen und Materialien durch die Lehrperson geschieht. Daran schließen sich eine Diskussion und ein Austausch über die jeweiligen Analyseergebnisse an.

Es wird darauf geachtet, dass die resultierten Ergebnisse bei der Konzeption des eigenen naturwissenschaftlichen Unterrichts berücksichtigt werden, was nachfolgend durch Videographie und eine kriteriengeleitete Analyse überprüft wird. Dieser Reflexionszyklus verfolgt das Ziel der Förderung der Analysekompetenz und der Entwicklung eines reflexiven Habitus durch den Transfer der Ergebnisse der Analyse fremden Videomaterials auf das eigene Unterrichtshandeln.

3. Die multimediale Lehr-Lern-Plattform

Bereits in den frühen 2000er Jahren hat sich der Ausdruck „Ne(x)t Generation Learning“ (Brahm & Seufert, 2007) für das Beschreiben von Veränderungen von webbasierten Lernportalen für eigenverantwortliches und selbstgesteuertes Lernen unter Berücksichtigung der vielfältigen Möglichkeiten von digitalen Medien etabliert. Mit der im Projekt entwickelten Lehr-Lern-Plattform soll vor diesem Hintergrund dem Professionalisierungsanspruch des Lehrer:innenberufs nachgekommen und darüber hinaus eine hohe Diversifizierung erzielt werden, indem die Studierenden bei der Unterrichtsanalyse und -reflexion systematisch unterstützt werden. Die Plattform bietet dabei unterschiedliche Funktionen. Diese umfassen (1) die Präsentation von grundlegenden Informationen zum Projekt, (2) die Darstellung der theoretischen Ausgangslage zu den Aspekten der kognitiven Aktivierung (Baumert et al., 2010; Fauth & Leuders, 2018; Lipowsky et al., 2009; Reinmann & Mandl, 2006) und des Deeper Learnings (Imhof & Meyer, 2017; Sliwka & Klopsch, 2022), (3) fachspezifische Ausgestaltungen bis hin zu (4) dem Bereitstellen von Werkzeugen zur Analyse der Videoaufnahmen und der eingesetzten Materialien, die im Rahmen der Lehr-Lern-Forschungslabore aufgezeichnet werden. Darüber hinaus können weitgehend frei konfigurierbare Workspaces in den Lehrveranstaltungen genutzt und von den Lehrpersonen individuell angepasst werden. Um die Video- und Materialanalyse adäquat umsetzen zu können, wurde in enger Zusammenarbeit mit dem Zentrum für Datenverarbeitung der Universität Mainz (ZDV) ein spezifisches Videoanalyseplugin für die bekannte und etablierte Plattform Moodle programmiert, das das Markieren von relevanten videografierten Stellen, das strukturierte Verfassen von Notizen und das Einbinden von Materialien aus Gruppenarbeiten via Ex- und Import unterstützt. Letzteres ermöglicht das kooperative Arbeiten, welches sich im Seminarkontext bewährt hat.

Die Ziele der intensiven Analyse sind das Erkennen und Analysieren von lernwirksamen Unterrichtsmomenten sowie das Herausarbeiten von (alternativen) Handlungsoptionen, was wiederum ein entscheidendes Merkmal für professionelles Lehrer:innenhandeln darstellt (Steffensky et al., 2015; van Es & Sherin, 2002, 2008). Diese Analysephasen können sinnvoll sowohl in Vorbereitungen auf eigene Lehr-Lern-Situationen als auch zur Nachbereitung und Reflexion eingesetzt werden. Um diesem Anspruch gerecht zu werden, offeriert die Plattform ihren Nutzer:innen speziell konzipierte Lerneinheiten in Form von Übungsmodulen zu den Themen der Unterrichtsbeobachtung oder der kriteriengeleiteten systematischen Videoanalyse. Hierdurch soll wiederum eigenständiges und selbstverantwortliches Lernen angeregt werden.

Die ortsunabhängigen, stets verfügbaren und somit für Blended Learning wie auch Flipped Classroom-

Konzepte geeigneten Lerninhalte der Plattform werden den Nutzer:innen mit einer strukturierten Einführung und zahlreichen Unterstützungen präsentiert, damit eine bestmögliche Nutzung gewährleistet wird. Blended Learning wird dabei als eine Methode definiert, die Präsenzveranstaltungen und E-Learning kombiniert (Freyer, 2006, S. 107) und gleichermaßen formelle wie auch selbstgesteuerte Lernprozesse ermöglicht (Erpenbeck et al., 2015, S. 30). Flipped Classroom, das „umgedrehte Klassenzimmer“, ist ein Lehr-Lern-Konzept, das auch in Kombination mit Blended Learning zeit- und ortsunabhängig flexibel umgesetzt werden kann (Lage et al., 2000; Finkenber, 2018). Demzufolge werden aufbereitete Videoaufnahmen sowie komplette Selbstlernmodule, die in die Veranstaltungskonzeption eingebaut werden, als geeignete Flipped-Classroom-Elemente verstanden (Bishop & Verleger, 2013; Du et al., 2014).

Die Wirksamkeit der Einbettung der Plattform und der Nutzen der bereitgestellten Inhalte werden regelmäßig einer Evaluation unterzogen, die sowohl summativ als auch formativ organisiert ist und Elemente wie die Struktur der Module, die technische Umsetzung, die von den Studierenden und Lehrenden gemachten Erfahrungen mit den angebotenen Tools, den Lernerfolg und die Kompetenzsteigerung unter Zuhilfenahme unterschiedlicher Zugänge berücksichtigt.

4. Evaluationskonzept

Die diesem Beitrag zugrundeliegende Untersuchung diente zum einen der praktischen Erprobung der Lernumgebung des Lehr-Lern-Labors Physik sowie zum anderen der Validierung der eingesetzten Instrumente und der Weiterentwicklung des Evaluationskonzeptes. Die Evaluation von E-Learning-Produkten geht auf erste Überlegungen und Ansätze in den 60er Jahren zurück. Seitdem sind zahlreiche Kriterienkataloge, Checklisten, Modelle und Messinstrumente entstanden (Ehlers, Pawlowski & Goertz, 2003; Fricke, 1995, 2002; Gräber, 1991; Kirkpatrick, 1994; Schenkel, 2000; Schott, Krien, Sachse & Schubert, 2000; Squires & McDougall, 1994; Zimmer & Psaralidis, 2000).

In dieser Studie wird das von Ozkan und Koseler (2009) entwickelte Hexagonale E-Learning-Bewertungsmodell (HELAM) als Rahmenmodell zur Evaluation herangezogen. Das HELAM-Modell stellt primär ein Bewertungsmodell zur Beurteilung der Zufriedenheit mit einem E-Learning-System zur Verfügung. Es ermöglicht im Vergleich zu anderen Modellen den Einbezug aller Perspektiven, also der Lehrenden, der Lernenden sowie der technischen und inhaltlichen Aspekte des Lehrmaterials und der technischen Strukturen wie die System- oder Materialqualität. Andere Modelle wiederum konzentrieren sich üblicherweise auf lediglich einen der genannten Aspekte (zum Beispiel ISONorm 9241/110 von Prümper & Anft, 1993; DeLone & McLean, 1992; Fricke, 2004; Fried-

rich, Hron & Hesse, 2001; Grund, Grote & Windlinger, 2003; Gilbert, 2007; Gräber, 1991; Holsapple & Lee-Post, 2006).

Im Rahmen des Hexagonalen E-Learning-Bewertungsmodells (HELAM), welches auf dem Modell von Holsapple et al. (2006) gründet, ist der Erfolg einer E-Learning-Umgebung von zwei übergeordneten Dimensionen abhängig: der sozialen Dimension und der technischen Dimension, die in der konkreten Lernsituation untrennbar miteinander verbunden sind. Erstere umfasst Aspekte wie Motivation, Interesse, Engagement, Zufriedenheit oder bspw. Möglichkeiten des kooperativen Arbeitens. Die zweite Dimension fußt auf den strukturellen Gegebenheiten des Systems und umfasst Aspekte wie Usability, die in einzelne Bausteine aufgeteilt ist, die sich gegenseitig beeinflussen, wie auch im Gesamten. Innerhalb des Modells werden zahlreiche weitere Faktoren aufgeworfen, die im Folgenden anhand der binären Dimensionsstruktur erläutert werden sollen:

(1) soziale Dimension: Perspektive der Studierenden (7 Faktoren), Einstellung und Verhalten der Lehrenden (9 Faktoren) und (2) technische Dimension: Qualität des Systems (11 Faktoren), Qualität der Informationen/Inhalte (11 Faktoren), Qualität der Dienstleistungen, wie etwa Support, (4 Faktoren) sowie weitere unterstützende Strukturen und soziale Aspekte, die sich auf das Gesamtsystem beziehen (4 Faktoren).

Die Subdimension „Perspektive der Studierenden“ enthält zum Beispiel Faktoren wie Selbstwirksamkeit, Freude an der Arbeit mit dem eingesetzten Tool, Einstellungen zu LMS (Learning Management System) oder Lerngewohnheiten. Von den Lehrenden (Einstellung und das Verhalten der Lehrenden) werden Aspekte wie das Antwortverhalten, Fairness, Umgang mit der Technik oder Freude im Umgang mit der Technik erfragt.

Die technische Dimension setzt sich aus Faktoren wie Sicherheit, Usability, Interaktivitätslevel und Bedienbarkeit, welche unter die Systemqualität fallen, sowie aus Aspekten wie Klarheit der Inhalte, Aktualität der bereitgestellten Informationen und Organisation der Inhalte (Qualität der Informationen/Inhalte) zusammen.

Der nachhaltige Erfolg und Nutzen der Lehr-Lern-Plattform sind dabei von allen genannten Faktoren und Dimensionen abhängig. Hierbei ist es essenziell, die Dimensionen unterschiedlich zu übersetzen und entsprechende Instrumente, die speziell auf die Einsatzgebiete und -zwecke ausgerichtet sind, zu entwickeln und einzusetzen. Fricke formulierte bereits im Jahr 2000, dass die Bewertung einer Bildungssoftware nur aus ganzheitlicher Sicht erfolgen kann. Diese Tatsache schließt die alleinige Verwendung von festgelegten Kriterienkatalogen oder Checklisten aus. Demnach sollte die Evaluation eines E-Learning-Produktes als komplexer iterativer Prozess verstanden werden, der alle Perspektiven berücksichtigen muss (Ross & Morrison vgl. Fricke, 2002; Kirkpatrick, 1994).

Ausgehend von den dargestellten Dimensionen und Faktoren wurden für die Pilotstudie insgesamt 27 geschlossene und offene Items entwickelt, die in einen Fragebogen integriert wurden. Die geschlossenen Items, zum Beispiel „Die Website baute sich flüssig auf, es kam zu keinen langen Ladezeiten“ (Aspekt Usability Plattform Allgemein), „Die Arbeitsaufträge haben mir geholfen, den Lerngegenstand zu erschließen“ (Aspekt Einbettung in die Lehrveranstaltung) oder „Das Kodieren mittels des Videoanalyseplugins fiel mir leicht“ (Aspekt Usability Videoanalyseplugin), wurden anhand einer fünfstufigen Likertskala (trifft gar nicht zu bis trifft voll zu) erfasst. Zudem wurden Leitfragen entworfen, die zur Strukturierung der unterstützenden Interviews mit den Lehrenden dienten. Ergänzend zu den bereits vorgestellten Instrumenten wurden Screenrecords und Log-Daten als Ausgangspunkte der Evaluation herangezogen. Mit Hilfe der Log-Daten wurde quantitativ die durchschnittliche Verweildauer der Nutzer:innen innerhalb der Bausteine der Plattform bestimmbar. Die Screenrecords erlaubten hingegen qualitativ einen tieferen Einblick in die Klickbewegungen auf der Oberfläche und geben Hinweise zu Problemlagen und Unklarheiten in der Bedienung und im Userinterface. Folgende Abbildung erlaubt einen Einblick in die eingesetzten Instrumente:

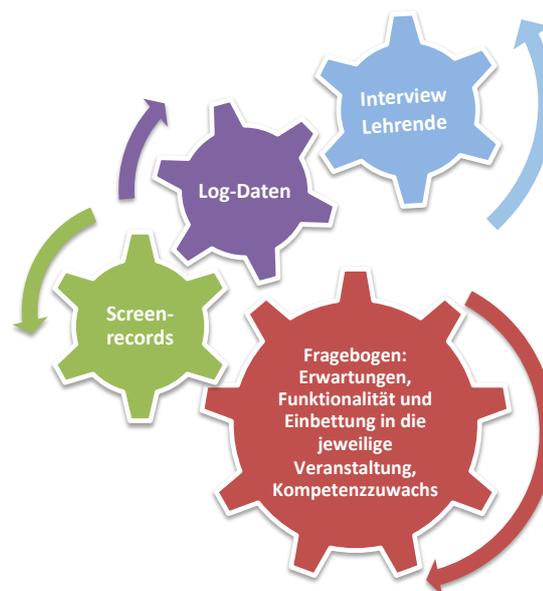


Abb. 2: Zusammenspiel der Evaluationsinstrumente

5. Evaluationsergebnisse

Am Lehr-Lern-Labor Physik haben im pandemiebedingten digitalen Sommersemester 2021 insgesamt 17 Studierende des Bachelors of Education Physik im fünften bzw. sechsten Fachsemester teilgenommen. Die Gruppe hat sich während der Projektarbeit in Kleingruppen (fünf Dreier- und eine Zweiergruppe) aufgeteilt. An der evaluativen Befragung zur Lehr-Lern-Plattform haben kurz nach der Verwendung des zu evaluierenden Tools zehn Studierende der Lehrveranstaltung partizipiert. Insgesamt sind zehn Frage-

bögen- und zwei Screenrecording-Evaluationen sowie eine Lehrendenbefragung zum Einsatz gekommen.

Zur Darstellung der Evaluationsergebnisse wird im Folgenden zunächst eine Begrenzung auf die geschlossenen Fragebogenitems vorgenommen. Zudem werden die Ergebnisse entsprechend der Oberkategorien Usability Plattform, Usability Videoanalyseplugin, Qualität der Inhalte und Einbettung in die Veranstaltung geclustert (s. Tab.1). Auf eine ausführliche Darstellung der Einzelitems inklusive Mittelwerte und Standardabweichungen wird an dieser Stelle verzichtet.

Hauptkategorie	Mittelwert/Standardabweichung (N=10)
Usability Plattform	4.42/0.58
Usability Videoanalyseplugin	4.4/0.73
Qualität der Inhalte	4.37/0.66
Einbettung in die Veranstaltung	4.35/0.72

Tab.1: Auswertung der Daten nach Hauptkategorien

Anmerkung: Aufgrund der geringen Teilnehmer:innenzahl von 10 ergeben sich für die kumulierten Werte hohe Standardabweichungen.

Insgesamt beurteilen die Studierenden die Umsetzung des Plattformkurses als gelungen. Diese Aussage basiert auf den Kategorien der Benutzbarkeit der unterschiedlichen Komponenten und spiegelt sich in der anschließenden, resümierenden Bewertung wider. Dieser Wert wurde mit Hilfe einer Bewertung des Gesamteindrucks anhand von Schulnoten von 1 „sehr gut“ bis 6 „ungenügend“ erfasst (Verteilung der Bewertungen in absoluten Zahlen: 1 „sehr gut“: 1 Studierende:r; 2 „gut“: 8 Studierende, 3 „befriedigend“: 1 Studierende:r). Im Zuge der Auswertung der offenen Items (z.B. „Folgende Punkte halte ich für verbesserungswürdig.“), die vor allem Verbesserungsvorschläge und Problemlagen erfragten, wurden zahlreiche Anregungen zur Verbesserung der Plattform im Allgemeinen, zur Einbindung der Lernumgebung in Veranstaltungen und insbesondere des Videoanalyse-tools gegeben. Es wurde beispielsweise deutlich, dass unter anderem die Einbindung der Plattform in das Seminarkonzept als zu knapp und zu aufwändig wahrgenommen wurde. Dies deckt sich mit Erkenntnissen anderer Studien. Dort wurde festgestellt, dass mit der Einbindung solcher Elemente ein hoher bzw. als „hoch“ wahrgenommener Arbeitsaufwand für Lehrende und Lernende einhergeht, was zudem oftmals durch einen zu geringen Support getriggert wird (Dittrich, 2014; Jensen et al., 2015; Keck & Thomann, 2014; Moran & Milsom, 2015; Rudolph, 2014). Ebenfalls von Bedeutung sind Anmerkungen zu technischen Weiterentwicklungen, etwa zu der manuellen Eingabe von Timecodes oder zu der Verfügbarkeit von weiteren Editiermöglichkeiten, um die Analysemöglichkeiten noch passgenauer an die spezifischen Ausrichtungen der Forschungsarbeiten der

Studierenden zu adaptieren. Demnach steht das Projekt nun zum einen vor der Herausforderung die Nutzer:innenfreundlichkeit, zu erhöhen, was unter anderem Supportkanäle miteinschließt, und zum anderen die Einbindung vor allem in Kurzeinsätze zielführender zu gestalten.

Auf Basis dieser ersten Ergebnisse wurden die eingesetzten Instrumente und auch die Gesamtstruktur der Plattform sukzessive weiterentwickelt, was an das Vorgehen im Design-Based-Research angelehnt wurde, und dementsprechend nach jeder Weiterentwicklung evaluiert. Der Fragebogen enthält seit dem zweiten Einsatz im Wintersemester 2021/2022 47 Items, die unter anderem die Analyse-, Wahrnehmungs- und Reflexionskompetenzen in den Blick nehmen. In einem nächsten Schritt werden die weiteren gewonnenen Daten der zusätzlich eingesetzten Instrumente, der Lehrendenbefragung, der Log-Daten und der Screenrecords ausgewertet und mit den Daten der schriftlichen Befragung zusammengebracht.

6. Fazit und Ausblick

Die physikdidaktische Veranstaltung des Lehr-Lern-Labors gibt Lehramtsstudierenden eine praxisnahe Lernumgebung in Form einer Lehr-Lern-Videoanalyse-Plattform an die Hand, um Unterrichtsprozesse zu planen, zu analysieren und zu reflektieren. Die dazu als Arbeitsbasis ausgewählten und analysierten Videoausschnitte beinhalten reale Unterrichtssequenzen und -prozesse zur Anregung, Analyse und Reflektion. Durch die bereitgestellten Zusatzinformationen, bestehend aus Unterrichtsmaterialien und Forschungsfokussen, verfügen die Studierenden über umfassende Informationen, um die Daten deuten zu können. Die Analyseaufträge sind in die Lernumgebung eingebettet, sodass die Nutzer:innen neben eigenen Analysezugängen auch auf Analyseschwerpunkte zurückgreifen können. Die Videoeinheiten stehen orts- und zeitunabhängig sowie barrierefrei zur Verfügung, sodass die Studierenden zu einem selbst gewählten Zeitpunkt und an einem selbst gewählten Ort Unterrichtsminiaturen analysieren können. Dozierende können über die intuitive und bereits aus Moodle bekannte Benutzer:innenverwaltung Studierende zu den Kurseinheiten zulassen, sie Gruppen zuordnen und ihren Arbeitsprozess begleiten. Die Videodaten und Materialien liegen auf einem geschützten Server der Johannes Gutenberg-Universität Mainz und stehen lediglich intern sowie den Administrator:innen des Zentrums für Datenverarbeitung zur Verfügung, wodurch ein umfassender Schutz der gezeigten Personen gewährleistet wird. Auf Basis des ersten Einsatzes der Plattform im Lehr-Lern-Labor Physik wurden die Tools sukzessive weiterentwickelt, seitdem stringent eingesetzt und regelmäßig evaluiert. Daraus abgeleitete Weiterentwicklungen betreffen das Ziel, die Usability des Plugins, und der gesamten Lernumgebung zu überprüfen, iterativ zu verbessern und einen erweiterten Kompetenzrahmen anzusprechen.

Im Rahmen des Projektes „Lehr-Lern-Forschungslabore als Orte vertieften Lernens: Das Mainzer Modell kooperativer Lehrer:innenbildung“ wird der Einsatz

von Unterrichtsvideographien über die Einbindung der Plattformarbeit in Veranstaltungskonzepte gefördert und unterstützt. Um Effekte in Bezug auf Analyse-, Wahrnehmung- und Reflexionskompetenz zu überprüfen, wurden die Instrumente der Evaluation im Sommersemester 2022 in ein Prä-Post-Design transferiert. Erste Ergebnisse belegen einen Zuwachs der Kompetenzstrukturen. Aus dieser Entwicklung ergeben sich ein großes Potenzial und die Notwendigkeit einer stringenten Weiterentwicklung und Pflege der Plattformstrukturen, um die Studierenden über das komplette Lehramtsstudium hinweg bei der systematischen Analyse von Unterricht bestmöglich zu unterstützen.

7. Literatur

- Baumert, J., Kunter, M., Blum, W., Brunner, M., Voss, T., Jordan, A., Klusmann, U., Neubrand, M. & Tsai, Y.-M. (2010). Teachers' Mathematical Knowledge, Cognitive Activation in the Classroom, and Student Progress. *American Educational Research Journal*, 47 (1), 133–180.
- Bishop, J. L. & Verleger, M. (2013). The flipped classroom: A survey of the research. Paper presented at the 120th ASEE Annual Conference & Exposition, June 23–25, Atlanta, GA.
- Blomberg, G., Renkl, A., Gamoran Sherin, M., Borko, H. & Seidel, T. (2013). Five research-based heuristics for using video in pre-service teacher education. *Journal for Educational Research Online*, 5 (1), 90–114.
- Brahm, T. & Seufert, S. (2007). "Ne(x)t Generation Learning": E-Assessment und E-Portfolio: halten sie, was sie versprechen? St. Gallen: Swiss Center for Innovations in Learning.
- DeLone, W. H. & McLean, E. R. (1992). 'Information systems success: The quest for the dependent variable.' *Information Systems Research*, 3(1): 60–86.
- Du, S. C., Fu, Z. T. & Wang, Y. (2014). The flipped classroom: Advantages and challenges. Paper presented at the International Conference on Economic, Management and Trade Cooperation, April 12–13, Xi'an, China.
- Erpenbeck, J., Sauter, S. & Sauter, W. (2015). *E-Learning und Blended Learning: Selbstgesteuerte Lernprozesse zum Wissensaufbau und zur Qualifizierung*. Berlin: Springer-Verlag.
- Fauth, B. & Leuders, T. (2018). *Kognitive Aktivierung im Unterricht, Wirksamer Unterricht, Band 2*. Stuttgart: Landesinstitut für Schulentwicklung.
- Finkenbergh, F. (2018). *Flipped classroom im physikunterricht*. Bayerische Julius-Maximilians-Universität Würzburg.
- Freyer, S. C. (2006). Blended Learning im Spannungsfeld der verschiedenen Interessen im Unternehmen. Möglichkeiten und Chancen bei der Umsetzung. In S. Ludwigs, U. Timmler & M. Tilke (Hrsg.), *Praxisbuch E-Learning. Ein Reader des Kölner Expertennetzwerkes cel_C* (S. 106–123). Bielefeld: Bertelsmann.
- Fricke, R. (2002). Evaluation von Multimedia. In: Issing, L. J. & Klimsa, P. (Hrsg.), *Information und lernen mit Multimedia*. Weinheim.
- Fricke, R. (2004). Methoden der Evaluation von E-Learning-Szenarien im Hochschulbereich. In D. M. Meister, S.-O. Tergan & P. Zentel (Hrsg.), *Evaluation von E-Learning. Zielrichtungen, methodologische Aspekte und Zukunftsperspektiven* (S. 91–107). Münster: Waxmann.
- Friedrich, H. F., Hron, A. & Hesse, F. W. (2001). A framework for designing and evaluating virtual seminars. *European Journal of Education*, 36(2), 157–174.
- Gierwidz, R. (2015). Neue Medien und Multimedia. In E. Kircher, R. Girwidz & P. Häußler (Hrsg.), *Physikdidaktik* (3. Aufl., S. 402–426). Springer.
- Gräber, W. (1991). Das Instrument MEDA – Ein Verfahren zur Beschreibung, Analyse und Bewertung didaktischer Software im berufsbildenden Bereich. In: Dick, A. (Hrsg.), *AUDIO VISUELL – neue Technologien: gelungene oder misslungene Medialisierung von lernen*, Staatliche Landesbildstelle Hessen. Frankfurt am Main.
- Gross, R. & Marx, A. (2014). *Festkörperphysik* (2. Aufl.). de Gruyter.
- Grund, S., Grote, G. & Windlinger, L. (2003). *CIELT – Concepts and Instruments for Evaluation of Learning Tools*. Zürich: Institut für Arbeitspsychologie der ETH Zürich.
- Holsapple, C. W. & Lee-Post, A. (2006). 'Defining, Assessing, and Promoting E-Learning Success: An Information Systems Perspective.' *Decision Sciences Journal of Innovative Education*, 4(1), 67–85.
- Kirkpatrick, D. L. (1994). *Evaluation Training Programs. The Four Levels*. San Francisco.
- Lage, M. J., Platt, G. J. & Treglia, M. (2000). Inverting the classroom: A gateway to creating an inclusive learning environment. *The Journal of Economic Education*, 31(1), 30–43.
- Leisen, J. (2014). Ein guter Lehrer kann beides: Lernprozesse material und personal steuern. Was sind gute Lehrerinnen und Lehrer, 168–183.
- Lipowsky, F., Rakoczy, K., Pauli, C., Drollinger-Vetter, B., Klieme, E. & Reusser, K. (2009). Quality of geometry instruction and its short-term impact on students' understanding of the pythagorean theorem. *Learning and instruction*, 19(6), 527–537.
- Meyer, O., Imhof, M., Coyle, D. & Banerjee, M. (2018). Positive learning and pluriliteracies. In *Positive learning in the age of information* (S. 235–265). Wiesbaden.

- Ozkan, S. & Koseler, R. (2009). Multi-dimensional students' evaluation of e-learning systems in the higher education context: An empirical investigation. *Computers & Education*, 53(4), 1285–1296.
- Prümper, J., & Anft, M. (1993). Der Fragebogen ISONORM 9241/10 zur Beurteilung der Software-Ergonomie. 26(2), 2006.
- Reinmann, G. & Mandl, H. (2006). Unterrichten und Lernumgebungen gestalten. In A. Krapp & B. Weidenmann (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie* (S. 613–658). Weinheim: Beltz.
- Schenkel, P (Hrsg.) (2000). Qualitätsbeurteilung multimedialer Lern- und Informationssysteme. Evaluationsmethoden auf dem Prüfstand. Nürnberg.
- Schott, E., Krien, E., Sachse, S. & Schubert, T. (2000). Evaluation von multimedialer Lernsoftware auf der Basis von ELISE (1.0). Ein Ansatz zu einer theorie-, adressaten- und anwendungsorientierten Methode zur Evaluation von multimedialen Lern- und Informationssystemen. In: Schenkel, P. (Hrsg.), *Qualitätsbeurteilung multimedialer Lern- und Informationssysteme. Evaluationsmethoden auf dem Prüfstand*. Nürnberg.
- Steffensky, M., Gold, B., Holodynski, M. & Möller, K. (2015). Professional Vision of Classroom Management and Learning Support in Science Classrooms – Does Professional Vision Differ Across General and Content-Specific Classroom Interactions? *International Journal of Science and Mathematics Education*, 13(2), 351–368.
- Squires, D. & McDougall, A. (1994). *Choosing and Using Educational Software: A teachers' guide*. London.
- van Es, E. A. & Sherin, M. G. (2002). Learning to Notice: Scaffolding New Teachers' Interpretations of Classroom Interactions. *Journal of Technology and Teacher Education*, 10(4), 571–596.
- van Es, E. A. & Sherin, M. G. (2008). Mathematics teachers' »learning to notice« in the context of a video club. *Teaching and Teacher Education*, 24(2), 244–276.
- Zimmer, G. & Psaralidis, E. (2000). Der Lernerfolg bestimmt die Qualität einer Lernsoftware! Evaluation von Lernerfolg als logische Rekonstruktion. In P. Schenkel, S.-O. Tergan & A. Lottmann (Hrsg.), *Qualitätsbeurteilung multimedialer Lern- und Informationssysteme. Evaluationsmethoden auf dem Prüfstand*. Nürnberg.

Beeinflusst eine professionsbezogene Lehre der Physik im Studium das schulpraktische Handeln?

Tilmann Steinmetz*, Erich Staraschek*

*PH Ludwigsburg, Reuteallee 46, 71634 Ludwigsburg
tilmann.steinmetz@ph-ludwigsburg.de

Kurzfassung

Der Professionsbezug gilt als wichtiger Aspekt der Physiklehramtsausbildung. Damit verbunden ist u. a. das Ziel, Studierende auf die Anforderungen der Schulpraxis vorzubereiten. Unsere Studie untersucht, ob und wie sich ein Professionsbezug auf das Handeln angehender Physiklehrkräfte im Physikunterricht in der Schulpraxis auswirkt. Eine vergleichende qualitative Interviewstudie mit Physik-Lehramtsstudierenden im Schulpraxissemester umfasst zwei Gruppen: (1) Studierende mit sowie (2) Studierende ohne Professionsbezug in der physikalischen Fachausbildung des Grundstudiums. Bei den Studierenden der ersten Gruppe wurde der Professionsbezug durch das Konzept „kumulatives Lehren und Lernen im Lehramtsstudium Physik“ realisiert. Eine Typenbildung anhand einer qualitativen Inhaltsanalyse lässt erkennen, dass Studierende der ersten Gruppe eher schülerorientiert unterrichten, während Studierende der zweiten Gruppe eher inhaltsorientiert unterrichten. Ein expliziter Professionsbezug im Fachstudium könnte somit zur Sozialisation als Lehrkraft beitragen und fachdidaktische Kompetenzen fördern.

1. Einleitung

1.1. Welche Gründe für ein professionsbezogenes Physik-Lehramtsstudium sprechen

Die fachliche Physik-Lehramtsausbildung galt lange als kaum professionsbezogen. Exemplarisch dafür steht folgende Einschätzung aus einer Studie zur Ausbildung im Lehramt (LA) Physik der DPG (2014, S. 24): „Wenn sie am Physik-Fachstudium teilnehmen, fehlt den LA-Absolventen vieles LA-typische breitere Wissen, wenn auch zugunsten von mehr Spezialwissen.“ Professionsbezug in der Lehramtsausbildung sollte deshalb u. a. dazu führen, gezielt mehr relevantes Fachwissen für die Profession aufzubauen.

Als Professionswissen wird in den Bildungswissenschaften das für das Handeln im Unterricht notwendige und erwerbbar Wissen bezeichnet (z. B. Baumert & Kunter 2006). Die drei Facetten Fachwissen, fachdidaktisches Wissen und psychologisch-pädagogisches Wissen gelten dabei in der internationalen Forschung als besonders relevant für den naturwissenschaftlichen Unterricht (z. B. Shulman 1987). Die vorliegende Arbeit fokussiert ausschließlich auf den physikalisch-fachlichen Professionsbezug, d. h. das physikalische Fachwissen wird im physikalischen Fachstudium professionsbezogen gelehrt. Es ist weiter üblich, das Fachwissen in drei Komponenten zu unterscheiden. Zwei dieser Komponenten lassen sich anhand von Curricula unterscheiden (z. B. Woitkowski & Borowski 2017): Das Schulwissen als Fachwissen, das in der Schule gelehrt und gelernt wird, sowie das universitäre Wissen, welches Gegenstand der universitären Fachausbildung ist. Zusätzlich lässt sich mit dem vertieften Schulwissen eine dritte Komponente einführen. Sie ist nicht curricular definiert, sondern anhand verschiedener fachlicher

Kompetenzen, die als spezifisch für das Lehren von Schulwissen gelten. Dazu gehört z. B. der Umgang mit den Grenzen schulrelevanter physikalischer Modelle unter stoffdidaktischen Gesichtspunkten (vgl. z. B. Woehlecke et al. 2017).

Schulwissen und vertieftes Schulwissen gelten als besonders relevant für kompetentes Handeln einer Physiklehrkraft im Schulunterricht (z. B. Kulgemeyer & Riese 2018). Allerdings werden diese Wissenskomponenten in der universitären Lehre oft unzureichend berücksichtigt, weshalb – wie eingangs behauptet – dem fachlichen Physik-Lehramtsstudium ein mangelnder Professionsbezug attestiert werden kann. Dies ist in Merzyn (2004) ausführlich begründet. Der mangelnde Professionsbezug zeigt sich u. a. darin, dass angehende Physiklehrkräfte trotz der universitären Lehre oft schülertypische Alltagsvorstellungen aufweisen (z. B. Abell 2007). Die Ursache liegt der DPG-Studie folgend in Fachvorlesungen, die eher auf den Erwerb von universitärem Wissen abzielen (DPG 2014). Der Erwerb von universitärem Wissen führt dabei ohne gezielte Lerngelegenheiten nicht automatisch zu einem effektiven Aufbau schulrelevanter Wissenskomponenten (für die Mathematik belegen dies Hoth et al. 2019; für die Physik liegt kein expliziter Forschungsstand vor).

1.2. Das Projekt „Kumulatives Lehren und Lernen im Lehramtsstudium Physik“

Inzwischen liegen viele verschiedene Ansätze an Universitäten vor, mit denen der Professionsbezug im Lehramtsstudium erhöht werden soll. Dabei werden oft fachdidaktische, fachliche und erziehungswissenschaftliche Inhalte in den Veranstaltungen vernetzt (z. B. Kreutz et al. 2020) oder die Fachvorlesungen werden inhaltlich stärker an der Lehramtsprofession

ausgerichtet (z. B. Albrecht & Nordmeier 2013, Woehlecke et al. 2017). Letzteres entspricht auch dem Ansatz eines von uns entwickelten Lehr- und Lernmodells: das Modell zum kumulativen Lehren und Lernen im Lehramtsstudium Physik (vgl. John & Starauschek 2020, Steinmetz & Starauschek einger.). Dieses Modell folgt der Forderung nach gezieltem fachlichem Professionsbezug und ergänzt dies durch lerntheoretische Aspekte zum kumulativen Lernen. Im Kern führt dies zu folgender Leitlinie für die universitäre Physiklehre: Schulrelevante Grundkonzepte sollen wiederholt und mit explizitem Schulbezug angewandt werden, während die curricularen Inhalte des Studiums variieren. Beispielsweise wird das mechanische Kraftkonzept auch in der Elektrodynamik in kumulativem Sinne angewandt und elaboriert.¹ Dabei werden insbesondere auch regelmäßig mit schultypischer Physik geübt. Dies können z. B. Aufgaben aus Schulbüchern sein, die gelöst und unter Einbezug der Perspektive eines vertieften Schulwissens besprochen werden.

Das Lehr- und Lernmodell wurde an der PH Ludwigsburg von zwei unabhängigen Dozenten als Intervention mit mechanischen Grundkonzepten umgesetzt und von den Entwicklern des Modells evaluiert (vgl. Abbildung 1 sowie Steinmetz 2021). Ein zentrales Ergebnis der Evaluation ist, dass der Erwerb von Schulwissen und vertieftem Schulwissen mit der Intervention effektiver erfolgte als bei „traditionellen“ Fachveranstaltungen, die i. d. R. universitäres Fachwissen ohne expliziten Professionsbezug lehren.

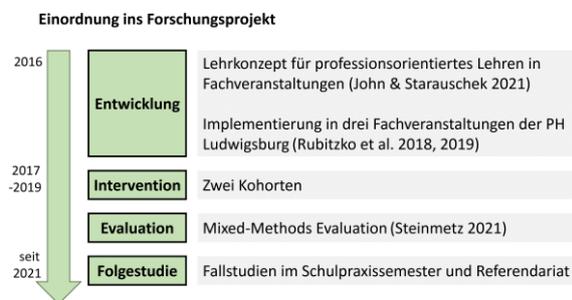


Abb. 1: Das Forschungsprojekt "Kumulatives Lehren und Lernen im Lehramtsstudium Physik". Dieser Artikel stellt erste Ergebnisse einer Folgestudie vor.

¹ Eine Anwendung des Kraftkonzepts in der Elektrodynamik ist an sich nichts Ungewöhnliches. Allerdings ist dabei die implizite Lehrannahme typisch, die Elaboration des Kraftkonzepts sei mit der Mechanikvorlesung abgeschlossen und könne nun bei der Behandlung von Bewegungen geladener Körper angewandt werden. Diese Annahme ist für die mathematische Anwendung des Kraftkonzepts, z. B. zum Aufstellen einer Bewegungsgleichung, oft gerechtfertigt. Die kumulative Leitlinie fordert aber, das Kraftkonzept auch in der Elektrodynamik qualitativ anzuwenden, um die Elaboration in diesem neuen inhaltlichen Kontext fortzusetzen. Ein Beispiel: Für die Bewegung eines geladenen Teilchens im

2. Forschungsvorhaben und Studiendesign

Das Ziel eines Professionsbezugs im Studium sollte die bessere Vorbereitung auf den späteren Schulunterricht sein. Bislang liegt kein belastbarer empirischer Forschungsstand zu der Frage vor, wie sich ein fachlicher Professionsbezug im Studium in der späteren Schulpraxis angehender Physiklehrkräfte auswirkt. Deshalb soll die hier vorgestellte Studie die Wirkung des Professionsbezugs unter folgender Fragestellung untersuchen:

Worin unterscheiden sich Physik-Lehramtsstudierende mit und ohne professionsbezogene Physiklehrer*innenbildung im Schulpraxissemester bei der Planung und Durchführung ihres Physikunterrichts?

Für diese Forschungsfrage wird eine qualitative, analytische Beobachtungsstudie² durchgeführt. Erkenntnistheoretisch bedeutet dies, die Wirkung einer Intervention retrospektiv zu untersuchen, indem qualitative Beobachtungsdaten einer Fall- und einer Vergleichsgruppe miteinander verglichen werden. Dazu wurde eine Interviewstudie mit zwei Gruppen während des Schulpraxissemesters durchgeführt: Eine Gruppe mit Studierenden, die ein professionsorientiertes Fachstudium besucht haben; dies ist die Interventionsgruppe der Evaluationsstudie zum Modell des kumulativen Lehrens (vgl. Abbildung 1). Für die zweite Gruppe, die als Vergleichsgruppe kein professionsbezogenes Fachstudium besucht haben soll, konnte eine Ad-hoc-Stichprobe mit Studierenden generiert werden, die im Bachelor ein Physik-Fachstudium abgeschlossen haben (B.Sc.) und für den Master in den gymnasialen Lehramtsstudiengang (M.Ed.) gewechselt sind. Für diese Gruppe ist die Annahme sinnvoll, dass sie keine professionsbezogenen Fachveranstaltungen besucht haben. Da es sich um eine Fallstudie handelt, sind mögliche Ergebnisse nur hypothetisch verallgemeinerbar.

3. Methode und Stichprobe

Die qualitative Interviewstudie nutzt problemzentrierte Leitfadeninterviews (Witzel 1985). Der Interviewleitfaden besteht aus zwei Frageblöcken mit offenen Fragen: (1) Fragen zu den Unterrichtserfahrungen der Studierenden in ihrer Schulpraxis (z. B.: „Wie sind Sie beim Unterrichten vorgegangen?“, „Was ist Ihnen beim Unterrichten besonders schwergefallen?“). (2) Fragen mit Aufforderungen, das eigene Fachstudium retrospektiv zu bewerten (z. B.:

Magnetfeld können u. a. folgende mechanische Teilkonzepte qualitativ angesprochen werden: Resultierende Kraft, konstante Beschleunigung, Richtungsänderung, Actio/Reactio, Impulserhaltung. Ausführlichere Beispiele finden sich in Rubitzko et al. (2018) sowie John und Starauschek (2020).

² Vergleiche dazu Döring und Bortz (2007, S. 262). Der Begriff der analytischen Beobachtungsstudie ist aus der medizinischen Forschung entlehnt: Einflussfaktoren werden mit zwei Fall-Kontroll-Gruppen auf Basis von qualitativen oder quantitativen Beobachtungsdaten verglichen.

„Wie gut hat ihr Fachstudium Sie auf diese Unterrichtssituation vorbereitet?“, „Was ist Ihnen aus ihrem Fachstudium als besonders gut / schlecht in Erinnerung?“). Die Interviews wurden 3-6 Wochen nach Praktikumsstart online mit der Software Webex mit Video durchgeführt. Die Studierenden haben zu diesem Zeitpunkt bereits mehrere Unterrichtsstunden zur Physik gehalten (i. d. R. 2-5 Unterrichtseinheiten). Die Interviews wurden autographiert und inhaltlich-semantic transkribiert (Dresing & Pehl 2018, S. 21f.).

Die Auswertung des transkribierten Materials erfolgt mit einer inhaltlich-strukturierenden qualitativen Inhaltsanalyse (Mayring 2010). Folgende zwei deduktiv gesetzte Kategoriensysteme wurden induktiv nach der Methode der Subsumption entwickelt: (1) Herausfordernde Aspekte beim Unterrichten, (2) Retrospektive Bewertung des Studiums. Anhand der Kodierungen kann anschließend eine Typenbildung vorgenommen werden.

Die Stichprobe setzt sich aus zwei Gruppen zusammen. Die erste Gruppe (Interventionsgruppe) umfasst $N = 10$ Studierende der PH Ludwigsburg. Diese Studierenden haben an der Intervention der professionsorientierten, kumulativen Lehre an der PH Ludwigsburg teilgenommen. Zum Zeitpunkt des Schulpraxissemesters befinden sich diese Studierenden im Studiengang M.Ed. mit Fach Physik für Haupt- und Realschulen. In der zweiten Gruppe (Vergleichsgruppe) finden sich $N = 9$ Studierenden, die einen B.Sc. im Fach Physik abgeschlossen haben und zum Zeitpunkt des Schulpraxissemesters einen M.Ed. für gymnasiales Physiklehramt studieren.

4. Ergebnisse

4.1. Herausfordernde Aspekte beim Unterrichten im Schulpraktikum

4.1.1. Ergebnis der Kodierung

Die induktive Kategorienbildung führt zu 36 Subkategorien. Eine Auswahl der Kategorien findet sich in Tabelle 1. Dort ist die Häufigkeit angegeben, wie oft Kodierungen pro Interviewtranskript ohne Mehrfachnennungen auftreten. Die Kategorien ZEITMANAGEMENT und KLASSENFÜHRUNG dienen als Beispiele für Kategorien, die für die Forschungsfrage nicht relevant sind. Die Kategorie FACHLICHE UNSICHERHEIT ist relevant, aber zu allgemein gefasst, um daraus etwas ableiten zu können: Sie umfasst alle Interviewpassagen, in welchen die Studierenden sagen, sich im Unterricht fachlich unsicher gefühlt zu haben. Damit bildet diese Kategorie ein breites Spektrum an möglichen fachlichen Unsicherheiten ab und

³ Für alle gezeigten Ergebnisse ist zu beachten, dass die deskriptiven Daten unter der Voraussetzung einer hohen internen Validität zunächst nur für die untersuchten Fälle gelten und nicht für die jeweiligen Gruppen repräsentativ sein müssen. Große Unterschiede

Ergebnis der Kodierung mit dem Kategoriensystem
HERAUSFORDERNDE ASPEKTE BEIM UNTERRICHTEN

Kategorie (Auswahl)	IG ($N = 10$)	VG ($N = 9$)
Klassenführung	5	2
Zeitmanagement	5	6
Fachliche Unsicherheit	6	6
Umgang mit Schülervorstellungen	5	1
Verwendung einer angemessenen Unterrichtssprache	7	2
Umgang mit fehlenden mathematischen Kompetenzen der SuS	1	4

Tab. 1: Kodierhäufigkeit ohne Mehrfachnennungen. Interventionsgruppe (IG): Studierende der PH Ludwigsburg, Vergleichsgruppe (VG): Studierende mit abgeschlossenem Fachbachelor (B.Sc.).

eine Häufigkeitsanalyse lässt keine Unterschiede zwischen den Gruppen erkennen.

Ein Trend zeigt sich dagegen bei den unteren drei Kategorien aus Tabelle 1 (rot markiert). Die Studierenden der Interventionsgruppe geben dabei deutlich häufiger an, dass für sie der UMGANG MIT SCHÜLERVORSTELLUNGEN sowie die VERWENDUNG EINER ANGEMESSENEN UNTERRICHTSSPRACHE herausfordernd war.³ Exemplarisch dafür stehen die folgenden beiden typischen Interviewpassagen:⁴

Beispiel für die Kategorie UMGANG MIT SCHÜLERVORSTELLUNGEN: „Gegen Ende kam noch die Fehlvorstellung, dass die Gravitation nur von der Erde ausgeht. [...] Ich bin davon ausgegangen, dass das mit den Versuchen klar sein sollte [...] Ich habe tatsächlich nicht damit gerechnet, dass die Fehlvorstellung aufkommen sollte.“

Beispiel für die Kategorie VERWENDUNG EINER ANGEMESSENEN UNTERRICHTSSPRACHE: „Bei der E-Dynamik ist das ja so, dass man bei jedem Wort, das man sagt, aufpassen muss, dass man die richtigen Begriffe verwendet. Sowas wie ‚Leistung hat‘ oder ‚Leistung fließt‘ oder so. Das ist mir extrem schwergefallen, weil je nachdem wie man’s sagt, verstehen die Schüler das anders.“

4.1.2. Interpretation der Ergebnisse

Für die unterschiedliche Kodierhäufigkeit zwischen den Gruppen bei den in Tabelle 1 rot markierten Kategorien wäre die folgende naheliegende Interpretation zu unkritisch: „Für die Studierenden der Vergleichsgruppe sind der Umgang mit

können jedoch als hypothetisch verallgemeinerbarer Trend interpretiert werden.

⁴ Zum Zweck der besseren Lesbarkeit wurden die Interviewpassagen gekürzt und geglättet. Es wurde darauf geachtet, den grundsätzlichen Wortlaut zu erhalten.

Schülervorstellungen und Unterrichtssprache nicht herausfordernd, weil sie darin kompetenter sind.“ Diese Interpretation ist mit dem Argument zurückzuweisen, dass im Interviewleitfaden nie direkt nach Herausforderungen gefragt wird (z. B. wird nicht gefragt: „Hatten Sie Schwierigkeiten beim Umgang mit Schülervorstellungen?“). Alternativ kann Folgendes angenommen werden: Die Studierenden beschreiben im Interview bestimmte Situationen nicht deshalb als herausfordernd, weil sie wissen, dass sie nach allgemeinem didaktischem Wissen als kritisch gelten, sondern, weil sie sie selbst als herausfordernd erlebt haben. Tatsächlich argumentieren die Studierenden in den Interviews selten theoretisiert (z. B. treten keine allgemeinen Aussagen der Form „Schülervorstellungen sind didaktisch relevant, deshalb habe ich im Unterricht darauf geachtet“ auf); damit lässt sich die obige Annahme begründen. Vor diesem Hintergrund ist der folgende Erklärungsversuch für die auftretenden Unterschiede angemessener: Die Studierenden der Interventionsgruppe nehmen Schülervorstellungen und Unterrichtssprache aus der Situation heraus als didaktisch kritisch wahr und reflektieren dies im Interview. Die Fähigkeit, diese Situationen als kritisch wahrzunehmen, ist Ausdruck eines impliziten Wissens über das diese Studierenden offenbar verfügen. Da langfristige Effekte der Intervention untersucht werden sollen, stellt sich die Frage, ob der Professionsbezug dazu beigetragen hat, dieses implizite Wissen zu erwerben. Diese Diskussion wird unter Einbezug aller Ergebnisse unten fortgeführt (vgl. Abschnitt 5).

4.2. Retrospektive Bewertung des Studiums

4.2.1. Ergebnis der Kodierung

Die induktive Kategorienentwicklung führt zu 25 Subkategorien. Diese lassen sich wiederum in positive (15) und negative (10) Kategorien unterteilen. Eine Auswahl relevanter Kategorien zeigt Tabelle 2. Große Unterschiede zwischen den Gruppen sind erkennbar. Alle Studierenden der Interventionsgruppe nennen die fachlichen Inhalte ihres Grundstudiums als grundsätzlich schulrelevant, wofür das folgende Beispiel exemplarisch ist:

Beispiel für die Kategorie INHALTE HABEN HOHE RELEVANZ FÜR SCHULUNTERRICHT: „Ich denke, dass ich eigentlich alles, was ich im Studium gemacht habe, größtenteils in der Schule wieder brauchen werde.“

Bei der Vergleichsgruppe ist diese Kategorie nur bei einer Person kodiert. Zudem bewerten es die Studierenden der Interventionsgruppe häufig als positiv, dass in den Vorlesungen Maßnahmen für eine kognitive Aktivierung ergriffen wurden:

Beispiel für die Kategorie MAßNAHMEN ZUR KOGNITIVEN AKTIVIERUNG IN DER VORLESUNG: „Wir

wurden in der Vorlesung immer gefragt mit so Abstimmgeräten⁵ und sollten unsere Meinung abgeben.“

Auch das QUALITATIVE PHYSIKLERNEN in den Fachvorlesungen wird von diesen Studierenden oft positiv bewertet. Dagegen beschreiben die Studierenden der Vergleichsgruppe ihre Fachveranstaltungen inhaltlich häufig als mathematiklastig und zu wenig qualitativ. Folgende gegensätzliche Interviewpassagen sind dafür typisch:

Beispiel für die Kategorie QUALITATIVES PHYSIKLERNEN: „Man benutzt irgendwie eine Formel, also bei den Newtonschen Axiomen, die kenn ich, die kann ich anwenden, das passt schon. Aber was das wirklich bedeutet für ein Beispiel. Also ich habe nach der Mechanik-Vorlesung jetzt das Gefühl, ich kann darüber reden. Davor [die Studentin bezieht sich hier auf ihr Schulwissen, Anm.] konnte ich rechnen, aber jetzt kann ich wirklich sagen was passiert, wenn die Kraft wirkt. Einfach so dieses qualitative Wissen.“

Beispiel für die Kategorie ZU MATHEMATISCH / ZU WENIG QUALITATIV: „Man hatte in der Experimentalphysik viel gerade mit dieser Formelei. Man sucht sich eine Formel, setzt da ein, kriegt einen Zahlenwert raus und fertig.“

Vor dem Hintergrund der Ergebnisse aus Abschnitt 4.1 werden zudem die beiden Kategorien UMGANG MIT FACHSPRACHE sowie KONFRONTATION MIT EIGENEN ALLTAGSVORSTELLUNGEN besonders

Ergebnis der Kodierung mit dem Kategoriensystem
RETROSPEKTIVE BEWERTUNG DES STUDIUMS

Kategorie (Auswahl)	IG (N = 10)	VG (N = 9)
Inhalte haben hohe Relevanz für Schulunterricht	10	1
Umgang mit Fachsprache	6	0
Maßnahmen zur kognitiven Aktivierung in Vorlesung	7	0
Qualitatives Physiklernen	5	0
Konfrontation mit eigenen Alltagsvorstellungen	5	0
Vertieftes fachliches Lernen durch einen deduktiven Lehrstil	0	5
Tutorien	0	5
Zu mathematisch / zu wenig qualitativ	0	6

Tab. 2: Kodierhäufigkeit ohne Mehrfachnennungen. Interventionsgruppe (IG): Studierende der PH Ludwigsburg, Vergleichsgruppe (VG): Studierende mit abgeschlossenem Fachbachelor (B.Sc.). Grün: positive Bewertungen, rot: negative Bewertungen.

⁵ Die Person bezieht sich damit auf Aufgaben, die in der Vorlesung nach der Peer-Instruktion Methode von Mazur (1997) gestellt wurden.

relevant. Diese beiden Aspekte werden von den Studierenden der Interventionsgruppe häufig (6- bzw. 5-mal) als positiv beschrieben. Folgende Passagen sind typisch für diese beiden Kategorien:

Beispiel für die Kategorie UMGANG MIT FACHSPRACHE: „In den Vorlesungen wars immer so, dass auf die Begrifflichkeiten und die Sprache wirklich sehr viel Wert gelegt wurde.“

Beispiel für die Kategorie KONFRONTATION MIT EIGENEN ALLTAGSVORSTELLUNGEN: „Tatsächlich war es so, dass ich in den Vorlesungsinhalten das Gegenteil gezeigt gekriegt habe, wie ich es mir vorgestellt hatte. Und genauso wie ich, tanzen die Schüler auch mit Alltagsvorstellungen an.“

Die Beachtung sprachlicher Aspekte beim Physiklernen sowie die Konfrontation mit eigenen Alltagsvorstellungen in den Fachvorlesungen sind also didaktische Maßnahmen, die die Studierenden in ihrer Rolle als Lernende in der Fachvorlesung an sich selbst erfahren haben.

Die Studierenden der Vergleichsgruppe heben dagegen Tutorien, die i. d. R. begleitend zu den Fachvorlesungen angeboten werden, häufig als positiv hervor. Zudem beschreiben diese Studierenden einen eher deduktiven Stil der Fachvorlesungen, der einer klaren Fachsystematik folgt, als positiv und lernfördernd, wie die folgenden typischen Beispiele zeigen:

Beispiele für die Kategorie VERTIEFTES FACHLICHES LERNEN DURCH EINEN DEDUKTIVEN LEHRSTIL: „In der theoretischen Physik hat man alles hergeleitet. Da musste man sich reindenken, und ich finde, das hilft jetzt immer noch, dass man sich da mal reingedacht hat.“

„Da wurde halt alles bewiesen, von Grund auf. Dadurch konnte man es wirklich verstehen und nicht nur so Halbwahrheiten.“

4.2.2. Interpretation der Ergebnisse

Ein Vergleich der letzten beiden Interviewpassagen mit den obigen der Interventionsgruppe verdeutlicht, dass die Studierenden beider Gruppen sehr unterschiedliche Fachvorlesungen erlebt haben. Auf der einen Seite wird ein eher qualitativer Stil beschrieben, bei dem ein hoher Wert auf sprachliche Formulierungen gelegt wurde und der eine hohe

Lernendenorientierung aufweist (kognitive Aktivierung, Alltagsvorstellungen). Auf der anderen Seite steht ein deduktiver, an der Sachstruktur orientierter Stil mit vielen mathematischen Herleitungen und Beweisen. Beides könnte für die Studierenden als Vorbild für eigenen Physikunterricht dienen und dazu beitragen, welche didaktischen Ansätze sie (absichtlich oder implizit) wählen. In Abschnitt 5 wird diese Diskussion unter der Fragestellung fortgeführt, inwiefern dieser Vorbildcharakter einen Einfluss auf den eigenen Physikunterricht hat.

4.3. Typenbildung

4.3.1. Verfahren und Ergebnis der Typenbildung

Trotz der numerischen Unterschiede in einigen Kategorien lässt sich die Forschungsfrage, worin sich Studierende mit und ohne Professionsbezug bei ihrem Physikunterricht unterscheiden, nicht eindeutig beantworten; neben der Professionsorientierung beeinflussen auch personenbezogene Variablen den Unterricht der Studierenden. Um diesen Einfluss qualitativ zu untersuchen, ist es sinnvoll, mit einer Typenbildung innerhalb der Gruppen Unterschiede und Gemeinsamkeiten zu finden. Damit soll ein vorläufiges Spektrum für mögliche Wirkungen von Professionsorientierung erzeugt werden. Die Typenbildung erfolgt induktiv am Interviewmaterial. Jedes transkribierte Interview wird auf bestimmte Merkmale hin induktiv untersucht. Im Prozess konnten zwei Merkmalsdimensionen identifiziert werden, hinsichtlich derer sich verschiedene Muster unter den Studierenden abzeichnen. Die beiden Dimensionen sind der LEHRSTIL sowie DIE NUTZUNG DES FACHWISSENS (konkreter: die Art und Weise, wie das erworbene physikalische Fachwissen bei der Planung und Durchführung von Physikunterricht genutzt wird). Die untersuchten Merkmale sind in Abbildung 2 schematisch dargestellt. Sie setzen sich zu bestimmten Mustern zusammen, die als Grundlage der Typenbildung dienen und im Folgenden beschrieben werden.

Typ A (Interventionsgruppe): Bezogen auf den LEHRSTIL unterrichten diese Studierenden eher schülerorientiert, qualitativ und legen einen hohen Wert auf angemessene Unterrichtssprache. Zwar finden sich nicht bei allen Studierenden der

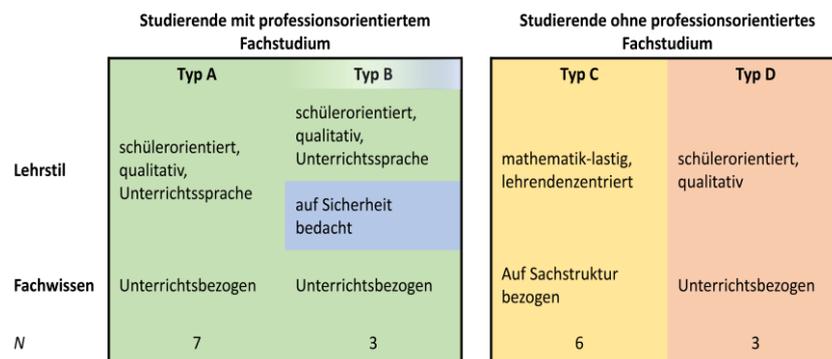


Abb. 2: Ergebnis der Typenbildung als schematische Darstellung. Die Typen sind durch die Muster charakterisiert, die sich induktiv im Interviewmaterial finden. Die Farben sollen ein kontinuierliches Spektrum andeuten.

Interventionsgruppe alle drei Merkmale im Interviewmaterial, jedoch tritt immer mindestens eines der drei Merkmale deutlich hervor. Die Studierenden nutzen dabei ihr Fachwissen unterrichtsbezogen, d. h., wenn sie in den Interviews davon sprechen, Fachwissen angewandt zu haben, beziehen sie sich auf eine Unterrichtssituation. Dieses Merkmal gewinnt in Abgrenzung zum Merkmal auf Sachstruktur bezogene Nutzung des Fachwissens an Klarheit, das für Typ C charakteristisch ist.

Typ B (Interventionsgruppe): Alle Merkmale, die bei Typ A zu finden sind, finden sich auch bei Typ B. Zusätzlich finden sich aber auch Interviewpassagen, in welchen sich Studierende dieses Typs beim Unterrichten sehr auf Sicherheit bedacht zeigen, worauf folgendes Beispiel hinweist:

„Ich fand das im Vorfeld schwieriger, die Fragen so zu formulieren, dass die Antworten, auf die ich raus möchte, möglichst wahrscheinlich sind. Im Unterricht plapper ich eigentlich nur nach, was ich mir überlegt hab.“

Typ C (Vergleichsgruppe): Den LEHRSTIL betreffend unterscheidet sich dieser Typ sehr deutlich von allen anderen. Die Studierenden dieses Typs unterrichten den Interviews zufolge stark mathematiklastig, wodurch ihrem Unterricht auch ein deduktiver und lehrendenzentrierter Charakter zugeschrieben werden kann. Typisch dafür sind die folgenden beiden Interviewpassagen:

„Also nächstes Mal mache ich das wirklich mathematisch korrekt, praktisch mit den Differentialgleichungen. [Anmerkung: Der Unterricht, auf den sich die Person bezieht, behandelt das Thema beschleunigte Bewegung in der Mittelstufe]“

„Für die war irgendwie auch der Unterschied "Was ist eine Beschleunigung und was eine Geschwindigkeit" nicht klar. [Interviewer: Was hast du dann gemacht?] Ich wusste auch nicht so recht. Ich habe versucht, das mit Einheiten zu erklären. Also das eine ist ja Meter pro Sekunde das andere Meter pro Sekunde Quadrat. Ich hätte das dann natürlich über Ableitung machen können, aber da fehlt denen halt die Mathematik dazu. Deshalb ist das schwierig, das dann erklären zu können ohne die Mathematik dahinter. [Interviewer: Und qualitativ?] Ja, das könnte man schon. Aber auch da, um das wirklich sauber zu machen, braucht man's mathematisch. Das geht nicht.“

Auch in der Dimension NUTZUNG DES FACHWISSENS unterscheidet sich dieser Typus von allen anderen. Dabei ist auffällig, dass sich die Studierenden dieses Typus häufig mit der Sachstruktur ihres Fachwissens beschäftigen, wie folgende typische Beispiele zeigen:

„Auch jetzt bei der Lorentzkraft, wo kommt die eigentlich her? Musste ich mir auch nochmal anlesen. Die kommt aus der Relativitätstheorie glaube ich, da kannst du sie dir herleiten.“

„Ich habe tatsächlich kürzlich überlegt, wie die Lagrange-Gleichungen wieder gingen. Wusste ich nicht

mehr so genau. Also das Grundding wusste ich, aber ich wusste nicht mehr, wo sie herkommen. Also dass die aus so einem Extremwertproblem hergeleitet werden. Da dachte ich mir, muss ich mich wieder einlesen. Sowas kommt natürlich nicht in der Schule vor.“

„Was ich noch nie konnte, war mir diese Zusammenhänge mit diesem ϵ_0 und $4\pi\epsilon_0$. Wo muss ich die Konstanten hinschreiben und warum. Irgendwann haben wir im Studium auch im CGS gerechnet und dann sind die halt weg. Es geht eher so darum, ja wie kriege ich das jetzt wieder heruntergebrochen? Also diese 4π sind ja aus dieser Oberflächenintegration von einer Kugel. Dann müsste ich ja Kugelkoordinaten einführen mit den Schülern. Also da müsste ich mich glaube ich schon wieder einlesen. Ja, weil ich es einfach so lange nicht mehr gemacht habe.“

Typ D (Vergleichsgruppe): Studierende dieses Typs weisen ähnliche Merkmale wie Typ A auf, d. h. ihr LEHRSTIL ist schülerorientiert und eher qualitativ. Das Merkmal der Unterrichtssprache findet sich jedoch nicht. Zudem nutzen auch sie ihr Fachwissen auf den Unterricht bezogen; Interviewpassagen in welchen die Sachstruktur wie bei Typ C reflektiert wird, finden sich bei diesem Typ nicht.

Zusammenfassung: Es können vier Typen identifiziert werden. Dabei nimmt Typ C eine Sonderstellung ein. Er unterscheidet sich stark von den anderen, weil Studierende dieses Typs sehr mathematiklastig unterrichten und sich häufig mit der Sachstruktur ihres Fachwissens beschäftigen. Innerhalb der Interventionsgruppe liegt der Hauptunterschied zwischen Typ A und B darin, wie sehr die Studierenden im Unterricht auf Sicherheit bedacht sind.

4.3.2. Interpretation der Typenbildung

Bei der Typenbildung sticht besonders Typ C heraus. Studierende dieses Typs setzen sich häufig mit fachlichen Fragen auseinander, die weit von der Schulphysik entfernt sind. Somit scheinen sie sich in einem anderen, eher fachorientierten Denkmuster (mindset) zu befinden. Dies trifft auch auf den Lehrstil zu, der bei ihnen stark mathematiklastig ist. Somit ergibt sich für Typ C folgendes kohärentes Muster: Diese Studierenden scheinen (implizit) zu erwarten, dass der Wissenserwerb am effektivsten deduktiv entlang der Sachstruktur erfolgt (und nicht induktiv anhand von Beispielen oder Phänomenen). Obiges Beispiel zur beschleunigten Bewegung, die man demzufolge „wirklich sauber“ nur mathematisch erklären könne, verdeutlicht dies. Dieses Denkmuster könnte stark durch die Erfahrungen der Studierenden an der Universität geprägt sein, in welchen sie ihren eigenen Beschreibungen folgend mathematische und lehrendenzentrierte Physikveranstaltungen erlebt haben. Mit dem Typ D gibt es aber auch Studierende in der Vergleichsgruppe, die dieses Denkmuster nicht aufweisen und sich – gewissermaßen trotz eines nicht professionsbezogenen B.Sc.-Studiums – einen schülerorientierten und qualitativen Lehrstil aneignen.

Die Studierenden der Interventionsgruppe (Typen A und B) scheinen insgesamt eine schülerorientierte Lehreinrichtung zu haben, die sich auch in dem Versuch, eine qualitative Physik zu lehren und sprachliche Aspekte zu berücksichtigen, wiederfindet. Das auf Sicherheit bedachte Unterrichten bei Typ B deutet auf gewisse Unsicherheiten hin. Diese Unsicherheiten könnten ein Hinweis auf eine geringe professionelle Handlungskompetenz sein; diese sind in einem Schulpraktikum, in welchem Handlungskompetenz erworben werden soll, aber normal und erwartbar. Insgesamt erinnert der Vergleich beider Gruppen an ein Ergebnis von Merzyn (1994, S. 205), wonach Haupt- und Realschul-Lehrkräfte eher pädagogisch und gymnasiale Lehrkräfte eher fachlich orientiert sind.

5. Diskussion der Ergebnisse

Die Forschungsfrage, worin sich Studierende mit und ohne professionsbezogene Fachausbildung unterscheiden, wurde mit dieser Studie auf Basis subjektiver Daten untersucht. Das bedeutet insbesondere, dass keine Aussage über die tatsächliche professionelle Kompetenz der Studierenden getroffen werden kann. Auch der Einfluss auf die Qualität des Physikunterrichts (z. B. welche Gruppe fachlich und didaktisch kompetenter unterrichtet) bleibt offen. Dennoch bietet das subjektive Datenmaterial relevante Anknüpfungspunkte, um mögliche Wirkungsweisen von Professionsbezug zu identifizieren und zu beschreiben. Eine mögliche Schlussfolgerung der Ergebnisse soll die folgende These zusammenfassen: Fachlicher Professionsbezug wirkt auf zwei Ebenen. (1) Er unterstützt den Erwerb von professionsrelevantem Fachwissen. (2) Das Medium, in dem fachlich professionsorientiert gelehrt wird, dient als Vorbild für den eigenen Physikunterricht und unterstützt insofern den Erwerb eines impliziten didaktischen Wissens.

Zu (1): Dies ist das unmittelbare Ziel von Fachveranstaltungen mit Professionsbezug. Für die Intervention, auf die sich die vorliegende Studie bezieht (vgl. Abbildung 1), wurde dieses Ziel erreicht: Einer Evaluation zufolge führt die Intervention „Kumulatives Lehren und Lernen physikalischer Grundkonzepte“ zu einem effektiven Erwerb von professionsrelevantem Fachwissen (vgl. dazu Steinmetz & Starauschek, einger.).

Zu (2): Unter dem Begriff des „pädagogischen Doppeldeckers“ (Geisser 1985, S. 8, zitiert nach Wahl 2005, S. 64) ist bekannt, dass „das Medium gleichzeitig die Botschaft“ sein kann. Dies kann intendiert (gezielt und absichtsvoll) oder unbeabsichtigt (implizit) erfolgen. Auch traditionelle Physikvorlesungen, die keine didaktische Botschaft senden wollen, stellen für Physik-Lehramtsstudierende immer implizit ein

Vorbild dar, wie Physik an der Schule gelehrt werden kann.⁶ Die Interviewstudie deutet darauf hin, dass dies bei den untersuchten Gruppen der Fall ist: Einige Studierende der Vergleichsgruppe, die Fachvorlesungen ohne Professionsbezug besucht haben, tendieren zu einem universitätstypischen mathematischen und lehrendenzentrierten Physikunterricht. Damit ähnelt ihr Physikunterricht den Fachvorlesungen, den diese Studierenden in den Interviews beschreiben (vgl. Tabelle 2). Die Studierenden der Interventionsgruppe beschreiben dagegen hochschuldidaktische Lehrensätze in ihren Fachvorlesungen (kognitive Aktivierung, qualitatives Physiklernen, Berücksichtigung von Alltagsvorstellungen und Fachsprache, vgl. Tabelle 2), die sie wiederum in ihrem eigenen Physikunterricht anwenden. Die Fähigkeit, diese Ansätze zu berücksichtigen, scheint bei diesen Studierenden als implizites Wissen⁷ vorzuliegen, denn dieses Wissen wird von den Studierenden zumindest in den Interviews nicht theoretisch reflektiert oder theoriegeleitet begründet (z. B. treten Formulierungen der folgenden Art nicht in den Interviews auf: „X ist eine typische Schülervorstellung“ oder „Y gilt als eine effektive Conceptual-Change-Strategie“). Stattdessen nehmen die Studierenden der Interventionsgruppe Situationen als herausfordernd wahr, die auch nach fachdidaktischem Erkenntnisstand als kritisch gelten. Weil angewandtes implizites Wissen eher durch Erfahrung als durch Theorielernen erworben wird, lässt sich vermuten, dass dieses Wissen (oder die damit verbundenen Fähigkeiten) überwiegend durch die eigenen Erfahrungen in der Lernenden-Rolle, welche die Studierenden in den Fachveranstaltungen einnehmen, erworben wurde. Zusätzlich hat vermutlich auch das theoretische Wissen aus fachdidaktischen Veranstaltungen einen Einfluss. Dieses Wissen wurde jedoch in einem theoretischen Modus erworben und liegt deshalb möglicherweise noch nicht als Handlungswissen vor. Es sollte die Studierenden aber dabei unterstützen, ihre Wahrnehmungen professionell zu reflektieren.

Lehramtsstudierende nehmen in ihrem Fachstudium also zwei Rollen ein: Sie sind gleichzeitig Lernende der Physik und des Physiklehrens. Diese Doppelrolle ist spezifisch für das Lehramtsstudium (insbesondere gegenüber anderen professionsorientierten Studiengängen wie Medizin oder Jura). Durch die Doppelrolle hat eine Fachvorlesung immer eine Vorbildfunktion. Die vorliegende Studie deutet darauf hin, dass die Doppelrolle einen entscheidenden Einfluss auf die Professionalisierung der Studierenden haben könnte.

⁶ Einen zweiten Orientierungspunkt stellt der Physikunterricht dar, den die Studierenden selbst als Schülerinnen erlebt haben.

⁷ Wir verwenden folgende Arbeitsdefinition (Neuweg 2000, S. 198): „Als implizites Wissen ist [...] ein Wissen zu

definieren, das in der praktischen Kompetenz einer Person zum Ausdruck kommt [...]“. Dazu gehören nach Neuweg neben Handlungs-, Urteils- und Erwartungsdispositionen auch Wahrnehmungsdispositionen.

6. Fazit

Die qualitative Fallstudie liefert Hinweise, dass ein fachlicher Professionsbezug den Erwerb eines impliziten fachdidaktischen Wissens unterstützen könnte. Dies zeigt sich darin, dass Studierende in ihrem eigenen Schulunterricht fachdidaktisch relevante Aspekte, z. B. Alltagsvorstellungen, berücksichtigen, wenn sie dies selbst in ihren Fachvorlesungen aus der Perspektive der Lernenden erlebt haben. Somit haben Fachvorlesungen eine wichtige Vorbildfunktion für den eigenen Schulunterricht.

7. Literatur

- Abell, S. K. (2007). Research on science teacher knowledge. In S. K. Abell & N. G. Ledermann (Hrsg.), *Handbook of Research in Science Education*. Taylor & Francis Inc. 1105–1149
- Albrecht, A. & Nordmeier, V. (2013). Interventionsstudie im Lehramtsstudium der Physik – dem Erfolg auf der Spur. *PhyDid A-Physik und Didaktik in Schule und Hochschule*, 1(12), 62–72.
- Baumert, J. & Kunter, M. (2006). Stichwort: Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 9(4), 469–520.
- DPG (2014). *Zur fachlichen und fachdidaktischen Ausbildung für das Lehramt Physik*. Bad Honnef.
- Döring, N. & Bortz, J. (2007). *Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler*. Springer-Verlag.
- Dresing, T. & Pehl, T. (2018). *Praxisbuch Interview, Transkription & Analyse. Anleitungen und Regelsysteme für qualitativ Forschende*. 8. Auflage. Marburg.
- Geissler, K.A. (1985) (Hrsg.). *Lernen in Seminargruppen*. Tübingen: Deutsches Institut für Fernstudien
- Hoth, J., Jeschke, C., Dreher, A., Lindmeier, A. & Heinze, A. (2019). Ist akademisches Fachwissen hinreichend für den Erwerb eines berufsspezifischen Fachwissens im Lehramtsstudium? Eine Untersuchung der Trickle-down-Annahme. *Journal für Mathematik-Didaktik*, 1–28.
- John, T. & Starauschek, E. (2020). Ein Modell für kumulatives Lehren im Lehramtsstudium Physik. *PhyDid A - Physik und Didaktik in Schule und Hochschule*, 19(1), 23–42.
- Mayring, P. (2010). *Qualitative Inhaltsanalyse: Grundlagen und Techniken* (11. Aufl.). Beltz.
- Merzyn (1994). *Physikschulbücher, Physiklehrer und Physikunterricht*. Kiel: IPN 139.
- Merzyn, G. (2004). *Lehrerausbildung – Bilanz und Reformbedarf*. Schneider-Verlag Hohengehren.
- Kulgemeyer, C. & Riese, J. (2018). From professional knowledge to professional performance: The impact of CK and PCK on teaching quality in explaining situations. *Journal of Research in Science Teaching*, 55(10), 1393–1418.
- Kreutz, J., Leuders, T. & Hellmann, K. A. (2020). *Professionsorientierung in der Lehrerbildung: Kompetenzorientiertes Lehren nach dem 4-Component-Instructional-Design-Modell*. SpringerVS.
- Neuweg, G. H. (2000). Mehr lernen, als man sagen kann: Konzepte und didaktische Perspektiven impliziten Lernens. *Unterrichtswissenschaft*, 28(3), 197–217.
- Rubitzko, T., Laukenmann, M. & Starauschek, E. (2018). Kumulatives Lehren der Mechanik in der Lehramtsausbildung. In V. Nordmeier & H. Grötzebauch (Hrsg.), *PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung Würzburg*, 111–123.
- Shulman, L. (1987). Knowledge and teaching: Foundations of the new reform. *Harvard educational review*, 57(1), 1–23.
- Steinmetz (2021). *Kumulatives Lehren und Lernen im Lehramtsstudium Physik. Theorie und Evaluation eines Lehrkonzepts*. Dissertation, Logos-Verlag.
- Steinmetz, T. & Starauschek, E. (einger.). *Professionsbezogenes Physiklernen im Lehramtsstudium: Entwicklung und Evaluation kumulativer Fachveranstaltungen*
- Wahl, D. (2005). *Lernumgebungen erfolgreich gestalten: Vom trägen Wissen zum kompetenten Handeln*. Julius Klinkhardt.
- Witzel, A. (1985). Das problemzentrierte Interview. In G. Jüttemann (Hrsg.), *Qualitative Forschung in der Psychologie: Grundfragen, Verfahrensweisen, Anwendungsfelder*. Beltz, 227–255
- Woehlecke, S., Massolt, J., Goral, J., Hassan-Yavu, S., Seider, J., Borowski, A., Fenn, M., Kortenkamp, U. & Glowinski, I. (2017). Das erweiterte Fachwissen für den schulischen Kontext als fachübergreifendes Konstrukt und die Anwendung im universitären Lehramtsstudium. *Beiträge zur Lehrerinnen- und Lehrerbildung*, 35(3), S. 413–426.
- Woitkowski, D., & Borowski, A. (2017). Fachwissen im Lehramtsstudium Physik. In H. Fischler & E. Sumfleth (Hrsg.), *Professionelle Kompetenz von Lehrkräften der Chemie und Physik*. Logos, 57-76.

Danksagung

Das diesem Beitrag zugrundeliegende Vorhaben wird im Rahmen der gemeinsamen „Qualitätsoffensive Lehrerbildung“ von Bund und Ländern mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 01JA1907B gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

Digitale Medien im Physikunterricht: Entwicklung eines Seminarkonzepts

David Weiler*, Jan-Philipp Burde*, Andreas Lachner⁺, Rike Große-Heilmann⁻, Josef Riese⁻,
Thomas Schubatzky[§]

*Eberhard Karls Universität Tübingen, AG Didaktik der Physik, Auf der Morgenstelle 14, 72076 Tübingen;

⁺Eberhard Karls Universität Tübingen, Abteilung Schulpädagogik, Keplerstraße 17, 72074 Tübingen;

⁻Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, Didaktik der Physik und Technik, Sommerfeldstraße 14, 52074 Aachen;

[§]Karl-Franzens-Universität Graz, Institut für Physik, Physikdidaktik, Universitätsplatz 5, 8010 Graz;
david-christoph.weiler@uni-tuebingen.de; jan-philipp.burde@uni-tuebingen.de; andreas.lachner@uni-tuebingen.de; riese@physik.rwth-aachen.de; thomas.schubatzky@uni-graz.at; grosse-heilmann@physik.rwth-aachen.de;

Kurzfassung

Vor dem Hintergrund der Forderung der Kultusministerkonferenz nach einer fundierten, wissenschaftlich begründeten Lehrkräfteausbildung für das Lehren in einer digital geprägten Welt (KMK, 2021) ist es wichtig, Lehramtsstudierenden die Möglichkeit zu bieten, fachspezifische digitalisierungsbezogene Kompetenzen zu erwerben (Vogelsang et al., 2019). Daher wurde im Verbundprojekt DiKoLeP (Digitale Kompetenzen von Lehramtsstudierenden im Fach Physik) der RWTH Aachen, Universität Graz und Universität Tübingen ein Lehrkonzept mit standortspezifischen Ausprägungen entwickelt und evaluiert. In die Konzeption sind die evidenzbasierten Erkenntnisse aus fachunspezifischen Gelingensbedingungen für die Ausgestaltung von Seminaren zur Medienintegration des Synthesis of Qualitative Evidence (SQD) Ansatzes (Tondeur et al., 2012), fachübergreifende Kompetenzziele für Lehramtsstudierende der Naturwissenschaften (Becker et al., 2020), sowie physikspezifische Inhalte zum fachdidaktisch begründeten Einsatz digitaler Medien eingeflossen. Dieser Beitrag stellt das standortspezifische Seminarkonzept, das in Graz und Tübingen durchgeführt wird, vor. Darüber hinaus werden erste Ergebnisse der qualitativen Evaluation des Seminarkonzepts aus dem Sommersemester 2021 und Wintersemester 2021/22 vorgestellt und ein Ausblick auf die Überarbeitung des Konzepts gegeben.

1. Einleitung

Die letzten Jahrzehnte fachdidaktischer Forschung konnten zeigen, dass der Aufbau eines grundlegenden Verständnisses von zentralen physikalischen Konzepten vielen Lernenden in ihrer Schullaufbahn nicht gelingt. Als ein Grund für die auftretenden Verständnisschwierigkeiten konnten unter anderem Schülervorstellungen identifiziert werden, die das Lernen behindern können. Diese Schülervorstellungen sind zum Teil von Alltagserfahrungen geprägt (wie dem Spüren der Zentrifugalkraft bei Kreisbewegungen) oder werden durch physikalisch problematische Sprachbilder in der Alltagssprache (z.B. „Stromverbrauch“, „Er hat Kraft“, ...) hervorgerufen (Duit, 2002; Schecker et al., 2018). Ferner kann auch der Gebrauch von inadäquaten ikonografischen oder sprachlichen Darstellungen von physikalischen Inhalten und Zusammenhängen durch die Lehrkraft zur Bildung physikalisch inkorrektur Vorstellungen führen (Schecker et al., 2018).

Eine Möglichkeit, das konzeptionelle Verständnis physikalischer Größen und Zusammenhänge gezielt zu fördern, ist der fachdidaktisch begründete Einsatz von (digitalen) Medien. In diesem Beitrag sollen daher die Potenziale digitaler Medien zum Aufbau eines korrekten Verständnisses von grundlegenden physikalischen Konzepten beispielhaft aufgezeigt werden,

welche Kompetenzen bei Lehrkräften für den Einsatz digitaler Medien benötigt werden und wie diese schon in der ersten Phase der Lehrkräftebildung gefördert werden können. Dazu wird ein im Verbundprojekt DiKoLeP (Digitale Kompetenzen von Lehramtsstudierenden im Fach Physik) entwickeltes Seminarkonzept zum fachdidaktisch begründeten Einsatz digitaler Medien im Physikunterricht vorgestellt und es werden Ergebnisse einer ersten curricularen Begutachtung durch Fachleute und Rückmeldungen von Seminarteilnehmenden zum Pilotierungsdurchgang berichtet.

2. Theoretische Grundlagen

Für den mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht hat sich der Einsatz digitaler Medien als gewinnbringend sowohl für die Lernleistung als auch die Motivation von Lernenden erwiesen (Hillmayr et al., 2020). Dies kann unter anderem daran liegen, dass viele digitale Medien eine neue Qualität der Anschauung bieten (Girwidz, 2020). Fehlende interne kognitive Prozesse können beispielsweise durch externe Prozesse wie Animationen vorgeführt werden (Girwidz, 2020). Messwertaufnahmen können durch den Einsatz digitaler Messwerterfassung in den Hintergrund rücken, um so Raum für eine intensiviertere

Auseinandersetzung mit physikalischen Phänomenen zu bieten (Lampe, 2015).

Jedoch stellt der bloße Einsatz digitaler Medien nicht automatisch einen Mehrwert für den Unterricht dar. Hierfür benötigt es professionalisierte Lehrkräfte, die die Medien lernwirksam und fachdidaktisch begründet einsetzen. Daher benötigen schon angehende Lehrkräfte in ihrem Studium Lerngelegenheiten, um Kompetenzen im Umgang mit digitalen Medien erwerben zu können.

Einen evidenzbasierten Ansatz zur Förderung digitaler Kompetenzen von angehenden Lehrkräften in einem Hochschulsetting stellt das Synthesis of Qualitative Evidence (SQD) Modell dar (Tondeur et al., 2012). Hier wurden sieben Schlüsselaspekte für Seminare identifiziert, die dabei helfen, angehende Lehrkräfte auf die spätere Integration von digitalen Medien in den Unterricht vorzubereiten.

- SQD1. Enge Verzahnung von Theorie und Praxis (aligning theory and practice)
- SQD2. Erleben von Vorbildern (role models)
- SQD3. Möglichkeit zur Reflexion der Rolle von digitalen Medien im Unterricht (reflection)
- SQD4. Eigenständiges Entwerfen von Lernarrangements mit digitalen Medien (instructional design)
- SQD5. Zusammenarbeit mit Peers (collaboration)
- SQD6. Sammeln authentischer Erfahrungen (authentic experiences)
- SQD7. Erhalten von Feedback zum eigenen Einsatz digitaler Medien

Die aufgeführten Kriterien haben sich bereits in empirischen Untersuchungen bewährt (Lachner et al., 2021), spezifizieren allerdings die Anforderungen an physikspezifische Seminare nicht auf inhaltlicher Ebene. Im Weiteren soll daher dargelegt werden, wie unter Berücksichtigung dieser evidenzbasierten Kriterien ein physikspezifisches Seminarkonzept entwickelt wurde.

3. Die Entwicklung des Seminarkonzepts

Für die systematische Entwicklung und Weiterentwicklung des Seminarkonzepts wurde ein Vorgehen gewählt, das einem Design-Based Research (DBR) Ansatz (Jahn, 2014; Sandoval & Bell, 2004) in Grundzügen folgt. Dabei wird das Seminar theoriegeleitet sowie bedarfsorientiert entwickelt und iterativ in Hinblick auf unterschiedliche Aspekte auf Basis von begleitenden Evaluationen ausgeschärft.

3.1. Auswahl der Seminarinhalte

Zu Beginn wurde eine Sichtung des aktuellen Forschungsstands zum Einsatz digitaler Medien im Physikunterricht und damit einhergehender notwendiger

Kompetenzen von angehenden Lehrkräften durchgeführt. Ein erster Überblick über die für die Naturwissenschaften relevanten digitalen Medien und den damit verbundenen Kompetenzen für Lehrkräfte bietet der Orientierungsrahmen „Digitale Kompetenzen für das Lehramt in den Naturwissenschaften (DiKoLAN)“ (Becker et al., 2020). Hier finden sich in Abgrenzung zu allgemeinen digitalen Medien, wie z. B. Tabellenkalkulationen, als fachspezifische Medien Digitale Messwerterfassungssysteme, Videoanalyse sowie Simulationen und Animationen. Neben diesen für alle naturwissenschaftliche Fächer geeigneten digitalen Medien ergeben sich aus der Literatur noch weitere, die speziell für den Physikunterricht einen Mehrwert darstellen. Dazu zählen Interaktive Bildschirmexperimente (Brell, 2008; Kirstein & Nordmeier, 2013), Augmented und Virtual Reality (Altmeyer et al., 2020; Teichrew & Erb, 2020; Thees et al., 2020) und Erklärvideos (Findeisen et al., 2019; Kulgemeyer, 2018; Kulgemeyer & Peters, 2016).

3.2. Bedarfsanalyse

Neben einer Literaturrecherche zur Identifikation von potentiellen Seminarinhalten (siehe 3.1) wurde eine Bedarfsanalyse durchgeführt (Weiler et al., 2022), in der neben Vorerfahrungen mit und Interesse an digitalen Medien auch die Selbstwirksamkeitserwartung, digitale Medien im Physikunterricht einsetzen zu können, erhoben wurde. Neben einem Bedarf wurde ebenso ein hohes Bedürfnis auf Seiten der Studierenden nach einem fachspezifischen Seminar zum Einsatz digitaler Medien im Physikunterricht identifiziert. Auf Grund der erfassten hohen Heterogenität in den Vorerfahrungen der Studierenden mit digitalen Medien sollte es im Seminar sowohl die Möglichkeit geben, eine Vertrautheit mit bisher unbekanntem digitalen Medien zu erlangen, als auch sich vertieft mit bereits bekannten digitalen Medien auseinanderzusetzen.

Auffällig war auch eine festgestellte hohe Selbstwirksamkeitserwartung zum Einsatz digitaler Medien im Physikunterricht vor dem Hintergrund der zum Teil sehr geringen Vorerfahrungen mit einzelnen digitalen Medien. Dies könnte auf eine Selbstüberschätzung der eigenen Kompetenz hindeuten, wie es schon Eickelmann et al. (2019) bei Lehrkräften festgestellt hatte. Im Rahmen des Seminars sollten Studierende daher die Möglichkeit haben, die eigene Kompetenz in Bezug auf den fachdidaktisch begründeten Einsatz digitaler Medien in unterrichtsnahen Anwendungssituationen zu reflektieren.

3.3. Konkrete Lernziele

Angelehnt an den Orientierungsrahmen DiKoLAN wurden globale Lernziele für die Studierenden im Seminar aufgestellt.

Die Studierenden sollen ...

- ... mit unterschiedlichen, für den Physikunterricht spezifischen digitalen Medien umgehen können.

- ... Einsatzszenarien von unterschiedlichen digitalen Medien für den Physikunterricht unter Berücksichtigung von Vor- und Nachteilen sowie fachdidaktischen Forschungsbefunden bewerten können.
- ... lernwirksame Unterrichtsszenarien unter Einbindung von unterschiedlichen digitalen Medien und der Berücksichtigung von fachdidaktischen Erkenntnissen planen und durchführen können.

Somit soll ein reflektierter Umgang mit physikspezifischen digitalen Medien gefördert werden. Die Lernziele wurden für die einzelnen digitalen Medien themenspezifisch operationalisiert (z.B. „Die Studierenden sollen Vor- und Nachteile von unterschiedlichen digitalen Messwerterfassungssystemen beschreiben und reflektieren können.“).

3.4. Seminaraufbau

Basierend auf diesen Erkenntnissen und Vorarbeiten aus dem TPACK 4.0 Projekt (Lachner et al., 2021) entstand ein bedarfsorientiertes Seminarkonzept (siehe Abb. 1). Theoretische Kernelemente sind mit dem Verbundpartner an der RWTH Aachen abgestimmt und gleich gehalten, jedoch werden auf Grundlage von standortspezifischen curricularen Unterschieden die Praxisphasen in unterschiedlicher Form durchgeführt (Schubatzky et al., 2022).

Das Seminarkonzept für die Standorte Graz und Tübingen ist gekennzeichnet durch eine Zweiteilung in eine theoretische und eine praktische Phase (SQD 1: aligning theory and practice). In der theoretischen Phase werden die digitalen Medien, die sich für den Einsatz im Fach Physik eignen, besprochen. Dabei gleicht der strukturelle Aufbau der einzelnen Seminarsitzungen einander.

Nach einer Einführung in die fachdidaktischen Eigenschaften des jeweiligen Mediums (z.B. Kriterien guter Erklärvideos, Voraussetzungen für die Durchführung von Videoanalysen, ...) werden beispielhafte Einsatzszenarien der Medien diskutiert (z.B. Veran-

schaulichung physikalischer Konzepte wie der Beschleunigung mit Hilfe von Vektoren im Rahmen einer Videoanalyse zur Adressierung von Schülervorstellungen, Visualisierung von Energieübertragungen in innere bzw. thermische Energie mit Hilfe von Wärmebildkameras, ...) und zum Teil vorgeführt (SQD 2: role models). Die Studierenden erhalten danach die Möglichkeit, die jeweiligen digitalen Medien in Partnerarbeit (SQD 5: collaboration) schon in der theoretischen Phase auszuprobieren (z.B. Simulationen durchführen, digitale Messwerterfassungsgeräte zur Aufzeichnung großer Datenmengen in kurzer Zeit nutzen, ...), um so erste Erfahrungen mit den Medien machen zu können (SQD 6: instructional design). Den Abschluss der Seminarsitzungen bildet die Betrachtung und Diskussion (SQD 3: reflection) von ausgewählten Forschungsergebnissen zu den digitalen Medien (z.B. Kulgemeyer und Peters (2016), Becker et al. (2019), ...).

In der praktischen Phase des Seminars haben die Studierenden die Möglichkeit, sich eigenständig zweimal intensiv mit jeweils einem digitalen Medium auseinanderzusetzen. Dazu stehen den Studierenden online Lernmaterialien zu einzelnen digitalen Medien zu Verfügung. So erhalten die Studierenden, die sich beispielsweise mit Erklärvideos beschäftigen, Informationen, worauf man bei der Erstellung eines Erklärvideos achten muss und sie werden schrittweise durch den Prozess der Erstellung von Erklärvideos geleitet. Die Auswahl der Themen wurde im ersten Durchgang auf die Hälfte der digitalen Medien beschränkt (Erklärvideos, Simulationen und Animationen, Digitale Messwerterfassungssysteme), wohingegen im zweiten Durchgang die andere Hälfte an digitalen Medien angeboten wird (Interaktive Bildschirmexperimente, Videoanalyse, Augmented und Virtual Reality).

Nach der vertieften Auseinandersetzung mit dem von den Studierenden gewählten Medium erstellen diese zu zweit eine Unterrichtsskizze zu einem fachlichen Thema ihrer Wahl (SQD 4: instructional design). Da-

Phase des Seminars		Seminarinhalte
Theorie	Theoretische Auseinandersetzung	Einführung und psychologische Hintergründe (SAMR, Cognitive Load Theory, Multimedia Learning, ...)
		Erklärvideos und Interaktive Bildschirmexperimente
	(empirische Befunde, Gestaltungsmerkmale, Einsatzmöglichkeiten)	Digitale Messwerterfassungssysteme und Videoanalyse
		Simulationen und Animationen, Augmented und Virtual Reality
Praxis	(2x) Praktische Auseinandersetzung	Vertiefte Auseinandersetzung mit einzelnen digitalen Medien
		Entwicklung einer Unterrichtsskizze zur Adressierung von Schülervorstellungen mittels digitaler Medien
		Vorführung von exemplarischen Unterrichtssequenzen auf Basis der Unterrichtsskizzen und Reflektion

Abb. 1: Aufbau der ersten Seminarkonzeption mit Seminarinhalten

bei gilt die Vorgabe, dass das digitale Medium fachdidaktisch sinnvoll in den Unterricht mit eingebaut werden muss. Die Freiheit, das fachliche Thema selbst wählen zu können, hat den Vorteil, dass die Studierenden sich physikalische Inhaltsbereiche suchen können, in denen das jeweilige Medium einen besonderen Mehrwert bietet.

Im Anschluss an die Planungsphase des Unterrichts stellen die Studierenden ihre Unterrichtsskizze im Seminar vor. Danach führen sie den Teil der Unterrichtsskizze, in dem das jeweilige Medium zum Einsatz kommt, mit ihren Kommilitoninnen und Kommilitonen, die sich in die Rolle von Schülerinnen und Schülern hineinversetzen, durch. Nach der Durchführung bekommen die Studierenden Rückmeldung von ihren Kommilitoninnen und Kommilitonen sowie von den Dozierenden bzgl. der Integration des Mediums in den geplanten Unterricht (SQD 7: feedback). Ergänzend steht den Studierenden eine Videographie der gehaltenen Stunde zur Verfügung, mit der die Studierenden ihr eigenes Lehrendenhandeln reflektieren können. Diese Abfolge von Vertiefung, Unterrichtsplanung, ausschnittsweiser Durchführung des Unterrichts und Reflektion wird daraufhin mit einem anderen digitalen Medium wiederholt.

Ein Vorteil dieses Vorgehens ist, dass die Studierenden nicht an einen Inhaltsbereich wie z.B. bei einem klassischen Lehr-Lern-Labor gebunden sind.

Das Seminarkonzept wurde in dieser Form im Sommersemester 2021 und Wintersemester 2021/22 pilotiert. Für die Weiterentwicklung des Seminars wurden unter anderem qualitative Befragungen der Studierenden und von Fachleuten für digitale Medien durchgeführt (Weiler et al., 2021). Das Vorgehen wird im nächsten Abschnitt erläutert.

4. Evaluationsmethodik

4.1. Erfassung der Studierendenperspektive

Zur Weiterentwicklung des Seminars wurden die Studierenden nach jeder Theoriesitzung und nach jedem Praxiszyklus mit Hilfe von One-Minute-Papern (OMP) befragt. In diesen kurzen Selbstauskünften wurde um eine Rückmeldung zum Ablauf der jeweiligen Seminarsitzung gebeten, welche Fragen nach dem theoretischen Input noch offen sind und was die Studierenden aus der Seminarsitzung für ihre spätere Lehrtätigkeit mitgenommen haben. Die Teilnahme an den OMP, die jeweils auf einen Zeitumfang von etwa drei bis fünf Minuten angelegt waren, war freiwillig und schwankte stark.

Ergänzend konnten nach dem Seminar im Sommersemester 2021 in Tübingen $N = 6$ Studierende, die das Seminar belegt hatten, für ein leitfadengestütztes Interview gewonnen werden. Hier konnte tiefer auf potenzielle Defizite und gelungene Aspekte des Seminars eingegangen werden, sowie Ideen und Wünsche für weitere oder alternative Inhalte und Rückmeldungen zur Attraktivität und wahrgenommenen Wirksamkeit des Seminars eingeholt werden. Die

Interviews mit den Studierenden dauerten zwischen 45 und 60 Minuten.

4.2. Befragung von Fachleuten

Die curriculare Validität der Inhalte des Seminars wurde durch Befragung von Fachleuten überprüft. Dazu wurden $N = 8$ Fachleute gewonnen, die sich in ihrer bisherigen Forschungs- und Publikationstätigkeit schwerpunktmäßig mit den digitalen Medien beschäftigt haben, die Gegenstand des Seminars sind. Den Fachleuten wurden der Seminaufbau, die Seminarsitzung und die Vertiefungseinheit zu einem Medium, für dessen Einsatz sie eine hervorgehobene Expertise aufweisen, vorgestellt. In den Befragungen wurden die Inhalte kritisch reflektiert und auf Vollständigkeit in Hinblick auf die zu vermittelnden Einsatzkriterien, die möglichen Vor- und Nachteile des Mediums sowie die empirischen Befunde zu den jeweiligen Medien geprüft. Die Befragungen der Fachleute dauerten zwischen 40 und 75 Minuten.

5. Ergebnisse der Evaluation...

Im Folgenden werden einzelne zentrale Erkenntnisse aus der Evaluation vorgestellt. Auf eine vollständige Darlegung kann hier aus Platzgründen nicht eingegangen werden.

5.1. ... der Studierendenperspektive

Die Rückmeldungen in den OMP der Studierenden sind überwiegend positiv ausgefallen. Vereinzelt ist es zu wenig elaborierten Rückmeldungen wie „sehr gut“ gekommen. Die enge Verknüpfung von Theorie- und Praxisphasen und somit auch Abwechslung im Seminar ist den Studierenden entgegengekommen („Mir hat der Ablauf wieder sehr gut gefallen, da ich die Abwechslung von kleinen Arbeitsaufträgen und dem inhaltlichen Vortrag gut fand.“). Ebenso wurde der Ablauf der praktischen Phase positiv von den Studierenden aufgenommen („Der Ablauf hat mir gut gefallen. Ich fand es gut, dass wir zuerst die Dinge ausprobieren konnten und anschließend die Unterrichtsplanungen ausarbeiten konnten.“).

Durch die Rückmeldungen konnten aber auch praktische Schwierigkeiten in der Seminargestaltung wie z.B. der Einsatz von bestimmten Apps identifiziert werden („Wieder sehr gut, nur leider konnte man die App zur AR am iPhone nicht benutzen.“).

Aus den Rückmeldungen zu offen gebliebenen Fragen („Wie kann man Simulationen selbst erstellen?“ – „Wie führt man didaktisch ein solches System ein (schrittweise, explorativ, enzyklopädisch)?“) konnten weitere inhaltliche Aspekte und Informationsdesiderata identifiziert werden und zum Teil schon in den Vertiefungseinheiten zu den digitalen Medien in der praktischen Phase zur inhaltlichen Auseinandersetzung angeboten werden.

Auch in den Interviews mit den Studierenden, die am Seminar in Tübingen teilgenommen haben, zeigte sich, dass das Seminar überwiegend positiv bewertet wurde. Da das Seminar auf Grund der Corona-Pandemie in der theoretischen Phase online durchgeführt

werden musste, zeigten sich in den Rückmeldungen während der Interviews immer wieder klare Bezüge zu der zum Teil improvisierten Umsetzung. So wurde beispielsweise positiv hervorgehoben, dass einige digitale Medien wie Messwerterfassungssysteme, die sonst an die Versuchsdurchführung im Klassenraum gebunden sind, mit Hilfe von Smartphones in Freihandexperimenten auch zu Hause durchgeführt werden konnten. Dennoch sind die Studierenden überwiegend der Auffassung gewesen, dass die Seminarsitzung zu digitalen Messwerterfassungssystemen die einzige Sitzung war, die sie lieber in Präsenz erlebt hätten. Alle anderen Themensitzungen eignen sich aus Sicht der Studierenden für die Online-Lehre.

Die allgemeine Zweiteilung des Seminars in eine theoretische und eine praktische Phase wurde gemischt aufgenommen. So fanden es einige Studierende hilfreich, zuerst einen Überblick über alle digitalen Medien, die für den Physikunterricht geeignet sind, zu bekommen. Einige andere Studierende hätten sich hingegen eine frühere, ausgedehnte Praxisphase mit den ersten digitalen Medien gewünscht und somit nach der ersten theoretischen Auseinandersetzung mit digitalen Medien einen Praxiszyklus gewünscht, bevor die zweite Hälfte der Medien besprochen und der zweite Praxiszyklus durchgeführt wird.

Die Möglichkeit der Unterrichtsplanung und teilweiser Durchführung im Seminarsetting als Probedurchläufe und für Feedback wurden gut aufgenommen. Auch wurde die Möglichkeit sein eigenes Lehrendenhandeln durch die Videographien reflektieren zu können, positiv bewertet. Hingegen wünschte sich die Mehrheit der befragten Studierenden einen Feedbackleitfaden für die Unterrichtsdurchführungen, um so gezieltes Feedback geben und bekommen zu können.

Es lässt sich zusammenfassend sagen, dass das Seminar überwiegend positiv und förderlich für die Entwicklung von digitalen Kompetenzen von den Studierenden bewertet wurde.

Medium	Seminaraspekt						
	Relevanz des Themas	Vor- und Nachteile des Mediums	Einsatzkriterien des Mediums	Einsatzbeispiele des Mediums	Ausgewählte Forschungsbefunde	Gestaltung der Vertiefung	Zweiteilung in Theorie und Praxis
Smartphones	grün	gelb	grün	grün	grün	grün	grün
Mikrocontroller	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün
DMWEs	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün
Erklärvideos	grün	gelb	grün	grün	grün	grün	grün
Videoanalyse	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün
IBEs	grün	rot	grün	rot	grün	grün	grün
AR+VR	grün	rot	grün	grün	grün	grün	grün
Simulationen	grün	grün	grün	grün	grün	grün	grün

Abb. 2: Ergebnisse der Fachleutebefragung. Die Farbkodierung ist: grün = kein Änderungsbedarf, gelb = kleiner Änderungsbedarf, rot = großer Änderungsbedarf, grau = keine Angabe

5.2. ... der Befragung von Fachleuten

Die Rückmeldungen in den Befragungen der Fachleute sind ebenfalls überwiegend positiv ausgefallen (vgl. Abb. 2). So wurde allen im Seminar behandelten digitalen Medien eine hohe „Relevanz“ für die Lehrkräftebildung zugeschrieben. Ergänzend wurde aber noch auf die Bedeutung des Themenfelds *Modellierung* bzw. *Computational Physics* hingewiesen, das so noch nicht im Rahmen des Seminars thematisiert wurde. Von Seiten der Fachleute wurden die im Seminar behandelten „Einsatzkriterien“ für die jeweiligen digitalen Medien als vollständig erachtet. Hingegen gab es kleinere Änderungsvorschläge für die Bereiche „Forschungsbefunde“ bzw. „Gestaltung der Vertiefung“. So wurde auf weitere aussagekräftige empirische Befunde hingewiesen und mögliche alternative Arbeitsaufträge für Studierende in den Vertiefungseinheiten vorgeschlagen, die sich zum Teil in der Lehrpraxis der Fachleute als erfolgreich erwiesen haben.

Hingegen gab es zur Seminarsitzung zu Interaktiven Bildschirmexperimenten größere Änderungswünsche. Es wurde hier deutlich gemacht, dass h5p-angereicherte Videos bzw. sogenannte „branched scenarios“ nicht unter Interaktive Bildschirmexperimente subsumiert werden können. Dies beeinflusste vor allem die beiden Kategorien „Vor- und Nachteile“ und „Einsatzbeispiele“.

Ebenso wurde sich von der Fachperson für Augmented und Virtual Reality eine vertiefte Auseinandersetzung mit den „Vor- und Nachteilen“ dieses Mediums gewünscht, da diese sehr von der Stufenzuordnung z.B. nach dem SAMR-Modell von Puentedura (2006) abhängt.

In den Befragungen der Fachleute zur „Zweiteilung des Seminars“ in die theoretische und praktische Phase ergab sich unter Einbezug der Rückmeldungen der Studierenden die Idee, in jedem Zyklus der praktischen Phase alle Gruppen unterschiedliche digitale Medien zur Vertiefung und Seminarplanung einsetzen zu lassen. So können im zweiten Zyklus gelungene Integrationen von einer anderen Gruppe als Idee aufgegriffen werden oder aus Fehlern und Rückmeldungen anderer Gruppen gelernt werden und somit eine Integration des Mediums auf höherem Niveau erreicht werden.

6. Ausblick (auf das Re-Design)

Das Seminar wird auf Basis der Rückmeldungen von Studierenden und Fachleuten hin überarbeitet. Aus Sicht der Studierenden wurde das Seminar überwiegend positiv bewertet. Was Rückmeldungen zu technischen Problemen auf Grund von Komplikationen mit der Kompatibilität mit Betriebssystemen betrifft, werden alternative systemunabhängige oder vergleichbare Anwendungen gesucht. Für die Feedbackphasen in den beiden Praxiszyklen werden Feedbackleitfäden erstellt. Zudem werden kurze Zusammen-

fassungen der wichtigsten Merkmale und Eigenschaften der jeweiligen Medien erstellt, die als Nachschlagewerk beim Feedback verwendet werden können.

Ebenso werden die Rückmeldungen der Fachleute bei der Überarbeitung des Seminars einbezogen. Vertiefungsaufgaben werden zum Teil angepasst und die Durchführung der praxisorientierten Phase wird wie in 5.2 beschrieben geändert. Ergänzend wird das Thema „Computational Physics“ nun im Rahmen des Seminars thematisiert und auch in der theoretischen Phase behandelt.

Im Sommersemester 2022 und Wintersemester 2022/23 wird das Seminar nach diesem Konzept in Tübingen und Graz durchgeführt. Dabei wird neben der qualitativen Evaluation des Seminars mit Studierendenbefragungen ebenfalls ein Test zum Fachdidaktischen Wissen zu digitalen Medien (Große-Heilmann et al., 2022) und affektiven Variablen wie der Motivation zum Einsatz digitaler Medien (Vogelsang et al., 2019) in einem Prä-Post-Design eingesetzt, um eine mögliche Veränderung der Professionellen Handlungskompetenz der angehenden Physiklehrkräfte während des Seminars nachzeichnen zu können.

7. Literatur

- Altmeyer, K., Kapp, S., Thees, M., Malone, S., Kuhn, J. & Brünken, R. (2020). The use of augmented reality to foster conceptual knowledge acquisition in STEM laboratory courses—Theoretical background and empirical results. *British Journal of Educational Technology*, 51(3), 611–628. <https://doi.org/10.1111/bjet.12900>
- Becker, S., Bruckermann, T., Finger, A., Huwer, J., Kremser, E., Meier, M., Lars-Jochen Thoms, Thyssen, C. & Kotzebue, L. von. (2020). DiKoLAN - Digitale Kompetenzen für das Lehramt in den Naturwissenschaften. In S. Becker, J. Meßinger-Koppelt & C. Thyssen (Hrsg.), *Digitale Basiskompetenzen: Orientierungshilfen und Praxisbeispiele für die universitäre Lehramtsausbildung in den Naturwissenschaften* : Joachim Herz Stiftung.
- Becker, S., Klein, P., Gößling, A. & Kuhn, J. (2019). Förderung von Konzeptverständnis und Präsentationskompetenz durch Tablet-PC-gestützte Videoanalyse. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 25(1), 1–24. <https://doi.org/10.1007/s40573-019-00089-4>
- Brell, C. (2008). *Lernmedien und Lernerfolg - reale und virtuelle Materialien im Physikunterricht: Empirische Untersuchungen in acht Klassen an Gymnasien (Laborstudie) zum Computereinsatz mit Simulation und IBE*. Zugl.: Bremen, Univ., Diss., 2007. *Studien zum Physik- und Chemielernen: Bd. 74*. Logos-Verl. http://deposit.d-nb.de/cgi-bin/dokserv?id=3081413&prov=M&dok_var=1&dok_ext=htm
- Duit, R. (2002). Alltagsvorstellungen und Physik lernen. In E. Kircher & W. B. Schneider (Hrsg.), *Physikdidaktik in der Praxis* (S. 1–26). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-56386-7_1
- Eickelmann, B., Bos, W., Gerick, J., Goldhammer, F., Schaumburg, H., Schwippert, K., Senkbeil, M. & Vahrenhold, J. (Hrsg.). (2019). *ICILS 2018 #Deutschland. Computer- und informationsbezogene Kompetenzen von Schülerinnen und Schülern im zweiten internationalen Vergleich und Kompetenzen im Bereich Computational Thinking*. Waxmann.
- Findeisen, S., Horn, S. & Seifried, J. (2019). Lernen durch Videos – Empirische Befunde zur Gestaltung von Erklärvideos. *Medienpädagogik: Zeitschrift für Theorie und Praxis der Medienbildung*, 2019(Occasional Papers), 16–36. <https://doi.org/10.21240/mpaed/00/2019.10.01.X>
- Girwidz, R. (2020). Multimedia und digitale Medien im Physikunterricht. In E. Kircher, R. Girwidz & H. E. Fischer (Hrsg.), *Physikdidaktik | Grundlagen* (S. 457–527). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-59490-2_13
- Große-Heilmann, R., Burde, J.-P., Riese, J., Schubatzky, T. & Weiler, D. (2022). Messung fachdidaktischer digitaler Kompetenzen in Physik. In S. Habig & H. van Vorst (Vorsitz), *Virtuelle Jahrestagung 2021*. Symposium im Rahmen der Tagung von Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik (GDChP), online.
- Hillmayr, D., Ziernwald, L., Reinhold, F., Hofer, S. I. & Reiss, K. M. (2020). The potential of digital tools to enhance mathematics and science learning in secondary schools: A context-specific meta-analysis. *Computers & Education*, 153, 103897. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2020.103897>
- Hockicko, P., Trpišová, B. & Ondruš, J. (2014). Correcting Students' Misconceptions about Automobile Braking Distances and Video Analysis Using Interactive Program Tracker. *Journal of Science Education and Technology*, 23(6), 763–776. <https://doi.org/10.1007/s10956-014-9510-z>
- Jahn, D. (2014). Durch das praktische Gestalten von didaktischen Designs nützliche Erkenntnisse gewinnen: Eine Einführung in die Gestaltungsforschung. *Wirtschaft und Erziehung*, 66.
- Kirstein, J. & Nordmeier, V. (2013). Interaktive Reallbild-Animationen. In R. Girwidz (Hrsg.),

- Naturwissenschaft im Unterricht Physik: Bd. 137. Animationen & Simulationen.* Friedrich Verlag GmbH.
- KMK. (2021). *Lehren und Lernen in der digitalen Welt – Ergänzung zur Strategie der Kultusministerkonferenz „Bildung in der digitalen Welt“: Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 09.12.2021.* https://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2021/2021_12_09-Lehren-und-Lernen-Digi.pdf
- Kulgemeyer, C. (2018). Wie gut erklären Erklärvideos? Ein Bewertungs-Leitfaden. *Computer + Unterricht*, 8–11.
- Kulgemeyer, C. & Peters, C. H. (2016). Exploring the explaining quality of physics online explanatory videos. *European Journal of Physics*, 37(6), 65705. <https://doi.org/10.1088/0143-0807/37/6/065705>
- Lachner, A., Fabian, A., Franke, U., Preiß, J., Jacob, L., Führer, C., Kuchler, U., Paravicini, W., Randler, C. & Thomas, P. (2021). Fostering pre-service teachers' technological pedagogical content knowledge (TPACK): A quasi-experimental field study. *Computers & Education*, 174, 104304. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2021.104304>
- Lampe, H.-U. (2015). *Innovativer naturwissenschaftlicher Unterricht mit digitalen Werkzeugen: Experimente mit Messwerterfassung in den Fächern Biologie, Chemie, Physik* (1. Aufl.). MNU-Themenreihe Bildungsstandards. Seeberger.
- Puentedura, R. R. (2006, November 28). *Transformation, technology, and education in the state of Maine.* http://www.hippasus.com/rpweblog/archives/2006_11.html
- Sandoval, W. A. & Bell, P. (2004). Design-Based Research Methods for Studying Learning in Context: Introduction. *Educational Psychologist*, 39(4), 199–201. <https://doi.org/10.1207/s15326985ep39041>
- Schecker, H., Wilhelm, T., Hopf, M. & Duit, R. (Hrsg.). (2018). *Schülervorstellungen und Physikunterricht: Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis.* Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-57270-2>
- Schubatzky, T., Burde, J.-P., Große-Heilmann, R., Riese, J. & Weiler, D. (2022). Das Gesamtuntersuchungsdesign im Verbundprojekt DiKoLeP. In S. Habig & H. van Vorst (Vorsitz), *Virtuelle Jahrestagung 2021*. Symposium im Rahmen der Tagung von Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik (GDGP), online.
- Teichrow, A. & Erb, R. (2020). How augmented reality enhances typical classroom experiments: examples from mechanics, electricity and optics. *Physics Education*, 55(6), 65029. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/abb5b9>
- Thees, M., Kapp, S., Strzys, M. P., Beil, F., Lukowicz, P. & Kuhn, J. (2020). Effects of augmented reality on learning and cognitive load in university physics laboratory courses. *Computers in Human Behavior*, 108, 106316. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2020.106316>
- Tondeur, J., van Braak, J., Sang, G., Voogt, J., Fisser, P. & Ottenbreit-Leftwich, A. (2012). Preparing pre-service teachers to integrate technology in education: A synthesis of qualitative evidence. *Computers & Education*, 59(1), 134–144. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2011.10.009>
- Vogelsang, C., Finger, A., Laumann, D. & Thyssen, C. (2019). Vorerfahrungen, Einstellungen und motivationale Orientierungen als mögliche Einflussfaktoren auf den Einsatz digitaler Werkzeuge im naturwissenschaftlichen Unterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 25(1), 115–129. <https://doi.org/10.1007/s40573-019-00095-6>
- Weiler, D., Burde, J.-P., Lachner, A., Große-Heilmann, R., Riese, J. & Schubatzky, T. (2022). Bedarfsanalyse zu digitalen Medien bei Physik-Lehramtsstudierenden. In S. Habig & H. van Vorst (Vorsitz), *Virtuelle Jahrestagung 2021*. Symposium im Rahmen der Tagung von Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik (GDGP), online. <https://gdcp-ev.de/wp-content/uploads/2022/05/Tagungsband-2022-Stand-13522.pdf>
- Weiler, D., Burde, J.-P., Lachner, A., Riese, J., Schubatzky, T. & Große-Heilmann, R. (2021). Entwicklung eines Seminars zur Förderung des Konzeptverständnisses mittels digitaler Medien. *PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*, 1(0). <http://phydid.physik.fu-berlin.de/index.php/phydid-b/article/view/1133>

Danksagung

Die Entwicklung und Evaluation eines Seminars zum Thema „Förderung des Konzeptverständnisses mit digitalen Medien im Physikunterricht“ ist Teil des Projekts „TPACK 4.0 - interdisziplinäre, praxisorientierte und forschungsbasierte Förderung mediendidaktischer Kompetenzen von Lehrkräften“, das im Rahmen des Förderprogramms zur Entwicklung innovativer Strukturen, Formate und Lehrinhalte bzw. -angebote in der Lehrerbildung des Ministeriums für Wissenschaft, Forschung und Kunst Baden-Württemberg gefördert wird. Hierfür möchten wir uns bedanken.

Digitalität im mathematisch-naturwissenschaftlichen Fachunterricht:

- Entwicklung und Beforschung einer Masterlehrveranstaltung für die Lehramtsausbildung -

Angelika Mandl*, **Claudia Haagen-Schützenhöfer⁺**, **Philipp Spitzer^o**, **Thomas Schubatzky⁺**

*Universität Graz, DINAMA, Harrachgasse 21, 8010 Graz, Österreich, ⁺Universität Graz, Institut für Physik, Physikdidaktik, ^oUniversität Graz, Institut für Chemie, Chemiedidaktik, Heinrichstraße 28/IV, Universitätspl. 5
angelika.mandl@uni-graz.at

Kurzfassung

Mit dem Ziel der Professionalisierung angehender Lehrkräfte mathematisch-naturwissenschaftlicher Unterrichtsfächer für die Umsetzung eines digital transformierten Fachunterrichts, wird an der Universität Graz eine Masterlehrveranstaltung im Paradigma des Design-Based Research entwickelt und beforscht. Basierend auf Vorerhebungen konnten zwei inhaltliche Schwerpunkte für die Lehrveranstaltung abgeleitet werden: digitale Messwerterfassung mit Arduino-Mikrocontrollern und der Umgang mit Falschinformationen in einer Kultur der Digitalität. Dieser Beitrag stellt die Forschungs- und Entwicklungsschritte dar, die zum Design des ersten Teils der Lehrveranstaltung führten, insbesondere zu einer Moodle-basierten Lernumgebung als Einstieg in die Arbeit mit Arduino. Aus einer dazu mit sieben Studierenden durchgeführten Lernprozessstudie im Rahmen von Akzeptanzbefragungen, konnten Implikationen für die Weiterentwicklung der Lerngelegenheiten abgeleitet werden. Das adaptierte Design dieser Lernumgebung wurde im Rahmen der erstmaligen Umsetzung der Lehrveranstaltung im Sommersemester 2022 erprobt.

1. Einleitung und theoretischer Hintergrund

Durch digitale Transformationsprozesse in unterschiedlichsten Bereichen des Alltags und des Berufslebens, entwickelt sich eine neue Kultur der Digitalität [1]. Damit einher gehen neue Chancen und Herausforderungen, unter anderem im Zusammenhang mit sozialen Medien und dort kursierenden Falschinformationen. Für eine selbstbestimmte und kritisch reflektierte Teilhabe an dieser sich wandelnden Gesellschaft, benötigen Schüler:innen umfangreiche mathematisch-naturwissenschaftliche und digitale Kompetenzen [2, 3]. Es werden Lehrkräfte benötigt, die auf diese Herausforderungen gut vorbereitet sind, um zielführende Lerngelegenheiten der Bereiche Lernen mit und Lernen über digitale Medien im Unterricht zur Förderung digitaler Kompetenzen zu bieten [4, 5]. Das Ziel des an der Universität Graz angesiedelten Projekts ProDigiTrans (Teilprojekt des Kooperationsprojekts Teaching Digital Thinking) ist die Professionalisierung angehender Lehrkräfte hinsichtlich des reflektierten Einsatzes von digitalen Medien im Fachunterricht. Dazu wird eine Masterlehrveranstaltung für Lehramt-Studierende mathematisch-naturwissenschaftlicher (math.-nawi.) Fächer im Paradigma des Design-Based Research [6] entwickelt und beforscht.

1.1. Digitale Transformation in der Bildung

Aufbauend auf den grundlegenden Prozessen der Digitalisierung [7] können Abläufe neu gedacht, mittels digitaler Technologien revolutioniert und neue, innovative Herangehensweisen eingebracht werden [8]. Bei digitaler Transformation handelt es sich demnach

um einen maßgeblichen Wandel von Strukturen in den Bereichen Gesellschaft, Wirtschaft und Bildung [2, 4, 7, 8].

Dem MINT-Barometer 2022 [3] ist jedoch zu entnehmen, dass sich digitale Transformationsprozesse bislang im Bereich der Bildung noch nicht stark durchgesetzt haben. Lehrkräfte nutzen in den letzten Jahren zwar digitale Medien intensiv für ihren Unterricht, passen die Unterrichtsmethoden jedoch nicht entsprechend an. Bei der digitalen Umsetzung von Unterricht werden häufig die erweiterten Möglichkeiten und Herausforderungen der Arbeit mit digitalen Medien nicht aufgegriffen. Es wird gefordert, dass Lehrkräfte ihren Unterricht digital transformiert gestalten und ihn somit an die neuen, durch die Digitalisierung entstandenen, Gegebenheiten anpassen und weiterentwickeln. Dafür müssen entsprechende Ausbildungsangebote für Lehrkräfte geboten werden [3].

1.2. Lernen mit und über digitale Medien

In Diskussionen über Lehr- und Lernprozesse mit Medienbezug geht es immer mehr um eine ganzheitliche und umfassende Medienpädagogik, die ein Lernen mit digitalen Medien und ein Lernen über digitale Medien beinhaltet und das Ziel einer mehrdimensionalen digitalen Kompetenz verfolgt [5, 9, 10]. Beim Lernen mit Medien gelten digitale Medien als Werkzeug und nicht als Lerngegenstand per se [11]. Lernprozesse sollen mittels digitaler Medien verbessert und digitale Medien als Grundbaustein für eine lernförderliche Umgebung zur Ermöglichung effizienten und nachhaltigen Lernens angesehen werden [5, 9, 12]. Im Gegensatz zum Lernen mit digitalen

Medien rückt das Lernen über digitale Medien das Digitale als eigentlichen Lehr- und Lerngegenstand ins Zentrum. Digitale Medien dienen somit im Zuge des Lernens über digitale Medien nicht bloß als Mittel, sondern vielmehr als Zweck [13]. Ziel des Lernens über digitale Medien ist es, Lernende hin zu einem aktiven, kritischen, selbstständigen und reflektiven Umgang mit digitalen Medien zu führen [12].

1.3. Professionalisierung von Lehrkräften

Im internationalen Raum wurde in den vergangenen Jahren eine Vielzahl an Kompetenzmodellen und -rahmen für die Pädagog:innen-Bildung entwickelt, die als Leitlinien zur Professionalisierung von Lehrkräften im Bereich der digitalen Transformation herangezogen werden können. Im Projekt ProDigiTrans wird zur Sicherstellung der Adressierung umfassender digitaler Kompetenzen auf eine Kombination von Kompetenzmodellen und -rahmen zurückgegriffen: Das Technological Pedagogical Content Knowledge (TPaCK) Modell [14] legt den Fokus auf das notwendige Zusammenspiel technischer, pädagogischer und fachlicher Kompetenzen für einen sinnvollen Einsatz digitaler Medien im Fachunterricht. In diesem Modell kommen allerdings digitalitätsbezogene Kompetenzen, sowie das Verständnis für Digitalität zu kurz [15]. Deshalb werden ergänzend dazu die Dagstuhl-Erklärung und das Frankfurt-Dreieck als Rahmung hinsichtlich der zu adressierenden Kompetenzbereiche herangezogen. Diese Modelle gelten als überfachliche Konzepte zur umfassenden Thematisierung von Aspekten und Prozessen der Digitalität [10, 16].

1.4. Design-Based Research

Mithilfe des Paradigmas Design-Based Research (DBR) soll der Wissens- und Erkenntnis-Transfer zwischen Forschung und Praxis gewährleistet werden [17], da die im Rahmen fachdidaktischer Forschung gewonnenen Erkenntnisse den Weg in die Bildungspraxis häufig nicht finden [18]. Den Ausgangspunkt für ein DBR-Projekt liefert eine Problemstellung aus der Bildungspraxis [6]. Theoriegeleitete Entwicklung und Forschung werden in Form iterativer Zyklen (Design-Zyklen) miteinander verzahnt [17] (Abb. 1). Auf Entwicklungsebene werden, geleitet von Design-Kriterien, Lerngelegenheiten entwickelt und in der Praxis erprobt. Die Umsetzung dieser Lernangebote wird dabei als Intervention bezeichnet. Design-Kriterien sind als Hypothesen im Hinblick auf das Design der Lehrveranstaltung zu verstehen [19]. Sie leiten die Handlungen im Zuge des iterativen Entwicklungsprozesses. Auf Basis der Reflexion der Intervention eines Design-Zyklus, werden diese Design-Kriterien ausgeschärft. Auf Forschungsebene werden gegenstandsbezogene Theorien (= lokale Lehr-Lern-Theorien) zur wissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung generiert [17].

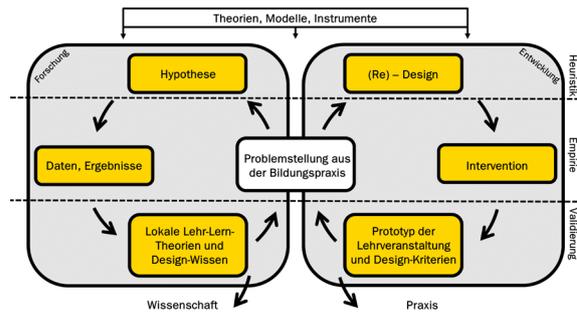


Abb. 1: Design-Based Research Modell (erstellt nach [6])

1.5. Akzeptanzbefragung

Die Methode der Akzeptanzbefragung ist auf Jung [20] zurückzuführen und kann als eine Kombination aus Instruktion von Lerninhalten und Interview verstanden werden. Nach der Auseinandersetzung der Teilnehmer:innen mit dem Informationsangebot, folgen die Phase der Paraphrasierung und die Frage nach der Akzeptanz des Lernangebots, bevor Transferaufgabenstellungen zur Überprüfung des Verständnisses zu lösen sind. Ziel einer solchen Befragung ist es, Reaktionen auf das Lernangebot zu erheben und somit unverständliche, irreführende, aber auch für das Verständnis hilfreiche Aspekte zu identifizieren [21, 22].

2. Charakterisierung der Problemstellung

Zur theoriegeleiteten Definition von Design-Kriterien und Lernzielen sowie zur Entwicklung eines prototypischen Designs der Lehrveranstaltung für deren erstmalige Umsetzung (Intervention im Design-Zyklus 1), wurden eine Curricula-Analyse sowie Lehrenden- und Studierenden-Befragungen durchgeführt [23]. Damit konnten Lücken im Bereich digitalitätsbezogener Lernangebote innerhalb der bestehenden Ausbildung von Lehrkräften math.-nawi. Fächer im Entwicklungsverbund Süd-Ost (EVSO)¹ erhoben werden. Dies führte zur Charakterisierung der Problemstellung aus der Bildungspraxis (siehe 1.4) als Ausgang für iterative Design-Zyklen.

2.1. Curricula-Analyse

Mit der Analyse von im EVSO bestehenden Bachelor- und Master-Curricula der math.-nawi. Fächer, konnten normativ festgelegte Inhalte mit Bezug zu digitalen Medien in der math.-nawi. Lehramtsausbildung erfasst werden [23].

2.2. Lehrenden- und Studierenden-Befragung

Um genauere Aussagen hinsichtlich der im Rahmen der math.-nawi. Lehramtsstudien adressierten Kompetenzen aus dem Bereich der digitalen Medien tätigen zu können, wurden die Lehrenden (N = 64) der mittels Curricula-Analyse identifizierten Lehrveranstaltungen anhand eines Online-Fragebogens befragt. Parallel dazu wurde eine Bachelor- und Master-Studierenden-Befragung (N = 357) durchgeführt.

¹ Universitäten: Graz, Klagenfurt, TU Graz; Pädagogische Hochschulen: Augustinum, Burgenland, Kärnten, Steiermark

Folgende Konstrukte wurden im Rahmen dieser beiden Befragungen erhoben: Einstellung zum Lernen mit digitalen Medien [24], motivationale Orientierung und wahrgenommene Hemmnisse zum Einsatz digitaler Medien [24], subjektive Normerwartung [24], Selbstwirksamkeitserwartung [24], wahrgenommener Nutzen digitaler Medien [25], Selbsteinschätzung des TPaCK [26], Erfahrung mit digitalen Medien in der Lehramtsausbildung [24, 27], Lernen mit und über digitale Medien im Lehramtsstudium (Studierende), Adressierung digitaler Kompetenzen an die Studierenden (Lehrende) [28].

Aus der Triangulation der Ergebnisse der Befragungen kann abgeleitet werden, dass Studierende math.-nawi. Lehramtsstudien im Rahmen ihres Studiums nur wenig Erfahrung mit digitaler Messwerterfassung sammeln. Ebenso zeigt sich, dass Studierenden größtenteils Lernangebote im Sinne eines Lernens mit digitalen Medien, weniger jedoch im Sinne eines Lernens über digitale Medien geboten werden. Diese Angaben decken sich mit den Ergebnissen der Curricula-Analyse [23].

3. Design des ersten Teils der Lehrveranstaltung

In diesem Beitrag wird auf die theoriegeleiteten Designentscheidungen und Handlungsschritte für das Design der Lerngelegenheiten des ersten Teils der Lehrveranstaltung eingegangen.

3.1. Kompetenzziele und Design-Kriterien

Kompetenzmodelle und -rahmen (siehe 1.3.) bilden die normative Setzung digitaler Kompetenzen für Lehrkräfte. Mit der Curricula-Analyse wurde ein Abgleich dieser Modelle mit den in den Curricula des EVSO verankerten Lernangeboten hergestellt. Die Ergebnisse der Befragungen liefern zusätzlich Evidenzen zur Identifikation von Divergenzen zwischen diesen Ebenen. Daraus lassen sich die zu adressierenden Kompetenzziele sowie die inhaltliche Schwerpunktsetzung der geplanten Lehrveranstaltung ableiten. Diese Ergebnisse bilden die Grundlage des Lehrveranstaltungs-Designs.

Es konnten zwei inhaltliche Schwerpunkte für die Lehrveranstaltung abgeleitet werden: Im ersten Teil werden Kompetenzen aus dem Bereich der digitalen Messwerterfassung adressiert, im zweiten Teil wird der Fokus auf das Verständnis für die Digitalität der Gesellschaft nach Stalder [1] und auf den Umgang mit Falschinformationen gelegt. Zur digitalen Messwerterfassung werden in der Lehrveranstaltung Arduino-Mikrocontroller eingesetzt, da die Studierenden in diesem Bereich noch wenig Erfahrung vorweisen, diese sich jedoch gut für den Einsatz im Unterricht eignen [29, 30].

Der Schwerpunkt dieses Beitrags liegt auf dem ersten Teil der Lehrveranstaltung, der digitalen Messwerterfassung. Nachstehend werden wichtige Lernziele im Zusammenhang mit dem Einsatz von Arduino-Mikrocontrollern zur digitalen Messwerterfassung dargestellt:

Die Studierenden...

- kennen den Aufbau und die Funktionsweise eines Arduino-Boards sowie der Arduino-Software.
- können mithilfe digitaler Software (Arduino IDE) math.-nawi. Untersuchungen durchführen.
- kennen Chancen und Herausforderungen des Einsatzes von Arduino-Mikrocontrollern im math.-nawi. Fachunterricht.

Zur Übersetzung dieser Ziele in Lerngelegenheiten wurden Design-Kriterien definiert. Design-Kriterien gelten als Leitlinien für das Design der Lehrveranstaltung [6]. Diese wurden aus den Erkenntnissen der Vorerhebungen, einer Literaturrecherche sowie aus allgemeinen und speziellen Lehr-Lern-Theorien, die für die Entwicklung der geplanten Lehrveranstaltung von Relevanz sind, abgeleitet. Für das prototypische Design der Lehrveranstaltung wurden einerseits Design-Kriterien, bezogen auf Aspekte des Lehrens und Lernens im Allgemeinen, definiert. Andererseits wurden spezifische Design-Kriterien formuliert. Diese beziehen sich auf spezielle Aspekte des Lehrens und Lernens mit digitalen Medien. Nachstehend werden die wichtigsten allgemeinen (1-4) und spezifischen (5-6) Design-Kriterien dargestellt, die als Leitlinien zur Entwicklung der Lerngelegenheiten mit Arduino-Mikrocontrollern dienen:

1. Die Inhalte der Lehrveranstaltung knüpfen an das Vorwissen und die Einstellungen der Studierenden zum Thema an [31, 32].
2. Theoretische Implikationen und praktisches Arbeiten werden sinnvoll miteinander verwoben [33].
3. Den Studierenden wird die Möglichkeit der Kollaboration mit Mitstudierenden geboten [33].
4. Den Studierenden werden Möglichkeiten zur Reflexion über die Lerninhalte geboten [33].
5. Der Arduino-Mikrocontroller wird mithilfe von Aufgabenstellungen, die an die Vorkenntnisse der Studierenden anknüpfen, eingeführt [29, 30].
6. Die Arbeit mit Arduino-Mikrocontrollern erfolgt vor dem Hintergrund eines bestimmten, fächerübergreifenden Kontextes [30].

Die Design-Kriterien wurden in Anlehnung an die Semarkonzept-Entwicklung des DiKoLeP-Verbundprojekts formuliert [34].

3.2. Design von Teil 1 der Lehrveranstaltung: Digitale Messwerterfassung mit Arduino

Mit dem Design-Kriterium 1 und aufgrund der aus der Studierenden-Befragung abgeleiteten Heterogenität der Studierenden hinsichtlich ihrer Vorerfahrung und Selbstwirksamkeitserwartung, wird das Ziel verfolgt, Lerngelegenheiten zu konzipieren, die zur Entwicklung eines allgemeinen Grundverständnisses für digitale Messwerterfassung mit Arduino-Mikrocontrollern beitragen.

In Form eines Moodle-Kurses, untergliedert in fünf Lektionen, werden grundlegende Kompetenzen zur Arbeit mit Arduino-Mikrocontrollern adressiert (Tabelle 1). Für das Design der Lerngelegenheiten des Moodle-Kurses gilt unter anderem insbesondere Design-Kriterium 5 als leitend. Anhand von fünf

Lektionen können sich Studierende in ihrem eigenen Lerntempo durch theoretische Informationen, unter anderem zum Aufbau und zur Funktionsweise eines Arduino-Boards, zu Anschlussmöglichkeiten von Sensoren sowie zu Möglichkeiten innerhalb der Arduino-Entwicklungsumgebung, arbeiten. In den Moodle-Kurs integrierte Aufgabenstellungen und Tests dienen der Sicherung des Erlernten. Alltagsbeispiele und alltagsnahe Erklärungsangebote dienen der Anknüpfung an das Vorwissen der Studierenden.

Lernziele: Die Studierenden...	
Lektion 1: Grundbegriffe	<ul style="list-style-type: none"> können die Begriffe Eingebettetes System, Physical Computing und Computational Thinking definieren sowie diese anhand von Beispielen erläutern. kennen Chancen und Herausforderungen von Physical Computing für den math.-nawi. Unterricht.
Lektion 2: Das Arduino-Board	<ul style="list-style-type: none"> können den Unterschied zwischen analogen und digitalen Signalen erklären. kennen den Aufbau eines Arduino-Boards. können die Funktionsweise der Bauteile eines Arduino-Boards beschreiben.
Lektion 3: Sensoren und Aktoren	<ul style="list-style-type: none"> kennen den Unterschied zwischen Sensoren und Aktoren. können Sensoren und Aktoren mit einem Arduino-Board verbinden.
Lektion 4: Software – Die Arduino-Entwicklungsumgebung	<ul style="list-style-type: none"> kennen die Funktionen der Arduino-Entwicklungsumgebung. verstehen den Begriff Algorithmus und können diesen erklären. kennen den Aufbau eines Sketches. können einen Sketch auf Ihr Arduino-Board laden.
Lektion 5: Physical Computing mit Arduino	<ul style="list-style-type: none"> wissen, wo sie bereits bestehenden Sketches zur Arbeit mit verschiedenen Sensoren downloaden können. wissen, wie sie notwendige Bibliotheken zu ihrem Sketch hinzufügen können. können die von ihnen erhobenen Messwerte vom Serial Monitor der Arduino-IDE darstellen lassen.

Tab. 1: Lernziele der 5 Lektionen des Moodle-Kurses zum Einstieg in das Arbeiten mit Arduino

Ziel dieses Moodle-Kurses ist der Aufbau einer möglichst homogenen Wissensbasis aller Studierenden, sodass diese im weiteren Lehrveranstaltungsverlauf dazu befähigt sind, mit anderen Studierenden kollaborativ an einem Projekt mit Arduino-Mikrocontrollern zu arbeiten. Die Einführung in das Arbeiten mit Arduino-Mikrocontrollern wird somit durch das individuelle Arbeiten innerhalb der digitalen Lernumgebung auf Moodle umgesetzt.

Zur Vertiefung dieses Grundlagenwissens und zur Förderung des Erreichens der formulierten Lernziele, wurden für den weiteren Lehrveranstaltungsverlauf Lerngelegenheiten entwickelt, die es den Studierenden ermöglichen, kollaborativ (Design-Kriterium 3) an einem Arduino-Projekt zu arbeiten. Die inhaltliche, fächerübergreifende Rahmung (Design-Kriterium 6) bietet die aktuelle COVID-19 Pandemie. Die

Studierenden bearbeiten mithilfe eines 3D-gedruckten Modellkopfes, Arduino-Boards, Sensoren und Schutzmasken Fragestellungen rund um die Wirksamkeit von (FFP2)-Masken. Mit der Kombination aus digitaler Lernumgebung via Moodle, kollaborativer Projektarbeit und Inputphasen im Rahmen der Lehrveranstaltungseinheiten wird Design-Kriterium 2 umgesetzt und den Studierenden eine sinnvolle Verknüpfung von theoretischen Informationen und Praxiserfahrungen geboten. Das Führen eines digitalen, persönlichen Reflexionsjournals bietet den Studierenden die Möglichkeit zur Reflexion über ihre Arbeit mit Arduino-Mikrocontrollern und die in diesem Kontext ablaufenden Lernprozesse (Design-Kriterium 4).

4. Akzeptanzbefragung: Moodle-Kurs zur Einführung in das Arbeiten mit Arduino

Zur bestmöglichen Anpassung der Lerngelegenheiten des Moodle-Kurses an die Bedürfnisse der Studierenden, wurden Akzeptanzbefragungen (siehe 1.5.) vor der ersten Umsetzung des prototypischen Lehrveranstaltungs-Designs (Intervention in Design-Zyklus 1) durchgeführt.

4.1. Umsetzung

Sieben Studierende, vier männliche, drei weibliche, nahmen an der Akzeptanzbefragung teil. Das Unterrichtsfach Biologie war unter den Teilnehmer:innen drei Mal, Chemie vier Mal, und die Fächer Mathematik und Physik jeweils zwei Mal vertreten. Im Mittel studierten die Teilnehmer:innen zum Zeitpunkt der Befragung sieben Semester. Eine Person schloss erst das dritte Semester, eine bereits das elfte Semester ab. Zur besseren Einordnung der Ergebnisse der Akzeptanzbefragungen, wurden die Teilnehmer:innen im Vorfeld zu ihren Vorerfahrungen und Einstellungen hinsichtlich des Einsatzes von digitalen Medien im Allgemeinen und von (Arduino)-Mikrocontrollern im Speziellen, befragt. Hierbei zeigt sich, dass die Teilnehmer:innen dem sinnvollen und zielgerichteten Einsatz digitaler Medien durchwegs positiv gegenüberstehen. Bezogen auf den Einsatz von Mikrocontrollern gaben nur zwei Personen an, erste Erfahrungen im Umgang mit dem Programmieren eines Mikro:Bits gesammelt zu haben. Niemand gab an, bereits mit Arduino gearbeitet zu haben. Digitale Messwerterfassung war den Studierenden teilweise unter anderem durch Arbeiten mit Sensoren im naturwissenschaftlichen Labor bekannt.

Die Akzeptanzbefragungen wurden in Form von Einzelbefragungen durchgeführt und zu deren Auswertung aufgezeichnet. Nachstehend wird der Ablauf der durchgeführten Akzeptanzbefragungen dargestellt:

- (1) Informationsangebot: Die Studierenden bearbeiteten jeweils eine Lektion des Moodle-Kurses. Im Vorfeld wurden ihnen die Lernziele für die entsprechende Lektion (Tab. 1) dargelegt.
- (2) Frage nach der Akzeptanz: Nach der Bearbeitung jeder Lektion bekamen die Studierenden Fragestellungen zum von ihnen durchgearbeiteten

Lernangebot. Unverständliche, irreführende und für das Verständnis besonders hilfreiche Aspekte wurden dabei erfragt. Eine Verbindung zu den für die jeweilige Lektion definierten Lernzielen wurde hergestellt und erfasst, inwieweit die Lernangebote als passend zum Erreichen dieser Ziele angesehen werden.

- (3) Paraphrasierung: Die Studierenden wurden gebeten, die wichtigsten Inhalte der jeweiligen Lektion zu erklären.
- (4) Transfer: Den Studierenden wurden Transferaufgaben geboten. Für die praktische Umsetzung dieser wurden ein Arduino-Board, ein Erweiterungs-Shield und Sensoren zur Verfügung gestellt. Die Arduino-Entwicklungsumgebung wurde im Zuge der Befragung von den Teilnehmer:innen selbstständig installiert.

Eine Befragung dauerte rund 2,5 Stunden.

4.2. Analyse

Die aufgezeichneten Befragungen wurden transkribiert, wobei auf ein inhaltlich-semantisches Regelsystem zurückgegriffen wurde [35].

Bewertung	Akzeptanz	Paraphrasierung	Transfer
+	Es wurden keine für das Erreichen der angegebenen Lernziele (Tab. 1) relevante Unklarheiten geäußert.	Alle für die jeweilige Lektion relevanten Begriffe wurden richtig erklärt.	Die Transfer-Aufgaben konnten problemlos gelöst werden.
~	Es wurden bis zu 3 Nennungen für das Erreichen der angegebenen Lernziele (Tab. 1) relevante Unklarheiten geäußert.	Die Mehrheit der für die jeweilige Lektion relevanten Begriffe wurde richtig erklärt.	Die Transfer-Aufgaben konnten größtenteils gelöst werden.
x	Es wurden mehr als drei Nennungen für das Erreichen der angegebenen Lernziele (Tab. 1) relevante Unklarheiten geäußert.	Die Mehrheit der für die jeweilige Lektion relevanten Begriffe konnte nicht richtig erklärt werden.	Die Transfer-Aufgaben konnten nicht gelöst werden.

Tab. 2: Rating-Kriterien zur Analyse der Befragungen

Zur qualitativen Inhaltsanalyse der Transkripte nach Kuckartz [36] wurde eine Kombination aus deduktivem und induktivem Kategoriensystem gewählt. Die Gliederung der Akzeptanzbefragung in fünf Lektionen und drei Befragungsteile je Lektion (Akzeptanz, Paraphrasierung, Transfer) wurde übernommen, um daraus insgesamt 22 Ordnungs- bzw. thematische Kategorien zu formulieren [36]. Innerhalb dieses deduktiv festgelegten Kategoriensystems wurden induktiv 91 Unterkategorien erstellt, um Aussagen hinsichtlich unverständlicher bzw. für das Verständnis hilfreicher

Aspekte kategorisieren zu können.

Um innerhalb der definierten Kategorien Rating-Urteile betreffend der Akzeptanz des Lernangebots, des Erfolges der Paraphrasierung sowie der Umsetzung der Transferaufgaben durchführen zu können, wurden ordinal skalierte Rating-Kriterien erstellt [36]. Diese sind Tabelle 2 zu entnehmen.

Nach der Durchführung von fünf Befragungen (Version 1 des Moodle-Kurses) wurden diese analysiert. Aus den Analyse-Ergebnissen wurden die in Punkt 4.4. angeführten Adaptionen der Lernangebote abgeleitet. Nach der Weiterentwicklung der Lerngelegenheiten wurden zwei weitere Akzeptanzbefragungen (Version 2 des Moodle-Kurses) durchgeführt.

4.3. Ergebnisse

Basierend auf den Kriterien aus Tabelle 2 wurden die kodierten Befragungen zu Version 1 und Version 2 des Moodle-Kurses beurteilt. Insgesamt wurden 105 Rating-Urteile für die sieben Befragungen, unterteilt in jeweils fünf Lektionen mit je drei Befragungsteilen, abgegeben. Diese sind Tabelle 3 zu entnehmen. 20 % (21 Abschnitte) der Akzeptanzbefragungen wurden kommunikativ validierend geratet. Diese Rating-Urteile sind in Tabelle 3 unterstrichen dargestellt. Für 4,2 % (4 Abschnitte) konnte keine Übereinstimmung der Rating-Urteile erzielt werden.

		Moodle-Lernumgebung						
		Version 1			Version 2			
		TN 1	TN 2	TN 3	TN 4	TN 5	TN 6	TN 7
Begriffliche Klärung	Akzeptanz	~/+	~	~	~	~	~	~
	Paraphrasierung	+	+	+	+	~	+	+
	Transfer	+	~	+	+	~	+	+
Hardware – Das Arduino Board	Akzeptanz	~	x	+	+/-	+	~	~
	Paraphrasierung	+	~	~	~	~	±	+
	Transfer	+	x	±	+	+	+	+
Hardware – Sensoren und Aktoren	Akzeptanz	~/-	~	~	~	~	~	±
	Paraphrasierung	+	~	~	+	+	+	+
	Transfer	+	~	~	+	~	~	±
Software – Die Arduino IDE	Akzeptanz	~	~	~	+	±	+	~
	Paraphrasierung	+	~	+	±	+	+	~
	Transfer	+	x/~	~	+	+	+	~
Physical Computing mit Arduino	Akzeptanz	x	x	~	~	x	±	+
	Paraphrasierung	~	x	~	~	~	+	+
	Transfer	x	x	x	x	x	±	~

Tab. 3: Rating der Akzeptanzbefragungen laut Kriterien (Tab. 2); unterstrichene Urteile: kommunikative Validierung; TN = Teilnehmer:in; „/“: unklares Rating-Urteil

4.4. Diskussion der Ergebnisse

Die qualitative Inhaltsanalyse der Akzeptanzbefragungen zu Version 1 des Moodle-Kurses (5 Befragungen) führte zur Ableitung von insbesondere acht Implikationen zur Weiterentwicklung der digitalen Lernumgebung auf Moodle (Abb. 2).

Hinsichtlich der Klärung von für das Arbeiten mit Arduino grundlegenden Begriffen (Lektion 1) wurde mehrfach (12 Nennungen) geäußert, dass der Begriff Eingebettetes System nur schwer von Physical Computing unterschieden werden kann und eine Erklärung anhand von weiteren Beispielen dafür hilfreich wäre. Demzufolge wurde diese begriffliche Klärung im Moodle-Kurs ausgeschärft und anhand von Alltagsbeispielen verstärkt.

Im Zusammenhang mit dem Arduino-Board und den Erklärungen zu analogen und digitalen Schaltkreisen wurde von den Studierenden angegeben (5

Nennungen), dass sie insbesondere eine in das Lernangebot integrierte Abbildung zur Veranschaulichung von analogen und digitalen Schaltkreisen irritieren würde. Diese Abbildung wurde folglich aus dem Moodle-Kurs entfernt.

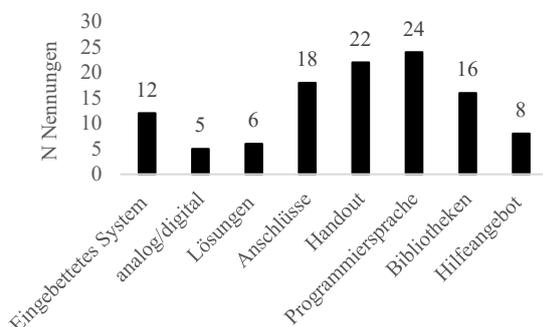


Abb. 2: Für die Adaption der digitalen Lernumgebung relevante Nennungen, thematisch geordnet

Zur Arbeit mit Sensoren und Aktoren (Lektion 3) wurde mehrfach (18 Nennungen) angemerkt, dass sich der Anschluss von Sensoren mithilfe von Erweiterungsshields als komplex erweisen würde. Die Studierenden gaben an, nähere Informationen zur Funktionsweise von Erweiterungsshields und Anschlussmöglichkeiten zu benötigen.

Als besonders komplex (24 Nennungen) stellten sich im Rahmen der Arbeit mit der Arduino-Software (Lektion 4) das leichte Verändern des Programmcodes zur angepassten Daten-Darstellung und der dafür nötige, zielführende Einsatz der Programmiersprache heraus. Hierzu wurde angeführt, dass vorgefertigte Algorithmen fehlen würden. Viele Studierende (16 Nennungen) hatten beim Umsetzen von Physical Computing mit Arduino (Lektion 5) Probleme, das Prinzip einer Bibliothek zu verstehen und eine solche entsprechend zu installieren.

Themen- und somit Lektionen-übergreifend wurde geäußert (6 Nennungen), dass Lösungen zu den in die Moodle-Lernumgebung integrierten Übungen hilfreich wären, um die eigene Leistung besser einschätzen zu können. Demzufolge wurde für die Studierenden eine Auswertung der von ihnen absolvierten Übungen in den Moodle-Kurs integriert. Ebenso wurde von den Studierenden angemerkt (8 Nennungen), dass sie, insbesondere für das Arbeiten mit Sensoren und den Umgang mit der Programmiersprache, ein Hilfeangebot durch Lehrende benötigen würden. Davon abgeleitet wurde für die erstmalige Umsetzung der Lehrveranstaltung festgelegt, dass die Lektionen zur begrifflichen Klärung (Lektion 1) und zu den Grundlagen der Hard- und Software (Lektionen 2 & 3) von den Studierenden selbstständig und als Vorbereitung auf die erste Lehrveranstaltungseinheit im Sinne von Flipped-Classroom, bearbeitet werden. Mit den Inhalten der Lektionen zur Software (Lektion 4) und zum Physical Computing (Lektion 5) beschäftigen sich die Studierenden ebenso individuell, jedoch im Präsenz-Setting. Dadurch kann persönliche Hilfeleistung durch Lehrende gewährleistet werden.

Im Rahmen der Akzeptanzbefragungen wurde ebenso Lektionen-übergreifend mehrfach (22 Nennungen) angesprochen, dass ein zusammenfassendes Handout sehr hilfreich für das selbstständige Arbeiten mit Arduino wäre. Es wurde somit ein Handout erstellt, das die wichtigsten Inhalte der Moodle-Lernumgebung komprimiert abbildet. Grundlegende Algorithmen, Informationen zur Programmiersprache und zu Bibliotheken sowie Schritt-für-Schritt-Anleitungen sind ebenso am Handout zu finden.

Die überarbeitete Version dieser ersten Version der Moodle-Lernumgebung inklusive des Handouts diente als Grundlage für die Durchführung zweier weiterer Akzeptanzbefragungen (Version 2). Wie in Tabelle 3 ersichtlich, zeigt sich, dass die durchgeführten Adaptionen hilfreich sind. Dies wird insbesondere in Zusammenhang mit der Umsetzung des Physical Computings (Lektion 5) deutlich. Den beiden Studierenden war es mithilfe des Handouts und aufgrund der zusätzlichen Hilfestellungen im Moodle-Kurs möglich, die Inhalte dieser Lektion erfolgreich zu paraphrasieren sowie die gestellten Transferaufgaben zu lösen. Ebenso wurden von diesen beiden Studierenden keine Aussagen geäußert, die auf für sie irreführende Aspekte innerhalb dieser anspruchsvollen Lektion schließen lassen.

Im Sommersemester 2022 wurde dieses Lehrveranstaltungsdesign erstmalig mit 17 Studierenden umgesetzt. Der Einstieg in das Arbeiten mit Arduino erfolgte anhand der fünf digitalen Lektionen, die auf Basis der Akzeptanzbefragungen adaptiert wurden. Im Anschluss daran wurden Projektarbeiten mit Arduino-Mikrocontrollern zu Forschungsfragen rund um die (FFP2)-Schutzmaske in Kleingruppen umgesetzt.

5. Ausblick

Um Einblick in die Lernprozesse der Studierenden zu bekommen und zur Erhebung der Lernwirksamkeit dieses Lehrveranstaltungsdesigns, wird ein Mixed-Methods-Ansatz verfolgt: Auf quantitativer Ebene erfolgt die Analyse von Pre-Mid-Post-Erhebungen und auf qualitativer Ebene die Analyse von Studierendenartefakten, wie z.B. von Reflexionsjournalen. Anhand der Ergebnisse dieser Begleitforschung, wird das Design der Lerngelegenheiten reflektiert. Auf der Ebene der Entwicklung des Lehrveranstaltungsdesigns werden die eingangs formulierten Design-Kriterien ausgeschärft. Sie dienen im anschließenden (Wintersemester 2022/23) Design-Zyklus 2 wieder als handlungsleitend. Auf der Ebene der Forschung werden erste lokale, gegenstandsspezifische, Lehr-Lern-Theorien formuliert, die sich aus den erhobenen Lernprozessen der Studierenden ableiten lassen.

6. Literatur

- [1] STALDER, Felix: *Kultur der Digitalität*. Berlin : Suhrkamp, 2016
- [2] GOKUS, Susanne ; ORTLOFF, Luise ; LANGE, Thomas: *Bildung in der digitalen*

- Transformation : Plädoyer für einen Bewusstseinswandel. In: KOCH, Alexander Franz; KRUSE, Stefan; LABUDDE, Peter (Hrsg.): *Zur Bedeutung der Technischen Bildung in Fächerverbänden*. Wiesbaden : Springer Fachmedien Wiesbaden, 2019, S. 65–75
- [3] ACATECH DEUTSCHE AKADEMIE DER TECHNIKWISSENSCHAFTEN (Hrsg.); JOACHIM HERZ STIFTUNG (Hrsg.); IPN - Leibniz-Institut für Pädagogik der Naturwissenschaften und Mathematik (Mitarb.): *MINT Nachwuchsbarmeter 2022*. München, Hamburg, 2022
- [4] PETKO, Dominik ; DÖBELI HONEGGER, Beat ; PRASSE, Doreen: *Digitale Transformation in Bildung und Schule: Facetten, Entwicklungslinien und Herausforderungen für die Lehrerinnen- und Lehrerbildung*. In: *Beiträge zur Lehrerinnen- und Lehrerbildung* 36 (2018), Nr. 2, S. 157–174
- [5] BASTIAN, Jasmin: *Lernen mit Medien – Lernen über Medien? : Eine Bestandsaufnahme zu aktuellen Schwerpunktsetzungen*. In: *DDS - Die Deutsche Schule* 109 (2017), Nr. 2, S. 146–162
- [6] HAAGEN-SCHÜTZENHÖFER, Claudia ; HOPF, Martin: *Design-based research as a model for systematic curriculum development: The example of a curriculum for introductory optics*. In: *Physical Review Physics Education Research* 16 (2020), Nr. 2
- [7] HARWARDT, Mark: *Management der digitalen Transformation : Eine praxisorientierte Einführung*. Wiesbaden : Springer Fachmedien Wiesbaden, 2019
- [8] BARRINGTON, Red: *What Is Digital Transformation and What Do I Need To Know About It?* URL <https://blog.oxfordcollegeofmarketing.com/2015/01/09/what-is-digital-transformation-and-what-do-i-need-to-know-about-it/>. – Aktualisierungsdatum: 2016-12-10 – Überprüfungsdatum 2021-05-19
- [9] RAU, Franco: *Lernen mit und über Wikibooks : Erkenntnisse entwicklungsorientierter Fallstudien zur integrativen Medienbildung im Lehramtsstudium*. In: RUMMLER, Klaus; KOPPEL, Ilka; ABMANN, Sandra; BETTINGER, Patrick; WOLF, Karsten (Hrsg.): *Jahrbuch Medienpädagogik 17 : Lernen mit und über Medien in einer digitalen Welt*, 2020 (17), S. 273–296
- [10] GESELLSCHAFT FÜR INFORMATIK E.V. (Hrsg.): *Dagstuhl-Erklärung. Bildung in einer digitalen vernetzten Welt : Eine gemeinsame Erklärung der Teilnehmerinnen und Teilnehmer des Seminars auf Schloss Dagstuhl – Leibniz-Zentrum für Informatik GmbH*. Berlin, März 2016
- [11] SCHMID, Ulrich ; GOERTZ, Lutz ; BEHRENS, Julia: *Monitor Digitale Bildung: Die Weiterbildung im digitalen Zeitalter*. – Aktualisierungsdatum: 2017
- [12] WETTERICH, Frank ; BURGHART, Martin ; RAVE, Norbert; WEBER, Annemarie (Mitarb.): *Medienbildung an deutschen Schulen : Handlungsempfehlungen für die digitale Gesellschaft*. Berlin, 2014
- [13] BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UNTERRICHT UND KULTUS: *Mit und über Medien lernen – Digitale Bildung an bayerischen Schulen*. URL <https://www.km.bayern.de/extern/erziehung-und-bildung/medien.html> – Aktualisierungsdatum: 2021-03-04 – Überprüfungsdatum 2021-03-04
- [14] MISHRA, Punya ; KOEHLER, Matthew J.: *Technological Pedagogical Content Knowledge : A Framework for Teacher Knowledge*. In: *Teachers College Record* 108 (2006), Nr. 6, S. 1017–1054
- [15] HUWER, Johannes ; IRION, Thomas ; KUNTZE, Sebastian ; SCHAAL, Steffen ; THYSSEN, Christoph: *Von TPaCK zu DPaCK – Digitalisierung im Unterricht erfordert mehr als technisches Wissen*. In: *MNU Journal* (2019), Nr. 5, S. 358–364
- [16] BRINDA, Torsten ; BRÜGGEN, Niels ; DIETHELM, Ira ; KNAUS, Thomas ; KOMMER, Sven ; KOPF, Christine ; MISSOMELIUS, Petra ; LESCHKE, Rainer ; TILEMANN, Friederike ; WEICH, Andreas: *Frankfurt-Dreieck zur Bildung in der digital vernetzten Welt : Ein interdisziplinäres Modell*. In: PASTERNAK, Arno (Hrsg.): *Informatik für alle : 18. GI-Fachtagung Informatik und Schule, 16.-18. September 2019, Dortmund*. Bonn : Gesellschaft für Informatik e.V. (GI), 2019 (GI-Edition - lecture notes in informatics (LNI Proceedings), S. 25–33
- [17] DESIGN-BASED RESEARCH COLLECTIVE: *Design-Based Research: An Emerging Paradigm for Educational Inquiry*. In: *Educational Researcher* 32 (2003), Nr. 1, S. 5–8
- [18] REINMANN, Gabi ; SESINK, Werner: *Entwicklungsorientierte Bildungsforschung : Diskussionspapier*. URL https://gabi-reinmann.de/wp-content/uploads/2011/11/Sesink-Reinmann_Entwicklungs-forschung_v05_20_11_2011.pdf
- [19] SCOTT, Emily E. ; WENDEROTH, Mary Pat ; DOHERTY, Jennifer H.: *Design-Based Research: A Methodology to Extend and Enrich Biology Education Research*. In: *CBE life sciences education* 19 (2020), Nr. 3, 1-12
- [20] JUNG, W.: *Probing acceptance, a technique for investigating learning difficulties*. In: DUIT, Reinders; GOLDBERG, Fred; NIEDDERER, Hans (Hrsg.): *Research in physics learning : Theoretical issues and empirical studies*. proceedings of an International Workshop held at the University of Bremen, March 4-8, 1991. Kiel :

- Inst. für die Pädagogik der Naturwissenschaften an der Univ, 1992 (IPN, 131), S. 278–295
- [21] ZLOKLIKOVITS, Sarah ; HOPF, Martin: Akzeptanzbefragungen zu elektromagnetischer Strahlung. In: HABIG, Sebastian (Hrsg.): *Naturwissenschaftliche Kompetenzen in der Gesellschaft von morgen : Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik Jahrestagung in Wien 2019, 2020* (40), S. 479–482
- [22] HAAGEN-SCHÜTZENHÖFER, Claudia ; FEHRINGER, Iris ; HOPF, Martin: Akzeptanzbefragung zu Optikunterrichtsmaterialien: Farben. In: BERNHOLT, Sascha (Hrsg.): *Naturwissenschaftliche Bildung zwischen Science- und Fachunterricht* : LIT Verlag, 2013, S. 639–641
- [23] MANDL, Angelika ; HAAGEN-SCHÜTZENHÖFER, Claudia ; SPITZER, Philipp ; SCHUBATZKY, Thomas: Digitale Transformation der mathematisch-naturwissenschaftlichen Lehramtsausbildung : Entwicklung und Beforschung eines Masterlehrveranstaltungsformates zur Professionalisierung angehender Lehrkräfte. In: HABIG, Sebastian; VORST, Helena von (Hrsg.): *Unsicherheit als Element von naturwissenschaftsbezogenen Bildungsprozessen*. Duisburg-Essen, 2022 (GDGP Tagungsband, 42), S. 532–535
- [24] VOGELSANG, Christoph ; FINGER, Alexander ; LAUMANN, Daniel ; THYSSEN, Christoph: *Vorerfahrungen, Einstellungen und motivationale Orientierungen als mögliche Einflussfaktoren auf den Einsatz digitaler Werkzeuge im naturwissenschaftlichen Unterricht*. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 25 (2019), Nr. 1, S. 115–129
- [25] VAN BRAAK, Johan ; TONDEUR, Jo ; VALCKE, Martin: *Explaining different types of computer use among primary school teachers*. In: *European Journal of Psychology of Education* 19 (2004), Nr. 4, S. 407–422
- [26] STINKEN-RÖSNER, Lisa: Implementation digitaler Medien in die naturwissenschaftliche Lehramtsausbildung. In: MAURER, Christian; RINCKE, Karsten; HEMMER, Michael (Hrsg.): *Fachliche Bildung und digitale Transformation - Fachdidaktische Forschung und Diskurse*. Regensburg Universität, 2021, S. 181–184
- [27] BECKER, Sebastian ; BRUCKERMANN, Till ; FINGER, Alexander ; HUWER, Johannes ; KREMSEMER, Erik ; MEIER, Monique ; THOMS, Lars-Jochen ; THYSSEN, Christoph ; KOTZEBUE, Lena von: Orientierungsrahmen Digitale Kompetenzen für das Lehramt in den Naturwissenschaften – DiKoLAN. In: BECKER, Sebastian; MEBINGER-KOPPELT, Jenny; THYSSEN, Christoph (Hrsg.): *Digitale Basiskompetenzen : Orientierungshilfe und Praxisbeispiele für die universitäre Lehramtsausbildung in den Naturwissenschaften*, 2020, S. 14–43
- [28] SCHMIDT, Denise A. ; BARAN, Evrim ; THOMPSON, Ann D. ; MISHRA, Punya ; KOEHLER, Matthew J. ; SHIN, Tae S.: *Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK): The Development and Validation of an Assessment Instrument for Preservice Teachers*. In: *Journal of Research on Technology in Education (JRTE)* 42 (2009), Nr. 2, S. 123–149
- [29] PUSCH, Alexander: *Arduino im Physikunterricht*. In: *Physik Journal* 18 (2019), Nr. 5, S. 26–29
- [30] ZIERIS, Holger: *Der Arduino als Medium für den naturwissenschaftlichen Unterricht*. In: *PlusLucis* (2018), Nr. 1, S. 4–7
- [31] RIEMEIER, Tanja: Moderater Konstruktivismus. In: KRÜGER, Dirk (Hrsg.): *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung : Ein Handbuch für Lehramtsstudenten und Doktoranden ; mit 12 Tabellen*. Berlin : Springer, 2007 (Springer-Lehrbuch), S. 69–79
- [32] WIDODO, Ari ; DUIT, Reinders: *Konstruktivistische Sichtweisen vom Lehren und Lernen und die Praxis des Physikunterrichts*. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 10 (2004), S. 233–255
- [33] TONDEUR, Jo ; VAN BRAAK, Johan ; SANG, Guoyuan ; VOOGT, Joke ; FISSER, Petra ; OTTENBREIT-LEFTWICH, Anne: *Preparing pre-service teachers to integrate technology in education: A synthesis of qualitative evidence*. In: *Computers & Education* 59 (2012), Nr. 1, S. 134–144
- [34] WEILER, David ; BURDE, Jan-Philipp ; LACHNER, Andreas ; RIESE, Josef ; SCHUBATZKY, Thomas ; GROBE-HEILMANN, Rike: Entwicklung eines Seminars zur Förderung des Konzeptverständnisses mittels digitaler Medien. In: GREBE-ELLIS, Johannes; GRÖTZEBAUCH, Helmuth (Hrsg.): *PhyDid B : Didaktik der Physik*. Beiträge zur virtuellen DPG-Frühjahrstagung 2021, 2021, S. 209–215
- [35] DRESING, Thorsten (Hrsg.); PEHL, Thorsten (Hrsg.): *Praxisbuch Transkription : Regelsysteme, Software und praktische Anleitungen für qualitative ForscherInnen*. 2. Aufl. Marburg : Dr. Dresing und Pehl GmbH, 2011
- [36] KUCKARTZ, Udo ; RÄDIKER, Stefan: *Fokussierte Interviewanalyse mit MAXQDA*. Wiesbaden : Springer Fachmedien Wiesbaden, 2020

Einstellungen von Lehramtsstudierenden zu integriertem naturwissenschaftlichen Unterricht (INU)

Jana Biedenbach*, Verena Spatz*

* Didaktik der Physik, Technische Universität Darmstadt, Hochschulstraße 12, 64289 Darmstadt
jana.tampe@physik.tu-darmstadt.de

Kurzfassung

Ein Verbundfach Naturwissenschaften oder drei Fächer Biologie, Chemie und Physik? Insbesondere im Kontext der Sekundarstufe I wird dies immer wieder mit ähnlichen Argumenten fachdidaktisch und politisch diskutiert. Dem Mehrwert einer interdisziplinären Bildung und der Orientierung am Interesse und der Lebenswelt der Lernenden werden häufig fehlende fachliche Tiefe und fachliche bzw. fachdidaktische Defizite der Lehrkräfte gegenübergestellt. Unabhängig zu welcher Entscheidung diese Argumentation führt, sollten Lehramtsstudierende die Chancen und Probleme von ganzheitlichen naturwissenschaftlichen Ansätzen im Studium kennenlernen, um sie später gewinnbringend in ihrem Schulunterricht einzusetzen – unabhängig davon, ob sie an einer Schule mit oder ohne Verbundfach unterrichten werden. An der TU Darmstadt war das Thema „integrierter naturwissenschaftlicher Unterricht“ bis zum Sommersemester 2020 nicht Teil des naturwissenschaftlichen Lehramtsstudiums. Daher wurde eine Seminarsitzung speziell zu diesem Thema im Rahmen der Neukonzeption des Moduls „Erkenntnisgewinnung in den Naturwissenschaften“ entwickelt. In dieser Seminarsitzung werden die Vor- und Nachteile des naturwissenschaftlich-integrierten Unterrichts diskutiert. Im Anschluss an dieses Thema fertigen die Studierenden eine persönliche Stellungnahme an, anhand derer ausgewertet wird, welche Argumente für die Lehramtsstudierenden bedeutsam sind. Die Auswertung mittels qualitativer Inhaltsanalyse zeigt, dass die Studierenden vor allem in der Förderung des Interesses an Naturwissenschaften einen Vorteil sehen und die größten Bedenken bei fachlichen bzw. fachdidaktischen Defiziten haben.

1. Einleitung

Traditionell werden an der Universität und in der Schule die Naturwissenschaften in die drei Disziplinen bzw. Fächer Biologie, Chemie und Physik unterteilt. Da die Naturwissenschaften aber eng miteinander verzahnt sind, beispielsweise bezüglich der Methoden der Erkenntnisgewinnung, und sich auch inhaltlich überschneiden, insbesondere in vielen Anwendungskontexten wie beispielsweise bei der Funktion des menschlichen Auges, gibt es immer wieder Ideen, in der Schule ein gemeinsames Fach „Naturwissenschaften“ zu unterrichten [1]. Da dies auch immer wieder politisch diskutiert wird, sollten Lehramtsstudierende sich eine Meinung zu diesem Thema bilden können.

An der Technischen Universität Darmstadt wurde daher eine Seminarsitzung speziell zu diesem Thema in ein neu konzipiertes Modul integriert. Die in diesem Seminar entstandenen Stellungnahmen haben wir unter der Fragestellung „Welche Argumente sind für die Lehramtsstudierenden in der Diskussion über die Einführung von integriertem naturwissenschaftlichem Unterricht relevant?“ ausgewertet.

Dieser Beitrag gibt eine Einführung in das Thema des integrierten naturwissenschaftlichen Unterrichts (Kapitel 2) und stellt dann kurz die neu konzipierte Seminarsitzung vor (Kapitel 3). Im Anschluss werden die

Ergebnisse der Auswertung der Stellungnahmen präsentiert (Kapitel 4), bevor dieser Beitrag mit einem kurzen Fazit abschließt (Kapitel 5).

2. Integrierter naturwissenschaftlicher Unterricht

Die Idee, integrierten naturwissenschaftlichen Unterricht in der Sekundarstufe einzuführen, kam in Deutschland erstmals in den 1970er Jahren aufgrund der damaligen Bildungsreformen auf. Bereits damals fand die Idee nur wenige Wege in die Unterrichtspraxis, da sehr schnell von Befürwortern der Dreiteilung in Biologie, Chemie und Physik gegengesteuert wurde [2]. Somit begann eine bis heute währende politische Auseinandersetzung zur Einführung des integrierten naturwissenschaftlichen Unterrichts, die in Wellenbewegungen immer wieder mehr oder weniger Bedeutung hat – aufgrund des föderalen Schulsystems in Deutschland auch abhängig vom jeweiligen Bundesland. So gibt es immer wieder Entwicklungsarbeiten für Unterrichtsmaterial zur Einführung des naturwissenschaftlich integrierten Unterrichts (vergleiche PING und FUN [3, 4]) oder auch Beiträge Themenhefte in Praxiszeitschriften (beispielsweise [1, 2, 5, 6]). Außerdem gibt es immer wieder Versuche, naturwissenschaftlichen Unterricht in der Sekundarstufe einzuführen [z. B. 7], von denen einige auch umgesetzt und beibehalten werden.

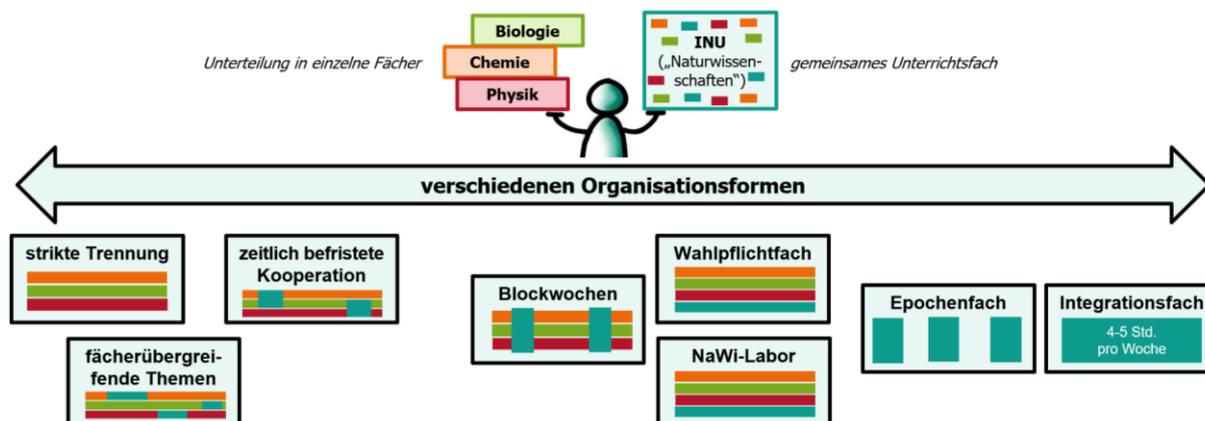


Abb.1: Organisationsformen des integrierten naturwissenschaftlichen Unterrichts (nach Labudde, 2017, S. 6).

So hat sich in Deutschland inzwischen für die Sekundarstufe I ein recht breites Bild ergeben. So gibt es beispielsweise in Hessen im Moment drei unterschiedliche Formen des naturwissenschaftlich integrieren Unterrichts: Am häufigsten ist immer noch die strikte Gliederung in drei Fächer, d. h. in der fünften Klasse wird mit Biologie als Fach begonnen, in der siebten Klasse kommt Physik hinzu und in der achten schließlich Chemie. An einigen Schulen wird in der fünften und sechsten Klasse das Verbundfach Naturwissenschaften unterrichtet, mit dem Ziel in diesen beiden Jahrgangsstufen naturwissenschaftliche Themen noch ganzheitlich zu erarbeiten. Erst anschließend wird dieses Fach in die drei Disziplinen unterteilt. Von der Möglichkeit, das Fach auch über die Sekundarstufe I als Verbundfach zu unterrichten, sodass die Aufteilung in die drei Fächer erst in der Oberstufe beginnt, machen nur wenige Schulen in Hessen Gebrauch [8]. In der Sekundarstufe II ist die Aufteilung in drei Fächer dann deutschlandweit sehr stabil, in der Primarstufe werden Naturwissenschaften überall ganzheitlich im Fach Sachunterricht behandelt [9].

Die bisherige Einführung suggeriert, dass es nur die beiden Extreme gebe, entweder eine strikte Trennung der drei Fächer oder ein gemeinsames Verbundfach. Der folgende Abschnitt soll einen kurzen Einblick in die vielfältigen Organisationsformen dazwischen geben.

2.1. Organisationsformen

Labudde (2017) stellt insgesamt acht verschiedene Organisationsformen vor, in denen naturwissenschaftlicher Unterricht in der Schule stattfinden kann. Dabei wird deutlich, dass es zwischen den beiden extremen Organisationformen „strikte Trennung in drei Fächer“ und dem „Integrationsfach“ sechs weitere Möglichkeiten gibt, die entsprechend Abb. 1 dazwischen anzuordnen sind. Die kleinstmögliche Öffnung der strikten Trennung ist das Einbinden fächerübergreifender Themen in den einzelnen Fächern, die sich auch von einzelnen motivierten Lehrkräften umsetzen lässt. Finden sich zwei Lehrkräfte, die gemeinsam

eine Themenreihe kooperativ gestalten, so „verschmelzen“ diese beiden Fächer für einen Zeitraum zu einem naturwissenschaftlichen Verbundfach. Findet dieser gemeinsame Unterricht über alle drei Fächer hinweg in einem festen Rhythmus statt, so spricht man von Blockwochen. Neben der blockweisen Unterbrechung gibt es auch die Möglichkeit, ein integriert naturwissenschaftliches Fach parallel zu den drei Fächern Biologie, Chemie und Physik umzusetzen, beispielsweise als Wahlpflichtfach oder auch als NaWi-Labor. In zweiterem Konzept steht das naturwissenschaftsübergreifende Experimentieren und die gemeinsame Methode der Erkenntnisgewinnung im Mittelpunkt. Labudde (2017) [1] nennt außerdem noch die Organisationsform des Epochenfachs. Diese Organisationsform wird beispielsweise an Walldorfschulen umgesetzt. Hier wird der Unterricht generell in Epochen organisiert, d. h. innerhalb dieser Woche wird das Fach mit einem hohen Stundenaufwand mehrere Wochen lang unterrichtet (z. B. drei Stunden täglich in drei Wochen). Regelmäßig wiederkehrende integriert naturwissenschaftliche Epochen ermöglichen einen intensiven interdisziplinären Zugang, meist mit einem Lebensweltbezug, zu naturwissenschaftlichen Themen.

All diese Organisationsformen bieten weitere Alternativen zur „strikten Trennung in drei Fächer“ und dem „Integrationsfach“, um Naturwissenschaften in der Schule mehr oder weniger integriert zu unterrichten.

2.2. Argumentationen

Die fachdidaktische Grundlagenliteratur versucht in diversen Beiträgen (z. B. Fruböse et. Al. (2011) [9], Günther & Labudde (2012) [5]) möglichst ohne Wertung die Argumente für und gegen ein Integrationsfach Naturwissenschaften gegenüberzustellen.

Als Argument für ein Integrationsfach wird häufig genannt, dass man die Lernenden bei ihrem Vorwissen abholen kann und sich an ihren Interessen orientieren kann. Auch der Übergang von der Grundschule wird erleichtert, in die Lernenden den Naturwissen-

schaften fachübergreifend im Sachunterricht begegnet sind. Die Motivation kann durch eine erhöhte Verfügbarkeit von Alltagsbezügen besser gesteigert werden. Insbesondere Schlüsselprobleme dieser Zeit (z. B. Klimawandel) sind nicht allein in einer Naturwissenschaft verortet. Daher ermöglicht ein Verbundfach eine bessere Auseinandersetzung mit diesen aktuellen gesellschaftlichen Herausforderungen. Zudem wird als Argument für ein Integrationsfach häufig die gemeinsame Wissenschaftspropädeutik der Fächer genannt, die sich im Verbundfach als einheitliche Fachmethode unterrichtet wird. Dadurch wird Schubladendenken bezüglich der drei naturwissenschaftlichen Disziplinen vorgebeugt. Die Verbindung der drei Fächer kann zudem Möglichkeiten für eine höhere Gendergerechtigkeit bieten, da die Interessen in den drei einzelnen Fächer sehr ungleich verteilt sind und über ein gemeinsames Fach zusammengeführt werden können. Ebenfalls bietet ein integrierter Einsatz eine vielfältige Kompetenzentwicklung, beispielsweise auch überfachlicher Kompetenzen wie der Medienkompetenz. Zudem werden immer wieder organisatorische Vorteile genannt, beispielsweise dass Naturwissenschaften auf diesem Weg einen Hauptfachstatus erhalten. Die erhöhte Wochenzahl führt zu mehr Flexibilität und auch die Lehrkräfteversorgung wird verbessert, da beispielsweise ein Physiklehrkräftemangel durch einen Überschuss an Biologielehrkräften ausgeglichen werden kann.

An diesem Punkt setzen allerdings direkt die Kritiker an. Die Lehrkräfteausbildung ist aktuell nicht auf integrierten naturwissenschaftlichen Unterricht ausgerichtet. Bei den Lehrkräften sind daher in den Bereichen, die sie nicht studiert haben, fachliche und fachdidaktische Defizite zu erwarten. Es ist also zu vermuten, dass fachliche Tiefe verloren geht und die Fachsystematik der Fächer im Unterricht nicht sichtbar wird. Zudem wird immer wieder zu bedenken gegeben, dass eine Vernetzung und interdisziplinäres Arbeiten erst möglich ist, wenn das grundlegende Fachwissen vorhanden ist. Nur auf dieser Basis kann man gefestigt über die Grenzen der Fächer diskutieren.

2.3. Relevanz für zukünftige Lehrkräfte

Auf der Grundlage des bis hierher dargestellten gibt gute Argumente, sich als Lehramtsstudierender mit dem Konzept des integrierten naturwissenschaftlichen Unterrichts auseinanderzusetzen. Verschießt man sich diesem Thema, so kennt man nicht die Chancen naturwissenschaftlich integrierter Ansätze und den zukünftigen Lernenden bleiben motivierende, interessenfördernde und gesellschaftlich relevante naturwissenschaftsübergreifende Themen vorerhalten. Gleichzeitig sollte man sich entsprechend der obigen Gegenargumente der Probleme bewusst sein, die integrierter naturwissenschaftlicher Unterricht mit sich bringen kann. Lehramtsstudierende sollten also die Stärken und Schwächen kennen, um integrierte Konzepte sinnvoll und zielführend in ihrem Schulalltag einsetzen zu können.

Dabei können die zukünftigen Lehrkräfte auf unterschiedliche Organisationsformen treffen und schon aufgrund des Schulcurriculums vor der Herausforderung stehen, integriert naturwissenschaftlich unterrichten zu müssen. Zudem scheint es im Zuge der dauerhaften politischen Diskussion möglich zu sein, dass an der Schule im Rahmen der Schulentwicklung die Einführung oder Abschaffung des Fachs „Naturwissenschaften“ oder anderer Organisationsformen diskutiert wird. Auch deswegen sollten sich zukünftige Lehrkräfte in diesem Themengebiet auskennen und mit Argumenten positionieren können.

3. Konzeption einer Seminarsitzung zu INU

Da das Themenfeld „naturwissenschaftlich integrierter Unterricht“ bis zur Einführung des Moduls „Erkenntnisgewinnung in den Naturwissenschaften“ im Sommersemester 2019 nicht Teil der Lehrkräfteausbildung an der Technischen Universität Darmstadt war, wurde bei der Konzeption dieses Moduls beschlossen, eine eigene Seminarsitzung diesem Thema zu widmen. Der Ablauf dieser Seminarsitzung soll in diesem Abschnitt kurz erläutert werden.

Die Seminarsitzung bestand im Wesentlichen aus drei Phasen. Der Erarbeitung der Thematik anhand von Grundlagentexten, der Sicherung der Ergebnisse in Form eines gemeinsamen Tafelbildes und dem abschließenden Verfassen eines Positionspapiers.

Die ausgewählten Grundlagentext zum Erarbeiten des Themas „integrierter naturwissenschaftlicher Unterricht“ stammen alle aus Praxiszeitschriften: Fruböse et. Al. (2011) [9], Günther & Labudde (2012) [5], Harms (2008) [6], Labudde (2017) [1] und Stäudel & Rehm (2012) [2]. Sie werden von den Studierenden arbeitsteilig gelesen und exzerpiert. Anschließend werden die Ergebnisse gemeinsam gesichert, indem die Studierenden gemeinsam ein Tafelbild erstellen. Die Überschriften „Historisches“, „Zentrale Begriffe“, „Unterrichtskonzepte“, „Themen für INU“, „Vorteile“ und „Nachteile“ sind dabei vorgegeben. Bei der Gestaltung des Tafelbildes diskutieren die Studierenden anhand ihrer Vorarbeiten, welche Aspekte zur jeweiligen Überschrift passen. So füllen sie das Tafelbild mit Inhalten, die sie selbst erarbeitet haben, die Lehrperson ergänzt gegeben falls Aspekte am Ende.

Nach dieser Phase ist davon auszugehen, dass sich die Studierenden ein vielseitiges Basiswissen angeeignet haben. Auf dieser Grundlage verfassen sie ein Positionspapier zu folgender fiktiver Situation: Es gab in Hessen 1996 einen Entwurf zur Einführung eines Verbundfaches „Naturwissenschaften“ in der Sekundarstufe I [7]. Der zugehörige curriculare Rahmenplan [7] wurde damals ausgearbeitet, verschwand jedoch mit dem Regierungswechsel 1999 wieder in der Schublade und wurde nie umgesetzt. Die fiktive Situation für die Studierenden besteht nun darin, dass ein Mitarbeiter des Kultusministeriums bei ihnen anfragt, was sie von der Idee halten, den Rahmenplan wieder aus zu Schublade zu holen und eine Umsetzung des

Verbundfachs Naturwissenschaften in Angriff zu nehmen. Als Experten sollen die Studierenden dazu ein Positionspapier verfassen.

Dieses Positionspapier laden sie in ihrem Portfolio hoch, wo es von anderen Studierenden gelesen und begutachtet werden kann.

4. Auswertung

Die Auswertung beruht auf den Stellungnahmen bzw. Positionspapieren, die am Ende der Seminarsitzung verfasst werden. Diese werden mit einer qualitativen Inhaltsanalyse [10] ausgewertet und die Ergebnisse anschließend kurz dargestellt. Dabei wird vor allem die Fragestellung „Welche Argumente sind für die Lehramtsstudierenden in der Diskussion über die Einführung von integriertem naturwissenschaftlichem Unterricht relevant?“ ausgewertet.

4.1. Stichprobe

Die Stichprobe umfasst N=34 Lehramtsstudierende, von denen 12 weiblich und 22 männlich sind. 30 Studierende studieren mindestens ein naturwissenschaftliches Fach, vier haben das Seminar ohne naturwissenschaftliches Studienfach besucht. Die naturwissenschaftlichen Fächer bei den 30 Studierenden mit mindestens einer Naturwissenschaft sind entsprechend Abb. 2 verteilt, die schraffierten Bereiche stellen Studierende dar, die beide Fächer studieren.

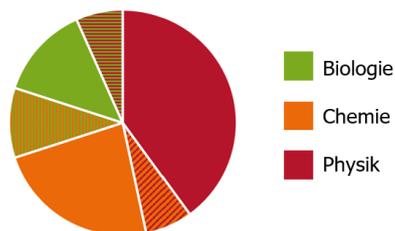


Abb.2: Verteilung der naturwissenschaftlichen Fächer in der Stichprobe bei den 30 Lehramtsstudierenden mit mindestens einem naturwissenschaftlichen Fach

4.2. Methodik

Die Methodik der Auswertung folgt dem Schema von Mayring (2015) [10, S. 86] in Abb. 3.

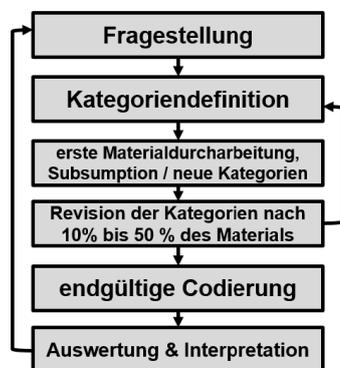


Abb.3: Methodik der qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring (2015) [10], S. 86

Die Fragestellung für die Auswertung wurde in diesem Text bereits mehrfach formuliert: „Welche Argumente sind für die Lehramtsstudierenden in der Diskussion über die Einführung integrierten naturwissenschaftlichen Unterrichts relevant?“

Zur Definition der Kategorien wurde im ersten Schritt eine konzeptgesteuerte Kategoriebildung vorgenommen [11]. Anhand der Skalen von aus der Studie von Busch und Woest (2016) [12] wurden „Hauptargumente“ herausgearbeitet. Anschließend wurden alle im Seminar verwendeten Grundlagentexte [1, 2, 5, 6, 9] herangezogen, um die Hauptargumente mit weiteren Subargumenten ausdifferenzieren. Dieses Vorgehen führte zu einem ersten vorläufigen Kategoriensystem. Entsprechend des Vorgehens nach Abb. 3 wurde etwa ein Drittel des Materials (11 zufällig ausgewählte Positionspapiere) gesichtet. In diesem Zuge wurde das Kategoriensystem induktiv überarbeitet („datengesteuerte Kategoriebildung“). Dabei wurden vor allem neue Subcodes zu den vorhandenen Hauptargumenten ergänzt.

Beispielhaft wird die Ausdifferenzierung in Subcodes am Hauptargument „Verwässerung“ dargestellt. Dieses Argument richtet sich gegen ein Verbundfach, weil dort die fachliche Tiefe und Identität vor dem Hintergrund anderer Zielstellungen verloren geht.

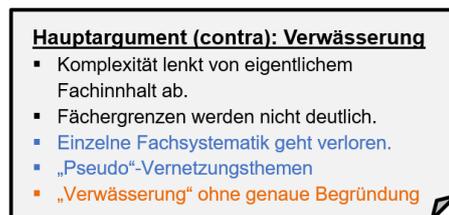


Abb.4: Beispiel für die Ausdifferenzierung eines Hauptarguments durch ergänzte Subcodes (blau & orange)

In den Grundlagentexten wird dieses Argument mit zwei Subargumenten ausdifferenziert (in Abb. 4 schwarz dargestellt). Durch die Bearbeitung des Materials wurden zwei weitere Subargumente ergänzt, die induktiv aus dem Material abgeleitet wurden (blau dargestellt). Zudem wurde bemerkt, dass einige Studierende die Hauptargumente teilweise nur oberflächlich nennen und nicht mit einem genaueren Subargument unterstützen. Für diesen Fall wurde jedem Hauptargument ein Subcode „ohne Begründung“ (orange dargestellt) zugeordnet, um auch diese Form der Argumentation erfassen zu können.

Zudem wurde eine weitere Kategorie erstellt, in der die Position der Studierenden codiert wurde. Neben der Empfehlung und der Ablehnung eines Verbundfachs schlugen hier auch einige eine Einführung eines Verbundfachs unter bestimmten Bedingungen oder Organisationsformen vor (z. B. „nur in der Unterstufe“, „als Zusatzfach“). Sowohl die vollständige Ablehnung als auch Befürwortung sowie die einzelnen Bedingungen erhielten daher jeweils einen Subcode.

Mit dem finalen Categoriesystem wurden schließlich alle Positionspapiere endgültig mit Hilfe der Software MAXQDA codiert. Die statistische Auswertung der im folgenden dargestellten Ergebnisse erfolgte mit MS Excel.

4.3. Ergebnisse

Die Ergebnisse zur Beantwortung der Frage, welche Argumente in der Diskussion um integrierten naturwissenschaftlichen Unterricht für die Studierenden besonders relevant sind, sind in Abb. 5 und Abb. 6 dargestellt. Die beiden Diagramme geben jeweils zu den Pro- und Contra-Hauptargumenten an, welcher Anteil der Studierenden das Hauptargument verwendet hat.

Bei der Betrachtung von Abb. 5 zur Verwendung der Argumente, die für integrierten-naturwissenschaftlichen Unterricht sprechen, fällt direkt ins Auge, dass die „Förderung des Interesses an Naturwissenschaften“ das mit Abstand am häufigsten verwendete Argument ist. Wirft man einen genaueren Blick auf die Verwendung der zugehörigen Subcodes, fällt auf, dass jedoch 50% dieses Argument als „Schlagargument“, also ohne genaue Ausdifferenzierung verwenden.

den. 43% beziehen sich auf den Alltags- oder Lebensweltbezug, der das Interesse fördern kann, 7% auf andere Aspekte (z. B. Erlebnischarakter).

Ebenfalls interessant ist die Betrachtung der Subcodes bei der Kategorie „Anknüpfen an das Vorwissen der Lernenden“. Hier gehen nur 6% darauf ein, dass dieses Vorwissen nicht an die Fachsystematik gekoppelt ist bzw. Prae-Konzepte eher durch vorherige Lebenswelt- und Alltagsbezüge geprägt sind. Die Mehrheit begründet dieses Hauptargument mit der Tatsache, dass an die Wissensstruktur aus dem Sachunterricht in der Grundschule angeknüpft werden kann.

Betrachtet man die Häufigkeiten der verwendeten Contra-Argumente (Abb. 6), so fällt auf, dass hier die fachlichen Defizite das wichtigste Gegenargument sind. Dabei verweisen 35 % auf fehlendes Fachwissen und 12 % auf fehlendes Didaktik- und Methodenwissen, ein großer Anteil mit etwa 40 % sieht vor allem ein Problem in der aktuellen Studienstruktur, in der maximal zwei Fächer studiert werden und kaum interdisziplinäre Veranstaltungen angeboten werden.

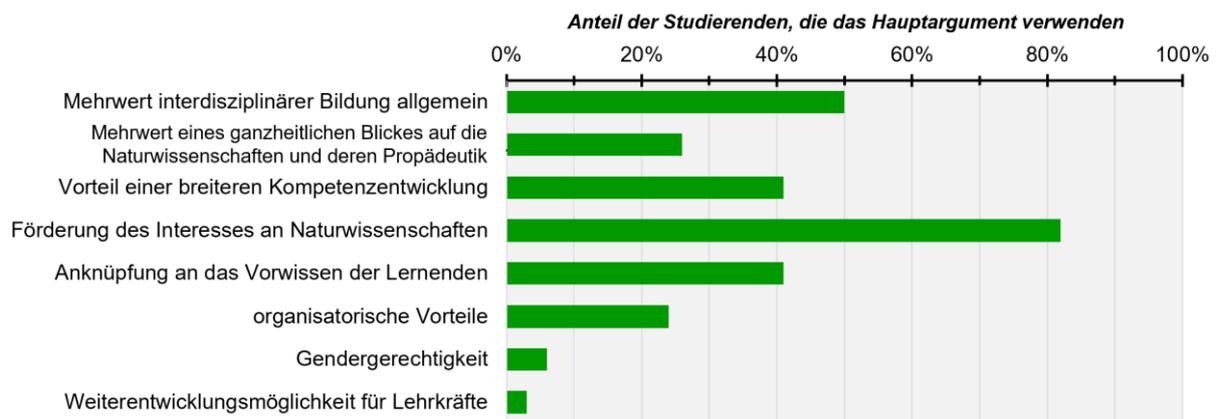


Abb.5: Anteil der Studierenden, die das jeweilige PRO-Argument verwenden

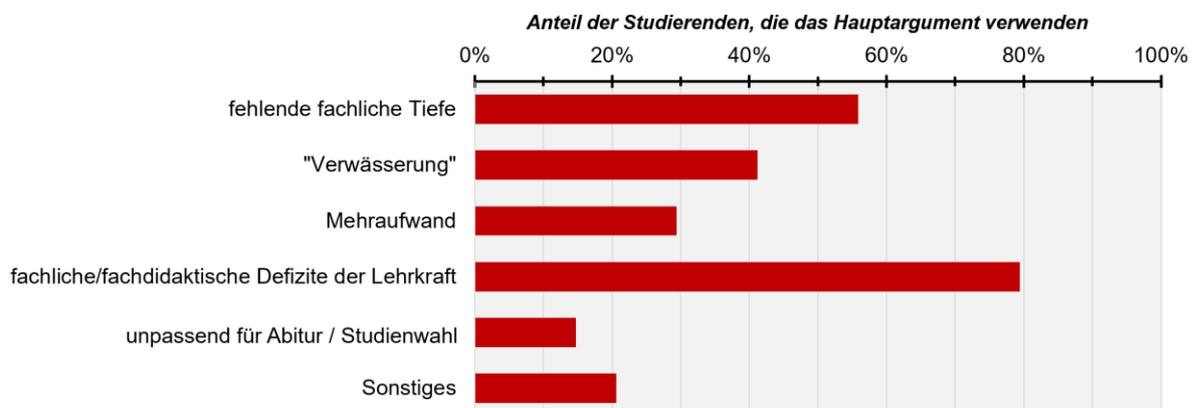


Abb.6: Anteil der Studierenden, die das jeweilige PRO-Argument verwenden

Ebenfalls interessant ist, dass immerhin 15 % ein Argument nennen, das gar nicht im Grundlagentext vorhanden ist. Sie verweisen auf das Problem vom Übergang von der Sekundarstufe I zur Sekundarstufe II bzw. von der Schule zur Universität. Sowohl beim Abitur und als auch im Studium besteht weiterhin die Dreiteilung der Naturwissenschaften in Biologie, Chemie und Physik. Entscheidungen bezüglich des Abiturs und des Studiums zu treffen erscheint den Studierenden als schwierig, wenn man zuvor nur integrierten naturwissenschaftlichen Unterricht kennengelernt hat

Abschließend haben wir uns die Positionen der Studierenden betrachtet, d. h. ob sie den integrierten naturwissenschaftlichen Unterricht ablehnen oder begrüßen (siehe Abb. 7).

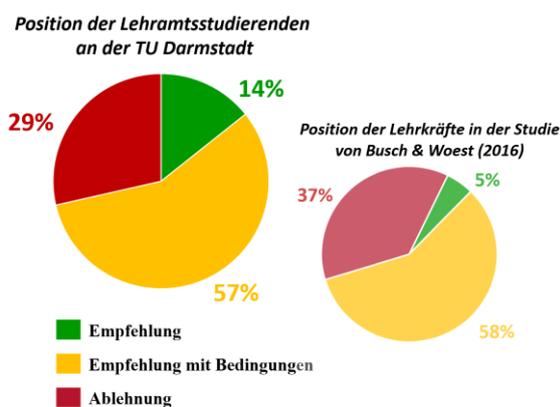
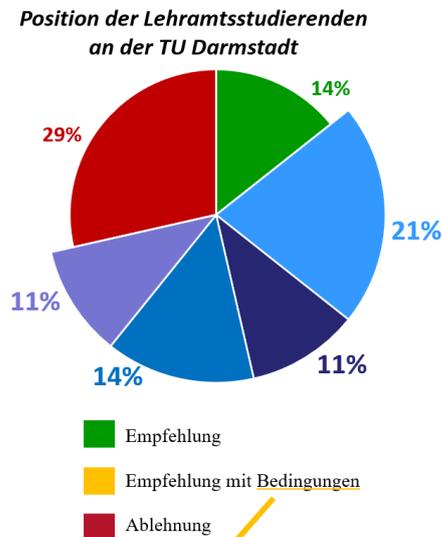


Abb.7: Position der Lehramtsstudierenden an der TU Darmstadt (links) im Vergleich zur Position der Lehrkräfte in der Studie von Busch & Woest (rechts)

Hier finden wir eine Verteilung, die die der Lehrkräfte aus der Studie von Busch und Woest (2016) ähnelt [12]. Die Lehramtsstudierenden an der Technischen Universität Darmstadt positionieren sich geringfügig offener gegenüber dem integrierten naturwissenschaftlichen Unterricht. Eine Schlussfolgerung, dass die Lehramtsstudierenden noch offener gegenüber neuen Konzepten als die Lehrkräfte sind kann daraus jedoch nicht abgeleitet werden. Die von Busch und Woest (2016) beobachtete Abhängigkeit von der studierten Naturwissenschaft konnten wir nicht beobachten, bei uns waren keine Unterschiede abhängig von den gewählten Fächern feststellbar.

Untersucht man die Positionspapiere bezüglich der Bedingungen, die an eine Einführung des integrierten naturwissenschaftlichen Unterrichts gestellt werden, so wird von vielen Lehramtsstudierenden das bekannte Modell, dass Naturwissenschaften nur in der Unterstufe unterrichtet wird, genannt. Von den in Abschnitt 2.2 genannten Organisationsformen wird das „Zusatzfach“ bzw. „Ergänzungsfach“ (vergleichbar mit Wahlpflichtfach oder NaWi-Labor) häufiger genannt. 11 % schlagen keine Bedingung bei der Umsetzung vor, sondern plädieren für eine gute Vorbereitung, z. B. durch eine entsprechende Neustrukturierung des Studiums und Weiterbildungsangebote,

damit die (zukünftigen) Lehrkräfte gut auf diese Situation vorbereitet sind.



Welche Bedingungen werden gestellt?

- nur in Jahrgangsstufe 5 und 6
- mehrjährige Vorbereitungszeit (v. a. für die Anpassung der Curricula sowie die Lehrkräfteaus- und Weiterbildung)
- NaWi als „Zusatzfach“ oder „Ergänzungsfach“
- Sonstiges / keine genaue Angabe

Abb.8: Aufschlüsselung der Bedingungen an die Einführung eines integrierten naturwissenschaftlichen Unterrichts

5. Fazit

Als Ergebnis lässt sich insbesondere festhalten, dass die Lehramtsstudierenden als wichtigstes Argument für integrierten naturwissenschaftlichen Unterricht den positiven Einfluss auf das Interesse an Naturwissenschaften nennen. Auffällig ist allerdings auch, dass sie dies nicht genauer begründen oder mit Beispielen belegen.

Als größte Herausforderung nennen die Studierenden die fachlichen Defizite der Lehrkräfte in fachfremden Unterrichtsabschnitten. Hier fällt auf, dass sie sich insbesondere auf die Ausbildung an der Universität beziehen, also dem Kontext, in dem sie sich gerade befinden.

6. Literatur

- [1] Labudde, P. (2017): Facettenreiche Naturwissenschaft. Perspektiven und Herausforderungen integrierten naturwissenschaftlichen Unterrichts. In: Naturwissenschaften im Unterricht Physik, 28 (161), S. 2–7.
- [2] Stäudel, L.; Rehm, M. (2012): Naturwissenschaftlicher Anfangsunterricht. Wurzeln, Konzepte, Perspektiven. In: Naturwissenschaften im Unterricht Chemie, 23 (130/31), S. 2–13.
- [3] Projektgruppe PING (1996): Was ist PING? Kurz-Information. Status – Konzeption – Entwicklung. Kiel (IPN).

- [4] Landesinstitut für Schule und Weiterbildung (1991): Umwelt erkunden – Umwelt verstehen. Arbeitskonzept zur Entwicklung eines Curriculums für die Jahrgänge 5-7, Soest.
- [5] Günther, J.; Labudde, P. (2012): Fächerübergreifend unterrichten – warum und wie? Argumente und Bedingungen für fächerübergreifendes Lehren und Lernen. In: Naturwissenschaften im Unterricht Physik, 23 (132), S. 9–13.
- [6] Harms, U. (2008): Fächerübergreifender Unterricht. In: Naturwissenschaften im Unterricht Biologie, 32 (336), S. 2–6.
- [7] Hessisches Kultusministerium (1996): Rahmenlehrplan Naturwissenschaften Sekundarstufe I, Wiesbaden.
- [8] Hessisches Schulgesetz, Wiesbaden 1993, §6.
- [9] Fruböse, C., Illgen, J., Kohm, L. & Wollscheid, R. (2011). Unterricht im integrierten Fach Naturwissenschaften. Erfahrungen aus gymnasialer Sicht. Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht, 64(7), 433–439.
- [10] Mayring, P. (2015): Qualitative Inhaltsanalyse: Grundlagen und Techniken. (11. Aufl.). Beltz Verlag, Weinheim und Basel.
- [11] Rädiker, S.; Kuckartz, U (2019): Analyse qualitativer Daten mit MAXQDA. Text, Audio und Video. Springer VS Wiesbaden.
- [12] Busch, M.; Woest, V. (2016): Fächerübergreifender naturwissenschaftlicher Unterricht. Empirischer Befund zu Potential und Grenzen aus Lehrerperspektive. In: MNU Journal, 4.2016, S. 269-277.

Förderhinweis

Das Projekt MINTplus²: Systematischer und vernetzter Kompetenzaufbau in der Lehrerbildung im Umgang mit Digitalisierung und Heterogenität wird im Rahmen der gemeinsamen „Qualitätsoffensive Lehrerbildung“ von Bund und Ländern aus Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gefördert.



Essenzielle Features der Frankfurt/Grazer Optikkonzeption

Markus Obczovsky, Thomas Schubatzky, Claudia Haagen-Schützenhöfer

Universität Graz, Universitätsplatz 3, 8010 Graz
markus.obczovsky@uni-graz.at

Kurzfassung

Eine zentrale Aufgabe physikdidaktischer Forschung ist das Entwickeln innovativer Unterrichtskonzeptionen. Unterrichtsmaterialien bieten eine Möglichkeit diese Innovationen in die Schulpraxis zu bringen. Der Erfolg dieses Transfers ist mitunter abhängig davon, wie Unterrichtskonzeptionen im Unterricht implementiert werden. Wenn Lehrkräfte ihren Unterricht nach einer Unterrichtskonzeption gestalten, verwenden sie dafür meist zugehörige Unterrichtsmaterialien. Forschungsergebnisse zeigen, dass Lehrkräfte Unterrichtsmaterialien oft nur bruchstückhaft in ihrem Unterricht einsetzen (Breuer 2021), womit eventuell wesentliche Aspekte der Unterrichtskonzeption verloren gehen. Um Lehrkräfte dabei zu unterstützen, fachdidaktische Überlegungen und Leitideen einer Unterrichtskonzeption - welche möglicherweise nicht direkt aus den Unterrichtsmaterialien ersichtlich sind - im Unterrichtsmaterial zu erkennen und im Unterricht umzusetzen, wird das Konzept der Essenziellen Features (EF) als fachdidaktische Charakteristika einer Unterrichtskonzeption vorgeschlagen. Eine explizite Kommunikation dieser EF an Lehrkräfte soll dabei unterstützen, ihren Unterricht individuell und adressatengerecht zu gestalten und dennoch die fachdidaktischen Grundideen einer Unterrichtskonzeption berücksichtigen zu können. Es wird eine Systematisierung von EF vorgestellt, deren Konsistenz und Relevanz von fünf Expert:innen für fachdidaktische Entwicklungsforschung in einer Expertenbefragung validiert wurde. Die Ergebnisse der Expertenbefragung und eine daraus resultierende Überarbeitung des Konzepts der EF werden diskutiert. Zudem präsentieren wir eine konkrete Darstellung unserer EF-Systematik im REF (Repräsentation Essenzieller Features)-Raster anhand der Frankfurt/Grazer Optikkonzeption.

1. Einleitung

Eines der zentralen Anliegen physikdidaktischer Forschung ist es, Lehrkräfte bei der Verbesserung von Physikunterricht zu unterstützen. Eine Strategie ist, Lehrkräfte mithilfe von forschungsbasierten Unterrichtskonzeptionen bei der Gestaltung von Unterricht zu unterstützen (Breuer, 2021). Unterrichtskonzeptionen sind Lehrprogramme zu konkreten Themen, denen eine gestalterische Leitidee zugrunde liegt (Wilhelm, Schecker, & Hopf, 2021). Die Verbreitung dieser Unterrichtskonzeptionen in die Schulpraxis erfolgt in der Regel über die Bereitstellung von zugehörigen Unterrichtsmaterialien. Das sind Materialien, die Lehrkräfte beim Planen und Durchführen von Unterricht unterstützen sollen (Stein, Remillard, & Smith, 2007). Die zur Verfügung gestellten Unterrichtsmaterialien werden von der Lehrkraft durch die Brille ihres Professionswissens und ihrer Einstellungen gelesen, interpretiert und angepasst (Stein et al., 2007). Dabei konstruieren Lehrkräfte ihre eigene Variation der ursprünglichen Unterrichtskonzeption, die schließlich für die Planung oder Gestaltung des Unterrichts herangezogen wird – oder gänzlich auf Ablehnung stößt. Es zeigt sich zudem, dass sich Lehrkräfte oftmals nur oberflächlich mit Unterrichtsmaterialien auseinandersetzen, und so wesentliche Aspekte der Unterrichtskonzeption nicht erkennen oder nur ausgewählte Elemente, wie Bilder und Aufgaben,

für den Unterricht auswählen (Boesen et al., 2014; Breuer, Vogelsang, & Reinhold, 2020; Obczovsky, Haagen-Schützenhöfer, & Schubatzky, 2021).

In diesem Prozess gehen wichtige fachdidaktische Überlegungen der Entwickler:innen möglicherweise verloren. Bei der Entwicklung forschungsbasierter Unterrichtskonzeptionen werden gut begründete Entscheidungen basierend auf theoretischen Überlegungen oder empirischen Erkenntnissen getroffen, um Lernprozesse der Schüler:innen zu begünstigen. Diese Entscheidungen beeinflussen die gewählten Inhalte, deren Reihenfolge, verwendete Analogiemodelle, Repräsentationsformen oder ähnliche Aspekte. Bei der Entwicklung zugehöriger Materialien werden für manche Elemente zusätzlich pragmatische oder gestalterische Entscheidungen getroffen und eine Abänderung dieser Elemente hat vermutlich keinen entscheidenden Einfluss auf die Lernprozesse der Schüler:innen. Im Gegensatz zu den Entwickler:innen, wissen Lehrkräfte in der Regel nicht, welche der Elemente in den Unterrichtsmaterialien wesentlich für die Lernprozesse der Schüler:innen sind und welche nicht. Dies ist auch nicht der generische Aufgabenbereich von Lehrkräften, vielmehr scheint uns dies eine Teilaufgabe von Fachdidaktik im Rahmen von Forschungs-Praxistransfer zu sein. Um Lehrkräfte dabei zu unterstützen, die für die Lernprozesse der Schüler:innen relevanten Aspekte einer

Unterrichtskonzeption zu erkennen, schlagen wir daher eine systematische Kommunikation dieser relevanten Aspekte oder Elemente, die wir Essenzielle Features nennen, in Form eines Rasters vor.

2. Essenzielle Features

Essenzielle Features (EF) sind (fach-)didaktische Charakteristika einer Unterrichtskonzeption, mit gut begründeten empirischen oder theoretischen Argumenten, Lernprozesse der Schüler:innen zu begünstigen.

Unterricht kann mit dem Modell von Oser and Baeriswyl (2001) auf zwei Ebenen beschrieben werden: Die Sichtstruktur, als die Bedingungen der sichtbar ablaufenden Lehr-Lernhandlungen, und die Tiefenstruktur, als die Bedingungen für dabei nicht sichtbar ablaufende Lernprozesse der Schüler:innen. In diesem Modell stellen Unterrichtskonzeptionen eine Unterstützung für Lehrkräfte dar, die eigenen Lehrprozesse zu gestalten, um gewünschte Lernprozesse der Schülerinnen und Schüler zu begünstigen.

Für die Gestaltung der Lehrprozesse müssen Lehrkräfte aus didaktischer Sicht vorwiegend inhaltliche und methodische Entscheidungen treffen. Bei diesen Entscheidungen können Unterrichtskonzeptionen unterstützen. Viele Unterrichtskonzeptionen der Physikdidaktik im deutschsprachigen Raum (z. B. Burde, 2018, Haagen-Schützenhöfer, 2016) beschränken sich jedoch darauf, eine Sachstruktur vorzuschlagen, die Lernprozesse der Schüler:innen bestmöglich unterstützt. Die Sachstruktur ist die Gesamtheit der Strukturierungselemente, wie fachliche Inhalte, Einsatz von Repräsentationen, Analogien und fachspezifischen Methoden (z. B. Experimente) und die Verknüpfung und die Abfolge all dieser Elemente im Unterricht (Brückmann, 2009; Schubatzky, 2020). Die methodischen Entscheidungen werden dabei oft der Lehrkraft überlassen.

2.1. Systematisierung von EF

Unterrichtskonzeptionen können Lehrkräfte folglich vorwiegend bei sachstrukturellen und unterrichtsmethodischen Entscheidungen unterstützen. Daher bieten diese zwei Kategorien den Ausgangspunkt für unsere Systematisierung der EF. Eine weitere Differenzierung in verschiedene Dimensionen der EF erfolgt basierend auf fachdidaktischer Literatur sowie auf bereits entwickelten naturwissenschaftlichen Unterrichtskonzeptionen. Die Liste an Dimensionen ist für den konkreten Fall einzelner Unterrichtskonzeptionen erweiterbar bzw. einschränkbar und erhebt somit keinen Anspruch auf Vollständigkeit oder klare Trennschärfe zwischen den Dimensionen. Sie darf nicht als Operationalisierung der genannten Aspekte gedeutet werden, sondern ist eine Hilfestellung für Forschende EF einer Unterrichtskonzeption herauszuarbeiten und zu strukturieren bzw. die EF (angehenden) Lehrkräften gezielt zu kommunizieren.

sachstrukturell	<p>Elementare fachliche Inhalte / Konzepte Elementare fachliche Inhalte sind elementare Wissensbausteine, die im Zuge der fachdidaktischen Elementarisierung entstehen. (vgl. Kircher, Girwidz, & Fischer, 2020)</p>
	<p>Reihenfolge elementarer fachlicher Inhalte / Konzepte Die Reihenfolge, in der elementare fachliche Inhalte bzw. Konzepte unterrichtet werden sollen.</p>
	<p>Repräsentationsformen Repräsentationsformen können sowohl bildliche als auch verbale Darstellungen zur Entwicklung von Vorstellungen umfassen. (Treagust, Duit, & Fischer, 2017)</p>
	<p>Modelle, Analogiemodelle Modelle repräsentieren relevante Ausschnitte einer Theorie, wie Elemente und Beziehungen. (Wagner, 2018) Analogiemodelle sind Modelle, die Ähnlichkeiten zu gewissen Bereichen des im Fokus stehenden Modells aufweisen. (Schubatzky, 2020)</p>
	<p>Kontexte Kontexte sind die Verknüpfung fachlicher Inhalte mit der „realen Welt“. (vgl. Duske, 2017)</p>
	<p>Begriffs- und Konzeptwechselstrategien Strategien, um Schüler:innen zu einer physikalisch adäquaten Sichtweise eines Begriffs oder Konzepts hin zu führen. (Wiesner, Schecker, & Hopf, 2018)</p>
	<p>Schüleraktivitäten und Aufgabenschemata Prinzipien und Schemata, wie Schüler:innen zur kognitiven Aktivierung angeregt werden. (vgl. Fauth & Leuders, 2018)</p>
unterrichtsmethodisch	<p>Fachmethoden Fachmethoden sind für eine Disziplin typische und charakteristische Arbeitsweisen / Handlungsmuster (wie Messen, Beobachten u. dgl.). (vgl. Kircher et al., 2020)</p>
	<p>Unterrichtsmedien Unterrichtsmedien sind nichtpersonale Hilfsmittel für den Unterricht (z. B. Arbeitsblatt, Beamer, Tonträger u. dgl.), um Informationen zu übertragen. (vgl. Kircher et al., 2020)</p>
	<p>Methodische Großformen Methodische Großformen sind nach Kircher et al. (2020) z. B. Freiarbeit, Projektunterricht u. dgl.</p>
	<p>Methodische Unterrichtskonzepte Methodische Unterrichtskonzepte sind nach Kircher et al. (2020) z. B. genetischer Unterricht u. dgl.</p>
	<p>Phasen des Unterrichts Phasen des Unterrichts sind nach Kircher et al. (2020) das Gliederungsschema des Unterrichts.</p>
	<p>Sozialformen Sozialformen sind nach Kircher et al. (2020) die Organisation von Schüler:innen in sozialen Strukturen, wie Einzelarbeit, Partnerarbeit u. dgl.</p>
	<p>Methodenwerkzeuge Methodenwerkzeuge legen nach Kircher et al. (2020) „Arbeitsweisen, Interaktionsstrukturen und Kommunikationselemente“ fest.</p>

Tab. 1: Erstversion der Dimensionen Essenzieller Features mit Bezeichnung und kurzer Beschreibung

Als Darstellung schlagen wir den REF (Repräsentation Essenzieller Features)-Raster am Beispiel der Frankfurt/Grazer Optikkonzeption vor (siehe Abb 1, bei Ausblick). Da die Systematisierung neben Lehrkräften auch Entwickler:innen unterstützen soll, wird deren Sicht auf die Systematisierung weiter untersucht.

3. Expertenbefragung

3.1. Erkenntnisinteresse

Das Ziel der Expertenbefragung ist das Konzept der EF aus fachdidaktischer Sicht kritisch zu beleuchten. Dabei lassen sich die folgenden Forschungsfragen formulieren:

- Ist das Konzept der EF aus fachdidaktischer Sicht nachvollziehbar, konsistent und anschlussfähig? (Konsistenz & Anschlussfähigkeit des Konzepts der EF)
- Ist die eingangs skizzierte Problemstellung nachvollziehbar und aus fachdidaktischer Sicht relevant für die Schulpraxis? (Relevanz der Problemstellung für die Schulpraxis)
- Ist das Konzept der EF, deren Systematisierung und die Darstellung als REF-Raster aus fachdidaktischer Sicht geeignet, um Lehrkräften die wesentlichen Aspekte einer Unterrichtskonzeption zu vermitteln? (Adressatengerechte Kommunikation an Lehrkräfte)
- Ist das Konzept der EF, deren Systematisierung und die Darstellung als REF-Raster aus fachdidaktischer Sicht geeignet, um (angehende) Lehrkräfte dabei zu unterstützen selbstständig EF einer Unterrichtskonzeption zu erkennen? (Unterstützung der Analysefertigkeiten von Lehrkräften)
- Ist die vorgeschlagene Systematisierung der EF zur Beschreibung wesentlicher Aspekte von Unterrichtskonzeptionen aus fachdidaktischer Sicht nachvollziehbar, sinnvoll und anschlussfähig? (Nachvollziehbarkeit der Systematisierung)

3.2. Sampling

Die Auswahl der Expert:innen erfolgte anhand folgender Kriterien:

- Bezug zur Naturwissenschaftsdidaktik,
- einschlägige Erfahrungen in der Entwicklungsforschung,
- aus dem deutschsprachigen Raum.

Bei der konkreten Auswahl wurden auch Expert:innen aus anderen Fächern und Traditionen miteinbezogen, um verschiedene Blickwinkel zu erlangen.

Insgesamt wurden fünf Experten aus Deutschland (3), Österreich (1) und der Schweiz (1) befragt. Alle haben promoviert und vier haben eine Professur für Naturwissenschaftsdidaktik, einer die Mathematikdidaktik.

3.3. Befragung

Den Experten wurde eine fünfseitige Beschreibung des Konzepts der EF und deren Zweck, der REF-Raster (vgl. Tab. 1) und fünf Fragen (siehe Tab. 2) geschickt, mit der Möglichkeit diese schriftlich oder per Videotelefonat zu beantworten und den Text zu kommentieren. Durch das Zusenden dieser Dokumente und Fragen haben die Experten die Möglichkeit ihre Antworten vor dem Interview zu strukturieren und bereits vorab Überlegungen anzustellen.

<p>Konsistenz & Anschlussfähigkeit des Konzepts</p> <p>F1: An welchen Stellen sind die Ausführungen zu Essenziellen Features aus Ihrer Sicht noch nicht schlüssig? Welche Argumente sind verwirrend oder widersprüchlich?</p>
<p>Relevanz der Problemstellung für die Schulpraxis, Adressatengerechte Kommunikation an Lehrkräfte</p> <p>F2: Wie beurteilen Sie die Relevanz Essenzieller Features und der vorgestellten Systematisierung dieser für die Unterrichtspraxis, um Lehrkräften zentrale Aspekte von Unterrichtskonzeptionen zu verdeutlichen?</p>
<p>Unterstützung der Analysefertigkeiten von Lehrkräften</p> <p>F3: Wie beurteilen Sie die vorgestellte Systematisierung Essenzieller Features, um (angehende) Lehrkräfte zu unterstützen zentrale Aspekte von Unterrichtskonzeptionen in Unterrichtsmaterialien selbstständig zu finden?</p>
<p>Nachvollziehbarkeit der Systematisierung:</p> <p>F4.1: Ist die Einteilung in sachstrukturelle und unterrichtsmethodische Dimensionen Essenzieller Features für Sie nachvollziehbar, wenn nicht, warum nicht?</p> <p>F4.2: Gibt es Dimensionen Essenzieller Features, die für Sie nicht nachvollziehbar sind, und wenn ja, welche und warum?</p> <p>F4.3: Welche weiteren Dimensionen Essenzieller Features – inkl. Beispielen und fachdidaktischer Begründungen – sollen in der Tabelle ergänzt werden?</p> <p>F4.4: Welche weiteren Beispiele und fachdidaktischen Begründungen können bestehenden Dimensionen hinzugefügt werden, um die Tabelle noch selbsterklärender zu machen?</p>
<p>F5: Welche weiteren Anmerkungen haben Sie?</p>

Tab. 2: Fragen an Expert:innen im Zuge der Befragung

3.4. Auswertung

Zwei Experten beantworteten die Fragen schriftlich und drei Experten in Videotelefonaten, welche einvernehmlich aufgezeichnet und transkribiert wurden. Die Transkripte und schriftlichen Antworten wurden mit einer inhaltlich strukturierenden Inhaltsanalyse (Kuckartz, 2018) analysiert.

Dabei bilden die Forschungsfragen einen ersten Anhaltspunkt für ein deduktives Kategoriensystem, welches induktiv weiterentwickelt wird. Für die entstehenden Kategorien werden die Antworten der Experten zu Kernaussagen paraphrasiert (siehe Abb. 1).

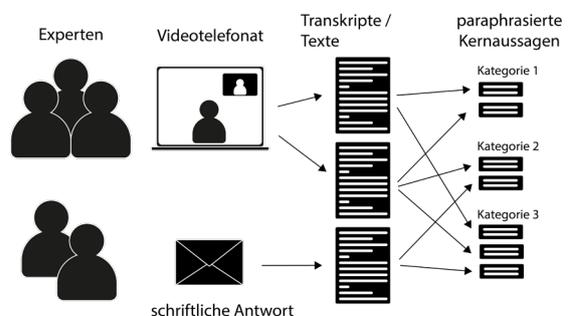


Abb. 1: Schematische Darstellung der Expertenbefragung und Auswertung

4. Ergebnisse

Die zentralen Argumente der Experten werden im Folgenden abgebildet, um in Folge Schlüsse für eine Weiterentwicklung des Konzepts der EF zu ziehen. Die Kernaussagen der Experten wurden dafür den Hauptkategorien zugeordnet und zusammengeführt. Die Argumente aller Experten werden als gleichwertig in ihrer Bedeutsamkeit angesehen und es wird bewusst keine genaue Anzahl an Nennungen genannt, um keine Wertigkeit der Argumente zu suggerieren. Es wird lediglich zwischen Einzelaussagen und einem Teil der Experten differenziert, um Einzelmeinungen, konkurrierende Einschätzungen oder überwiegenden Konsens abzubilden.

4.1. Konsistenz & Anschlussfähigkeit des Konzepts der EF

Die erste Forschungsfrage betrifft die Nachvollziehbarkeit des Konzepts der EF und wie anschlussfähig dieses Konzept der EF innerhalb der Fachdidaktik ist. Dafür wurde das Konzept der EF in einem fünfseitigen Textdokument beschrieben.

Die meisten Experten finden die Beschreibung des Konzepts der EF größtenteils nachvollziehbar und zeigen lediglich kleinere Unklarheiten auf. Das Konzept der EF wird z. B. mit der Idee eingeleitet, dass eine Unterrichtskonzeption eine Art (fach-)didaktisch gut begründeten wesentlichen Kern hat und eine Verpackung. Diese Verpackung kommt durch pragmatische und gestalterische Entscheidungen zustande. Dabei wird von einem Experten angemerkt, dass diese Trennung womöglich nicht scharf zu machen ist, da es nicht zu jedem einzelnen Feature einer Unterrichtskonzeption empirische Belege für seine Lernwirksamkeit gibt. Ein anderer Experte merkt an, dass es für den intendierten Zweck der EF zur Darstellung wesentlicher Aspekte einer Unterrichtskonzeption keiner empirischen Belege für die Lernwirksamkeit einzelner Features bedarf, sondern es ausreichend ist, wenn es aus fachdidaktischer Sicht Argumente für eine Lernwirksamkeit gibt.

4.2. Relevanz der Problemstellung für die Schulpraxis

Viele Unterrichtskonzeptionen sind in der Umsetzung im Unterricht nachweislich lernwirksamer als traditioneller Unterricht (Burde, 2018; Spatz, Hopf, Wilhelm, Waltner, & Wiesner, 2018), dennoch sind diese in der Schulpraxis nicht ausreichend verbreitet.

Dieser Einschätzung stimmen alle Experten zu, auch, dass dieser Umstand ein Desiderat für die Fachdidaktik darstellt. Die Ursache wird von einem Experten zum Teil in der mangelnden Präsenz von Unterrichtskonzeptionen in Curricula und zum Teil in starken subjektiven Überzeugungen zur Struktur von Unterricht bei Lehrkräften und Lehrerbildner:innen gesehen. Als Lösungsansatz wird von diesem Experten eine Verankerung von Unterrichtskonzeptionen in den Curricula bzw. eine verstärkte Thematisierung von Unterrichtskonzeptionen in der Lehramtsausbildung vorgeschlagen, um subjektive Überzeugungen

von (angehenden) Lehrkräften gegenüber Unterrichtskonzeptionen zu adressieren. Ein Teil der Experten berichtet auch von eigenen Erfahrungen aus der Forschungsarbeit beim Entwickeln bzw. Evaluieren von Unterrichtskonzeptionen mit Lehrkräften: Es ist für Personen, die in die Entwicklung nicht involviert sind, oftmals nicht trivial zu erkennen, welche Aspekte einer Unterrichtskonzeption wesentlich für eine wirksame Umsetzung sind und welche nicht. Es daher oft schwer nur anhand der Unterrichtsmaterialien herauszufinden, was an einer Unterrichtskonzeption wesentlich für die Lernwirksamkeit ist.

Diese EF von Unterrichtskonzeptionen – wie auch immer sie genannt und aus Konzeptionen extrahiert werden – den (angehenden) Lehrkräften gezielt zu kommunizieren wird daher von den Experten durchwegs als wichtig erachtet.

4.3. Adressatengerechte Kommunikation an Lehrkräfte

In erster Linie sollen EF und deren Systematisierung Entwickler:innen unterstützen, wesentliche Aspekte von Unterrichtskonzeptionen herauszuarbeiten bzw. strukturieren und mithilfe des REF-Rasters für (angehende) Lehrkräfte übersichtlich und kompakt darzustellen.

Lehrkräften diese wesentlichen Aspekte einer Unterrichtskonzeption, also deren EF, nahezubringen, wird von den Experten durchwegs als relevant gesehen. Jedoch sind laut einem Teil der Experten empirische Untersuchungen notwendig, ob die Systematisierung und die Darstellung in Form einer Tabelle für diesen Zweck geeignet sind. Ein Teil der Experten sieht jedenfalls das Potenzial der Systematisierung von EF und des REF-Rasters Lehrkräften klar zu kommunizieren, worauf es in einer Unterrichtskonzeption in Hinblick auf die Lernwirksamkeit ankommt und was relevant ist.

4.4. Unterstützung der Analysefertigkeiten von (angehenden) Lehrkräften

In dem fünfseitigen Dokument wird der REF-Raster auch als Hilfsmittel für (angehende) Lehrkräfte vorgestellt, um EF von Unterrichtskonzeptionen zu identifizieren. Vor allem in der Lehramtsausbildung soll der REF-Raster Studierenden helfen, auf unterschiedliche fachdidaktische Aspekte von Unterrichtsmaterialien – insbesondere zu Unterrichtskonzeptionen – zu achten und so eine vertiefte Auseinandersetzung mit Unterrichtskonzeptionen zu unterstützen.

Der REF-Raster als Hilfsmittel für (angehende) Lehrkräfte wird von den Experten unterschiedlich eingeschätzt. Ein Teil der Experten fragt sich, ob z. B. Studierende überhaupt beurteilen können, was wesentlich für eine wirksame Umsetzung ist und was nicht. Die Anforderungen an ein eigenständiges Analysieren von Unterrichtskonzeptionen durch (angehende) Lehrkräfte sind außerdem andere als bei einer Darstellung wesentlicher Aspekte durch Entwickler:innen. Laut einem Teil der Experten ist viel fachdidaktisches Hintergrundwissen und vermutlich die Aus-

einandersetzung mit zusätzlichen Materialien oder Publikationen notwendig. Außerdem ist es laut einem Experten vermutlich ohne Konsultation einer Person aus dem Entwicklerteam gar nicht möglich alle EF zu erschließen. Ein Experte merkt dazu auch an, dass Unterrichtsmaterialien es gar nicht leisten können die Unterrichtskonzeption dahinter explizit zu machen, da diese mehr ist als die Summe ihrer einzelnen Merkmale.

Auch der Einsatz des REF-Rasters in der Lehramtsausbildung wird unterschiedlich gesehen. Von einem Experten wird einerseits die Frage aufgeworfen, ob (angehende) Lehrkräfte überhaupt generisch lernen können EF aus Unterrichtskonzeptionen herauszufiltern. Hier bedarf es laut dem Experten vor allem einer empirischen Abklärung. Andererseits wird die Idee als sinnvoll empfunden, Studierende darauf zu sensibilisieren, worauf sie bei Unterrichtsmaterialien überhaupt achten können:

Ja, also das finde ich hervorragend, weil die Erfahrung mache ich auch mit Studierenden, also zunächst mal zu sensibilisieren, auf was könnte ich achten? Und so einen fragenden Blick zu erzeugen. Einen neugierigen Blick. Warum wird das in diesem oder jenem Lehrmittel so gemacht. Nicht vorschnell zu beurteilen, nach dem Motto: Ich versteh das nicht. Das spricht mich an. Von der Gestaltung her. Also fragend heranzugehen und dann vielleicht herausfinden, dass es tatsächlich nicht zufällig so gestaltet ist. Sondern es da eine Begründung gibt. Im Idealfall sind die natürlich durch das Entwicklungsteam irgendwo bereitgestellt. (Experte 1, Graz, 20.02.2022)

4.5. Systematisierung von EF

Die EF werden in dem fünfseitigen Dokument in sachstrukturelle und unterrichtsmethodische Dimensionen eingeteilt. Die einzelnen Dimensionen werden beschrieben und für jede Dimension ein bis zwei Beispiele mit fachdidaktischer Begründung genannt.

Bei der Aufteilung in sachstrukturelle und unterrichtsmethodische EF gibt es unter den Experten geteilte Ansichten. Es wird angemerkt, dass die beiden Ebenen grundsätzlich nachvollziehbar sind, aber diese Ebenen durchaus Zusammenhänge aufweisen, z. B. lassen sich für die Dimensionen „Fachmethoden“, „Schüleraktivitäten und Aufgabenschemata“ und „Kontexte“ Argumente für beide Kategorien finden. Auch wird angemerkt, dass sie sich möglicherweise auf einer unterschiedlichen Ebene befinden, da die Sachstruktur einer Unterrichtskonzeption laut einem Teil der Experten nachweislich mehr Einfluss auf die Lernprozesse der Schüler:innen hat als die Unterrichtsmethoden. Dabei wird von einem Teil der Experten die Frage aufgeworfen, ob es in der Physikdidaktik überhaupt Konzeptionen gibt, die unterrichtsmethodische Charakteristika haben, die der Definition von EF gerecht werden bzw. die nachweislich zur Lernwirksamkeit einer Konzeption beitragen. Es ist aus Sicht eines Experten auch fraglich, wie sinnvoll es ist, eine Systematisierung zu finden, die außerhalb der Physikdidaktik Anwendung findet, wo doch

laut dem Experten in der Physikdidaktik Sachstrukturen wichtiger sind als in anderen Didaktiken. Von dem Experten wird z. B. die Bedeutung unterrichtsmethodischer Charakteristika von Unterrichtskonzeptionen wie folgt angezweifelt:

Das liegt aber vielleicht auch daran, dass die Rolle von Schülervorstellungen in Mathe bei weitem nicht so dominant ist. Also, da will ich Ihnen Mut machen, sich wirklich nur auf Physik zu fokussieren. Weil das in Mathe einfach ganz anders ist. Also ich kenne auch die Empirielage auch noch nicht. Weiß nicht, ob man mit Freiarbeitsmaterialien besser lernt als mit einer guten direkten Instruktion. Ich weiß nicht, wie solide die Evidenz dazu ist. Die Evidenz, die ich als Physikdidaktiker dazu kenne ist ziemlich traurig. Da tut sich nämlich insgesamt gar nichts. (Experte 2, Graz, 01.03.2022)

Ein Experte sieht auch die Gefahr, Studierenden den Eindruck zu vermitteln Unterrichtsmethoden können „essenziell“ für den Lernerfolg der Schüler:innen sein, wo doch (angehende) Lehrkräfte Unterricht oft ausgehend von der Sichtstruktur planen. Daher wird von einem Experten ein Perspektivenwechsel weg von Sachstruktur und Unterrichtsmethode hin zu Tiefenstruktur und Oberflächenstruktur vorgeschlagen. Auch die unterschiedliche Korngröße der Dimension wird angesprochen. Laut eines Experten sind nicht alle Dimensionen gleich wichtig in Bezug auf die Lernprozesse. So wird die Reihenfolge der fachlichen Inhalte als wesentlich entscheidender erachtet als die Darstellung von Pfeilen.

Bei den einzelnen Dimensionen von EF sind einige Unklarheiten aufgetreten und einige zusätzliche Dimensionen vorgeschlagen worden, welche im Folgenden angeführt werden. Sprachlich sorgte z. B. bei der Dimension „Repräsentationsformen“ die Beschreibung „verbale Darstellung“ bei einem Experten für Verwirrung:

„Aber da bin ich tatsächlich über die Formulierung gestolpert. Weil was ist denn eine verbale Darstellung. Eine bildliche Darstellung kann ich mir gut vorstellen. Eine verbale Darstellung fand ich ein bisschen schwierig.“ (Experte 3, Graz, 20.02.2022)

Im Sinne einer besseren Verständlichkeit wird daher von diesem Experten vorgeschlagen in diese Dimension nur bildliche Darstellungen aufzunehmen und eine zusätzliche Dimension „Sprache/Begriffe“ zu ergänzen. Auch die Beschreibung der Analogiemodelle in der Dimension „Modelle, Analogiemodelle“ kann für Unklarheiten sorgen, gerade für die Zielgruppe der (angehenden) Lehrkräfte. Weiters kamen von einem Teil der Experten ergänzend zur Dimension „elementare fachliche Inhalte / Konzepte“ die Vorschläge „zentrale fachliche Erklärungen“, „zentrale fachliche Größen“ mit deren Konzeptualisierung und „weggelassene Inhalte“ auf. Letztere sind insofern laut den Experten besonders wichtig, da Lehrkräfte oft nicht wissen, was im Zuge einer Elementarisierung bewusst weggelassen wurde und diese weggelassenen Inhalte möglicherweise ergänzen, was die Idee der Unterrichtskonzeption konterkarieren kann. Ein

Experte schlägt auch eine Dimension vor, in der die Kompetenzen aus z. B. dem deutschen Kompetenzmodell Erkenntnisgewinnung, Bewertung und Kommunikation mitgedacht werden, gerade in Anbetracht der Tatsache, dass momentan Kompetenzorientierung immer wichtiger wird. Die Kompetenz Erkenntnisgewinnung lässt sich laut diesem Experten zwar unter Umständen der Dimension „Fachmethoden“ zuordnen, aber das geht nicht klar hervor. Es ist auch fraglich, wo fachspezifische Prozesse abgebildet werden, eher in „Fachmethoden“ oder „Schüleraktivitäten und Aufgabenschemata“.

Die Beispiele für Charakteristika im REF-Raster wurden von den Experten entweder nicht kommentiert oder als sinnvoll erachtet.

5. Diskussion

Im Folgenden wird das Konzept der EF und deren Intention, angestoßen durch die von den Experten aufgeworfenen Fragen und angeführten Argumente, diskutiert und Änderungen an den EF sowie deren Systematisierung beschrieben.

Bei Unterrichtskonzeptionen lässt sich eine scharfe Trennung in einen wesentlichen Kern und in eine flexible Verpackung in vielen Fällen schwer machen. An einzelne Essenzielle Features, als wesentlichen Kern, soll nicht der Anspruch gestellt werden, empirisch nachgewiesen zur Lernwirksamkeit einer Unterrichtskonzeption beigetragen zu haben. Unterrichtskonzeptionen werden unter verschiedenen Forschungsparadigmen entwickelt. Beim Entwickeln von Unterrichtskonzeptionen im Paradigma des Design-based Research (vgl. Burde, 2018; Haagen-Schützenhöfer, 2016) wird z. B. ein holistischer Ansatz verfolgt, bei dem es nicht darum geht jedes einzelne Element auf seine individuelle Wirksamkeit aufzulösen. Das liegt einerseits an der Fülle an Variablen an denen im Zuge der Entwicklungsforschung gedreht werden und andererseits an dem komplexen System Unterricht in dem sie evaluiert werden. Dennoch lassen sich fachdidaktische Argumente finden, die für oder gegen die Lernwirksamkeit einzelner Features sprechen.

Jedenfalls scheint die Notwendigkeit EF, also den wesentlichen Kern einer Unterrichtskonzeption, (angehenden) Lehrkräfte nahezubringen, laut der befragten Experten, gegeben. Die Frage ist nur: Wie?

Während der REF-Raster von den Experten größtenteils als eine geeignete Form der Darbietung der EF einer Unterrichtskonzeption für Lehrkräfte eingeschätzt wird, stößt der REF-Raster als Hilfsmittel für (angehende) Lehrkräfte selbst EF aus Unterrichtsmaterialien zu extrahieren auf Zweifel der Experten. Daher bedarf es weiterer Forschung, um einerseits die Fähigkeit (angehender) Lehrkräfte zu untersuchen, EF aus Unterrichtsmaterialien mit oder ohne Tabelle zu extrahieren, aber auch, inwiefern diese Fähigkeit lernbar bzw. trainierbar ist.

Der REF-Raster wurde mithilfe der Rückmeldung der Experten überarbeitet. Der Beitrag der unterrichtsmethodischen Dimensionen zur Lernwirksamkeit wird von der Mehrheit der Experten hinterfragt, da diese laut Experten eher die Sichtstruktur von Unterricht beeinflussen und ihnen keine Unterrichtskonzeptionen mit unterrichtsmethodischen EF bekannt wären.

Wir schließen dennoch nicht aus, dass es Unterrichtskonzeptionen mit unterrichtsmethodischen EF geben kann. Unterrichtskonzeptionen sollen Lehrkräfte beim Gestalten von Unterricht unterstützen. Aus der Perspektive, dass die Gestaltung von Unterricht aus fachdidaktischer Sicht auf inhaltlichen und unterrichtsmethodischen Entscheidungen beruht (vgl. Meyer, 1987) macht es unserer Meinung nach Sinn diese Dimensionen beizubehalten. Die Liste der von uns vorgeschlagenen Dimensionen erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit und es können manche Dimensionen weggelassen werden, wenn es bei einer Unterrichtskonzeption in dieser Dimension keine EF gibt. Bei der Liste an Dimensionen handelt es sich in erster Linie um eine Unterstützung. Einerseits für Entwickler:innen, um den wesentlichen Kern entwickelter Unterrichtskonzeptionen herauszuarbeiten und darzustellen und andererseits für (angehende) Lehrkräfte, die EF einer Unterrichtskonzeption zu erschließen.

Die Dimension „elementare fachliche Inhalte / Konzepte“ des REF-Rasters wurde umbenannt in „zentrale fachliche Ideen“. Dadurch lassen sich zentrale Erklärungen bzw. zentrale Größen eines zu unterrichtenden Gegenstandsbereichs und deren Konzeptualisierung eindeutig dieser Dimension zuordnen. Die Dimension „weggelassene fachliche Ideen“ wurde den Empfehlungen nach aufgenommen. Da sich einzelne Dimensionen nicht klar der Sachstruktur oder den Unterrichtsmethoden zuordnen lassen, werden einige Dimensionen in einen Übergangsbereich zwischen diesen Kategorien eingeordnet, wie z. B. die Dimensionen „Kontexte“ und „Schüleraktivitäten und Aufgabenschemata“. Die Dimension „Fachmethoden“ wurde zugunsten der Dimensionen „fachspezifische Prozesse / Tätigkeiten“ und „Experimente“ entfernt. Letztere können sowohl reines Medium zur Veranschaulichung physikalischer Phänomene als auch zur Entwicklung experimenteller Kompetenzen oder eines Naturwissenschaftsverständnisses sein. Deshalb finden sich „Experimente“ im Übergangsbereich wieder. Die Beschreibung der Dimensionen „Modelle, Analogien“ und „Repräsentationsformen“ wurden sprachlich abgeändert, da Experten über die Formulierung gestolpert sind. Begriffe bleiben trotz Einwand eines Experten weiterhin Teil von „Repräsentationsformen“, da dieser Begriff in der Physikdidaktik üblich ist. Bei den unterrichtsmethodischen Dimensionen gab es keine Änderungsvorschläge der Experten, außer, dass einige der Experten in Frage stellen, ob unterrichtsmethodische Aspekte überhaupt EF sein können.

6. Ausblick

Um die Potenziale der EF und des REF-Rasters für die Entwickler:innen, die Lehrkräfte und die Lehrkräfteausbildung auszuloten, sind noch einige Schritte denkbar.

So kann mithilfe des REF-Rasters in einem ersten Schritt versucht werden, die EF einzelner Unterrichtskonzeptionen mit dem Entwicklerteam oder Publikationen herauszuarbeiten (vgl. Abb. 1), um anschließend den REF-Raster auf Akzeptanz unter Lehrkräften zu prüfen. Es stellt sich auch die Frage, ob Lehr-

kräfte – selbst, wenn sie den REF-Raster als hilfreich empfinden – tatsächlich eher einen Unterricht gestalten können, der an der jeweiligen Unterrichtskonzeption orientiert ist und der den wesentlichen Kern besser berücksichtigt als ohne der Unterstützung durch den REF-Raster.

Der REF-Raster als Hilfsmittel für Physiklehramtsstudierende zum Erschließen einer Unterrichtskonzeption durch die systematische Analyse von Unterrichtsmaterialien wird im Zuge einer Dissertation untersucht und weiterentwickelt.

Dimensionen EFs	EFs	Fachdidaktische Begründungen	
sachstrukturell	Zentrale fachliche Ideen	<p>Lichtausbreitung (Sender-Empfänger-Streu-Vorstellung)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Um einen Gegenstand zu sehen, muss Licht von diesem Gegenstand ins Auge gelangen. - Es gibt Selbstsender und Zwischensender – beide strahlen Licht in alle Richtungen ab. Für beide funktioniert das Sehen gleich: Man kann sie sehen, wenn Licht von ihnen ins Auge fällt. - Licht strömt sehr schnell und geradlinig. <p>Farben und Farbwahrnehmung</p> <ul style="list-style-type: none"> - Zwischensender streuen einen Teil des einfallenden Lichts in alle Richtungen. - Es gibt verschiedene Lichtsorten. Wenn man Lichtsorten mischt, entstehen neue Lichtsorten. - Wo schon Licht ist, kann noch zusätzliches Licht hin. - Sonnenlicht ist weiß und lässt sich in unterschiedliche Lichtsorten (Regenbogenfarben) aufspalten. - Trifft Licht auf einen Gegenstand wird ein Teil des Lichts aufgenommen und ein Teil des Lichtes abgestrahlt. - Es ist eine feste Eigenschaft eines Gegenstandes, für welche Lichtsorte er Zwischensender ist. - Es ist keine feste Eigenschaft eines Gegenstandes, in welcher Farbe er erscheint. <p>Schatten</p> <ul style="list-style-type: none"> - Trifft Licht auf ein Hindernis, entsteht hinter dem Hindernis ein Schattenraum. <p>Abbildungen mit der Lochkamera und Linsenkamera</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ein Lichtsender besteht aus vielen kleinen Leuchtflecken. Jeder Leuchtfleck strahlt einen Lichtkegel ab, auf einem Hindernis erzeugt dieser Lichtkegel einen Bildfleck, als Abbildung dieses Leuchtflecks. - Ein Lichtstrahl ist ein Stellvertreter eines großen Lichtkegels. - Das Bild eines Gegenstandes ist scharf, wenn alle Leuchtflecken des Gegenstandes voneinander getrennte Bildflecken auf einem Bildschirm erzeugen. - Eine Sammellinse macht aus einem auseinanderlaufenden Lichtkegel einen zusammenlaufenden Lichtkegel. - Mit einer Linsenkamera kann man Entfernungen messen, da zu jeder Bildweite genau eine Gegenstandsweite gehört. <p>Das Spiegelbild</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ein Spiegel vertauscht vorne und hinten. - Das Spiegelbild ist hinter dem Spiegel. Der Abstand Gegenstand zu Spiegel und Spiegelbild zu Spiegel ist gleich groß. <p>Reflexion und Brechung</p> <ul style="list-style-type: none"> - Reflexion ist ein Sonderfall der Streuung. Dabei wird das Licht in eine bestimmte Richtung weitergestrahlt. - Bei der Reflexion gilt: Einfallswinkel des Lichts ist gleich dem Ausfallswinkel des Lichts. - Beim Übergang von zwei Materialien kommt es entweder zur Brechung zum oder vom Lot. <p>Abbildungen mit der Sammellinse</p> <ul style="list-style-type: none"> - Die Sammellinse ist optisches Bauteil, das das Prinzip der Lichtbrechung nutzt. - Die Sammellinse bildet Leuchtflecken auf Bildflecken ab, indem sie die Lichtkegel der Leuchtflecken fokussiert. - Das Bild einer Sammellinse kann man mit Stellvertreterstrahlen konstruieren. 	<p>Zuerst soll eine ange weiterführender Kon Lichtwege einzugeh</p> <p>Aufbauend auf d Interesse an F so soll als weiß Gegenstan</p>
	Reihenfolge zentraler fachlicher Ideen		
	Weggelassene fachliche Ideen	<ul style="list-style-type: none"> - Wellencharakter von Licht - Trennung in künstliche und natürliche Lichtquelle 	
	Modelle, Analogien	<ul style="list-style-type: none"> - Die Lochkamera wird immer wieder als einfaches Augenmodell herangezogen und später z. B. mit einer Linse optimiert. 	
	Repräsentationsformen	<ul style="list-style-type: none"> - Licht wird zu Beginn mit auseinanderlaufenden Pfeilen dargestellt, anschließend als Lichtkegel und erst ganz am Ende als Lichtstrahl. - In Darstellungen gibt es immer Lichtsender, Lichtempfänger und den Lichtweg. - Die Begriffe Lichtsender, Selbstsender und Zwischensender werden für selbstleuchtende bzw. beleuchtete Gegenstände eingeführt. Der Begriff Lichtempfänger wird für Auge, Kamera, etc. eingeführt. - Sonnenlicht wird weiß dargestellt und nicht gelb, und später werden die Lichtsorten des Regenbogens innerhalb des Pfeiles für weißes Licht dargestellt. - Pfeile für abgestrahltes Licht eines Gegenstandes werden kleiner dargestellt als auftreffendes Licht. Aufgenommenes Licht wird als gewellter Pfeil dargestellt. - Der Begriff Leuchtfleck wird für einen ausgedehnten Punkt am Gegenstand eingeführt, der Licht in alle Richtungen kegelförmig abstrahlt. Der Begriff Bildfleck wird für den Fleck eingeführt, der entsteht, wenn der Lichtkegel auf ein Hindernis trifft. - Abbildungen werden immer mit der Leuchtfleck-zu-Bildfleck-Darstellungen verbildlicht. - Der Begriff Stellvertreterstrahl wird für einzelne ausgezeichnete Lichtstrahlen eingeführt. 	<p>Dadurch werden Die häufiger entwick</p>
	Fachspezifische Prozesse / Tätigkeiten		
	Begriffs- und Konzeptwechselstrategien	<ul style="list-style-type: none"> - Das Motto „Von Nix kommt Nix“ wird immer wieder als kognitiver Anker verwendet. - Das Motto „Licht ist anders“ wird immer wieder als kognitiver Anker verwendet. 	<p>- „V Lem - „Lich hin.</p>
	Kontexte	<ul style="list-style-type: none"> - Die Kontexte sind aus der Biologie oder dem Alltag der Schüler:innen entlehnt. 	<p>Interes</p>
	Schüleraktivitäten und Aufgabenschemata	<ul style="list-style-type: none"> - Es gibt viele aktive Lerngelegenheiten allein oder im Team in Form vielschichtiger Aufgabentypen, die gezielt eine kognitive Aktivierung der Schüler:innen unterstützen sollen. 	<p>Das Z</p>
	Experimente	<ul style="list-style-type: none"> - Die Lochkamera wird als Nachweisgerät für Licht eingeführt: Wenn Licht von einem Gegenstand durch das Loch fällt, entsteht ein Bild des Gegenstandes am Bildschirm. - Nachweisexperiment für weißes Licht und gelbes Licht wird eingeführt: Wenn auf einer weißen Fläche ein weißer Lichtfleck entsteht, ist das Licht weiß. - Die Linsenkamera wird zur Bestimmung von Entfernungen verwendet. 	<p>Das</p>
Unterrichtsmethodisch	Unterrichtsmedien		
	Methodenwerkzeuge		
	Sozialformen		
	Phasen des Unterrichts		
	Methodische Unterrichtskonzepte		
Methodische Großformen			

Abb. 2: Möglicher REF (Repräsentation Essenzieller Features)-Raster zur Frankfurt/Grazer-Optikkonzeption als Beispiel zur Darstellung der EF einer Unterrichtskonzeption und deren fachdidaktischen Überlegungen (hier aus Platzgründen nicht abgeschnitten)

7. Literatur

- Boesen, J., Helenius, O., Bergqvist, E., Bergqvist, T., Lithner, J., Palm, T., & Palmberg, B. (2014). Developing mathematical competence: From the intended to the enacted curriculum. *The Journal of Mathematical Behavior*, 33, 72–87.
- Breuer, J. (2021). *Implementierung fachdidaktischer Innovationen durch das Angebot materialgestützter Unterrichtskonzeptionen: Fallanalysen zum Nutzungsverhalten von Lehrkräften am Beispiel des Münchener Lehrgangs zur Quantenmechanik. Studien zum Physik- und Chemielernen: Vol. 314*. Berlin: Logos Berlin.
- Breuer, J., Vogelsang, C., & Reinhold, P. (2020). Implementation und Nutzung von Unterrichtsmaterialien im schulischen Unterricht: Eine Bestandsaufnahme der mathematisch-naturwissenschaftlichen Fächer. *PhyDid.* (1/19), 12–22.
- Brückmann, M. (2009). *Sachstrukturen im Physikunterricht: Ergebnisse einer Videostudie*. Zugl.: Potsdam, Univ., Diss., 2009. *Studien zum Physik- und Chemielernen: Vol. 94*. Berlin: Logos Verlag.
- Burde, J.-P. (2018). *Konzeption und Evaluation eines Unterrichtskonzepts zu einfachen Stromkreisen auf Basis des Elektronengasmodells. Studien zum Physik- und Chemielernen: Band 259*. Berlin: Logos Verlag Berlin.
- Duske, P. (2017). Kontextorientierung des Unterrichts. In P. Duske (Ed.), *Bilingualer Unterricht im Fokus der Biologiedidaktik: Auswirkungen von Unterrichtssprache und -kontext auf Motivation und Wissenserwerb* (pp. 19–27). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Fauth, B., & Leuders, T. (2018). *Kognitive Aktivierung im Unterricht. Wirksamer Unterricht*. Stuttgart.
- Haagen-Schützenhöfer, C. (2016). *Lehr- und Lernprozesse im Anfangsoptikunterricht der Sekundarstufe I* (Kumulierte Habilitationsschrift). Universität Graz, Graz.
- Kircher, E., Girwidz, R., & Fischer, H. E. (Eds.) (2020). *Physikdidaktik | Grundlagen* (4. Aufl. 2020). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Kuckartz, U. (2018). *Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung* (4. Auflage). *Grundlagentexte Methoden*. Weinheim, Basel: Beltz Juventa.
- Meyer, H. (1987). *Unterrichtsmethoden: Theorieband*. Frankfurt am Main: Scriptor.
- Obczovsky, M., Haagen-Schützenhöfer, C., & Schubatzky, T. (2021). *Use and Fidelity of Implementation of Innovative Curriculum Materials in School Practice*. ESERA 2021, P., Braga, Portugal.
- Oser, F., & Baeriswyl, F. (2001). Choreographies of teaching: Bridging instruction to learning. In V. Richardson (Ed.), *Handbook of Research on Teaching* (4th ed., pp. 1031–1065). Washington, D.C: American Educational Research Association (AERA).
- Schubatzky, T. (2020). *Das Amalgam Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht : Eine multiperspektivische Betrachtung in Deutschland und*. Logos Verlag Berlin.
- Spatz, V., Hopf, M., Wilhelm, T., Waltner, C., & Wiesner, H. (2018). Eine Einführung in die Mechanik über die zweidimensionale Dynamik. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 24(1), 71–82.
- Stein, M. K., Remillard, J. T., & Smith, M. (2007). How curriculum influences student learning. In F. K. Lester (Ed.), *Second handbook of research on mathematics teaching and learning* (pp. 319–369). Greenwich: Information Age Pub.
- Treagust, D. F., Duit, R., & Fischer, H. E. (Eds.) (2017). *Multiple Representations in Physics Education* (Vol. 10). Cham: Springer International Publishing.
- Wagner, S. (2018). *Erklärung physikalischer Phänomene mit Modellen*. Humboldt-Universität zu Berlin.
- Wiesner, H., Schecker, H., & Hopf, M. (Eds.) (2018). *Physikdidaktik kompakt* (4. Auflage). Seelze: Aulis Verlag.
- Wilhelm, T., Schecker, H., & Hopf, M. (Eds.) (2021). *Unterrichtskonzeptionen für den Physikunterricht: Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis* (1. Auflage 2021). Berlin: Springer Berlin.

Interviewstudie zur Lernergebnissicherung im Physikunterricht aus der Perspektive von Physikfachleiter:innen

Jessica Schilling*, Johannes F. Lhotzky*, Klaus Wendt*

*Institut für Physik, Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Staudingerweg 7, 55128 Mainz
lhotzky@uni-mainz.de

Kurzfassung

Die Sicherung von Lernergebnissen stellt einen zentralen Teil von Lehr-Lernprozessen im Physikunterricht dar und bezweckt eine nachhaltige Integration des Lernzugewinns in das bereits bestehende Wissensnetz der Schüler:innen. Bisher finden die Planung und Gestaltung von Lernergebnissicherungen im Physikunterricht jedoch nur sehr wenig Beachtung in der fachdidaktischen Literatur. Zudem existiert kein einheitliches Verständnis darüber, was unter der Sicherung von Lernergebnissen verstanden wird und welche Bedeutung dieser in der konkreten Unterrichtsgestaltung sowie in der Ausbildung zukünftiger Lehrkräfte zugeschrieben wird. Da Physikfachleiter:innen die Vorstellungen und Unterrichtsplanungen von angehenden Lehrkräften im Referendariat maßgeblich prägen, wurde im Rahmen einer Masterarbeit an der Johannes Gutenberg-Universität Mainz die Bedeutung der Lernergebnissicherung in der zweiten Ausbildungsphase im Fach Physik untersucht. Dazu wurden leitfadengestützte, qualitative Expert:inneninterviews mit rheinlandpfälzischen Physikfachleiter:innen durchgeführt und mit der Software MAXQDA kategorienbasiert ausgewertet.

1. Einführung

„Lehrerinnen und Lehrer sind Fachleute für das Lehren und Lernen. Ihre Kernaufgabe ist die gezielte und nach wissenschaftlichen Erkenntnissen gestaltete Planung, Organisation und Reflexion von Lehr- und Lernprozessen [...]“ [1]. Die Sicherung von Lern- und Unterrichtsergebnissen ist in lernpsychologischen Unterrichtsphasierungen, welche sich aus der Eingangs-, Erarbeitungs- und Sicherungsphase [2] zusammensetzen, fest verankert. In Bezug auf die Einordnung der Lernergebnissicherung in die Strategien einer fachdidaktisch fundierten Planung einer Physikunterrichtsstunde ist festzustellen, dass diese in der fachdidaktischen Literatur nur randständig Erwähnung findet. Dies zeigt sich bereits in den Inhaltsverzeichnissen und Registern der einschlägigen physikdidaktischen Nachschlagewerke (vgl. z.B. [3], [4], [5]), worin der Begriff der Lernergebnissicherung nicht auftaucht. Obwohl kaum explizite Forschungsansätze zur Bedeutung und Implementierung der Lernergebnissicherung im Physikunterricht existieren, ist die Ausbildung der Sicherung von Lern- und Unterrichtsergebnissen ein fester Bestandteil der Ausbildungsrichtlinien Physik für den gymnasialen Vorbereitungsdienst. Die Referendar:innen sollen „prägnante Sicherungen konzipieren“ [6], die dynamische Tafelsicherung beherrschen sowie „auf eine rechtzeitige (Zwischen-) Sicherung von Unterrichtsergebnissen auch unter Einbeziehung von Schülerbeiträgen [achten]“ [6].

Ziel der diesem Paper zugrundeliegenden Interviewstudie war es, die Bedeutung und die Einordnung der Lernergebnissicherung aus der Perspektive der Physikfachleiter:innen herauszuarbeiten, welche

angehende Physiklehrkräfte in den Vorstellungen und Ansätzen zur Unterrichtsgestaltung maßgeblich prägen. Dazu wurde der Forschungsfrage „Welche Bedeutung wird der Lernergebnissicherung in der zweiten Phase der Lehramtsausbildung Physik zugeschrieben?“ nachgegangen. Die Bedeutung der Lernergebnissicherung wurde dabei hinsichtlich der drei Dimensionen begriffliche Bedeutung, inhaltliche Bedeutung und Stellenwert analysiert.

2. Lernergebnissicherung

Eine einheitliche Begriffsdefinition für die Ergebnissicherung im Physikunterricht existiert nicht [7]. Der Begriff ist auch in der allgemein didaktischen Literatur nicht scharf definiert. Bis heute finden sich in der didaktischen Forschung sowie in fachdidaktischen Quellen weder übereinstimmende Definitionen noch eine begriffliche Klärung zur Sicherung von Lern- und Unterrichtsergebnissen. Um eine einheitliche Verwendung der Begrifflichkeiten zu erreichen, wird im weiteren Verlauf unter dem Begriff Lernergebnis das individuelle Ergebnis der Schüler:innen verstanden, welches im Unterricht erreicht wird. Der Bezeichnung des Lernergebnisses steht der Begriff des Unterrichtsergebnisses gegenüber, welcher die gemeinsame Sicherung der Ergebnisse im Unterricht durch die Lerngruppe stärker fokussiert [8].

Aktuelle Ergebnisse zu den Vorstellungen von Physiklehrpersonen zur Thematik der Lernergebnissicherung finden sich in der Masterarbeit von Lucas Carlos Televantos Ubeda, die nachfolgend skizziert werden. Die Untersuchung erfolgte dabei mittels eines Online-Fragebogens, der mit Unterrichtsvignetten Lehrer:innen anhand von Fallbeispielen aufforderte, die

Eignung dargestellter Lernergebnissicherungen bezüglich verschiedener Arten (Präsentation, Feedback, Üben, Anwenden) sowie unterschiedlicher Aktivitäten (Lernendenhandeln, Lehrendenhandeln, lehrendengestütztes Lerner:innenhandeln) zu bewerten [9]. Die Untersuchung verdeutlicht, dass die befragten Lehrkräfte über kein einheitliches Begriffsverständnis verfügen. Lehrkräfte verbinden Lernergebnissicherung häufig mit einer gewissen Verbindlichkeit der gemeinsamen Dokumentation von Unterrichtsergebnissen, die wiederum durch Feedback reflektiert werden sollen [9]. Anhand der Antworten zu vorgegebenen offenen Fragestellungen wurde herausgestellt, dass das schriftliche Festhalten von Unterrichtsergebnissen für manche Lehrkräfte das entscheidende Merkmal der Lernergebnissicherung darstellt [9]. Darüber hinaus fassen aber einige Lehrkräfte den Begriff der Lernergebnissicherung auch deutlich weiter und schließen Aspekte des Übens und Festigens des Gelernten mit ein. Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass Vignetten, die eine aktiv-unterstützende Rolle der Lehrkraft beschreiben, als geeignetstes Mittel zur Lernergebnissicherung bewertet wurden [9]. Die Lernendenaktivität wird als geringfügig weniger geeignete Methode bewertet als das ausschließliche Lehrer:innenhandeln in Form von gezielten Arbeitsanweisungen in der Sicherungsphase [9]. Insgesamt stimmen die befragten Lehrkräfte darin überein, dass Situationen, die als zur Sicherung von Lernergebnissen geeignet bewertet werden, auch häufig im eigenen Unterricht vorkommen [9]. Die Ergebnisse dieser Studie gilt es unter Beachtung der geringen Teilnehmendenzahl von $N = 27$ zu bewerten.

3. Forschungsmethode

Zur Beantwortung der Forschungsfrage „Welche Bedeutung wird der Lernergebnissicherung in der zweiten Phase der Lehramtsausbildung Physik zugeschrieben?“ wurden qualitative Daten mit Hilfe von leitfadengestützten Expert:inneninterviews erhoben. Diese Erhebungsmethode ermöglicht eine flexible Erfassung der individuellen Sichtweisen, Erfahrungen und Bewertungen hinsichtlich der Bedeutung der Lernergebnissicherung in der zweiten Phase der Lehramtsausbildung Physik. Der Ansatz von Expert:inneninterviews mit Physikfachleiter:innen wurde gewählt, da Fachleiter:innen als Multiplikatoren agieren. Um abzusichern, dass entsprechend des Forschungsinteresses wesentliche Aspekte des Themas abgedeckt werden, und um die Vergleichbarkeit der Einzelinterviews zu gewährleisten, wurden die leitfadengestützten Interviews anonymisiert ausgewertet [10].

3.1. Datenerhebung und Aufbereitung des Datenergebnisses

Zur konkreten Konzeption des verwendeten Leitfadens wurden vor der Datenerhebung Kategorien entwickelt, die aus der Forschungsfrage abgeleitet wurden. Die relevanten Kategorien lauten dabei: Begriffsverständnis, Fachseminar, Unterrichtsreflexion,

Stellenwert und Wünsche an die Lernergebnissicherung. Zur strukturierten inhaltlichen Analyse dienen die drei Dimensionen begriffliche Bedeutung, inhaltliche Bedeutung und Stellenwert.

Die untersuchte Kategorie Begriffsverständnis bezweckt eine vertiefte Analyse des Begriffsverständnisses der Physikfachleiter:innen. Die beiden Kategorien Fachseminar und Unterrichtsreflexion leiten sich aus der Analysedimension inhaltliche Bedeutung der Lernergebnissicherung im Fachseminar ab. Mit Hilfe der beiden Kategorien soll bestimmt werden, welche Vorstellungen angehende Physiklehrkräfte im Rahmen ihrer Ausbildung im Referendariat mit auf den Weg bekommen. Die Bedeutung des Stellenwerts der Lernergebnissicherung folgt direkt aus der gleichnamigen Analysedimension. Der Stellenwert der Lernergebnissicherung wurde dabei hinsichtlich der Kategorien Begriffsverständnis, Fachseminar und Unterrichtsreflexion untersucht. Die Kategorie Wünsche der Lernergebnissicherung, welche der Kontrastierung der Bedeutung der Lernergebnissicherung in der ersten und zweiten Phase der Lehramtsausbildung Physik dient, leitet sich aus der Forschungsfrage ab. Die gebildeten Kategorien stellten ein erstes Kategoriensystem bereit [11], das als Grundlage zur Konzeption des Interviewleitfadens diente und zur Auswertung der Daten herangezogen wurde. Auf der Basis des Kategoriensystems erfolgte die konkrete Konzeption des Leitfadens: Zuerst wurden alle denkbaren Interviewfragen zu den jeweiligen Kategorien gesammelt, die von Interesse zur Beantwortung der Forschungsfrage sein könnten. Dabei wurden zunächst alle Bedenken bezüglich der Eignung der konkreten Formulierung der Fragen zurückgestellt [12]. Im Anschluss wurde die Sammlung verdichtet, geordnet und erneut hinsichtlich der Forschungsfrage geprüft und hinterfragt. Lediglich die danach verbliebenen Fragen wurden verwendet und in einer sinnstiftenden Reihenfolge geordnet [12]. Im letzten Schritt wurden die Interventionen präzise ausformuliert [12].

Der verwendete Leitfaden beginnt mit einer kurzen Einführungsphase, worin die interviewende Person sich und das Forschungsprojekt prägnant vorstellt. Es schließt sich ein Einstiegsimpuls an, welcher die Fachleiter:innen zur offenen Beschreibung einer typischen Sicherung im Physikunterricht anregen soll. Ziel dieses Impulses ist es, einen alltagsnahen Einstieg in das Gespräch zu initiieren. Hinsichtlich der Hauptkategorie Begriffsverständnis sei angemerkt, dass die Interviewfragen teilweise auf Beschreibungen der Lernergebnissicherung im eigenen Unterricht des Fachleiters oder der Fachleiterin abzielen. Auf diese Weise sollen konkrete Vorstellungen des persönlichen Begriffsverständnisses der Fachleiter:innen bezüglich der Lernergebnissicherung im Physikunterricht erhoben werden. Da die Kategorie Stellenwert mittels der Kategorien Begriffsverständnis, Fachseminar und Unterrichtsreflexion untersucht werden sollte, wurde der jeweilige Aspekt des Stellenwerts in die jeweilige Kategorie integriert. Diese wurden mit

Hilfe von Validierungsfragen trianguliert. Neben den vorformulierten Fragen waren während des Interviews ad hoc (Rück-)Fragen durch die interviewende Person möglich. Die interviewte Person erhielt abschließend die Gelegenheit, aus ihrer Sicht wichtige Aspekte der Lernergebnissicherung, welche im vorherigen Interviewverlauf noch nicht thematisiert worden sind, anzusprechen und zu benennen [12]. Vor der eigentlichen Datenerhebung mittels eines leitfadengestützten Interviews wurde der Leitfaden in einem Probeinterview getestet und weiterentwickelt.

3.2. Auswertungsmethode

Die Expert:inneninterviews wurden aufgezeichnet und nach dem einfachen Transkriptionssystem nach Dresing & Pehl transkribiert. Dies eignete sich für das vorliegende Forschungsvorhaben besonders gut, da sich in der hier durchgeführten Auswertung ausnahmslos auf die inhaltliche Analyse der Transkripte fokussiert wurde. Die aufgezeichneten Interviews wurden nach der Transkription anonymisiert. Im Anschluss erfolgte eine kategorienbasierte Auswertung der Transkripte mit Hilfe des Analysetools MAXQDA. Die Kategorienbildung des vollständigen Kategoriensystems erfolgte sowohl deduktiv durch die Konzeption des Leitfadens anhand der Hauptkategorien als auch induktiv durch die Ausdifferenzierung der Hauptkategorien in Subkategorien. Die induktive Kategorienbildung wurde anhand der von Kuckartz vorgestellten „Guideline für die Kategorienbildung am Material“ [13] entwickelt. Zur Datenauswertung wurde die inhaltlich-strukturierende qualitative Inhaltsanalyse nach Udo Kuckartz (2016) verwendet [13], um die konkreten Vorstellungen des Begriffsverständnisses von Physikfachleiter:innen sowie Inhalte zur Lernergebnissicherung im Physikfachseminar und in Unterrichtsreflexionen identifizieren und analysieren zu können. Des Weiteren ermöglicht diese Analyseform die Untersuchung des Zusammenhangs der Kategorie Stellenwert zu den anderen Hauptkategorien. Die evaluative qualitative Inhaltsanalyse wurde zur Bewertung des Stellenwerts der Lernergebnissicherung aus der Physikfachleiter:innenperspektive verwendet. Die konkrete Auswertung des Datenmaterials erfolgte kategorien- und fallbasiert hinsichtlich der Hauptkategorien.

4. Ergebnisse

Die Ergebnisse wurden entlang der Hauptkategorien Begriffsverständnis, Fachseminar, Unterrichtsreflexion, Stellenwert und Wünsche der Lernergebnissicherung ausgewertet und hinsichtlich weiterer Subkategorien ausdifferenziert.

4.1. Begriffsverständnis

Die Subkategorie Beschreibung des persönlichen Begriffsverständnisses diente der Erfassung des individuellen Begriffsverständnisses der befragten Physikfachleiter:innen. Diese Kategorie wurde unter anderem in die Subsubkategorien Formale Lernergebnissicherung und Vertiefte Lernergebnissicherung

ausdifferenziert. Die formale Lernergebnissicherung wird dabei durch die Dokumentation neuer Lerninhalte in Form von Merksätzen oder Tafelanschriften, welche von den Schüler:innen meist abgeschrieben werden, charakterisiert. Neben diesem Begriffsverständnis wurde die Subsubkategorie Vertiefte Lernergebnissicherung identifiziert, welche durch die aktive Auseinandersetzung mit sowie durch die Anwendung und Versprachlichung von neuen Lerninhalten zu einer nachhaltigen Verankerung im bereits bestehenden Wissensnetz charakterisiert wird. Die Auswertung der Transkripte verdeutlicht, dass das Begriffsverständnis der Lernergebnissicherung sehr unterschiedlich ist.

Zur Erfassung des subjektiven Begriffsverständnisses der einzelnen Physikfachleiter:innen, wurde jeder interviewten Person ein Motto auf der Basis ihres Gesamtbegriffsverständnisses zugeschrieben. Dabei zeigt sich eine Diskrepanz in der Selbstwahrnehmung der Fachleiter:innen hinsichtlich des Begriffsverständnisses und den Erwartungen, welche die Fachleiter:innen mit der Sicherung im Physikunterricht verbinden.

4.2. Bedeutung der Lernergebnissicherung im Fachseminar

In drei von vier Physikfachseminaren ist die Lernergebnissicherung kein konkretes Inhaltselement. Dabei wird die Lernergebnissicherung im vierten Fachseminar aufgrund des straffen, zeitlichen Rahmens mit dem Themenfeld Digitalisierung gekoppelt. Insgesamt erfolgt kaum eine explizite Vermittlung der Lernergebnissicherung in den Fachseminaren. Die Lernergebnissicherung wird meist lediglich im Rahmen anderer Fachseminarbausteine, wie etwa der Stundenstrukturierung, sowie indirekt über die Sicherung der Fachseminarinhalte selbst erwähnt.

4.3. Bedeutung der Lernergebnissicherung in Unterrichtsreflexionen

Die Auswertung der Bedeutung der Lernergebnissicherung in der Unterrichtsreflexion macht transparent, dass diese mindestens im Rahmen der Formulierung des Ertrags der hospitierten Unterrichtsstunde in allen Unterrichtsnachbesprechungen der interviewten Physikfachleiter:innen vorkommt. Dabei unterscheidet sich der Umfang der Besprechungen der Lernergebnissicherungen erheblich. Inhaltlich werden insbesondere die Problematiken des Zeitmanagements und die Passung zwischen der geplanten Lernergebnissicherung und der tatsächlich umgesetzten Lernergebnissicherung in Unterrichtsnachbesprechungen thematisiert. Es wird transparent, dass in den Unterrichtsnachbesprechungen somit hauptsächlich stundenstrukturelle Aspekte zur Lernergebnissicherung besprochen werden.

4.4. Stellenwert der Lernergebnissicherung

Insgesamt kommt zum Tragen, dass die Zuschreibung des Stellenwerts der Lernergebnissicherung in der

zweiten Phase der Lehramtsausbildung Physik sehr stark vom jeweiligen Ausbildungselement abhängt und durch das individuelle Begriffsverständnis der Fachleiter:innen geprägt ist. Diese bewerten den Stellenwert der Lernergebnissicherung im eigenen Unterricht für den Lernprozess der Lernenden prinzipiell als bedeutsam. Im Fachseminar wird der Lernergebnissicherung jedoch ein im Vergleich dazu eher geringerer Stellenwert zugeschrieben, während in Unterrichtsnachbesprechungen der Stellenwert hingegen deutlich höher eingeschätzt wird.

4.5. Wünsche zur Lernergebnissicherung

Hinsichtlich der Ausbildung zur Lernergebnissicherung wünschen sich die interviewten Physikfachleiter:innen insbesondere eine verbesserte Vorbereitung der Lernergebnissicherung im Rahmen der universitären Ausbildung. Dabei soll den angehenden Physiklehrkräften im Idealfall neben Möglichkeiten zur Lernergebnissicherung auch methodisches Wissen bezüglich dieses Themenfeldes vermittelt werden. Eine der interviewten Physikfachleiter:innen wünscht sich zudem mehr Seminareinheiten zur Lernergebnissicherung im Fachseminar.

5. Diskussion der Ergebnisse und Fazit

Mit dieser Untersuchung zur Lernergebnissicherung in der zweiten Phase der Lehramtsausbildung Physik kann verdeutlicht werden, dass hinsichtlich der begrifflichen Bedeutung unterschiedliche Auffassungen von Lernergebnissicherung vorliegen. Dabei kristallisieren sich zwei Auffassungen von Lernergebnissicherungen heraus: Die Fachleiter:innen verstehen zum einen unter dem Begriff der Lernergebnissicherung die formale Lernergebnissicherung, welche durch die Zusammenfassung und Dokumentation der Lernergebnisse charakterisiert wird. Zum anderen konnte aber auch eine vertiefte Lernergebnissicherung identifiziert werden, die sich durch die Anwendung, Übung und Versprachlichung der Lernergebnisse auszeichnet.

Es zeigen sich deutliche Unterschiede zwischen dem explizit geäußerten und dem implizit geäußerten Begriffsverständnis der interviewten Physikfachleiter:innen. Drei der vier interviewten Fachleiter:innen beziehen sich im Rahmen des expliziten Begriffsverständnisses auf die formale Lernergebnissicherung, während das implizite Begriffsverständnis der Fachleiter:innen zusätzlich die vertiefte Lernergebnissicherung inkludiert.

Hinsichtlich der inhaltlichen Bedeutung der Lernergebnissicherung im Fachseminar konnte festgestellt werden, dass die Lernergebnissicherung in den Physikfachseminaren kaum explizit angesprochen wird. Die Ausbildung in der Lernergebnissicherung erfolgt in den Physikfachseminaren ausschließlich implizit durch die Sicherung anderer, konkreter Fachseminarinhalte. Die Physikfachleiter:innen betonen, dass die zeitlichen Rahmenbedingungen der zweiten Ausbildungsphase den Fachseminarinhalt stark limitieren

würden und anderen Aspekten im Rahmen der Ausbildung eine höhere Priorität als der Lernergebnissicherung zugewiesen werden müsse. Die Fokussierung der Fachseminarinhalte auf stundenstrukturelle Aspekte und auf die implizite Anwendung der Lernergebnissicherung verdeutlicht die Problematik, dass neben Untersuchungen zur Phasierung von Unterrichtsstunden kaum durch Forschung gesichertes Wissen zur Lernergebnissicherung im Physikunterricht existiert, welches in den Fachseminaren zur Lernergebnissicherung angesprochen werden könnte.

In Unterrichtsnachbesprechungen wird die Lernergebnissicherung im Rahmen des Ertrags der hospitierten Unterrichtsstunde als Unterrichtsreflexion thematisiert. Der Umfang bei den einzelnen Fachleiter:innen in den Unterrichtsnachbesprechungen unterscheidet sich dabei erheblich. Diese Differenzen sind auf die unterschiedlichen, expliziten Begriffsverständnisse der Fachleiter:innen zurückzuführen. Inhaltlich werden in den Unterrichtsreflexionen zur Lernergebnissicherung insbesondere die Problematiken des Zeitmanagements und der Passung zwischen der im Vorfeld geplanten Lernergebnissicherung und der tatsächlichen Lernergebnissicherung thematisiert. Es kommt zum Tragen, dass ähnlich zur inhaltlichen Thematisierung der Lernergebnissicherung im Fachseminar auch in den Unterrichtsnachbesprechungen hauptsächlich stundenstrukturelle Aspekte zur Lernergebnissicherung diskutiert werden.

Hinsichtlich des Stellenwerts der Lernergebnissicherung konnte festgestellt werden, dass die zugeschriebene Bedeutung in der zweiten Phase der Lehramtsausbildung Physik sehr stark vom jeweiligen Ausbildungselement abhängt und der zugeschriebene Stellenwert durch das explizite Begriffsverständnis der jeweiligen Fachleiter:innen geprägt wird. Fachleiter:innen, deren explizites Begriffsverständnis durch die vertiefte Lernergebnissicherung geprägt ist, schreiben der Lernergebnissicherung eine hohe Bedeutung zu, wohingegen Fachleiter:innen, deren Begriffsverständnis auf die formale Lernergebnissicherung beschränkt ist, dieser einen eher mittleren Stellenwert zusprechen. Insbesondere Aspekte der vertieften Lernergebnissicherung werden für die nachhaltige Sicherung des Lernzugewinns der Schüler:innen als besonders bedeutsam eingeschätzt. Diese Beobachtung macht zudem deutlich, dass die fehlende, einheitliche Begriffsdefinition der Lernergebnissicherung einen erheblichen Einfluss auf den Stellenwert der Lernergebnissicherung im eigenen Unterricht der Physikfachleiter:innen hat.

Im Fachseminar schätzen die interviewten Personen den Stellenwert der Lernergebnissicherung insgesamt eher niedrig ein. Es wird vermutet, dass dieser geringe Stellenwert daraus resultiert, dass aufgrund der fehlenden theoretischen Basis zur Sicherung von Lernergebnissen im Physikunterricht, der geringen Anzahl an fachdidaktischen Untersuchungen zur Lernergebnissicherung sowie der zeitlichen Beschränkung der Physikfachseminare die

Fachleiter:innen eine Priorisierung anderer Seminarinhalten vornehmen. Die Physikfachleiter:innen betonen, dass eine Erhöhung der zur Verfügung stehenden Fachseminarsitzungen helfen würde, die Ausbildung zur Lernergebnissicherung im Fachseminar zu verbessern. Zudem wünscht sich ein Großteil der Fachleiter:innen eine Integration der theoretischen Ausbildung zur Lernergebnissicherung im Physikunterricht in die fachdidaktische Ausbildung an der Universität.

Zusammenfassend konnte festgestellt werden, dass das zugrundeliegende Begriffsverständnis der Lernergebnissicherung der interviewten Physikfachleiter:innen eine erhebliche Auswirkung auf die Fachseminarinhalte, auf die Unterrichtsnachbesprechungen sowie auf die Zuschreibung des Stellenwerts der Lernergebnissicherung in der zweiten Phase der Lehramtsausbildung hat. Die vorliegende Untersuchung zeigt auf, dass ein Bedarf an weiteren Forschungen zur Lernergebnissicherung besteht, und gibt zusammen mit der Untersuchung von Lucas Carlos Televantos Ubeda einen Anstoß, das Themenfeld der Lernergebnissicherung im Physikunterricht vertieft fachdidaktisch anzugehen. Die Notwendigkeit eines einheitlichen Begriffsverständnisses zur Lernergebnissicherung konnte aufgezeigt werden.

6. Literatur

- [1] KMK. (2019). Standards für die Lehrerbildung: Bildungswissenschaften Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 16.12.2004 i. d. F. vom 16.05.2019. Berlin/Bonn.
- [2] Bönsch, M. (1996). Didaktisches Minimum: Prüfungsanforderungen für LehramtsstudentInnen. Studentexte für das Lehramt. Neuwied, Kriftel und Berlin: Luchterhand.
- [3] Berger, V. & Mikelskis, H. F. (2010). Physik-Didaktik: Praxishandbuch für die Sekundarstufe I und II. 5. Auflage. Fachdidaktik. Berlin: Cornelsen Scriptor.
- [4] Hopf, M., Wiesner, H. & Schecker, H. (2011). Physikdidaktik kompakt. (H. Wiesner, Hrsg.) Aulis-Verlag.
- [5] Kircher, E. & Girwitz, R. (2020). Physikdidaktik Grundlagen 4. Auflage. (H. Fischer, Hrsg.) Berlin: Springer Spektrum.
- [6] RLP. (September 2012). Gymnasialer Vorbereitungsdienst Rheinland-Pfalz. Ausbildungslinien im Fach Physik. Abgerufen am 28. 12. 2021 von https://studienseminar.rlp.de/fileadmin/user_upload/studienseminar.rlp.de/sem-gy/Ausbildungslinien/AL_Physik.pdf
- [7] Jank, W. (1987). "Ergebnissicherung im Unterricht: Anregungen zum unterrichtspraktischen Umgang mit einem theoretisch ungelösten Problem". Westermanns pädagogische Beiträge, S. 9-15.
- [8] Meyer, H. (1987). Praxisbuch Meyer: Unterrichts Methoden II - Praxisband. 1. Auflage. Praxisbuch Meyer. Berlin: Cornelsen.
- [9] Televantos Ubeda, L. (2021). Masterarbeit: Lernergebnissicherung im Physikunterricht - Erfassung des Begriffsverständnisses von Physiklehrkräften.
- [10] Friebertshäuser, B., Langer, A., Boller, H. & Richter, S. (2010). Handbuch Qualitative Forschungsmethoden in der Erziehungswissenschaft. 3., vollst. überarb. Auflage. (A. Prengel, Hrsg.) München: Juventa Verlag.
- [11] Vogt, S. & Werner, M. (2014). Forschen mit Leitfadeninterviews und qualitativer Inhaltsanalyse. Köln.
- [12] Gläser, J. & Laudel, G. (2010). Experteninterviews und qualitative Inhaltsanalyse. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaft.
- [13] Kuckartz, U. (2016). Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung. Weinheim: Beltz Juventa.

Perceived Agency of In-Service Physics Teachers in Japan and Austria

Michael M Hull*, Haruko Uematsu[†]

*Austrian Educational Competence Centre, Division of Physics, University of Vienna, Porzellangasse 4/2/2, Vienna, Austria/1090, [†] Tokyo Gakugei University, Department of Physics, Nukuikita-machi 4-1-1, Koganeishi, 184-0015, Tokyo, Japan
michael.malvern.hull@univie.ac.at

Abstract

Dissemination of reformed curriculum requires teachers to feel that they have the freedom to implement the curriculum in the classroom. Even instructors who are trained in research-based instruction and are convinced of its value might fail to implement the curriculum in the classroom if, for example, they feel like doing so would jeopardize their ability to cover the contents required by the national standards. We created the "Perceived Agency Survey" to assess teacher views about such issues and administered it to physics teachers in Austria (where teachers are given considerable freedom in their teaching by the national standards) and Japan (which has national standards that are regarded as more demanding of teachers). In this paper, we will show which items of the survey indicate differences in views between the two groups of teachers, and we will discuss recent interviews with teachers about how Corona has affected their perceived agency.

1. Introduction

Despite instructing our pre-service teachers (PSTs) in the use of research-based curriculum and teaching approaches, we do so with the humble recognition that our graduates might choose not to use these materials in their future schools. This can occur if our PSTs do not "buy in" to the new methods and materials (e.g., Goertzen, 2010). However, equally decisive a factor for whether physics education research finds its way into the classroom is the "perceived agency" of a teacher. We do not mean "agency" in the sense of a secret agent, a nameless extension of an organization. Rather, our usage of the word aligns more closely with the definition of Lipponen and Kumpulainen (Lipponen & Kumpulainen, 2011): "the capacity to initiate purposeful action that implies will, autonomy, freedom, and choice." In particular, we define "perceived agency" of teachers and PSTs to be "a feeling of being in control over what is taught and of how it is taught" (Hull & Uematsu, 2020a). Education researchers have documented a number of reasons that teachers may have a low perceived agency, including student and parent preferences or expectations for traditional instruction, institutional inertia, and demands imposed by national standards and standardized testing (Ball & Cohen, 1996; Biesta, Priestley, & Robinson, 2015; Wei & Chen, 2019). From our personal experience, we have found that these latter two factors can be particularly influential on teachers and PSTs in Japan. Graduates of the second author from Tokyo Gakugei University have occasionally reported that they face pressure from the schools at which they begin their teaching careers to not use research-based curriculum as it is too different from what other teachers at the school have been using (it goes against the status quo). The second author has

frequently experienced teachers in Japan expressing the concern that interactive engagement teaching methodologies and curriculum will demand more time to implement than what is allowed by the national curriculum. Although such concerns are shared by teachers and PSTs across the globe, the experience of the first author has been that teachers and PSTs in Austria tend to see the national standards ("Lehrplan") as being considerably open-ended.

To go beyond our anecdotal experience with teachers and PSTs, we created, validated, and administered the Perceived Agency Survey. In our earlier work, we have discussed the validation process of the survey and a comparison of PST responses at our institutions using Rasch analysis (Hull & Uematsu, 2020a, 2020b; Hull, Vormayr, & Uematsu, 2019). In this paper, we will discuss responses from in-service teachers. Although in this paper we draw upon descriptive statistics, we hope to accumulate additional data for the use of Rasch analysis in the future.

2. Methodology

The Perceived Agency Survey consists of 44 Likert-scale items. Each item contains a statement with which respondents can either "Strongly Agree" (5), "Strongly Disagree" (1), or something in between. As is common with Likert-scale surveys in physics education research (Adams et al., 2006; Redish, Saul, & Steinberg, 1998; Wilcox & Lewandowski, 2017), we collapsed the data to have three levels representing "agree" if the respondent selected "5" or "4", "disagree" if the respondent selected "1" or "2", and "neutral" if the respondent selected "3". Thirteen of these items did not pass the expert panel we conducted at the University of Vienna (Hull & Uematsu, 2020a),

1	I will consider carefully what physics textbook to use in my classroom.
2	If the principal of my school tells me to teach in a certain way, I will do my best to teach that way, even if I don't really want to.
3	If my physics students do not understand what they are learning, I will take more time with the material, even if that means that some planned topics are not taught in class.
4	I prefer curriculum that tell the teacher exactly what to do, so that I don't risk making the wrong decision.
6	I will just use whatever physics textbook the teacher before me used. If it was good enough for him/her, then it is good enough for me.
9	It might be the case that at my school where I am teaching, a more experienced teacher will not want me to use research-based pedagogy but to instead stick to traditional ways of teaching. Nevertheless, I will keep trying to introduce curriculum that I think will be the most effective.
13	Once I choose a physics textbook, I will just use it, at most, as a guide. I will not hesitate to skip sections or point out to students which parts I think are poorly-worded, confusing, or wrong.
14	Teaching is just a job so I can get a paycheck – there is no benefit to me beyond that.
15	Outdated equipment at my school is not an excuse for a poor lesson. I will just have to rely more on creativity!
16	It doesn't really matter whether I do my part in helping students learn or not—they will meet plenty of other teachers.
17	I feel that I have control over what I teach and how I teach it.
18	What my students learn in my class will have little benefit for them in other courses and/or in everyday life.
19	I will provide quality education to my students, even if I need to spend more time preparing for class than my colleagues do.
20	Once I choose a physics textbook for my classroom, I will follow it carefully.
21	I think I have influence over the progress of my students.
23	I will teach in the way I think is best, regardless of what my principal or other teachers might think.
27	Curricular resources are, at most, a guide for teachers to use or modify creatively, as the situation requires.
28	My students will have taken many classes before taking my class, and they will have an idea of how a class "should go". I need to teach in that style too, otherwise it will be too strange for my students.
29	Parents should not tell me what or how to teach – I am the expert, not them.
30	I will use the curriculum the teacher before me used at the schools where I will teach, even if it is ineffective, because I don't want to cause any trouble.
32	Generally, someone else decides what and how I teach.
33	In my physics class, I will combine textbooks and other materials, taking the best from each source.
35	The skills my students learn in my class, if any, will have little benefit to them once they graduate from school.
36	I find personal value in teaching.
37	The content I teach and the way that I teach it are not something for me to decide.
38	I feel responsible for doing my part in helping my students learn.
39	I will not work more than my colleagues in preparing lessons, even if the quality of my lessons suffers.
40	I think what my students learn in my class will be useful for them in other courses and/or in everyday life.
41	I think the progress of my students is independent of anything I as a teacher might do.
43	In some schools, teaching may suffer because the equipment in the physics classroom is outdated. There is nothing I can do about that as a teacher.
44	I think the general skills my students learn in my class will give them a better chance at success in the future.

Fig. 1: The 31 items of the Perceived Agency Survey that were validated with a panel of 10 experts. The instructions state "in the case of a combined statement, respond to the sentence that is written in bold."

and so we consider in this paper only the remaining 31 items in Figure 1. Teachers in Japan completed the Japanese version of the survey ($N = 32$) from Oct. 2020 – March 2021 over the internet by following a link sent out in an e-mail to physics teachers across the country. The first author administered the German version of the Perceived Agency Survey in person at a week-long professional development event for in-service teachers that took place at the University of Vienna before the Corona pandemic in Feb. 2020 ($N = 61$). The following year, this event took place online, and the first author administered the survey again, explaining that he was investigating whether teacher views had changed as a result of Corona ($N = 32$). To encourage participation, no demographic information, including name, was collected either year.

To further investigate how the perceived agency of teachers was affected by Corona, the first author and a PST (Fuchs, D. 2022) in a BS thesis seminar taught by the first author interviewed a total of five teachers in the Vienna area. With participant consent, these interviews were audio recorded and transcribed.

3. Results

Although our study on perceived agency of in-service teachers is still at an early stage, we can consider our data to look at 1) what effect Corona has had on the perceived agency of teachers, and 2) what differences in perceived agency we find in comparing Austrian and Japanese teachers.

3.1. Effects of Corona on Teacher Perceived Agency

The results of the Perceived Agency Survey are in Figure 2 below. In comparing the gray (Austrian teachers pre-Corona) and orange (Austrian teachers during Corona) bars, we do not find a consistent trend. On some items (Q.1, Q.16, and Q.23), the teachers from the pre-Corona professional development program displayed greater perceived agency (gray bars are longer). On other items (Q.37 and Q.43), the opposite is true. The item with the greatest difference was Q.43: “In some schools, teaching may suffer because the equipment in the physics classroom is outdated. *There is nothing I can do about that as a teacher*,” followed by Q.1: “I will consider carefully what physics textbook to use in my classroom.” Regarding Q.1, we see that the dominant response was to agree (indicating perceived agency) both years, with the gray bar (pre-Corona) being larger (more perceived agency) than the orange bar (during Corona). We must consider the possibility that this difference (as well as the difference on Q43) is just statistical noise being amplified by the small number of respondents. However, the matching item, Q.6, has a bar ranking that is at least consistent: the gray bar is again slightly longer.

Regarding Q.43, we see that the dominant response was to disagree with the statement (indicating perceived agency) both years, but the orange bar (during Corona) is longer than the gray bar (pre-Corona). This is consistent with Q.15, which is the partner item to Q.43: the orange bar is again slightly longer. Table 1 presents a breakdown of responses to Q.1 and Q.43.

Response to Q.43	2020 ($N = 61$)	2021 ($N = 32$)
Disagree*	40 (66%)	25 (78%)
Neutral	10 (16%)	4 (13%)
Agree	11 (18%)	0 (0%)
Left blank	0 (0%)	3 (10%)
Response to Q.1	2020 ($N = 61$)	2021 ($N = 32$)
Disagree	2 (3%)	4 (13%)
Neutral	3 (5%)	5 (16%)
Agree*	56 (92%)	23 (72%)
Left blank	0 (0%)	0 (0%)

Tab. 1: The number and percentage of Austrian teachers who disagreed with, agreed with, or were neutral towards Q.43 and Q.1 (see paper body for item description). An asterisk shows the response indicating perceived agency.

There are numerous possibilities to explain this data. Regarding Q.1, if there genuinely is a difference (and not just statistical noise) between the two years, it may be that the online learning environment which ensued as a result of Corona left teachers feeling powerless (less perceived agency) and with a sense of “learning doesn’t work online anyway, so why should I waste time trying to find good curricular materials?” It is also possible that teachers interpreted “physics textbook” in a sense limited to paper-based books and disagreed with Q.1 because, in an online format, such books are not used as prevalently (and so there is no need to consider which textbook to use). We can similarly speculate about Q.43, where the response indicating perceived agency seems to have increased during Corona. It may be that the necessity of switching to online teaching increased the perceived agency of teachers regarding finding substitutes for outdated equipment in the classroom. Perhaps the experience proved to them that online teaching is a viable alternative, created an opportunity for them to learn about the wealth of computer simulations that exist, and demonstrated to them that learning can happen effectively even without hands-on equipment. It is also possible that teachers in 2021 read the prompt differently than the participants of the survey validation

interviews (conducted prior to Corona) had. Perhaps, during Corona, many teachers read the prompt and thought “well, since learning is taking place online, the bold part of the statement is no longer relevant and I should respond to the first part about teaching

suffering because of equipment. That is not at all the case anymore since my students are not using equipment but rather simulations, so I will disagree with the statement.”

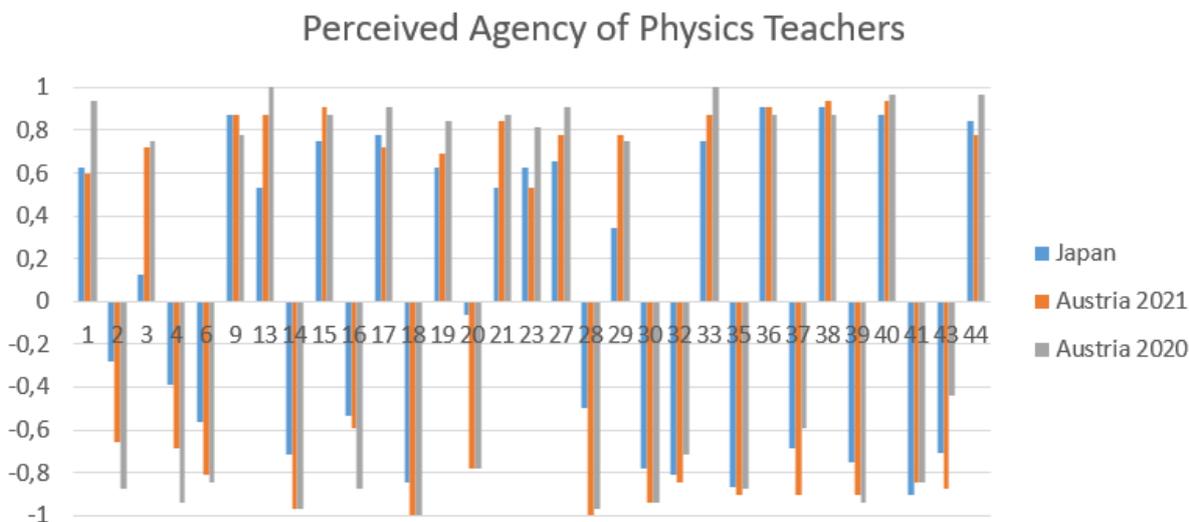


Fig. 2: Mean values from the Perceived Agency Survey. The Austria 2020 data (N = 61) comes from a professional development event that took place before the Corona pandemic, Feb. 2020. The Austria 2021 data (N = 32) comes from the same event that was held online the next year. The Japan data (N = 32) was collected from Oct. 2020 – March 2021. Agreement with a statement is indicated with a “1”, disagreement with a “-1”, and neutral with a “0”. Note that for all three data sets, mean values for each item happen to be in the direction associated with “indicates perceived agency” for that item. Longer bars hence indicate stronger perceived agency.

To gain insight into which, if any, of these speculations might be correct, interview-based case studies would be extremely helpful. Unfortunately, without identifiers on the survey responses, we are unable to follow-up with teachers who changed their minds from 2020 to 2021 in answering these two items (or even know how many teachers did change their minds). Nevertheless, we can look for insight from a free response item that was added to the survey in 2021, asking teachers how they felt their answers had changed since the previous year: “How do your answers compare with those from last year? What is the reason for the changes from last year, if there are changes? (In case you did not fill out the survey last year, try anyway to say something about changes in your situation from last year).” No teachers specifically mentioned any particular item; more compellingly, only one of the N = 32 respondents left a comment consistent with an increased perceived agency regarding what he or she can do so that teaching does not suffer despite outdated equipment (relevant for Q.43): “I have dared to try out new teaching concepts and... simulations”. Similarly, only one response was consistent with a decrease in perceived agency on Q.1, regarding textbook selection and use: “I stick more closely to the textbook”. This suggests that the mixed changes from 2020 to

2021 are, in fact, just statistical noise. This null result is consistent with case study accounts from the interviews conducted as well.

The first author conducted one-on-one semi-structured interviews with two teachers (given the pseudonyms “Macha” and “Ramunay”) in the Vienna area who had participated in the 2021 professional development event and who, at the end of the survey, agreed to a follow-up interview by providing their e-mail addresses. The protocols for these interviews were based upon responses that the participant had given to the Perceived Agency Survey in 2021 that indicated a lack of perceived agency. The interviews themselves were semi-structured, in that priority was given to providing space for the teacher to describe how Corona had affected teaching practices and perceived agency, even when that meant diverging from the protocol.

Regarding Q.1 and Q.6 about textbooks, Macha said that Corona had not affected how Macha feels about textbooks: generally, Macha explained, Austrian textbooks are not particularly helpful and time spent choosing from bad options is wasted. Similarly, Macha’s views about Q.43 and Q.15 had not changed. Macha believed that one can do lots of great experiments without much equipment, and Corona had not affected that view. This stance was echoed by Ramunay. In response to Q.1, Ramunay said that, just

as was the case before Corona, Ramunay carefully considers what physics textbook to use in the classroom, looking first at the photos, and then gathering opinions from colleagues. This is consistent with Ramunay's response to Q.6.

To be clear, we are not claiming that Austrian teachers were altogether unaffected by the changes brought about by online teaching. Macha, for example, when asked explicitly how Corona had changed teaching practices, explained that, because of Corona, it is no longer possible to improvise as well in the moment. When teaching in presence, Macha had been able to bring out experiments from the preparation room in response to ideas students would voice. In an online environment, however, Macha felt a reduced ability to be able to be as responsive to student ideas. Ramunay likewise commented that it is harder to get to know students in an online environment and hence harder to create appropriate lessons. Although older students who are familiar with using a computer and working independently are less of a challenge, "if you have a 10-year old in the first class, it's much more difficult. You don't know them, they, they are a little bit of shy [sic] sometimes, uh, they don't know the computer very well, and you don't know if everything works fine at home, because they are not, uh, they are not used to work at home." Similarly, one of the free responses to the open item at the end of the 2021 Perceived Agency Survey was "Distance learning has made it much more difficult to get a feeling for ... what has not yet been understood. It is more difficult to offer support ...". One of the three teachers D. Fuchs interviewed in his BS thesis ("Latte") confessed to feeling overwhelmed by the new technology involved with online learning that teachers were expected to master and employ. We see these effects, however, as being better aligning with a conceptual dimension closer to self-efficacy than perceived agency. Our scarce data suggests that the "feeling of being in control over what is taught and of how it is taught" (perceived agency) in Austrian teachers is surprisingly stable.

3.2. Comparison of Austrian and Japanese Teacher Perceived Agency

With reference to Figure 2, while no clear trend exists for Austrian teachers in comparing 2020 and 2021 survey responses (and our qualitative data is consistent with the idea that there was no significant change), the perceived agency of Japanese teachers seems to be notably lower than Austrian counterparts on several items. In particular, Q.3 ("If my physics students do not understand what they are learning, I will take more time with the material, even if that means that some planned topics are not taught in class") and Q.20 ("Once I choose a physics textbook for my classroom, I will follow it carefully") demonstrate the most dramatic contrasts between Austrian and Japanese teachers. Regarding the Austrian stance on Q.3, Ramunay went so far in the

interview as to say that it "makes no sense" to push students along if they have not understood an important point:

The problem is that, do I realize that they don't understand it? ... *That's* the problem. If I *do* realize, then of course I take the time, because that makes no sense [to keep going without them understanding], but the main problem is do I realize if they have a problem? [emphasis Ramunay's] ... sometimes I say "OK, [an item on the national curriculum is] not that important, I will skip it."

Although there is need for more extensive research to investigate the extent and causes of these differences on Q.3 and Q.20, it is plausible that responses on these two items are especially strongly correlated. That is, Japanese teachers may hesitate to skip topics to help students who are struggling (disagreeing with Q.3) because they feel a need to carefully follow a textbook (agreeing with Q.20). It is further plausible that both responses stem from a sense of being confined by a demanding national curriculum and entrance exams.

4. Conclusion and Discussion

In this paper, we have presented a small amount of data to suggest two findings. First of all, the perceived agency of Austrian teachers is a fairly stable entity that was affected relatively little by the Corona pandemic. Second, Japanese teachers demonstrate notably less perceived agency than Austrian counterparts, as indicated by the Perceived Agency Survey. This second finding was most striking with Q.3 and Q.20, which concern skipping some planned topics to take time to help struggling students (Q.3) or adhering carefully to the planned curricular materials (Q.20). Taken together, we see that, in comparison to Japanese counterparts, Austrian teachers are more likely to perceive freedom to deviate in their lessons instead of rushing through a large amount of content.

This difference in perception parallels actual differences in the academic systems of the two countries. Whereas Japanese universities are well-known for their competitive entrance examinations, this is not the case in Austria. From our perspective, the national education standards in Japan ("高等学校: 学習指導要領 (平成 30 年告示)," 2018) are indeed more constraining than the counterpart in Austria ("Bundesrecht konsolidiert: Gesamte Rechtsvorschrift für Lehrpläne – allgemeinbildende höhere Schulen," 2021). Table 2 below presents a comparison of required instruction in high school-level physics specific to the topic of mechanics. As an example, both countries require that gravitation be taught to high school students. However, whereas the Austrian education standards only list "gravitation", the Japanese standards specify that students should be able to "understand laws of planetary motion based upon planetary observation data." Since the latter puts more constraints on what the teacher should teach in

the classroom, we have written “understand laws of planetary motion based upon planetary observation data” between asterisks. Overall, we find more constraining (asterisked) items for Japan than for Austria in the Table.

Austria (RIS)	Japan (MEXT)
Relativity of rest and motion	
Change of motion from forces, Newton’s Law of Motion	Relationship between momentum and impulse
Motion in a straight line	*Motion in a plane: velocity and acceleration of curved motion Parabolic movement: motion horizontally projected and obliquely projected objects in relation to linear motion*
Circular motion	Circular motion: centripetal force
Gravitation	*Understand laws of planetary motion based upon planetary observation data*
Conservation of momentum	*Conservation of momentum: conduct experiments on collisions and explosions of objects*
Rotation	Balance of a rigid body: experiments on the balance of large objects
Conservation of angular momentum	
	Simple harmonic motion: conduct experiments on pendulums

Tab. 2: Comparison of national curriculum for mechanics instruction in high school. The asterisks indicate our impression of which topic is more constraining between the two countries.

5. Limitations and Future Work

In this paper, we have presented the limited data that we have regarding the perceived agency of in-service teachers. Due to a small number of responses to our Perceived Agency Survey, it was necessary to restrict our analysis to descriptive statistics. Although, as we mentioned earlier, we would welcome the opportunity to collect additional survey responses to conduct Rasch analysis, we have generally found that teachers are reluctant to take time out of their busy schedules—particularly in Japan—to complete our survey. Furthermore, as it is impossible to acquire additional “pre-Corona” data, there is not much we can do to strengthen our claims about the effect that Corona has had on perceived agency. Nevertheless, the findings presented here serve to motivate a future

study that would capitalize upon the pre-Corona data that we have from pre-service teachers that was discussed in earlier work (Hull & Uematsu, 2020a). Specifically, we hypothesize that Austrian teachers changed little in their perceived agency because the perceived agency that they had gave them support to maintain that perceived agency. In other words, we hypothesize that teachers (and PSTs) who have a higher degree of perceived agency are more stable in that perceived agency. We can test this by returning to collecting data from PSTs in Austria and Japan and seeing how patterns on the Perceived Agency Survey compare for the two populations today in comparison to what we found prior to Corona. We hypothesize that we will see little change in the Austrian PSTs (who, on average, had a notably greater perceived agency) in comparison to Japanese counterparts.

6. Literature

- Adams, W. K., Perkins, K. K., Podolefsky, N. S., Dubson, M., Finkelstein, N. D., & Wieman, C. E. (2006). New instrument for measuring student beliefs about physics and learning physics: The Colorado Learning Attitudes about Science Survey. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 2(010101), 1–14. <https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.2.010101>
- Ball, D. L., & Cohen, D. K. (1996). Reform by the Book: What Is—or Might Be—the Role of Curriculum Materials in Teacher Learning and Instructional Reform? *Educational Researcher*, 25(9), 6–14. <https://doi.org/10.3102/0013189X025009006>
- Biesta, G., Priestley, M., & Robinson, S. (2015). The role of beliefs in teacher agency. *Teachers and Teaching*, 21(6), 624–640. <https://doi.org/10.1080/13540602.2015.1044325>
- Bundesrecht konsolidiert: Gesamte Rechtsvorschrift für Lehrpläne – allgemeinbildende höhere Schulen. (2021). Retrieved May 23, 2022, from <https://www.ris.bka.gv.at/>
- Goertzen, R. M. (2010). *Investigating and Accounting for Physics Graduate Students’ Tutorial Classroom Practice*. University of Maryland, College Park.
- Hull, M. M., & Uematsu, H. (2020a). A survey to measure perceived agency of teachers. *International Journal of Physics & Chemistry Education*, 12(3), 53–62.

- Hull, M. M., & Uematsu, H. (2020b). Development of preservice teachers' sense of agency. In *Research and Innovation in Physics Education: Two Sides of the Same Coin* (pp. 209–223). Cham: Springer.
- Hull, M. M., Vormayr, K., & Uematsu, H. (2019). Validation of a survey to measure pre-service teachers' sense of agency. *GIREP*.
- Lipponen, L., & Kumpulainen, K. (2011). Acting as accountable authors: Creating interactional spaces for agency work in teacher education. *Teaching and Teacher Education*, 27(5), 812–819. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0742051X11000023>
- Redish, E. F., Saul, J. M., & Steinberg, R. N. (1998). Student expectations in introductory physics. *American Journal of Physics*. <https://doi.org/10.1119/1.18847>
- Wei, B., & Chen, N. (2019). Agency at work: two beginning science teachers' stories in a context of curriculum reform in China. *International Journal of Science Education*. <https://doi.org/10.1080/09500693.2019.1600205>
- Wilcox, B. R., & Lewandowski, H. J. (2017). Developing skills versus reinforcing concepts in physics labs: Insight from a survey of students' beliefs about experimental physics. *Physical Review Physics Education Research*, 13(1). <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.13.010108>
- 高等学校: 学習指導要領 (平成 30 年告示) . (2018). Retrieved from https://www.mext.go.jp/content/1384661_6_1_3.pdf

Quereinstiegsmasterstudiengänge verstetigen und ausbauen? Befunde und Implikationen aus der Evaluation des Quereinstiegsmasters an der Freien Universität Berlin

Novid Ghassemi Tabrizi, Volkhard Nordmeier

Freie Universität Berlin, Arnimallee 14, 14195 Berlin
nghassemi@zedat.fu-berlin.de, volkhard.nordmeier@fu-berlin.de

Kurzfassung

Der Mangel an Lehrkräften für unterschiedliche Fächer und Schulformen dauert (nicht nur) im Land Berlin weiter an. Demensprechend sieht der neue Berliner Koalitionsvertrag eine Verstetigung des sogenannten „Sonderprogramms Beste (Lehrkräfte-)Bildung“ und einen Ausbau der Quereinstiegs-masterstudiengänge (Q-Master) vor (SPD, Bündnis90/Die GRÜNEN & DIE LINKE., 2021). Vorläufige Evaluationsergebnisse des Q-Masters für die Grundschule (Lucksnat, Fehrmann, Pech, Richter & Zorn, 2021) und für Integrierte Sekundarschulen und Gymnasien (Ghassemi & Nordmeier, 2021) im Land Berlin können als Argumente für diese Maßnahmen gelesen werden. Nicht ausreichend geklärt ist allerdings, welche individuellen Motive und subjektiven Eindrücke der Q-Masterstudierenden die positiven Befunde erklären könnten und welche zusätzlichen Implikationen und Limitationen sich hieraus ergeben. Um diese Fragen besser beantworten zu können, werden die Q-Masteranden im Fach Physik an der Freien Universität (FU) Berlin nicht allein mittels quantitativer Erhebungsverfahren befragt, sondern auch zu ihren Berufsbiografien und dem subjektiv erlebten Nutzen des Studiums interviewt. Der Beitrag diskutiert anhand aktueller Ergebnisse der quantitativen und qualitativen Begleitforschung des Q-Masters im Fach Physik an der FU Berlin Potenziale einer Verstetigung und Ausweitung der Q-Masterstudiengänge.

1. Ausgangslage

Der Mangel an grundständig ausgebildeten Lehrkräften für unterschiedliche Fächer und Schulformen dauert im Land Berlin und bundesweit an. Ein besonderer Mangel besteht auch in Zukunft für MINT-Fächer (KMK, 2022; Klemm, 2021). In diesem Zusammenhang ist im Land Berlin die Verstetigung und der Ausbau der in den vergangenen Jahren entwickelten Quereinstiegsmasterstudiengänge geplant (SPD et al., 2021, S. 118). Um einen „nachhaltigen Personalaufwuchs [zu] ermöglichen“, soll die „Verbeamtungsoption für Quereinsteigende ... geprüft [werden]“ (ebd., S. 106). Unklar ist, ob der ‚Quereinstieg während des Studiums‘ im Falle der Verstetigung der Berliner Studiengänge weiterhin als ‚Sondermaßnahme‘ (KMK, 2013) eingeordnet würde.

2. Forschungslage zu universitären Qualifikationsprogrammen für Quereinsteiger*innen

Evaluationsergebnisse des Q-Masters für die Grundschule (Lucksnat, Fehrmann, Müncher, Pech & Richter, 2022) und für Integrierte Sekundarschulen und Gymnasien (Ghassemi & Nordmeier, 2021) zeigen, dass sich Studierende der Q-Masterstudiengänge in ihren Berufswahlmotiven und Kompetenzen kaum von Studierenden des ‚regulären‘ Masters unterscheiden. Die professionellen Handlungskompetenzen der Q-Masterstudierenden verändern sich im Verlauf des Studiums in wünschenswerter Weise (ebd.).

Die Q-Masterstudierenden verfügen zu Beginn des Studiums über vielfältige Vorerfahrungen in der Rolle als Lehrende, und ihre Berufswahlmotive sind vornehmlich intrinsisch-altruistisch (Ghassemi & Nordmeier, 2021; Melzer, Pospiech & Gehrman, 2014; Troesch, Aksoy & Bauer, 2019).

Limitierend ist hinzuzufügen, dass diese Erkenntnisse bislang nur bestimmte Standorte, Schulformen (Grundschule bzw. ISS/Gym) und exemplarische Fächer betreffen. Insbesondere die Erkenntnisse aus dem Fach Physik basieren auf einer kleinen Stichprobe, welche allein einem Standort (FU Berlin) entstammt. Nicht ausreichend geklärt ist außerdem, wie die Berufswahlmotive der Studierenden der Quereinstiegsmasterstudiengänge berufsbiografisch eingeordnet werden und welchen subjektiven Nutzen sie dem Q-Masterstudium beimessen. Die Motive und das subjektive Erleben der Studierenden könnten Erklärungsansätze für die quantitativen Befunde bzgl. der professionellen Entwicklung der Studierenden liefern.

3. Begleitforschung zum Q-Master im Fach Physik

Die Begleitforschung des Q-Masterstudiengangs an der FU Berlin legt nach wie vor (exemplarisch) einen Schwerpunkt auf das Fach Physik. Mit dem Ziel, den aktuellen Kenntnisstand bzgl. Quereinstiegsstudiengängen um Evidenzen zu erweitern, werden einerseits professionelle Handlungskompetenzen in ihrer Ausprägung und Entwicklung betrachtet und mit den

Kompetenzen der Studierenden des regulären Lehramtsmasters im Fach Physik an der FU Berlin verglichen. Andererseits werden die Studierenden zu Ihren individuellen Berufswahlmotiven und deren berufsbiografische Einordnung sowie dem subjektiv erlebten Nutzen des Lehramtsmasterstudiums befragt.

Damit geht die Forschung unter Anderem folgenden Forschungsfragen nach:

- F1** Welche Gemeinsamkeiten und Unterschiede bestehen zwischen Q-Masterstudierenden und regulären Lehramtsmasterstudierenden im Fach Physik hinsichtlich der Ausprägung und Entwicklung von fachdidaktischem Wissen, und Überzeugungen zum Lehren und Lernen im Fach?
- F2** Aufgrund welcher Berufswahlmotive entscheiden sich die Q-Masterstudierenden im Fach Physik für den Lehrer*innenberuf, und wie werden diese Motive berufsbiografisch eingeordnet?
- F3** Welche Bestandteile des Q-Masterstudiums schätzen die Q-Masterstudierenden im Fach Physik rückblickend als besonders relevant für ihre persönliche Professionalisierung ein?

Den Fragen wird zu zwei Erhebungszeitpunkten (Beginn des 2. Mastersemesters und Ende des 4. Mastersemesters) mittels quantitativer (F1) und qualitativer (F2 & F3) Methoden nachgegangen (Ghassemi, Milster & Nordmeier, 2020). Das fachdidaktische Wissen wird mittels eines Leistungstests (Riese, 2009), die Überzeugungen zum Lehren und Lernen von Physik mittels Likert-Skalen (Lamprecht, 2011) erhoben. Zu ihren Berufswahlmotiven und dem erlebten Nutzen des Studiums werden die Studierenden mittels Interviewleitfäden befragt.

4. Ergebnisse der quantitativen Begleitforschung im Fach Physik (F1)

Zwischen Q-Masterstudierenden und Studierenden des regulären Lehramtsmasters scheint hinsichtlich des fachdidaktischen Wissens (FDW) und der Überzeugungen zum Lehren und Lernen im Fach weder zu Beginn noch Ende des Masterstudiums ein signifikanter Unterschied vorzuliegen (Ghassemi & Nordmeier, 2021). Dieser vorläufige Befund bestätigt sich auch bei weiterer Akkumulation der Daten (siehe Tab. 1).

Bei der Betrachtung der Pre-Post-verbindbaren Datensätze (echter Längsschnitt) zeigen sich bei den Q-Masterstudierenden mittlere bis große Veränderungen bei den konstruktivistischen Lehr-Lern-Überzeugungen resp. dem fachdidaktischen Wissen (Tab. 2). Dagegen sind die Veränderungen bei den Studierenden des regulären Lehramtsmasters nicht signifikant.

Diese Veränderungen deuten darauf hin, dass das Q-Masterstudium einen positiven Einfluss auf den

Kompetenzerwerb und damit auf die Professionalisierung der Studierenden hat.

Beginn 2. FS						
	Q-Master (n=16)		Regulärer Master (n=60)		p [†]	d
	M	SD	M	SD		
ÜZ konstr	.79	.09	.83	.10	.18	.40
ÜZ trans	.61	.20	.61	.15	.96	.01
FDW	10.7	2.7	11.1	3.7	.63	.12

Ende 4. FS						
	Q-Master (n=13)		Regulärer Master (n=38)		p	d
	M	SD	M	SD		
ÜZ konstr	.80	.08	.83	.08	.14	.50
ÜZ trans	.59	.20	.56	.18	.72	.12
FDW	12.2	4.4	12.3	4.2	.94	.03

Tab. 1: Fachdidaktisches Wissen (FDW), Überzeugungen zum Lehren und Lernen im Fach (konstruktivistisch und transmissiv) regulärer Lehramtsmasterstudierender und Q-Masterstudierender im Vergleich.

Q-Master (n=12)						
	Beginn 2. FS		Ende 4. FS		p [†]	d
	M	SD	M	SD		
ÜZ konstr	.76	.07	.80	.06	.048	.53
ÜZ trans	.62	.18	.56	.15	.066	.39
FDW	10.8	3.0	13.4	3.5	.018	.92

Regulärer Master (n=29)						
	Beginn 2. FS		Ende 4. FS		p	d
	M	SD	M	SD		
ÜZ konstr	.81	.09	.85	.06	.082	.34
ÜZ trans	.64	.14	.56	.18	.072	.40
FDW	11.1	4.3	12.2	4.7	.12	.23

Tab. 2: Fachdidaktisches Wissen (FDW), Überzeugungen zum Lehren und Lernen im Fach (konstruktivistisch und transmissiv) zu Beginn und Ende des Masterstudiums im Vergleich.

Bedenklich scheint derweil die nur kleine bzw. nicht signifikante Veränderung der Kompetenzen der Studierenden des regulären Lehramtsmaster im Fach Physik. Weitere Aufklärung dieser Befunde könnte die Berücksichtigung von vorherigen Abschlussnoten

* zweiseitige ungepaarte Welch-Tests. Annahme der Hypothesen bei p<.5; Effektstärke |d|: klein: <.2, mittel: .2 -.5; groß: >.5

† Einseitige gepaarte t-Tests; Signifikanzwerte mittels Bonferroni-Holm-Korrektur angepasst. Annahme der Hypothesen bei p<.5; Effektstärke |d|: klein: <.2, mittel: .2 -.5; groß: >.5

(Abitur), weiterer Kompetenzfacetten (pädagogisches Wissen und Fachwissen) sowie des zeitlichen Umfangs absolvierter fachwissenschaftlicher und fachdidaktischer Lehrveranstaltungen (vgl. bspw. Riese & Reinhold, 2012 oder Schiering, Sorge & Neumann, 2021) geben. Außerdem könnte die Nutzung von Lehrangeboten durch die Selbstwirksamkeit und die Leistungsmotivation individuell moderiert werden.

Speziell sei hier der zeitliche Umfang fachdidaktischer Lehrveranstaltungen erläutert: Die Q-Masterstudierenden haben zum ersten Erhebungszeitpunkt (Beginn 2. FS) bereits grundlegende physikdidaktische Lehrveranstaltungen im Umfang von zwei bis vier Semesterwochenstunden besucht. Verglichen damit haben die Studierenden des regulären Lehramtsmasters im Zuge des Bachelorstudiums physikdidaktische Lehrveranstaltungen im Umfang von sechs Semesterwochenstunden besucht; im ersten Mastersemester belegen sie in der Regel allerdings keine fachdidaktischen Module. Zum zweiten Erhebungszeitpunkt (Ende 4. FS) sollten die Q-Masterstudierenden insgesamt 16 Semesterwochenstunden mit fachdidaktischen Studieninhalten verbracht haben und bei den Studierenden des regulären Lehramtsmasters sollten es 21 sein (6 SWS im Bachelor und 15 SWS im Master).

Die Aussagekraft der Analysen bleibt aufgrund der kleinen Stichproben, den zum Teil parameterfreien Testverfahren sowie den geringen Teststärken begrenzt. Zugleich besitzen die verfügbaren Daten eine hohe Repräsentativität bezüglich der spezifischen Gruppen, insbesondere ist die Zahl der Absolvent*innen des Q-Masters im Fach Physik an der FU Berlin mit 13 (Stand Frühjahr 2022) kaum größer als die Stichproben (vgl. Tab. 1 & 2).

5. Erste Erkenntnisse der qualitativen Begleitforschung im Fach Physik (F2 & F3)

Bislang konnten zum ersten Erhebungszeitpunkt (Beginn 2. FS) zwölf Interviews geführt und transkribiert werden; davon neun mit Q-Masterstudierenden und drei mit Studierenden des regulären Lehramtsmasters im Fach Physik. Für den zweiten Erhebungszeitpunkt (Ende 2. FS) liegen elf Interviews vor; davon zehn mit Q-Masterstudierenden. Die Auswertung der Daten mittels qualitativer Inhaltsanalyse wurde begonnen. Erste Eindrücke aus der initiierte Textarbeit (Kuckartz, 2018) können berichtet werden:

Zum ersten Erhebungszeitpunkt werden positive Erfahrungen in der Rolle als Lehrende (in den Bereichen Nachhilfe, Hochschullehre, Vertretungslehrkraft) sowie die Freude an der Arbeit mit Kindern und Jugendlichen als entscheidend für die berufliche Umorientierung genannt. Außerdem werden strukturelle Gründe genannt. Thematisiert werden die Arbeitsbedingungen im vorherigen Beruf (Befristung, Ortwechsel, Einsamkeit) sowie die berufliche Sicherheit (Einkommen, Entfristung, Lebensplanung). Die strukturellen Gründe sind aber nicht als

Verlegenheitslösung zu deuten (im Sinne einer Notlösung oder Misserfolgen im Wunschberuf), und sie werden auch nicht als primär ausschlaggebend genannt. Der Einfluss von Familie, Freund*innen und Vorbildern wird außerdem beschrieben.

Die Studien- und Berufswahl auf Grundlage von pädagogischen Vorerfahrungen kann auf eine positive Bewertung der Selbstwirksamkeit hindeuten (Kappeler, 2013). Die Interviewaussagen passen außerdem zu den in der Gesamtevaluation quantitativ erhobenen Berufswahlmotiven (Ghassemi & Nordmeier, 2021) und könnten mit einer günstigen Leistungsmotivation in Zusammenhang stehen (König & Rothland, 2013). Zum zweiten Erhebungszeitpunkt werden insbesondere das Praxissemester (inklusive Vor- und Nachbereitung) sowie fachdidaktische und erziehungswissenschaftliche Studienbestandteile als nützlich im Sinne einer individuellen Professionalisierung genannt. Seltener genannt bzw. kritisch eingeordnet werden fachwissenschaftliche Studienbestandteile. Zudem scheinen Qualitätsunterschiede in Abhängigkeit vom Fach erlebt zu werden.

Als explorative Befunde sind einige Beobachtungen zu ergänzen: Auch bei Studierenden des regulären Lehramtsmasters kommt es zu beruflichen Umorientierungen und sowohl intrinsische also auch strukturelle Gründe für die Berufswahl werden genannt. Außerdem auffällig ist die differenzierte Nutzung von Fachsprache zum zweiten Erhebungszeitpunkt sowie das Veranschaulichen von Sachverhalten unter Einbeziehen von Erfahrungen im Praxissemester und Inhalten von didaktischen und erziehungswissenschaftlichen Lehrveranstaltungen.

6. Diskussion und Fazit

Die bislang vorliegenden Ergebnisse der Begleitforschung im Fach Physik deuten auf eine gelingende Professionalisierung im Verlauf des Q-Masterstudiums hin. Insbesondere gibt es keine Hinweise darauf, dass die Kompetenzen der Q-Masterstudierenden jenen der Studierenden des regulären Lehramtsmasters nachstünden. Die Ergebnisse sind außerdem kompatibel den Ergebnissen der Evaluation des Quereinsteigsmasterstudiengangs für das Grundschullehramt an der Humboldt-Universität zu Berlin (Lucksnat et al., 2022)

Die erste Analyse der Interviews liefert Hinweise auf mögliche Erklärungen der Befunde der quantitativen Begleitforschung: Ein Zusammenspiel aus positiven pädagogischen Vorerfahrungen, Selbstwirksamkeit und Leistungsmotivation könnte – neben der Berücksichtigung kognitiver Fähigkeiten und absolvierter Lehrveranstaltungen – Erklärungsansätze liefern, warum bereits zu Beginn des zweiten Fachsemester keine Unterschiede in den betrachteten professionellen Kompetenzen der Q-Masterstudierenden im Vergleich zu den Studierenden des regulären Lehramtsmasters im Fach Physik bestehen. Aussagen, bezüglich der Nützlichkeit vieler Studieninhalte, deuten des

Weiteren auf eine aktive Nutzung der Angebote hin. Die explorativen Befunde (Verwenden von Fachsprache, Einbeziehen von Inhalten der LVs in Argumentationen) stützen diese These außerdem.

Die günstigen Eingangsvoraussetzungen sowie die Ausprägung und Entwicklung professioneller Kompetenzen sprechen für den Ausbau und die Verstärkung der Q-Masterstudiengänge. Die Einordnung als Sondermaßnahme (KMK, 2013) könnte überdacht werden.

7. Literatur

- Ghassemi, N., Milster, J.-J. & Nordmeier, V. (2020). Professionelle Kompetenzen von Q-Masterstudierenden im Fach Physik. In Habig, S. (Hrsg.), *Naturwissenschaftliche Kompetenzen in der Gesellschaft von morgen. Jahrestagung in Wien 2019* (S. 617–620).
- Ghassemi, N. & Nordmeier, V. (2021). Ein Masterstudiengang mit dem Profil Quereinstieg als alternativer Professionalisierungsweg für das Lehramt an Gymnasien und Integrierten Sekundarschulen. In Grebe-Ellis, J. & Grötzebach, H. (Hrsg.), *Didaktik der Physik, Beiträge zur virtuellen DPG-Frühjahrstagung 2021. PhyDid B* (S. 165–170).
- Kappler, C. (2013). *Berufswahlprozesse und Motive angehender Lehrer. Eine qualitative Studie aus geschlechter- und berufsbiographisch-vergleichender Perspektive. Dissertation.*
- Klemm, K. (2021). *Lehrkräftemangel in den MINT-Fächern: Kein Ende in Sicht. MINT-Lehrerbedarf und -angebot bis 2030/31 am Beispiel Nordrhein-Westfalens. die Ergebnisse für NRW im Überblick.*
- KMK (2013). *Gestaltung von Sondermaßnahmen zur Gewinnung von Lehrkräften zur Unterrichtsversorgung. Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 05.12.2013.*
- KMK (2022). *Lehrereinstellungsbedarf und -angebot in der Bundesrepublik Deutschland 2021 – 2030. Zusammengefasste Modellrechnungen der Länder. STATISTISCHE VERÖFFENTLICHUNGEN DER KULTUSMINISTERKONFERENZ Nr. 233.*
- König, J. & Rothland, M. (2013). *Pädagogisches Wissen und berufsspezifische Motivation am Anfang der Lehrerausbildung. Zum Verhältnis von kognitiven und nicht-kognitiven Eingangsmerkmalen von Lehramtsstudierenden. (Zeitschrift für Pädagogik, 59(1), 43–65.*
- Kuckartz, U. (2018). *Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung, Weinheim: Juventa Verlag ein Imprint der Julius Beltz GmbH & Co. KG.*
- Lamprecht, J. (2011). *Ausbildungswege Und Komponenten Professioneller Handlungskompetenz. Vergleich Von Quereinsteigern Mit Lehramtsabsolventen Für Gymnasien Im Fach Physik, Berlin: Logos Verlag Berlin.*
- Lucksnat, C., Fehrmann, I., Müncher, A., Pech, D. & Richter, D. (2022). *Abschlussbericht zur Evaluation des Q-Masters an der Humboldt-Universität zu Berlin. Universität Potsdam.*
- Lucksnat, C., Fehrmann, I., Pech, D., Richter, D. & Zorn, D. (2021). *Zwischenbericht zur Evaluation des Q-Masters an der Humboldt-Universität zu Berlin.*
- Melzer, W., Pospiech, G. & Gehrman, A. (2014). *QUER – Qualifikationsprogramm für Akademiker zum Einstieg in den Lehrerberuf. Abschlussbericht 2014. Technische Universität Dresden.*
- Riese, J. (2009). *Professionelles Wissen und professionelle Handlungskompetenz von (angehenden) Physiklehrkräften, Berlin: Logos Verlag Berlin.*
- Riese, J. & Reinhold, P. (2012). *Die professionelle Kompetenz angehender Physiklehrkräfte in verschiedenen Ausbildungsformen. Zeitschrift für Erziehungswissenschaft, 15(1), 111–143.*
- Schiering, D., Sorge, S. & Neumann, K. (2021). *Hilft viel viel? Der Einfluss von Studienstrukturen auf das Professionswissen angehender Physiklehrkräfte. Zeitschrift für Erziehungswissenschaft, 24(3), 545–570.*
- SPD, Bündnis90/Die GRÜNEN & DIE LINKE. (2021). *Zukunftshauptstadt Berlin. Sozial. Ökologisch. Vielfältig. Wirtschaftsstark. Koalitionsvertrag 2021 - 2026.*
- Troesch, L.M., Aksoy, D. & Bauer, C.E. (2019). *Motiviert für den Berufswechsel: Spielt der frühere berufliche Status eine Rolle? In Safi, N., Bauer, C.E. & Kocher, M. (Hrsg.), Lehrberuf: Vorbereitung, Berufseinstieg, Perspektiven (S. 21–33). Bern: Hep-Verlag.*

Förderung

Das diesem Beitrag zugrundeliegende Vorhaben wird im Rahmen der gemeinsamen „Qualitätsoffensive Lehrerbildung“ von Bund und Ländern mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 01JA1802 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Reflexion von Physikunterricht – ein Online Assessment mit Feedback

Anna Weißbach*, Christoph Kulgemeyer*

* Universität Bremen, Institut für Didaktik der Naturwissenschaften – Abt. Physikdidaktik, Bibliothekstraße 1, 28234 Bremen
anna.weissbach@uni-bremen.de

Kurzfassung

Die Reflexion von Physikunterricht spielt im Unterricht eine zentrale Rolle und dient der Professionalisierung von Lehrpersonen sowie der Weiterentwicklung des Unterrichts (von Aufschnaiter, Hofmann, Geisler & Kirschner, 2019, S. 49). Gleichzeitig reflektieren Studierende häufig auf einem niedrigen, beschreibenden Niveau (Hatton & Smith, 1995, S. 41). Die Förderung der Reflexionsfähigkeit ist daher auch schon in der ersten Phase der Lehrkräftebildung von Bedeutung. Ausgehend von einem bestehenden Performanztest zur Messung der Reflexionsfähigkeit von Studierenden wird ein geschlossenes Diagnose-Instrument entwickelt, in welchem Studierende einem fiktiven Mitpraktikanten Feedback zu Ausschnitten seines Unterrichts (in Form von Videovignetten) geben. Das Diagnose-Instrument wird mit teilautomatisiertem Assessment-Feedback sowie Hinweisen zur Förderung der Reflexionsfähigkeit versehen. Das Instrument weist eine hohe interne Konsistenz ($\alpha_{\text{Cronbach}} = 0,955$) auf. Sieben im Rahmen der Pilotierung des Diagnose-Instruments durchgeführte Think-Aloud-Interviews liefern Hinweise auf die Validität der Interpretation der Testwerte als Maß für die Reflexionsfähigkeit. Die Auswertung der Interviews macht deutlich, dass das Instrument keine zentralen Verständnishürden aufweist und die Studierenden während dessen Bearbeitung hauptsächlich Überlegungen mit Bezug zum Unterricht bzw. die Professionalisierung als Lehrperson anstellen.

1. Motivation

Die Reflexion von Unterricht gilt als eine „Kernaufgabe“ (KMK, 2004, S. 3) und „entscheidende Kompetenz“ (Abels, 2011, S. 59) von Lehrkräften. Sie dient dabei sowohl der Verbesserung der Unterrichtsqualität als auch der weiteren Professionalisierung als Lehrkraft (von Aufschnaiter et al., 2019, S. 49). Gleichzeitig reflektieren Studierende Unterricht allerdings oft nicht systematisch (Rothland & Boecker, 2015, S. 115) und hauptsächlich auf einem deskriptiven und kaum kritischen Niveau (Hatton & Smith, 1995, S. 41). Die Reflexionskompetenz Lehramtsstudierender ist insgesamt also „eher schwach ausgebildet“ (Wyss & Mahler, 2021, S. 17).

Im Rahmen des vorausgegangenen Projekts ProfiLeP+ wurde ein Performanztest zur Messung der Reflexionsfähigkeit von Physiklehramtsstudierenden entwickelt (Kempin, Kulgemeyer & Schecker, 2018, S. 868f.). Untersuchungen mit diesem Performanztest zeigen, dass das Praxissemester als Lerngelegenheit für Unterrichtsreflexion nicht grundsätzlich zu einer Verbesserung der Reflexionsfähigkeit führt, sondern dafür die Nutzung bestimmter Lerngelegenheiten, dazu zählen insbesondere Reflexionsgespräche mit universitären Mentorierenden, nötig sind (Kulgemeyer et al., 2021, S. 3051).

Hier schließt das Projekt ProfiLeP-Transfer an, in dem der Ansatz einer systematischen Förderung der Reflexionsfähigkeit verfolgt wird. Dazu werden im

Rahmen einer Lernumgebung ein Diagnose-Instrument zur Reflexionsfähigkeit mit Assessment-Feedback und einem Fördermaterial gekoppelt, um Studierenden die selbstständige und aktive Auseinandersetzung mit ihrem Assessment-Feedback zu ermöglichen (vgl. Casanova, Alsop & Huet, 2021, S. 2). Das Diagnose-Instrument wird auf Grundlage des vorliegenden Performanztests als geschlossenes Online-Diagnose-Instrument entwickelt und mit halb-automatisiertem Feedback versehen. Im Rahmen des Projekts werden die Ziele verfolgt, (1) Argumente für die Validität des geschlossenen Online-Diagnose-Instrument zu sammeln und (2) ein valides Rückmeldeformat zu entwickeln, welches Studierenden die fundierte Selbsteinschätzung und Förderung der Reflexionsfähigkeit bzw. Dozierenden einen fundierten Einblick in die Reflexionsfähigkeit der Studierenden ihres Kurses ermöglicht. Darüber hinaus werden die entwickelten Materialien Dozierenden zur Verfügung gestellt, um (3) den nachhaltigen Transfer in die Lehrpraxis zu ermöglichen.

In diesem Beitrag werden die entwickelte Lernumgebung bestehend aus Diagnose-Instrument, Assessment-Feedback und Fördermaterial sowie Ergebnisse einer Think-Aloud-Studie zur Evaluation der kognitiven Validität des Diagnose-Instruments vorgestellt.

2. Reflexion von Physikunterricht

Die Relevanz der Reflexion im Lehrberuf scheint unumstritten (von Aufschnaiter et al., 2019, S. 49), ins-

besondere da sie die Entwicklung des Professionswissens auf Grundlage von individuellen Erfahrungen ermöglicht (Carlson et al., 2019, S. 84). Ebenso unstrittig ist das Verständnis von Reflexion als eine eigene Art des Denkens (Wyss, 2013, S. 38). Darüber hinaus wird der Reflexionsbegriff allerdings nicht einheitlich verwendet. So kann beispielsweise unterschieden werden, ob Reflexionen ausschließlich auf die eigene Person bezogen sind (Selbstreflexion, von Aufschnaiter, Fraij & Kost, 2019, S. 148f.) oder auch auf andere Personen (Fremdreflexion, Wyss, 2008, S. 3). Schön (1983) betrachtet den zeitlichen Bezug der Reflexion zur Handlung und unterscheidet zwischen der *Reflection-in-action* (Reflexion während der Handlung) und *Reflection-on-action* (Reflexion im Anschluss an die Handlung). Weitere Unterscheidungsmerkmale sind unter anderem die Zielstellung und Inhalte einer Reflexion (von Aufschnaiter et al., 2019, S. 146f.) sowie die Frage danach, in welchem Medium die zu reflektierende Situation vorliegt (z. B. Videoaufzeichnung), in welcher Form eine Reflexion vorliegt (z. B. in Textform oder im Dialog) oder ob weitere Personen (z. B. Mitstudierende) anwesend sind (Szogs, Kobl, Volmer & Korneck, 2019, S. 318). Modellierungen des Reflexionsbegriffs beinhalten außerdem häufig Stufenmodelle, die es ermöglichen, die Qualität von Reflexionen zu bewerten (z. B. Plöger, Scholl & Seifert, 2015; Windt & Lenske, 2016).

Im Rahmen des hier vorgestellten Projekts wird eine eher breite Definition des Reflexionsbegriffs gewählt. Reflexion wird verstanden als die „theoriegeleitete Analyse von Unterricht mit dem Ziel der Verbesserung der Unterrichtsqualität und der Entwicklung der Professionalität von Lehrpersonen“ (Kempin, Kulgemeyer & Schecker, 2020, S.439). Ergänzt wird diese Definition durch das Modell zur Bewertung der Güte von Reflexionen von Nowak, Kempin, Kulgemeyer und Borowski (2019), welches auf Grundlage der oben genannten Stufenmodelle entwickelt wurde (ebd.). Aussagen, die im Rahmen einer Reflexion getätigt werden, können in diesem Modell in drei Dimensionen eingeordnet werden (s. Abb. 1): Kategorisiert wird, (1) welchem Reflexionselement eine Aussage zugeordnet werden kann (wird eine Situation oder ein Verhalten beschrieben, bewertet, werden alternative Handlungsoptionen vorgeschlagen oder

Konsequenzen für nachfolgenden Unterricht bzw. die Professionalisierung der Lehrperson formuliert?), (2) welche Wissensbasis einer Aussage zugrunde liegt (handelt es sich um fachwissenschaftliche, fachdidaktische oder pädagogische Überlegungen?) und (3) ob Aussagen begründet oder unbegründet vorliegen (nicht möglich bei Beschreibungen).

Aufgrund der zentralen Bedeutung, die der Reflexionsfähigkeit im Lehrberuf zukommt, liegt es nahe, diese auch im Rahmen der Lehramtsausbildung zu fördern. Klempin (2019, S. 109-132) gibt einen Überblick über verschiedene Ansätze zur Förderung der Reflexionsfähigkeit Physiklehramtsstudierender und unterscheidet zwischen „individuell-monologischen Formaten“ (ebd., S. 111, z. B. Reflexionstagebücher oder Portfolios), „visualisierenden“ Formaten (ebd., S. 113, z. B. Concept Maps oder Reflexionen basierend auf Videomaterial), „[k]ollegial-dialogische[n] Ansätze[n]“ (ebd., S. 119), die sich „durch die intensive Begleitung, kognitive Herausforderung und Unterstützung des Reflexionsprozesses“ (ebd., S. 199) auszeichnen und „experimentelle[n] Ansätze[n]“ (ebd., S. 121, z. B. in Lehr-Lern-Laboren).

3. Die entwickelte Lernumgebung

3.1. Diagnose-Instrument

Auf Grundlage des bestehenden Performanztests zur Messung der Reflexionsfähigkeit (Kempin, Kulgemeyer & Schecker, 2018) sowie des beschriebenen Reflexionsmodells (Nowak et al., 2019) wurde ein geschlossenes Online-Diagnose-Instrument entwickelt. In dessen Rahmen werden Studierende dazu aufgefordert, einem fiktiven Mitpraktikanten „Robert“ Feedback zu sieben inhaltliche zusammenhängenden Ausschnitten (Videovignetten) einer Physik-Doppelstunde zu geben. Abschließend wird außerdem ein Feedback zur gesamten Doppelstunde eingefordert. Inhaltlich ist die Doppelstunde im Bereich der Mechanik angesiedelt, behandelt werden die Newtonschen Axiome sowie die Einführung des Impulsbegriffs. Die Unterrichtsausschnitte sind dabei so konzipiert, dass verschiedene, in der Regel problematische Situationen zu beobachten sind, die im Feedback aufgegriffen werden (z. B. fachliche Fehler, der Umgang mit Schülervorstellungen oder ein stark stereotypischer Umgang mit Mädchen und Jungen im



Abb. 1: Modell zur Reflexionen von Physikunterricht

Unterricht). So werden insgesamt 16 unterschiedliche Aspekte berücksichtigt. Das Feedback, welches Studierende im Rahmen der Durchführung zu diesen Aspekten geben, setzt sich basierend auf dem oben vorgestellten Reflexionsmodell (s. Abb. 1) jeweils zusammen aus einer Multiple-Choice-Aufgabe zur Bewertung der Situation und einer Multiple-Choice-Aufgabe zu alternativen Handlungsoptionen (bzw. der Empfehlung, das Vorgehen so beizubehalten), insgesamt werden im Rahmen des Feedbacks also 32 Aufgaben bearbeitet. Indem Studierende die beobachteten Situationen im Rahmen dieser Multiple-Choice-Items bewerten und alternative Handlungsoptionen vorschlagen, führen sie eine (bzw. Teile einer) Fremdrelexion durch.

Im Vergleich zum hier vorgestellten Diagnose-Instrument ist die Bearbeitung des zugrundeliegenden Performanztests näher am tatsächlichen beruflichen Handeln und stellt somit eine authentischere Repräsentation der Reflexionssituation dar. In Anlehnung an Miller (1980) kann hier zwischen dem Performanztest („shows how“, Miller, 1980, S. 63) und dem Kompetenztest („knows how“, ebd., S. 63) unterschieden werden. Um trotzdem eine möglichst hohe Authentizität der in den Multiple-Choice-Aufgaben zur Auswahl stehenden Antwortoptionen zu gewährleisten, basieren diese (mit Ausnahme weniger Ergänzungen) auf Reflexionen, die im Rahmen der Bearbeitung des Performanztests zu den entsprechenden Unterrichtsausschnitten von Studierenden geäußert wurden.

Für die 32 Aufgaben, die während der Durchführung bearbeitet werden, weist das Diagnose-Instrument auf Basis von 89 aktuell vorliegenden Bearbeitungen eine sehr hohe interne Konsistenz von $\alpha_{\text{Cronbach}} = 0,955$ bei einer durchschnittlichen korrigierten Item-Skala-Korrelation von 0,61 auf.

Das Diagnose-Instrument ist vollständig in der Software LimeSurvey umgesetzt und kann so unabhängig vom Betriebssystem online aufgerufen und bearbeitet werden. Es kann online unter www.unterrichtsreflexion.de eingesehen und bearbeitet werden.

3.2. Assessment-Feedback

Die Bearbeitungen des Diagnose-Instruments werden halb-automatisiert ausgewertet. Dabei werden wiederum basierend auf dem Performanztest jene Antwortoptionen als „richtig“ bewertet, die sinnvolle Rückmeldungen zu relevanten Aspekten des Unterrichts darstellen. Die bei den insgesamt 32 bewerteten Multiple-Choice-Aufgaben maximal erreichbaren Punktzahlen werden dabei so normiert, dass sie jeweils mit gleichem Gewicht in die Berechnung des Gesamtergebnisses eingehen.

Studierende erhalten anschließend eine individuelle Rückmeldung zur Einordnung ihrer eigenen Bearbeitung, Dozierende eine Rückmeldung zur Einordnung der Bearbeitungen aller Kursteilnehmenden im Überblick. Um die Anonymität zu gewährleisten, können

Studierende ihre Rückmeldungen mit einem persönlichen Code online abrufen. Im Rahmen dieses Assessment-Feedbacks werden die individuellen Ergebnisse bzw. die Ergebnisse des Kurses in einer Referenzgruppe bestehend aus anderen Physik-Lehramtstudierenden mittels Boxplots verortet. Zusätzlich zum Gesamtergebnis wird außerdem eine in die Teilfähigkeiten „Bewerten“, „Alternativen vorschlagen“ sowie „Erkennen von und Umgang mit aufgetretenen Schülervorstellungen“ aufgeschlüsselte Rückmeldung gegeben. Zur Unterstützung der weiteren Professionalisierung werden die Studierenden im Rahmen der Rückmeldung außerdem auf das entwickelte Fördermaterial als eine Möglichkeit, das Reflektieren angeleitet zu üben, hingewiesen.

3.3. Fördermaterial

Das Fördermaterial ergänzt das Assessment Feedback um die Komponente des „feed forward“ (Hattie, Timperley, 2007, S. 86) und adressiert die Frage, wie vorgegangen werden kann, um die eigene Reflexionsfähigkeit zu verbessern. Das Fördermaterial beinhaltet einerseits einen kurzen (theoretischen) Input zum Begriff der Reflexion, dem Ziel des Fördermaterials sowie konkrete Hinweise zum weiteren Üben von Reflexion (insb. Leitfragen zur Unterrichtsreflexion, vgl. Nowak, Ackermann & Borowski, 2018, S. 223) und fachdidaktische Literaturhinweise. Andererseits können drei weitere Szenen der Unterrichtsstunde, die bereits im Testinstrument betrachtet wurde, angeleitet reflektiert werden. Dazu wird (1) eine am Reflexionsmodell (s. Abb. 1) ausgerichtete Struktur vorgegeben, es werden (2) konkret auf den Unterrichtsausschnitt bezogene Hinweise gegeben sowie (3) anhand der Leitfragen ausformulierte Beispielreflexionen über die zentralen Elemente des Unterrichtsausschnitts zur Verfügung gestellt, um Studierenden einen Abgleich mit den eigenen Überlegungen zu ermöglichen. Ziel ist die Simulation eines kollegial-dialogischen Ansatzes zur Förderung der Reflexionsfähigkeit, in welchem die Studierenden – wenn auch nicht interaktiv – bei der Reflexion angeleitet und unterstützt werden (Klempin, 2019, S. 119).

Das Fördermaterial ist wie das Diagnose-Instrument in der Software LimeSurvey umgesetzt und kann so selbständig von Studierenden bearbeitet werden, eine Anleitung oder Begleitung ist nicht notwendig.

4. Untersuchungsdesign

In Rahmen des Projekts soll die Validität der Interpretation der Testwerte als Maß für die Reflexionsfähigkeit der Studierenden einerseits und als Ausgangspunkt für einen weiteren Professionalisierungsprozess andererseits evaluiert werden. Dazu werden im Sinne des Argument-based-Approach nach Kane (2013) empirisch fundierte Argumente für (bzw. gegen) die Validität gesammelt. In Anlehnung an Dickmann (2016) werden dafür die Übersetzungsschritte betrachtet, die ausgehend vom Konstrukt der Reflexionsfähigkeit über die entwickelten Aufgaben und

Testwerte bis hin zu den aus der Bearbeitung des Instruments folgenden Konsequenzen gegangen werden (s. Abb. 2).

Die Produkte dieser Übersetzungsschritte (z. B. die Multiple-Choice-Aufgaben als Produkt der Übersetzung der Reflexionsfähigkeit (I) in ein Diagnose-Instrument (II) oder die Testwerte als Produkt der Bewertung bzw. Übersetzung der Bearbeitung des Diagnose-Instruments (III) in quantitative Werte (IV)) können jeweils in Bezug auf konkrete Anforderungen evaluiert werden.

Abhängig vom betrachteten Produkt kann dessen Qualität theoretisch begründet werden (Übersetzungen von (I) in (II) und (IV) in (V) in Abb. 2), oder durch verschiedene Interviewformen (Übersetzungen von (II) in (III) sowie (V) in (VI) in Abb. 2) und statistische Analysen wie u.a. die Untersuchung der Reliabilität des Diagnose-Instruments (Übersetzung von (III) in (IV) in Abb. 2) empirisch untersucht werden.

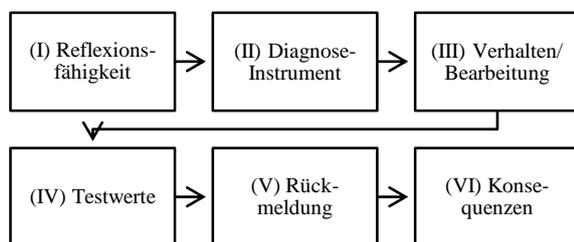


Abb.2: Zu evaluierende Übersetzungsschritte vom betrachteten Konstrukt Reflexionsfähigkeit bis zu Konsequenzen aus der Arbeit mit der Lernumgebung.

5. Think-Aloud-Studie zur Evaluation der kognitiven Validität des Diagnose-Instruments

Die Untersuchung des durch die Bearbeitung des Testinstruments evozierten Verhaltens auf Seiten der Studierenden (Übersetzung vom Testinstrument (II) in Verhalten (III) in Abb. 2) soll sicherstellen, dass die Anforderung „Das Verhalten der Teilnehmenden passt zum bei der Testkonzeption beabsichtigten Verhalten“ erfüllt ist. Dazu werden im Rahmen der Pilotierung des Testinstruments zwei Indikatoren geprüft: (1) Die Studierenden, die das Diagnose-Instrument bearbeiten, verstehen die Inhalte des Instruments (insbesondere die Multiple-Choice-Items) wie intendiert und (2) ihre Überlegungen passen zur Aufgabenstellung und beziehen sich auf die Qualität des Unterrichts bzw. auf die Professionalisierung als Lehrperson.

5.1. Methodisches Vorgehen

Zur Untersuchung des durch die Bearbeitung des Diagnose-Instrument auf Seiten der teilnehmenden Studierenden evozierten Verhaltens wurden $N = 7$ Think-Aloud-Interviews mit Bachelorstudierenden geführt. Um einen Einblick in die gedanklichen Prozesse während der Testbearbeitung zu erhalten (Konrad, 2010, S. 373) und möglicherweise auftretende Hürden für das Verständnis aufzudecken (Sandmann,

2014, S. 182), wurden die Teilnehmenden dazu aufgefordert, das Diagnose-Instrument zu bearbeiten und parallel dazu ihre Gedanken zu verbalisieren.

Die Interviews (von durchschnittlich 114 Minuten Länge) wurden transkribiert und zunächst event-basiert segmentiert. Ein neues Segment beginnt immer dann, wenn ein Sprecherwechsel vorliegt oder Äußerungen sich auf einen neuen Inhalt (z.B. eine neue Antwortoption in den Multiple-Choice-Antworten) beziehen. Diese Form der Segmentierung wurde gewählt, um Sinneinheiten für die Kodierung beizubehalten (vgl. Brückmann & Duit, 2014, S. 192). Anschließend wurden die einzelnen Aussagen in den Segmenten inhaltlich kodiert. Hierbei wurde unterschieden zwischen dem reinen Vorlesen von Inhalten des Testinstruments, Aussagen, die Reflexionen darstellen bzw. sich auf den Unterricht beziehen und sonstigen Aussagen (z. B. zur Methode der Think-Aloud-Interviews oder technischen Problemen). Insgesamt wurden sieben Kategorien differenziert (s. Tab. 1).

5.2. Ergebnisse

5.2.1. Indikator 1: Studierende verstehen die Multiple-Choice-Aufgaben wie intendiert

Im Rahmen der Kodierung wurden Aussagen, die Hinweise auf un- oder missverständliche Formulierungen im Textinstrument liefern (z. B. das wiederholte Vorlesen von Antwortoptionen) oder ein vom Intendierten abweichendes Verständnis in der Kategorie „Sonstiges“ mit zusätzlichem Vermerk kodiert. So konnten die Stellen im Diagnose-Instrument identifiziert werden, die potentiell ein anderes als das intendierte Verständnis hervorrufen. Dies betrifft insgesamt 44 Kodierungen zu 26 verschiedenen Aspekten, wobei auch solche Hinweise kodiert wurden, die verdeutlichen, dass Studierende über das korrekte Verständnis von Inhalten nachgedacht und diese aber wie intendiert verstanden haben (z. B. „Du solltest hinterfragen, woher die geschlechterspezifischen Zuschreibungen stammen, die du vertrittst, um sie zu überwinden. (...) Ah da geht es um Mädels und sowas, ne? [...]“, S2, Z. 260). Eine nähere Betrachtung dieser Aspekte verdeutlicht, dass sich die in den verschiedenen Interviews identifizierten Hürden mit Ausnahme zweier Antwortoptionen nicht überschneiden, sodass angenommen werden kann, dass hier keine grundsätzlichen Verständnishürden vorliegen. Exemplarisch soll auf eine dieser Antwortoptionen eingegangen werden: In zwei der sieben Interviews wurde in Bezug auf die Antwortoption „Es wäre besser, vor dem Einstieg in das neue Thema auch die Tafel zu wischen [...]“ aufgeführt, dass in den Videos nicht beobachtet werden konnte, dass die Tafel beschrieben wurde. Das ist so zwar korrekt, allerdings ist die beschriebene Tafel im Rahmen der Unterrichtsausschnitte sichtbar und wird von anderen Studierenden auch bemerkt („Und das mit der Tafel ist mir vorher schon aufgefallen, dass die hätte gewischt wer-

Kategorien der Kodierung	Interview							Cohens κ
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	
Vorlesen	0,37	0,38	0,48	0,45	0,39	0,43	0,23	0,91
Beschreibung	0,02	0,06	0,04	0,02	0,06	0,04	0,1	0,59
Bewertung	0,03	0,06	0,02	0,04	0,07	0,07	0,07	0,84
Alternativen	0,04	0,09	0,11	0,06	0,13	0,09	0,08	0,62
Zustimmung/Ablehnung von Antwortoptionen	0,21	0,25	0,31	0,31	0,27	0,25	0,42	0,86
Andere Überlegungen zum Unterricht	0,07	0,07	0,02	0,04	0,04	0,06	0,07	0,72
Konstruktrelevante Aussagen (Kodierungen ohne Vorlesen und Sonstiges) insgesamt	0,37	0,53	0,49	0,46	0,58	0,51	0,74	0,80
Sonstiges	0,26	0,09	0,04	0,09	0,03	0,06	0,03	0,74

Tab. 1: Übersicht über Anteile der einzelnen Kategorien an allen Kodierungen in den Interviews sowie die Beurteilerübereinstimmung für die verschiedenen Kategorien (Cohens κ)

den sollen, genau. (.)“, S7, Z. 90). Die Antwortoptionen stellen also nicht für alle Studierenden Schwierigkeiten dar.

Die potentiellen Hürden in beiden Antwortoptionen sind darüber hinaus insofern unproblematisch, als dass sie beide „falsch“ sind (d. h. keine relevante Rückmeldung darstellen und daher keine Punkte für eine Auswahl vergeben werden). So entstehen für die Studierenden keinerlei Nachteile in der Testbewertung, wenn diese Antwortoptionen missverstanden anwählen oder auslassen, sodass keine Gefährdung für die Validität vorhanden ist.

5.2.2. Indikator 2 – Die Überlegungen der Studierenden passen zur Aufgabenstellung und beziehen sich auf die Qualität des Unterrichts bzw. auf die Professionalisierung als Lehrperson

In den geführten Think-Aloud-Interviews wurden zwischen 416 und 846 (Mittelwert (MW): 677, Standardabweichung (SD): 147) Kodierungen vorgenommen, wobei zwischen 23 % und 48 % (MW: 39 %, SD: 7 %) der Aussagen auf das Vorlesen von Inhalten des Testinstruments entfallen. Durchschnittlich sind etwa die Hälfte (MW: 53 %, SD: 11 %) der Kodierungen Reflexionen bzw. anderweitig auf den Unterricht bezogene Aussagen. In sechs der sieben Interviews sind jeweils unter zehn Prozent der Kodierungen der Kategorie „Sonstiges“ zuzuordnen; im siebten Interview (S1) sind es 26 %. Ein Überblick über die Anteile der verschiedenen Kategorien an allen Kodierungen je Interview findet sich in Tabelle 1.

Zusätzlich wurden 346 Segmente (14,5 % der vorliegenden Segmente) durch eine zweite Person kodiert. Für die unterschiedlichen Kategorien ergeben sich Übereinstimmungswerte zwischen beiden Kodierenden (bestimmt wurde jeweils Cohens κ) zwischen $\kappa = 0,59$ für die Kategorie „Beschreibung“ und $\kappa = 0,91$ für die Kategorie „Vorlesen“ (s. Tabelle 1). Die Werte der Beurteilerübereinstimmung liegen damit überwiegend in einem ausreichenden bis guten, teil-

weise auch sehr guten, Bereich; lediglich die Übereinstimmung in der Kategorie „Beschreibung“ ist mit einem $\kappa < 0,60$ als „mittelmäßig“ zu bewerten (Döring & Bortz, 2016, S. 346). Zur Bestimmung der Übereinstimmung für die Kategorie der „konstruktrelevanten Aussagen insgesamt“ wurden die Kodierungen aller Kategorien ohne „Vorlesen“ und „Sonstiges“ zusammengefasst.

Grundsätzlich beziehen sich alle Kodierungen, die nicht der Kategorie „Sonstiges“ zugeordnet werden, auf den durchgeführten Unterricht, die Inhalte des Unterrichts beziehungsweise auf die Professionalität der eigenen Person oder von Robert (dem fiktiven Mitpraktikanten, dessen Unterricht in den Videovignetten dargestellt ist). Diese Unterscheidung zeigt, dass der Anteil der Kodierungen in der Kategorie „Sonstiges“ mit zumeist unter 10 % sehr gering ist und sich der Großteil der Äußerungen auf den Unterricht beziehungsweise die Professionalisierung als Lehrperson bezieht.

In einem zweiten Schritt soll betrachtet werden, inwiefern die Überlegungen der Studierenden zur Aufgabenstellung passen. Im Rahmen der Think-Aloud-Interviews haben die Studierenden die im Diagnose-Instrument enthaltenen Texte laut vorgelesen. Hier ist der Bezug zum Diagnose-Instrument bzw. zu den einzelnen Aufgabenstellungen natürlich unmittelbar gegeben. Darüber hinaus stellen durchschnittlich 29 % (SD: 6 %) der Kodierungen Aussagen direkt auf die Antwortoptionen bezogene Zustimmungen oder Ablehnungen dar, teilweise mit Begründungen, auch hier ist jeweils ein Bezug zur Aufgabenstellung gegeben. Die übrigen Kodierungen enthalten zum Beispiel Bewertungen des Unterrichts, Vorschläge für alternative Handlungsoptionen oder fachliche Überlegungen, die durch den gesehenen Unterrichtsausschnitt bzw. die gelesenen Aufgabenstellungen und Antwortoptionen angestoßen wurden und daher einen unterschiedlich starken Bezug zur jeweiligen Aufgabe aufweisen.

Die Zweiteilung der Aufgaben jeweils in die Bewertung des Gesehenen und das Vorschlagen von alternativen Handlungsoptionen legen nahe, dass auch die Zahl der von den Studierenden geäußerten Bewertungen bei der Bearbeitung von Aufgaben zur Bewertung größer sein sollte, als bei der Bearbeitung der Aufgaben zu Alternativen und sich die Zahl der geäußerten Alternativen sich genau entgegengesetzt verhält. Insgesamt wurden – sowohl während der Bearbeitung von Aufgaben zu Bewertungen als auch zu Alternativen – deutlich mehr Alternativen geäußert, als Bewertungen. Das Verhältnis variiert bei den einzelnen Studierenden allerdings stark (zwischen 1,7 und 18,5 Mal so vielen Alternativen, wie Bewertungen während der Bearbeitung zu Aufgaben zur Bewertung und in sechs der Interviews zwischen 2,3 und 6,6 Mal so vielen Alternativen, wie Bewertungen während der Bearbeitung von Aufgaben zu Alternativen, eine Person äußert hier ausschließlich Alternativen und keine Bewertung). Dies könnte ein Hinweis darauf sein, dass die Überlegungen der Studierenden zwar wie oben beschrieben in Bezug auf ihren Inhalt gut zu den Aufgabenstellungen und betrachteten Unterrichtsausschnitten passen, allerdings während der Bearbeitung von Aufgaben zu Bewertungen nicht in Bezug auf die Art der Überlegung bzw. das angesprochen Reflexionselement. Das Vorschlagen von alternativen Handlungsoptionen liegt im Stufenmodell nach Nowak et al. (2019) auf einer höheren Stufe als das reine Bewerten und kann auf dieses aufbauen, indem alternative Handlungsoptionen für als problematisch bewertete Situationen vorgeschlagen werden. Überlegungen zu alternativen Vorgehensweisen können also unmittelbar an Bewertungen anschließen und insofern also auch bei der Bearbeitung von Aufgaben zu Bewertungen als angemessen bewertet werden.

Dass der Großteil der Kodierungen einen Bezug zum in den Unterrichtsausschnitten dargestellten Unterricht oder zur Professionalisierung der Studierenden bzw. des beobachteten Mitpraktikanten aufweisen, kann als Hinweis für die Validität des Diagnose-Instruments gewertet werden. Dass die Überlegungen der Studierenden nicht immer den durch die Aufgaben angesprochenen Stufen gemäß dem Stufenmodell zu Reflexion von Physikunterricht (Nowak et al., 2019) entsprechen, erscheint vor dem Hintergrund der inhaltlichen Passung der Überlegungen und der höheren Einordnung von alternativen Handlungsoptionen gegenüber Bewertungen unproblematisch.

6. Zusammenfassung

Die Diagnose und Förderung der Reflexionsfähigkeit von Physiklehramtsstudierenden ist vor dem Hintergrund ihrer Bedeutung für die Unterrichtsqualität und Professionalisierung von Lehrpersonen besonders relevant. Im Rahmen des Projekts ProfiLeP-Transfer wird daher ein geschlossenes Online-Diagnose-Instrument mit Assessment-Feedback entwickelt, welches neben einer Messung und Rückmeldung dieser Fähigkeit auch einen Anstoß zur Weiterentwicklung

liefern soll, u. a. indem ein Fördermaterial bereitgestellt wird, in welchem Studierende drei Unterrichtsausschnitte angeleitet reflektieren können. Die entwickelten Materialien sollen evaluiert werden, um im Sinne des Argument-based-Approach empirisch abgesicherte Argumente für (bzw. gegen) die Validität der Interpretation der Testwerte als Maß für die Reflexionsfähigkeit und des Materials als Anstoß für eine weitere Professionalisierung zu sammeln.

Im Rahmen der Pilotierung des Diagnose-Instruments wurden sieben Think-Aloud-Interviews geführt, die einen Einblick in die Überlegungen der Studierenden während der Bearbeitung des Instruments liefern sollen. So soll geprüft werden, (1) ob die Studierenden die Inhalte des Testinstruments ohne Schwierigkeiten und wie intendiert verstehen und (2) ob sich die Überlegungen der Studierenden auf den Unterricht bzw. die Professionalisierung des beobachteten Mitpraktikanten oder der eigenen Person beziehen und zu den Aufgaben im Diagnose-Instrument passen. Die Interviews zeigen, dass es kaum geteilte Verständnishürden im Diagnose-Instrument gibt und die vorliegenden Hürden weitgehend unproblematisch erscheinen, da sie mit keinerlei Nachteilen in der Bearbeitung des Instruments verbunden sind. Außerdem zeigt sich, dass der Großteil der von den Studierenden geäußerten Überlegungen einen Bezug zum Unterricht oder zur Professionalisierung aufweisen (zählt man die vorgelesenen, auf den Unterricht bezogenen Antwortoptionen hinzu, weisen in sechs der sieben Interviews über 90 % der Kodierungen einen solchen Bezug auf, ohne die vorgelesenen Inhalte sind es in allen Interviews durchschnittlich etwa 52 %). Darüber hinaus beinhaltet ein bedeutender Anteil (durchschnittlich etwa 29 %) aller kodierten Äußerungen eine direkte Zustimmung oder Ablehnung zu gegebenen Antwortoptionen, diese Äußerungen weisen also unmittelbaren Bezug zur Aufgabenstellung auf. Da die übrigen konstruktrelevanten Äußerungen auf Unterricht bzw. die Professionalisierung bezogene Überlegungen sowie (Teile von) Reflexionen darstellen, passen auch sie inhaltlich zu den Aufgabenstellungen, auch wenn die geäußerten Überlegungen teilweise nicht derselben Stufe im Reflexionsmodell entsprechen, wie die Antwortoptionen im Instrument.

Die vorgestellte Think-Aloud-Erhebung liefert also zusätzlich zur hohen internen Konsistenz des Diagnose-Instruments (von $\alpha_{\text{Cronbach}} = 0,955$) Argumente für die Validität der Interpretation der Testwerte des Diagnose-Instruments als Maß für die Reflexionsfähigkeit.

7. Ausblick

In den kommenden Semestern sollen weitere Untersuchungen der Validität durchgeführt werden. Dazu werden die restlichen der oben genannten Übersetzungsschritte ausgehend vom Konstrukt bis hin zu Konsequenzen aus der Arbeit mit der entwickelten

Lernumgebung betrachtet. Insbesondere stehen Untersuchungen zum Zusammenhang der gemessenen Reflexionsfähigkeit der Lehramtsstudierenden mit anderen Fähigkeiten (z. B. dem fachdidaktischen Wissen oder der Reflexionsfähigkeit gemessen mit dem Performanztest in einem realitätsnäheren Setting) im Fokus.

Zusätzlich soll das entwickelte Assessment-Feedback für Studierende und Dozierende weiter erprobt und evaluiert werden.

Parallel dazu wird ein Transfer in die Lehrpraxis angestrebt, der durch die Bereitstellung der Materialien für interessierte Lehrende und Studierende unterstützt werden soll.

8. Literatur

- Abels, S. (2011). LehrerInnen als "Reflective Practitioner": Reflexionskompetenz für einen demokratieförderlichen Naturwissenschaftsunterricht. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Brückmann, M. & Duit, R. (2014). Videobasierte Analyse unterrichtlicher Sachstrukturen. In: Krüger, D., Parchmann, I. & Schecker, H. (Hrsg.), Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 189-201.
- Carlson, J., Daehler, K. R., Alonzo, A. C., Barendsen, E., Berry, A., Borowski, A., Carpendale, J., Chan, K. K. H., Cooper, R., Friedrichsen, P., Gess-Newsome, J., Henze-Rietveld, I., Hume, A., Kirschner, S., Liepert, S., Loughran, J., Mavhunga, E., Neumann, K., Nilsson, P. ... Wilson, C. D. (2019). The Refined Consensus Model of Pedagogical Content Knowledge in Science Education. In: Hume, A., Cooper, R., Borowski, A. (Hrsg.) Repositioning Pedagogical Content Knowledge in Teachers' Knowledge for Teaching Science. Singapore: Springer. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-13-5898-2_2
- Casanova, D., Alsop, G. & Huet, I. (2021). Giving away some of their powers! Towards learner agency in digital assessment and feedback. Research and Practice in Technology Enhanced Learning 16(20). DOI: <https://doi.org/10.1186/s41039-021-00168-6>
- Dickmann, M. (2016). Messung Von Experimentierfähigkeiten. Validierungsstudien zur Qualität eines Computerbasierten Testverfahrens. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.168540>
- Döring, N. & Bortz, J. (2016). Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften. Berlin, Heidelberg: Springer. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-642-41089-5>
- Hattie, J. & Timperley, H. (2007). The Power of Feedback. In: Review of Educational Research 77(1), S. 81-112. DOI: <https://doi.org/10.3102/003465430298487>
- Hatton, N. & Smith, D. (1995). Reflection in teacher education: Towards definition and implementation. In: Teaching and Teacher Education 11(1), S. 33-49. DOI: [https://doi.org/10.1016/0742-051X\(94\)00012-U](https://doi.org/10.1016/0742-051X(94)00012-U)
- Kane, M. T. (2013). Validating the Interpretations and Uses of Test Scores. Journal of Educational Measurement 50(1), S. 1-73. DOI: <https://doi.org/10.1111/jedm.12000>
- Kempin, M., Kulgemeyer, C. & Schecker, H. (2018). Reflexion von Physikunterricht: Ein Performanztest. In Maurer, C. (Hrsg.), Qualitätsvoller Chemie- und Physikunterricht – normative und empirische Dimensionen. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Regensburg 2017. Regensburg: Universität Regensburg, S. 867-870.
- Kempin, M., Kulgemeyer, C. & Schecker, H. (2020). Wirkung von Professionswissen und Praxisphasen auf die Reflexionsfähigkeit von Physiklehramtsstudierenden. In: Habig, S. (Hrsg.), Naturwissenschaftliche Kompetenz in der Gesellschaft von morgen. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Wien 2019. Essen: Duisburg-Essen, S. 439-442.
- Klempin, C. (2019). Reflexionskompetenz von Englischlehramtsstudierenden im Lehr-Lern-Labor-Seminar: Eine Interventionsstudie zur Förderung und Messung. Stuttgart: J. B. Metzler. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-476-05120-2>
- Kultusministerkonferenz (KMK) (2004). Standards für die Lehrerbildung: Bildungswissenschaften. Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 16.12.2004 i. d. F. vom 16.05.2009. URL: https://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2004/2004_12_16-Standards-Lehrerbildung-Bildungswissenschaften.pdf
- Konrad, K. (2010). Lautes Denken. In: Mey, G. & Mruck, K. (Hrsg.), Handbuch qualitative Forschung in der Psychologie. 1. Auflage. Wiesbaden: VS Verlag, S. 476-490.
- Kulgemeyer, C., Kempin, M., Weißbach, A., Borowski, A., Buschhüter, D., Enkrott, P., Reinhold, P., Riese, J., Schecker, H., Schröder, J. & Vogelsang, C. (2021). Exploring the impact of pre-service science teachers' reflection skills on the development of professional knowledge during a field experience. International Journal of Science Education, 43(18), S. 3035-3057. DOI: <https://doi.org/10.1080/09500693.2021.2006820>
- Kulgemeyer, C., Kempin, M. & Weißbach, A. (2021). Entwicklung von Professionswissen und Reflexionsfähigkeit im Praxissemester. In: Habig, S. (Hrsg.), Naturwissenschaftlicher Unterricht und Lehrerbildung im Umbruch? Gesellschaft für

- Didaktik der Chemie und Physik online Jahrestagung 2020. Essen: Duisburg-Essen, S. 262-265.
- Nowak, A., Ackermann, P. & Borowski, A. (2018). Rahmenthema "Reflexion" im Praxissemester. In Borowski, A., Ehlert, A. & Prechtel, H. (Hrsg.), PSI-Potsdam - Erlebnisbericht zu den Aktivitäten im Rahmen der Qualitätsoffensive Lehrerbildung (2015-2018), S. 217-230. URL: <https://publishup.uni-potsdam.de/opus4-ubp/frontdoor/deliver/index/doi/41454/file/pblbf01.pdf>
- Nowak, A., Kempin, M., Kulgemeyer, C. & Borowski, A. (2019). Reflexion von Physikunterricht. In: Maurer, C. (Hrsg.), Naturwissenschaftliche Bildung als Grundlage für berufliche und gesellschaftliche Teilhabe. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Kiel 2018. Regensburg: Universität Regensburg, S. 838-841.
- Plöger, W., Scholl, D. & Seifert, A. (2015). Analysekompetenz - ein zweidimensionales Konstrukt?! Unterrichtswissenschaft. Zeitschrift für Lernforschung 43(2), S. 166-184.
- Rothland, M. & Boecker, S. K. (2015). Viel hilft viel? Forschungsbefunde und -perspektiven zum Praxissemester in der Lehrerbildung. In: Lehrerbildung auf dem Prüfstand 8(2), S. 112-134.
- Sandmann, A. (2014). Lautes Denken - die Analyse von Denk-, Lern- und Problemlöseprozessen. In: Krüger, D. Parchmann, I. & Schecker (H.) (Hrsg.), Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 179-188.
- Schön, D. A. (1983). The Reflective Practitioner. How Professionals Think in Action. New York: Basic Books.
- Szogs, M., Kobl, C., Volmer, M. & Korneck, F. (2019). Bedeutsamkeit von Reflexion und Reflexivität in der Professionalisierung von Lehrkräften sowie ihre Beziehung zu anderen Prozessen und Konstrukten. In: Maurer, C. (Hrsg.), Naturwissenschaftliche Bildung als Grundlage für berufliche und gesellschaftliche Teilhabe. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Kiel 2018. Regensburg: Universität Regensburg, S. 317-320.
- Von Aufschnaiter, C., Fraij, A. & Kost, D. (2019). Reflexion und Reflexivität in der Lehrerbildung. Herausforderung Lehrer_innenbildung - Zeitschrift zur Konzeption, Gestaltung und Diskussion 2(1), S. 144-159. DOI: <https://doi.org/10.4119/UNIBI/hlz-144>
- Von Aufschnaiter, C., Hofmann, C., Geisler, M. & Kirschner, S. (2019). Möglichkeiten und Herausforderungen der Förderung von Reflexivität in der Lehrerbildung. SEMINAR 25(1), S. 49-60.
- Windt, A., & Lenske, G. (2016). Qualität der Sachunterrichtsreflexion im Vorbereitungsdienst. In: C. Maurer (Hrsg.), Authentizität und Lernen - das Fach in der Fachdidaktik. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Berlin 2015. Regensburg: Universität Regensburg, S. 284-286.
- Wyss, C. (2008). Zur Reflexionsfähigkeit und -praxis der Lehrperson. Bildungsforschung 5(2), S. 1-15.
- Wyss, C. (2013). Unterricht und Reflexion: Eine Mehrperspektivische Untersuchung der Unterrichts- und Reflexionskompetenz von Lehrkräften. Münster u.a.: Waxmann.
- Wyss, C. & Mahler, S. (2021). Mythos Reflexion. Theoretische und praxisbezogene Erkenntnisse in der Lehrer*innenbildung. journal für lehrerInnenbildung 21(1), S. 16-25. DOI: <https://doi.org/10.35468/jlb-01-2021-01>

Förderung

Das Projekt *ProfiLeP-Transfer* wird gefördert vom BMBF unter dem Förderkennzeichen 16PK19005B.

Reflexionsprozesse im Lehr-Lern-Labor

Jens Damköhler, Markus Elsholz, Thomas Trefzger

Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Lehrstuhl für Physik und ihre Didaktik
jens.damkoehler@uni-wuerzburg.de

Kurzfassung

Phasen, in denen Studierende unterrichtspraktische Erfahrungen sammeln, bilden einen festen Bestandteil eines jeden Lehramtsstudiengangs. Dabei gewinnen in den letzten Jahren neben den klassischen Schulpraktika zunehmend Lehr-Lern-Labore (LLL) an Beliebtheit, in denen Studierende in komplexitätsreduzierten Szenarien Inhalte für Schüler*innen aufbereiten und diese vermitteln. Bisherige Forschungsergebnisse legen nahe, dass ein Lehr-Lern-Labor mit intensiven Phasen der Reflexion die Professionelle Unterrichtswahrnehmung und das Selbstkonzept positiv begünstigen kann. In dem hier vorgestellten Vorhaben sollen die professionellen Reflexionsprozesse von Lehrkräften im LLL-Seminar mit qualitativen und quantitativen Methoden untersucht werden. Unter anderem werden die Fähigkeit zur Selbst- und Fremdrelexion sowie affektiv-motivationale Dispositionen untersucht und zueinander in Bezug gesetzt.

1. Einleitung

Praxisveranstaltungen wird in der Lehramtsausbildung eine bedeutende Rolle zugeschrieben. Eine mögliche Ausgestaltung dieser Praxisphasen sind z.B. Lehr-Lern-Labore (LLL) mit iterativen Phasen, bei denen Studierende jeweils Kleingruppen von Schülerinnen und Schülern in zeitlichem Abstand an einem außerschulischen Lernort (MIND-Center) unterrichten. Zwischen den einzelnen Erprobungen finden Überarbeitungs- und Reflexionsphasen statt.

In einer Studie sollen die professionellen Reflexionsprozesse von Lehrkräften im LLL-Seminar mit qualitativen und quantitativen Methoden untersucht werden. Insbesondere wird der Frage nachgegangen, ob Zusammenhänge zwischen der Fähigkeit zur Selbst- und Fremdrelexion gefunden werden können und welche Rolle affektiv-motivationale Dispositionen in diesem Zusammenhang spielen.

Um diese Betrachtungen begrifflich zu fundieren, empfiehlt sich zunächst ein Blick auf die theoretischen Grundlagen. Die folgende Darstellung ist das Ergebnis einer Literaturrecherche zu häufig rezipierten Veröffentlichungen aus den Bereichen der Psychologie, Erziehungswissenschaften und unterschiedlichen Fachdidaktiken.

2. Betrachtungen zum Reflexionsbegriff

Unter dem Begriff Reflexion werden in der aktuellen Forschung viele Vorstellungen und unterschiedliche Definitionen subsummiert (Aeppli und Lötscher 2016). Demnach gehen viele der Definitionen auf Dewey („Active, persistent, and careful consideration of any belief or supposed form of knowledge in the light of the grounds that that support it, and the further conclusions to which it tends, constitutes reflective thought.“ (1910)) zurück. Unter anderem werden Prozesse der Selbst- und Fremdrelexion integriert (Bengtsson 1995), Abgrenzungen des Reflexionsbegriffs

zu verwandten Begriffen wie „Analysieren“ und „Nachdenken“ sind nicht immer klar herausgearbeitet (Aufschnaiter et al. 2019). Viele Veröffentlichungen zu Reflexionsprozessen referenzieren Donald Schön (1983), der in seinem Werk „The reflective practitioner“ den Fokus auf Prozesse, die erfahrene Praktiker*innen erfolgreich machen, legt. Er unterstellt Expert*innen dabei eine Form der Reflexion während der Tätigkeit, eine reflection-in-action, die aus deren Handlungswissen entspringt. Dabei betont er, dass diese Form der Reflexion nicht notgedrungen verbal ablaufen muss, wenn er z.B. über Baseballspieler und Jazzmusiker sagt: „Of course, we need not suppose that they reflect-in-action in the medium of words. More likely, they reflect through a ‚feel for the music‘ which is not unlike the pitcher’s ‚feel for the ball‘“ (Schön 1983).

Nach Aufschnaiter (2019) handelt es sich bei der Reflexion von Lehrpersonen um einen „Denkprozess [...], der auf der einen Seite eine Zielstellung hat [...] und auf der anderen Seite ein oder mehrere spezifische Charakteristika aufweist“ (Aufschnaiter et al. 2019, S. 146). Nach Bengtsson (1995) unterscheidet Aufschnaiter bei der Zielstellung zwischen Reflexionen, die auf die Lösung aktueller oder zukünftiger, konkreter Probleme gerichtet sind und für eine Verbesserung, z.B. der Unterrichtsqualität, sorgen („external“ gerichtet), und Reflexionen, die der Weiterentwicklung der Lehrkraft dienen sollen („internal“ gerichtet). Zu den Charakteristika gehört, dass Reflexion ein „auf einen Ertrag gerichteter [...] Prozess“ ist, der sich auf „Daten“ bezieht, „die durchdrungen werden und aus denen eine Konsequenz abgeleitet wird“ (Aufschnaiter et al. 2019, S. 147).

Kulgemeyer et al. erkennen die Vielfalt der unterschiedlichen Definitionen und Sichtweisen und fügen ihre eigene, verhältnismäßig weit gefasste, Definition hinzu, nach der Reflexion „die theoriebasierte

Analyse von Lehren mit dem Ziel, die Instruktionsqualität zu verbessern und/oder zur Weiterentwicklung als naturwissenschaftliche Lehrkraft zu führen“ ist (Kulgemeyer et al. 2021).

Aeppli und Lötscher greifen eine frühe Definition Korthagens der Reflexion als „mentalen Prozess, bei dem versucht wird, eine Erfahrung, ein Problem oder vorhandenes Wissen oder Erkenntnisse zu strukturieren oder umzustrukturieren“ (Aeppli und Lötscher 2016; Korthagen 2001), auf und betten diese unter Verwendung weiterer Konkretisierungen in ein größeres Rahmenmodell ein. Sie fokussieren hierbei vor allem auf den Denkprozess und lassen Denkgegenstand und Ziele der Reflexion außen vor (Aeppli und Lötscher 2016).

Stender et. al verstehen unter Reflexion „die kritische Auseinandersetzung mit den Konsequenzen der Planung und des Handelns“, die „eine wichtige Voraussetzung für die iterative Weiterentwicklung und Abspeicherung [von] Handlungspläne[n] als Handlungsskripts“ ist (Stender et al. 2015). Neben der direkt an die Handlung anschließenden Reflexion sehen sie vor allem die Erkenntnisse als relevant an, die sich auf die nächste Unterrichtsplanung auswirken.

Insgesamt beschreiben Forscher*innen übereinstimmend eine fehlende Einheitlichkeit bei der Definition des Reflexionsbegriffs (Bengtsson 1995, Aeppli und Lötscher 2016, Aufschnaiter et al. 2019, Kulgemeyer et al. 2021, Wyss und Mahler 2021).

3. Bedeutung von Reflexionsprozessen für die Professionalisierung von Lehrkräften

Publikationsübergreifend wird Reflexionsprozessen in der Ausbildung zukünftiger Lehrkräfte eine hohe Bedeutung beigemessen.

Im Bereich der Entwicklung professioneller Kompetenz bei Lehrkräften fassen Baumert und Kunter (2006) Ergebnisse der Expertiseforschung zusammen und resümieren: „Die Entwicklung von Expertise ist von systematischer und reflektierter Praxis über einen langen Zeitraum hinweg abhängig.“. Kunter et al. (2011) folgen weiter der Auffassung Schöns (1983), dass sich „Wissen, Überzeugungen und motivational-selbstregulative Merkmale auch durch das Handeln in konkreten beruflichen Situationen mit entsprechender Reflektion“ entwickeln (Kunter et al. 2011).

Combe und Kolbe (2008) betrachten Reflexionen vor allem als relevant in Bezug auf die Ausbildung von Erfahrungswissen, das implizit und in einen Praxiszusammenhang eingebettet ist und „schnelles und flüssiges Handeln-Können“ ermöglicht.

Terhart (2011, S. 206) beschreibt den kompetenten, reflektierenden Umgang mit „unabstellbarer, aber gleichwohl täglich zu bewältigender und faktisch auch irgendwie bewältigter Unsicherheit und Undefiniertheit“ (Terhart 2011, S. 206) als „Kernstück pädagogischer Professionalität“ im strukturtheoretischen Bestimmungsansatz von Professionalität im Lehrberuf. Die „reflektierende Rückwendung auf das eigene Handeln“ (ebd., S. 207) wird als zentraler

Motor für die Entwicklung und Weiterentwicklung professioneller Fähigkeiten beschrieben.

Gruber (2021) bezeichnet Reflexion gar als „Königsweg zur Expertise-Entwicklung“. So sieht er z.B. Reflexion „als Teil von Lern- und Übeprozessen in der Expertise-Entwicklung“ und als „gezielte Nutzung beruflicher Erfahrung“ (Gruber 2021, S. 112). Reflexion dient im ersten Fall dazu, im Sinne eines deliberate practice (vgl. hierzu Ericsson et al. 1993), lohnende Übungs- und Betätigungsfelder zur Erlangung von Expertise zu ermitteln. Im zweiten Fall macht die Reflexion berufliche Erfahrung für das Generieren eines dynamischen, fallbasierten Gedächtnisses (exemplarisch ausgeführt an der Entwicklung der Expertise von Mediziner*innen) nutzbar.

Neuweg (2021) wirft indes einen durchaus kritischen Blick auf das Thema der Reflexionsforschung und warnt vor „reflection-instead-of-action“. Er kritisiert dabei unter anderem die Gleichzeitigkeit der Anforderungen von „Distanz und Einlassung“, wenn „Studierende zwischen den Anforderungen der Berufswahlüberprüfung, der Unterrichtsplanung und -durchführung, dem Umgang mit Unterrichtsstörungen, der Erschütterung ihrer idealistischen Vorstellungen von Schule, Schüler und Unterricht, der Anpassung an die ungeschriebenen Regeln der schulischen Praxisgemeinschaft, den wirklichen und von ihnen selbst empfundenen, aber oft schamhaft verschwiegenen Reflexionsanlässen, der universitär veranlassten „Reflexion“ und dem „forschenden Lernen“ förmlich aufgerieben zu werden drohen“ (Neuweg 2021).

In einem Aufsatz von 2019 stellen Jeschke et al. in Bezug auf die Mathematik bereits im Titel die Frage: „Vermittelt die Kompetenz zur Unterrichtsreflexion zwischen mathematischem Professionswissen und der Kompetenz zum Handeln im Mathematikunterricht?“ (Jeschke et al. 2021).

4. Selbstreflexion und Fremdrelexion – Reflexionskompetenz und -performanz

Wie bereits weiter oben erläutert, können sich Reflexionsprozesse in verschiedener Hinsicht unterscheiden. So beschreiben Aufschnaiter et al. (2019) Reflexion als einen zwingend internal gerichteten Prozess, das „analytische Nachdenken mit Bezug auf sich selbst“. Kulgemeyer et al. (2021) definieren Reflexion als „theory-based analysis of teaching with the goal of improving the quality of instruction and/or leading to further development as a science teacher“. Dabei grenzen sie sich bewusst vom Reflexionsbegriff Aufschnaiters ab, indem sie die Möglichkeit Unterricht anderer Lehrkräfte zu reflektieren, explizit mit einbeziehen.

Dagegen stimmen Kulgemeyer et al. (2021) und Aufschnaiter et al. (2019) wiederum im Rückgriff auf das Kompetenzmodell von Blömeke et al. (2015) überein, um eine „Reflexionskompetenz“ zu beschreiben. Demnach führen Dispositionen (mit kognitiven und affektiv-motivationalen Komponenten) gemeinsam

mit situations-spezifischen Fertigkeiten (zu denen Elemente der Wahrnehmung, Interpretation und Entscheidungsfindung gehören) zu einer messbaren Performanz. Diese müsste, im Sinne der Manifestierung latenter Variablen, in Form von Reflexionsprodukten messbar sein. Sowohl zur Fremd- als auch zur Selbstreflexion existieren bereits Messwerkzeuge. Für die Fremdrelexionsfähigkeit beschreiben Kempin et al. (2020) einen Performanztest, in welchem Probanden auf Basis standardisierter Videosequenzen fremden Unterrichts zu gezielten, verhältnismäßig eng geführten Reflexionen aufgefordert werden. Die freien Textproduktionen können anhand erreichter Reflexionsebenen anschließend in einen Score überführt werden. Für die Selbstreflexionsfähigkeit liegt ein vergleichbares, dokumentiertes, im Lehr-Lern-Labor-Seminar (LLL-Seminar) Chemie an der Universität Würzburg entwickeltes, Messwerkzeug vor (Boshuis 2021). Im Anschluss an eine Durchführung im LLL-Seminar fertigen Studierende, die zuvor in der Anwendung eines Reflexionsschemas (Krieg und Kreis 2014) geschult wurden, ein Reflexionsprodukt mithilfe der Think-aloud-Methode an. Ähnlich dem zuvor beschriebenen Vorgehen werden die qualitativ vorliegenden Daten wiederum quantifiziert und über einen Score nach erreichter Reflexionstiefe klassifiziert.

5. Lehr-Lern-Labore (LLL)

In der Regel fördern LLL die Professionalisierung zukünftiger Lehrpersonen, indem sie die theoretische Ausbildung mit reflektierter Praxis verbinden. Zumeist bereiten Studierende der Lehrämter für Schüler*innen Lernumgebungen vor, die diese dann unterstützt von den Studierenden bearbeiten. (Roth und Priemer 2020). In der Realität existiert eine Vielzahl unterschiedlicher Ausgestaltungen dieser LLL, die sich beispielsweise in der Dauer der Maßnahme, den Lernorten, den Teilnehmerzahlen und den konkreten Anforderungen an die Studierenden unterscheiden. (Weusmann et al. 2020).

Nach Elsholz und Trefzger (2017) verstehen sich die Würzburger LLL als „komplexitätsreduzierte Praxisphase“, die Studierenden die Gelegenheit bieten, „verschiedene Lehrstrategien bei gleichbleibenden Fachinhalten in unterrichtsnahen Praxissituationen an wechselnden Schülergruppen zu testen“. Die Studierenden entwickeln im Rahmen einer ca. 10-wöchigen Vorbereitungsphase Stationen, die sie im Rahmen einer Durchführung Gruppen von ca. 5 Schüler*innen präsentieren. Im Anschluss an eine Durchführung folgt in der Regel ein Termin mit Möglichkeiten zur Überarbeitung, bevor die nächste Durchführung ansteht. Diese „iterative Praxis“ ermöglicht den Studierenden, die Materialien auf Basis ihrer Erfahrungen weiterzuentwickeln und bietet optimale Möglichkeiten zur Untersuchung der Wirkung systematischer Reflexion.

Die enge Zusammenarbeit der LLL der MINT-Studiengänge unter dem gemeinsamen Dach des

M!ND-Centers erlaubt einen interdisziplinären Blick auf das Thema.

Im Rahmen des LLL an der Universität Würzburg fand in den vergangenen Jahren vielfältige Begleitforschung im Bereich der Professionalisierung von Lehrkräften statt. So untersuchte Elsholz (2019) die Entwicklung des akademischen Selbstkonzepts im Rahmen des Lehr-Lern-Labors, Treisch (2018) beschäftigte sich intensiv mit Aspekten der Professionellen Unterrichtswahrnehmung und Fried (2017) adressierte die Relevanz fachdidaktischen Wissens bei der Planung der LLL-Einheiten.

Die letzte im Rahmen der Würzburger LLL entstandene Arbeit von Boshuis (2021) nimmt die Reflexionsprozesse in den Fokus. In dieser Arbeit wurde ein Element systematischer Reflexionsanlässe in den Ablauf der LLL integriert.

6. Geplante Studie

Die geplante Studie fokussiert auf die Zusammenhänge zwischen Fremd- und Selbstreflexionsvermögen und die Bedeutung affektiv-motivationaler Dispositionen in diesem Zusammenhang. Konkret soll der Frage nachgegangen werden, ob Hinweise auf eine Korrelation zwischen Fremd- und Selbstreflexionsvermögen, eventuell unter Mediation affektiv-motivationaler Komponenten, gefunden werden können. Zu diesem Zweck ist geplant, über mehrere Semester jeweils in einem PRE-POST-Design von Studierenden, die das LLL-Seminar der Physik, Biologie und Chemie der Universität Würzburg besuchen, mithilfe des oben erwähnten Performanztests die Fremdrelexionsfähigkeit zu erheben. Im selben Test sollen affektiv-motivationale Komponenten zur Reflexionskompetenz (Reflexionsbereitschaft, z.B. nach Fraij 2018) erhoben werden. In der Folge erhalten Studierende im Rahmen des LLL-Seminars eine „Reflexionsschulung“ (vgl. Boshuis 2021). Nach jeder Durchführung erhalten die Studierenden jeweils eine Rückmeldung und fertigen mithilfe der Think-aloud-Methode Reflexionsprodukte an, die bezüglich der Reflexionstiefe untersucht werden.

7. Literatur

- Aeppli, Jürg; Lötscher, Hanni (2016): EDAMA - Ein Rahmenmodell für Reflexion. In: Beiträge zur Lehrerinnen- und Lehrerbildung 34 (1), S. 78–97. [DOI: 10.25656/01:13921](https://doi.org/10.25656/01:13921).
- Aufschnaiter, Claudia von; Fraij, Amina; Kost, Daniel (2019): Reflexion und Reflexivität in der Lehrerbildung. Herausforderung Lehrer*innenbildung - Zeitschrift zur Konzeption, Gestaltung und Diskussion, Bd. 2 Nr. 1 (2019): Herausforderung Lehrer_innenbildung - Ausgabe 2 (144-159). [DOI: 10.4119/HLZ-2439](https://doi.org/10.4119/HLZ-2439).
- Baumert, Jürgen; Kunter, Mareike (2006): Stichwort: Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. In: Z Erziehungswiss 9 (4), S. 469–520. [DOI: 10.1007/s11618-006-0165-2](https://doi.org/10.1007/s11618-006-0165-2).

- Bengtsson, Jan (1995): What is Reflection? On reflection in the teaching profession and teacher education. In: *Teachers and Teaching* 1 (1), S. 23–32. DOI: [10.1080/1354060950010103](https://doi.org/10.1080/1354060950010103).
- Blömeke, Sigrid; König, Johannes; Suhl, Ute; Hoth, Jessica; Döhrmann, Martina (2015): Wie situationsbezogen ist die Kompetenz von Lehrkräften? Zur Generalisierbarkeit der Ergebnisse von videobasierten Performanztests. In: *Zeitschrift für Pädagogik* 61, S. 310–327. DOI: [10.25656/01:15350](https://doi.org/10.25656/01:15350).
- Boshuis, Tim (2021): Konzeption eines praxisorientierten Seminarprinzips im Biologie/Chemiestudium zur Erfassung und Förderung der Reflexionsfähigkeit von Lehramtsstudierenden. Dissertation. Julius-Maximilians-Universität, Würzburg. Didaktik der Chemie.
- Combe, Arno; Kolbe, Fritz-Ulrich (2008): Lehrprofessionalität: Wissen, Können, Handeln. In: Werner Helsper und Jeanette Böhme (Hg.): *Handbuch der Schulforschung*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, S. 857–875.
- Dewey, John (1910): *How we think*. Boston: Heath.
- Elsholz, Markus (2019): Das akademische Selbstkonzept angehender Physiklehrkräfte als Teil ihrer professionellen Identität – Dimensionalität und Veränderung während einer zentralen Praxisphase. Würzburg: Universität Würzburg.
- Elsholz, Markus; Trefzger, Thomas (2017): Professionalisierung durch Praxisbezug – Begleitforschung zu den Würzburger Lehr-Lern-Laboren. In: Christian Maurer (Hg.): *Implementation fachdidaktischer Innovation im Spiegel von Forschung und Praxis*. Jahrestagung. Zürich, 2016. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik. Regensburg: Universität Regensburg, S. 488–491.
- Ericsson, K. Anders; Krampe, Ralf T.; Tesch-Römer, Clemens (1993): The role of deliberate practice in the acquisition of expert performance. In: *Psychological Review* 100 (3), S. 363–406. DOI: [10.1037//0033-295X.100.3.363](https://doi.org/10.1037//0033-295X.100.3.363).
- Fraj, Amina (2018): Skaldokumentation der Giessener Offensive Lehrerbildung zur Reflexionsbereitschaft. Giessen: Giessener Elektronische Bibliothek. Online verfügbar unter <http://geb.uni-giessen.de/geb/volltexte/2018/13709/>.
- Fried, Susan; Trefzger, Thomas (2017): Eine qualitative Untersuchung zur Anwendung von physikdidaktischem Wissen im Lehr-Lern-Labor. In: Christian Maurer (Hg.): *Implementation fachdidaktischer Innovation im Spiegel von Forschung und Praxis*. Jahrestagung. Zürich, 2016. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik. Regensburg: Universität Regensburg, S. 492–495.
- Gruber, Hans (2021): Reflexion. Der Königsweg zur Expertise-Entwicklung. In: *jlb* 01/2021, S. 108–117. DOI: [10.35468/jlb-01-2021-10](https://doi.org/10.35468/jlb-01-2021-10).
- Jeschke, Colin; Lindmeier, Anke; Heinze, Aiso (2021): Vom Wissen zum Handeln: Vermittelt die Kompetenz zur Unterrichtsreflexion zwischen mathematischem Professionswissen und der Kompetenz zum Handeln im Mathematikunterricht? Eine Mediationsanalyse. In: *J Math Didakt* 42 (1), S. 159–186. DOI: [10.1007/s13138-020-00171-2](https://doi.org/10.1007/s13138-020-00171-2).
- Kempin, Maren; Kulgemeyer, Christoph; Schecker, Horst (2020): Wirkung von Professionswissen und Praxisphasen auf die Reflexionsfähigkeit von Physiklehramtsstudierenden. In: Sebastian Habig (Hg.): *Naturwissenschaftliche Kompetenzen in der Gesellschaft von morgen*. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik Jahrestagung in Wien 2019. Essen: Universität Duisburg-Essen, S. 439–442.
- Korthagen, Fred A. J. (2001): *Linking practice and theory. The pedagogy of realistic teacher education*. Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Krieg, Martina; Kreis, Annelies (2014): Reflexion in Mentoringgesprächen - ein Mythos? In: *ZFHE* 9 (1). DOI: [10.3217/zfhe-9-01/11](https://doi.org/10.3217/zfhe-9-01/11).
- Kulgemeyer, Christoph; Kempin, Maren; Weißbach, Anna; Borowski, Andreas; Buschhüter, David; Enkrott, Patrick et al. (2021): Exploring the impact of pre-service science teachers' reflection skills on the development of professional knowledge during a field experience. In: *International Journal of Science Education* 43 (18), S. 3035–3057. DOI: [10.1080/09500693.2021.2006820](https://doi.org/10.1080/09500693.2021.2006820).
- Kunter, Mareike; Kleickmann, Thilo; Klusmann, Uta; Richter, Dirk (2011): Die Entwicklung professioneller Kompetenz von Lehrkräften. In: Mareike Kunter, Jürgen Baumert, Werner Blum, Uta Klusmann, Stefan Krauss und Michael Neubrand (Hg.): *Professionelle Kompetenz von Lehrkräften*. Ergebnisse des Forschungsprogramms COACTIV. Münster, New York, München, Berlin: Waxmann, S. 55–68.
- Neuweg, Georg Hans (2021): Reflexivität. Über Wesen, Sinn und Grenzen eines lehrerbildungsdidaktischen Leitbildes. In: *Zeitschrift für Bildungsforschung* 11 (3), S. 459–474. DOI: [10.1007/s35834-021-00320-8](https://doi.org/10.1007/s35834-021-00320-8).
- Roth, Jürgen; Priemer, Burkhard (2020): Das Lehr-Lern-Labor als Ort der Lehrpersonenbildung – Ergebnisse der Arbeit eines Forschungs- und Entwicklungsverbands. In: Burkhard Priemer und Jürgen Roth (Hg.): *Lehr-Lern-Labore*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 1–10.
- Schön, Donald A. (1983): *The reflective practitioner. How professionals think in action*. New York: Basic Books.

- Stender, Anita; Brückmann, Maja; Neumann, Knut (2015): Vom Professionswissen zum kompetenten Handeln im Unterricht: Die Rolle der Unterrichtsplanung. [DOI: 10.25656/01:13901](https://doi.org/10.25656/01:13901).
- Terhart, Ewald (2011): Lehrerberuf und Professionalität. Gewandeltes Begriffsverständnis - neue Herausforderungen. In: Zeitschrift für Pädagogik (Beiheft) (57), S. 202–224.
- Treich, Florian (2018): Die Entwicklung der Professionellen Unterrichtswahrnehmung im Lehr-Lern-Labor Seminar. Würzburg: Universität Würzburg.
- Weusmann, Birgit; Käpnick, Friedhelm; Brüning, Ann-Katrin (2020): Lehr-Lern-Labore in der Praxis: Die Vielfalt realisierter Konzeptionen und ihre Chancen für die Lehramtsausbildung. In: Burkhard Priemer und Jürgen Roth (Hg.): Lehr-Lern-Labore. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 27–45.
- Wyss, Corinne; Mahler, Sara (2021): Mythos Reflexion. Theoretische und praxisbezogene Erkenntnisse in der Lehrer*innenbildung. In: Journal für LehrerInnenbildung 21 (1), S. 16–25. [DOI: 10.25656/01:22102](https://doi.org/10.25656/01:22102).

Vignettenstudie zur Perspektive von Physiklehrkräften auf die Lernergebnissicherung im Physikunterricht

Lucas Carlos Televantos Ubeda*, Johannes F. Lhotzky*, Margarete Imhof[†], Klaus Wendt*

*Institut für Physik, Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Staudingerweg 7, 55128 Mainz

[†]Psychologie in den Bildungswissenschaften, Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Binger Straße 14–16, 55122 Mainz
lhotzky@uni-mainz.de

Kurzfassung

Die Sicherung von Lernergebnissen ist die zentrale Gelingensbedingung für den erfolgreichen Abschluss von Lehr- und Lernprozessen. Trotz dieser zentralen Rolle für das unterrichtliche Handeln liefern fachdidaktische Standardwerke keine einheitliche Aussage darüber, was unter Lernergebnissicherung zu verstehen ist und welche Kriterien an die unterrichtspraktische Umsetzung anzulegen sind. In der Literatur wird die Sicherung von Lernergebnissen mit einer Vielzahl von unterschiedlich akzentuierten Begriffen und Vorstellungen über den Lehr-Lernprozess verbunden. Um die in der Unterrichtspraxis herrschenden Vorstellungen zur Lernergebnissicherung im Physikunterricht zu erfassen, wurde für den vorliegenden Beitrag im Rahmen einer Masterarbeit an der Johannes Gutenberg-Universität (JGU) Mainz eine Erhebung unter Physiklehrkräften aus dem deutschsprachigen Raum mittels eines Online-Surveys durchgeführt. Dazu wurden Unterrichtsvignetten entwickelt, die jeweils den aus der Theorie abgeleiteten Aspekten der Lernergebnissicherung entsprechen und von den Befragten bewertet wurden. Bei der Stichprobengröße der Untersuchung von $N = 27$ vollständig ausgefüllten Fragebögen fiel in der quantitativen Auswertung besonders die große Streuung in den Bewertungen durch die Physiklehrkräfte auf. Die Untersuchung liefert somit einen empirischen Beleg für die Unklarheiten in der Definition des Begriffs der Lernergebnissicherung.

1. Theoretischer Hintergrund

Im Grundschemata lernpsychologischer Modelle, welche sich aus den drei Phasen Eingangsphase – Erarbeitungsphase – Sicherungsphase [1] zusammensetzen, ist die Lernergebnissicherung fest in der letztgenannten Phase verankert. Trotz dieser herausgestellten Relevanz der Lernergebnissicherung für das Lehrendenhandeln in der Unterrichtspraxis existiert in der fachdidaktischen Literatur bisher kein einheitliches Begriffsverständnis dafür. Sinnbildlich wird dies bereits anhand der parallel existierenden Begrifflichkeiten Diskussion, Ergänzung, Ausarbeitung, Aufarbeitung, Vervollständigung sowie Dokumentation der Lernergebnisse im Unterricht transparent. Lernergebnisse beschreiben in diesem Zusammenhang die tatsächlich erreichten Lernzuwächse der Lernenden.

Aufklärungsansätze finden sich in den Unterscheidungen durch Meyer (1987) zwischen direkter und indirekter Ergebnissicherung. Eine direkte Ergebnissicherung ist von der Lehrperson geplant und findet im Unterrichtsprozess unmittelbar nach der Auseinandersetzung mit bestimmten Unterrichtsinhalten statt [2]. Eine beiläufig stattfindende Ergebnissicherung durch eine fächerübergreifende Vertiefung einzelner Themen oder durch das aktive Aufgreifen von Inhalten mit Alltagsbezug erfolgt zumeist indirekt [2]. Darüber hinaus kann zwischen zwei Prozessebenen der Lernergebnissicherung unterschieden werden, der

individuellen Ebene mit individuellen kognitiven Prozessen der Lernenden und der interindividuellen Ebene mit Unterrichtsprozessen, durch welche die Lernendengruppe angeregt wird, ihre kognitiven Fähigkeiten im Austausch miteinander zu schärfen. Behalten, Vernetzen, Anwenden, Übertragen und Üben sind dabei als entscheidende individuelle Prozesse zur Sicherung von Lernergebnissen hervorzuheben. Präsentieren, Diskutieren, Auswerten und Ergänzen von Arbeitsergebnissen stellen hingegen Aktivitäten auf der interindividuellen Ebene dar. Darüber hinaus fungieren Rückmeldungen als wichtige Informationsquelle für die Lernenden über die Entwicklung ihres Lernprozesses und können Impulse für eine Reflexion geben. Feedback bildet dementsprechend ebenso einen zentralen Bestandteil der interindividuellen Ebene der Lernunterstützung und Ergebnissicherung. Diese beiden Ebenen stehen dabei in einem ständigen Austausch und in wechselseitiger Interaktion (s. Abb.1). Interindividuelle Prozesse können Aktivitäten auf der individuellen Ebene beeinflussen, indem beispielsweise Lernende gemeinsam über individuelle Lernergebnisse diskutieren, diese auswerten und gegenseitig Ergänzungen vornehmen, sodass sich die individuell erzielten Lernergebnisse schärfen und ausdifferenzieren. Der interindividuelle Prozess der gemeinsamen Verhandlung der Lernprodukte stellt

dabei einen zentralen Faktor für die Entstehung, Sicherung und Ausschärfung der individuellen Lernergebnisse dar. Vor diesem Hintergrund wird transparent, dass individuelle und interindividuelle Prozesse im Unterricht parallel und gemeinsam ablaufen, sodass Lernende Lernziele erreichen, indem sie Wissen und Fähigkeiten entwickeln, die sie wiederum nachhaltig abrufen, anwenden und übertragen können.

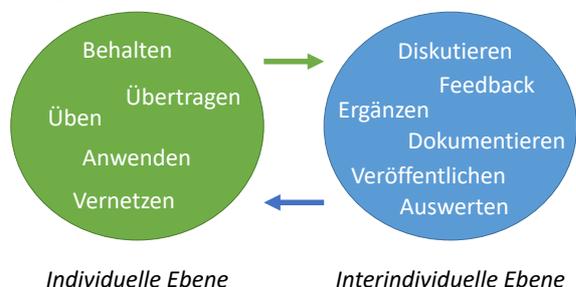


Abb.1: Zusammenhang der individuellen und der interindividuellen Ebene der Lernergebnissicherung

Die Ergebnissicherung besitzt zudem verschiedene Ausprägungen, die von Protokollierung und Dokumentation, Auswertung und Kritik über Ergänzung und Vervollständigung, Korrektur und Ersatz, bis zu Übung, Veröffentlichung und Leistungskontrolle reichen können [2, 3]. Diese vielfältigen Ausprägungen der Lernergebnissicherung verfolgen dabei ein übergreifendes und umfassendes Ziel: Die Lernenden können auf erworbenes Wissen und auf angeeignete Fertigkeiten nachhaltig zurückgreifen und diese in verschiedenen Kontexten flexibel einsetzen, was sich anhand der Tätigkeiten Behalten, Üben und Anwenden äußert.

2. Forschungsvorhaben

Dieser Erhebung zur Lernergebnissicherung liegen zwei zentrale Forschungsfragen zugrunde: Zum einen wird evaluiert, welche Vor- und Einstellungen Physiklehrkräfte zum Begriff der Lernergebnissicherung besitzen. Zum anderen werden die Lehrpersonen danach befragt, ob ein Unterschied zwischen ihrer Vorstellung zur Sicherung der Lernergebnisse und der konkreten Umsetzung der Sicherung im eigenen Physikunterricht existiert. Mit diesen beiden Forschungsfragen verfolgt die Untersuchung das Ziel, empirisch zu bewerten, was genau in der Physikunterrichtspraxis unter Lernergebnissicherung verstanden wird.

3. Methode

Zur Beantwortung der Forschungsfrage wurde eine Online-Umfrage entwickelt, in der Physiklehrkräfte verschiedene Unterrichtssituationen hinsichtlich deren Eignung zur Sicherung der Lernergebnisse beurteilen. Die Unterrichtssituationen wurden als Fall-Vignetten konstruiert. Dabei wurde jeweils ein Aspekt aus den zuvor skizzierten beiden Ebenen der individuellen und interindividuellen Lernergebnissicherung nach der Aktivitätsstruktur in der Aufteilung der (1) Lernendenaktivität, (2) der Lehrendenaktivität

sowie (3) der gemeinsamen Aktivität systematisch variiert.

Darüber hinaus sollten die Lehrpersonen in einer offenen Frage jeweils reflektieren und angeben, wie oft ähnliche Situationen im eigenen Unterricht auftreten.

Um ausgewählte Aspekte der Lernergebnissicherung zu testen, wurden zwölf Vignetten unter Optimierung durch Expert:innenrat sowie unter einem Testeinsatz mit Studierenden entwickelt [4]. Um eine direkte Kontexteinbindung und Betroffenheit der Lehrpersonen zu bewirken, erfolgte die Konzeption der Unterrichtsvignetten zu dem geläufigen physikalischen Thema Freier Fall. Die Lehrpersonen sollten die ihnen vorgestellten Situationen beurteilen und eine begründete Angabe von entsprechenden Handlungsweisen tätigen. Für den Einsatz im Fragebogen wurden folgende Unterrichtsvignetten als geeignet ausgewählt: Üben, Anwenden, Präsentieren, Feedback. Für jeden Aspekt der Lernergebnissicherung wurden jeweils drei Unterrichtsvignetten mit unterschiedlicher Aktivitätsstruktur verwendet, wobei sowohl die Differenzierung in Lernendenaktivität, gemeinsame Aktivität sowie Lehrendenaktivität vorgegeben wurde als auch eine Unterscheidung in Bezug auf die individuelle und interindividuelle Ebene getroffen wurde. Insgesamt wurden zwölf Vignetten für die Umsetzung der Befragung mithilfe eines Online-Surveys über Limesurvey realisiert. Zudem wurde nach dem jeweiligen Einsatz im persönlichen Unterricht gefragt und die Eignung jeder Vignette bewertet. Die Bewertungsskala entsprach dabei der den Lehrkräften bekannten und im Schulalltag üblichen Schulnotenskala von 1 bis 6 mit 1 als bestem und 6 als schlechtestem Wert.

Die Stichprobe der Erhebung, die im Zeitraum von Juli bis September 2021 durchgeführt wurde, setzt sich aus 27 Physiklehrkräften aus Deutschland, Österreich und der Schweiz zusammen ($N = 27$, 37% weiblich, 59% männlich, 4% ohne Angabe), wobei das Durchschnittsalter der Proband:innen 42 Jahre beträgt.

4. Ergebnisse

Insgesamt werden für die Lernergebnissicherung die Unterrichtsvignetten Feedback und Präsentation als geeigneter als Üben und Anwenden eingestuft (s. Tab.1). In der Auswertung sind dabei aber bei allen Bewertungen hohe Standardabweichungen zu konstatieren. In Bezug auf die Beurteilung der Unterrichtsvignetten ist besonders auffällig, dass gut befundene Situationen auch häufig im eigenen Unterricht wahrgenommen werden, während schlecht bewertete Situationen deutlich seltener registriert werden. Dies wird wiederum als Legitimation für die Bewertung der jeweiligen Vignette angeführt. Die Ergebnispräsentation durch Lernende oder Lehrende stellt die häufigste Unterrichtspraxis für die Sicherung von Lernergebnissen dar (s. Tab.2).

Aspekt	N	Mittelwert	Std.- Abweichung
Präsentation	26	2.53	0.83
Feedback	26	2.65	0.73
Üben	26	3.14	0.88
Anwenden	26	3.21	0.89

Tab.1: Deskriptive Statistik der unter den Aspekten der Lernergebnissicherung zusammengefassten Bewertungen (1 = sehr gut, 2 = gut, 3 = befriedigend, ..., 6 = ungenügend)

Der Aspekt des Anwendens prägt das tatsächliche Unterrichtsgeschehen im Mittel deutlich seltener als die übrigen Aspekte. Nach eigener Angabe kommen die dort dargestellten Aspekte als konkrete Unterrichtssituationen im tatsächlichen Physikunterricht der Befragten insgesamt eher selten vor, wobei aber wiederum eine große Streuung festzustellen ist.

Aspekt	N	Mittelwert	Std.- Abweichung
Präsentation	27	3.10	0.65
Feedback	27	3.14	0.56
Üben	27	3.14	0.67
Anwenden	27	3.54	0.74

Tab.2: Deskriptive Statistik zu den Aspekten der Lernergebnissicherung. Zusammengefasste Einschätzungen über das Vorkommen im Unterricht (1 = fast immer, 2 = häufig, 3 = gelegentlich, 4 = selten, 5 = nie)

In Bezug auf die Aktivitätsstruktur werden Situationen, in denen die Lernenden aktiv werden und Lehrende eine unterstützende Rolle einnehmen, am geeignetsten beurteilt, um Lernergebnisse zu sichern. Unterrichtsszenarien, in denen hingegen lediglich die Lehrkraft aktiv auftritt, werden als ein besonders ungeeignetes Mittel der Lernergebnissicherung eingestuft.

5. Diskussion

Der konstatierte Forschungsbedarf wird durch die vorliegende empirische Erhebung bekräftigt. Die Bandbreite der Reaktionen auf die Unterrichtsvignetten in den Fragebögen und die zusätzlichen Kommentare auf die offenen Fragen machen deutlich, dass kein einheitliches Verständnis des Begriffs der Lernergebnissicherung existiert. Vielmehr besteht ein Konglomerat aus unterschiedlichen Konzepten und zahlreichen Vorstellungen. Diese vielfältigen Einstellungen und Assoziationen führen wiederum dazu, dass die Eignung der einzelnen Vignetten in Bezug auf die Lernergebnissicherung auf der gesamten Skalenbreite eingeordnet wird. Das Intervall der einfachen Standardabweichung um den Mittelwert nimmt bei fast allen Vignetten die Hälfte einer Skalenbreite oder mehr ein. Das könnte zum einen darauf hinweisen, dass es verschiedene Möglichkeiten gibt, das Ziel

der Lernergebnissicherung zu erreichen. Zum anderen scheint die Frage nach der Eignung zur Lernergebnissicherung eine Polarisierung der Lehrkräfte zu bewirken. Gleichzeitig ist diese Einschätzung aber im Zusammenhang mit der Analyse des Begriffsverständnisses zu relativieren, da abgeleitet werden kann, dass ein solches bisher nicht aufgebaut wurde. Vor diesem Hintergrund lässt sich daher festhalten, dass Lehrpersonen, die eine in einer Unterrichtsvignette skizzierte Situation nicht unter dem Begriff Lernergebnissicherung einordnen, diese Unterrichtsvignette schlecht bewerten. Die Vignetten Präsentation und Feedback werden im Mittel als besser geeignet zur Lernergebnissicherung beurteilt, da diese Ansätze für das Begriffsverständnis der Lernergebnissicherung bei den meisten Befragten eine wichtige Rolle spielen. Dem gegenüber erhalten die Unterrichtsvignetten Üben und Anwenden schlechtere Bewertungen, da Üben und Anwenden von gelernten Inhalten bei den meisten Lehrpersonen der Befragung nicht Teil des Verständnisses von Lernergebnissicherung darstellen.

Vor dem Hintergrund der breiten Streuung in Bezug auf die Bewertung und das Vorkommen der Unterrichtsvignetten sowie im Kontext dieser Einschätzungen ausgewählter Vignetten ist es interessant, dass Lernergebnissicherung von den Lehrkräften als „wichtiges Thema“ und als „großes Problem der Physik“ betitelt wird, was wiederum sowohl die Relevanz als auch den Nachholbedarf dieser Thematik herausstellt.

Abschließend soll hier eine kritische Beurteilung der Gütekriterien hinsichtlich der Objektivität, Reliabilität, Validität und Repräsentativität gegeben werden. Mittels einer selbsterklärenden schriftlichen Instruktion, die die Befragten zu Beginn des Fragebogens erhalten, ist die Objektivität der anonymisierten Online-Umfrage gewährleistet, indem kein persönlicher Kontakt zwischen den befragten Lehrpersonen und den Fragenden hergestellt wird.

Die Reliabilität der eingesetzten Skalen ist hingegen nicht streng prüfbar, da verschiedene Aspekte und Aktivitätsstrukturen der Lernergebnissicherung zwar durch Unterrichtsvignetten dargestellt und voneinander abgegrenzt, aber lediglich von nur jeweils einem Item erfasst werden. Um die Reliabilität zu erhöhen, wären mehrere Items zu den einzelnen Aspekten wünschenswert gewesen. Unter Betrachtung der durch die Fall-Vignetten bedingten Eindenkarbeit in konkrete Unterrichtsszenen mit persönlicher Einordnung bei gleichzeitig begrenzten zeitlichen Ressourcen der Befragten wurden mit Blick auf die Forschungsfrage weitere Items ausgeschlossen.

In Bezug auf die Repräsentativität der Stichprobe kann festgehalten werden, dass der größte Teil der Befragten in Rheinland-Pfalz unterrichtet. Die demographischen Daten (Alter, Geschlecht, Dienstalter) der Teilnehmer:innen zeugen dabei von Diversität. Lediglich die Zahl der ausgewerteten Befragungen ist

mit $N = 27$ als gering zu beurteilen, was die Repräsentativität der Stichprobe insgesamt wiederum einschränkt.

Anhand der von den Befragten gestellten Rückfragen wird erkennbar, dass diese nur eingeschränkt fähig waren, die Vorgehensweisen in den dargestellten Situationen unabhängig von den Inhalten zu betrachten oder gar zu bewerten. Daraus muss abgeleitet werden, dass die Validität der Untersuchung kritisch zu beurteilen ist. Gleichmaßen muss auch speziell die Bewertung der Befragten in Bezug auf die Eignung der Vignette Präsentation zur Lernergebnissicherung hinterfragt werden. Die Vorstellungen, was mit diesem Begriff gemeint ist, welche Situationen er einschließt und welche Ziele damit erreicht werden können, gehen weit auseinander. Hier wäre eine Ausschärfung bzw. eine Konkretisierung der Vignette notwendig, um zu eindeutigen Einschätzungen zu kommen und ein klareres Bild davon zu erhalten, ob und wie erfolgreich diese Form der Ergebnissicherung im Unterricht genutzt wird.

Allgemein stellt sich die Frage, inwieweit die abgefragte generelle didaktische Sichtweise unabhängig von der eigenen Praxis beurteilt werden kann. Dieser Aspekt ist mit der gewählten Befragung nicht vollständig zu klären. Möglicherweise hätte die systematische Kontrolle der Befragungsperspektiven (Was halte ich für geeignet? – Was wende ich an? bzw. Was wende ich an? – Was halte ich für geeignet?) dazu klarere Erkenntnisse gebracht.

Zusammenfassend kann konstatiert werden, dass hier ein Instrument erarbeitet wurde, über das ein erster tieferer Einblick in die Einschätzungen von Lehrpersonen und deren Verständnis von der Sicherungsphase im Physikunterricht gewonnen werden kann. Voraussetzung für einen vertieften Einsatz ist eine entsprechende Nachschärfung des angewendeten Verfahrens.

6. Literatur

- [1] Bönsch, Manfred (1996): Didaktisches Minimum: Prüfungsanforderungen für LehramtsstudentInnen. Studentexte für das Lehramt. Neuwied, Kriftel und Berlin: Luchterhand.
- [2] Meyer, Hilbert (1987): Praxisbuch Meyer: Unterrichtsmethoden II – Praxisband. 1. Auflage. Berlin: Cornelsen Verlag.
- [3] Meyer, Hilbert (2006, April): Guter Unterricht an guten Schulen? In CHEMKON: Forum für Unterricht und Didaktik (Vol. 13, No. 2, pp. 77-83). Weinheim: WILEY-VCH Verlag.
- [4] Schnurr, Stefan (2003): „Vignetten in quantitativen und qualitativen Forschungsdesigns“. In: Empirische Forschung und soziale Arbeit. Hrsg. von Hans-Uwe Otto, Gertrud Oelerich und Hein-Günter Micheel. München und Neuwied: Reinhardt und Luchterhand, S. 393–400.

Analyse des Kompetenzaufbaus zur Variablenkontrollstrategie mithilfe von Sankey-Diagrammen

Tobias Winkens*, Simon Goertz*, Heidrun Heinke*

*RWTH Aachen University

winkens@physik.rwth-aachen.de, goertz@physik.rwth-aachen.de, heinke@physik.rwth-aachen.de

Kurzfassung

Die Variablenkontrollstrategie (VKS) ist eine wichtige experimentelle Kompetenz im naturwissenschaftlichen Unterricht, die Schülerinnen und Schüler (SuS) in verschiedenen Lernsettings jedoch häufig falsch anwenden. Im Rahmen einer Design-Based Research Studie im Prä-Post-Design wurde unter anderem evaluiert, wie die Kompetenzen der SuS hinsichtlich der VKS im Schulunterricht verbessert werden können. Mit einem Testinstrument zur Kompetenzerfassung der VKS wurden entsprechende Daten aufgenommen. Als Intervention kamen zwei verschiedene Lernzirkel mit je 5 Stationen (= Modulen) zum Einsatz. Der eine Lernzirkel besteht aus Modulen zu verschiedenen experimentellen Kompetenzen, wobei nur eines den Schwerpunkt auf die VKS legt, während beim anderen Lernzirkel alle Module die Schwerpunktkompetenz VKS behandeln. Eine detaillierte Auswertung der erhobenen Daten kann durch die Nutzung von Sankey-Diagrammen realisiert werden. Mithilfe ihrer Hilfe kann das Antwortverhalten der SuS beim Testinstrument im Prä-Post-Vergleich insbesondere im Hinblick auf die beiden Lernzirkeltypen visualisiert und analysiert werden. Die resultierenden Erkenntnisse werden in diesem Beitrag vorgestellt.

1. Motivation

Konzeptionelle Probleme beim Verständnis der Variablenkontrollstrategie (VKS¹) sind keine Seltenheit. Trotz intensiver Beschäftigung mit der VKS zeigen SuS und zum Teil auch Erwachsene noch vielfältige Probleme (u.a. beim Ziehen von Schlussfolgerungen auf Basis konfundierter Experimente), die einen Bedarf an effektiveren Wegen zur Förderung der VKS bedingen (vgl. Barzel et al., 2012, S. 114; vgl. Chen und Klahr, 1999, S. 1098). Die Bedeutung der VKS als wichtige experimentelle Kompetenz für den gesamten experimentellen Prozess in den Naturwissenschaften begründet die Notwendigkeit, den SuS diese Kompetenz als Bestandteil einer naturwissenschaftlichen Grundbildung (Scientific Literacy) (vgl. Nerdel, 2017, S. 14–15) mithilfe effektiver Methoden zu vermitteln und durch gezielte Lerngelegenheiten deren (selbstständige) Aneignung zu fördern und zu fördern.

Der vorliegende Beitrag baut auf einer Studie von Goertz (vgl. Goertz, 2022) und den dort aufgenommenen Daten auf. Eine ergänzende Analyse der Daten des eingesetzten VKS-Testinstruments mithilfe von Sankey-Diagrammen bietet die Möglichkeit, ein tieferes Verständnis über den Kompetenzaufbau der VKS bei SuS zu erlangen. Aufbauend auf den gewonnenen Erkenntnissen können entsprechende Maßnahmen zur Förderung der VKS entwickelt und wiederum evaluiert werden, um die Vermittlung der VKS weiter zu verbessern.

2. Variablenkontrollstrategie

2.1. Experimentelle Kompetenz

Die VKS ist als „[d]ie experimentelle Erkenntnisermittlungsmethode“ (Hamann und Asshoff, 2015, S. 79) eine unverzichtbare Arbeitsweise in den Naturwissenschaften, um kausale Zusammenhänge bzw. Ursachen-Wirkungs-Beziehungen zu untersuchen und feststellen zu können (vgl. Schwichow und Nehring, 2018, S. 219). Die Anwendung der VKS ist dabei als Untersuchung eines prinzipiell möglichen Effekts der Messgröße (abhängige Variable) in Folge einer aktiven Manipulation eines ursächlichen Einflussfaktors (unabhängige Variable) charakterisiert (vgl. Schulz et al., 2012, S. 18). Im Gegensatz zu einem kontrollierten Experiment, das der VKS-Methode entspricht, ist ein konfundiertes Experiment dadurch charakterisiert, dass sich zwei Experimentalansätze in mehr als einer potenziell unabhängigen Variable unterscheiden (vgl. Schulz et al., 2012, S. 18).

Die Strategie der Variablenkontrolle muss dabei in Kombination mit einem Kontrollansatz eingesetzt werden. Denn nur bei Unterscheidung zweier Ansätze in lediglich einer Variablen oder einem Faktor, der sog. Testvariablen oder dem Testfaktor, können der Einfluss der Testvariablen beurteilt und Schlussfolgerungen zu dessen Bedeutung gezogen werden. Alle weiteren potenziellen Variablen müssen konstant gewählt werden (vgl. Ehmer, 2008, S. 11; vgl. Schulz et al., 2012, S. 18). Die VKS ist dabei bei der Planung von Experimenten relevant und notwendig,

¹ Teilweise wird in der Literatur auch die englische Abkürzung „CVS“ (für Control-of-Variables Strategy) verwendet.

aber auch für deren Durchführung und Auswertung (vgl. Ehmer, 2008, S. 12). Dieser Aspekt wird bei einer Unterteilung der VKS in die vier folgenden Teilfähigkeiten berücksichtigt (vgl. Schwichow und Nehring, 2018, S. 219; vgl. Schwichow et al., 2016, S. 217):

Dies sind die Fähigkeiten ...

- ... zur Planung kontrollierter Experimente (PL).
- ... zur gezielten Identifizierung kontrollierter Experimente aus einer Auswahl an kontrollierten und konfundierten Experimenten (ID).
- ... zur Interpretation der Befunde kontrollierter Experimente (IN).
- ... zum Verständnis der fehlenden Aussagekraft konfundierter Experimente (UN).

Diese Fähigkeiten sind Basis für die VKS-Test-Items, die in der Datenerhebung eingesetzt wurden und somit auch für die Auswertung mithilfe der Sankey-Diagramme. Beherrschen SuS diese Fähigkeiten und sind sie in der Lage auf ihrer Grundlage korrekte Schlussfolgerungen zu ziehen, besitzen sie nach Chen und Klahr „an essential skill in scientific reasoning“ (Chen und Klahr, 1999, S. 1098).

2.2. Schülervorstellungen und Schwierigkeiten

Beim Anwenden der VKS treten bei SuS unterschiedliche Schwierigkeiten auf, die von verschiedenen Autoren umfassend beschrieben wurden. SuS variieren häufig die Testvariablen nicht unter der Prämisse deren Zusammenhang zu untersuchen, sondern „den untersuchten Effekt herbeizuführen“ (vgl. Ehmer, 2008, S. 19). Das Phänomen oder den Vorgang zu erzeugen ist aus Sicht der SuS wichtiger, als den Einfluss einzelner Variablen zu untersuchen (vgl. Carey et al., 1989, S. 518). Bei dieser Vorstellung, dem sog. Ingenieurmodus (vgl. Hammann und Asshoff, 2015, S. 81), ergeben sich einige Probleme in experimentellen Situationen:

Eine Fehlvorstellung im Bereich der Planung von Experimenten liegt im fehlenden Kontrollansatz, da die SuS häufig dessen Notwendigkeit nicht erkennen und daher nur Testansätze machen, ohne dass ein Abgleich mit dem Kontrollansatz erfolgt (vgl. Carey et al., 1989, S. 518, vgl. Hammann et al., 2006, S. 292–293; vgl. Ehmer, 2008, S. 26). Gemäß diesem Prinzip können zwar Effekte etc. experimentell erzeugt und abgebildet werden, jedoch können keine kausalen Zusammenhänge im Sinne der VKS abgeleitet werden (vgl. Hammann et al., 2006, S. 292–293; vgl. Ehmer, 2008, S. 26). Ein weiteres Indiz für diese Arbeitsweise ist ein unsystematischer Umgang mit Variablen (vgl. Hammann und Asshoff, 2015, S. 81). Sie beachten und kontrollieren nicht, welche Variable die Testvariable ist und welche Variablen konstant gehalten werden müssen (vgl. Hammann et al., 2006, S. 293; vgl. Carey et al., 1989, S. 518; vgl. Ehmer, 2008, S. 26). Nach Carey et al. (1989) ist das unsystematische Vorgehen ein Indiz für ein „limited

understanding of the nature and purpose of experiments“ (S. 518). Das unsystematische Vorgehen kann dabei in drei verschiedene (kognitive) Strategien untergliedert werden. Bei der change all-Strategie (CA-Strategie) werden beim Experimentalansatz alle Variablen – sowohl die Testvariable als auch die weiteren unabhängigen Variablen – gegenüber dem Kontrollansatz verändert. (vgl. Tschirgi, 1980, S. 3; vgl. Ehmer, 2008, S. 26–27; vgl. Hammann et al., 2006, S. 294). Die HOTAT-Strategie (hold one thing at a time) ist eine zweite Variante des unsystematischen Umgangs mit Variablen. Bei der HOTAT-Strategie wird zwischen Kontroll- und Experimentalansatz nur die Testvariable konstant gehalten und alle anderen Variablen werden verändert (vgl. Tschirgi, 1980, S. 2; vgl. Ehmer, 2008, S. 27). Die dritte Strategie von SuS ist für die Planung und den Aufbau konfundierter Experimente relevant (vgl. Ehmer, 2008, S. 27–28; vgl. Schwichow, 2015, S. 5). Die Planung konfundierter Experimente ist darauf zurückzuführen, dass SuS nicht zwischen den Testvariablen unterscheiden oder „unterschiedliche Variablenausprägungen nicht wahrnehmen“ (Schwichow, 2015, S. 5). Außerdem folgern sie aus diesen konfundierten Settings nicht, dass aus solchen experimentellen Ansätzen keine verlässlichen Schlussfolgerungen zu Abhängigkeiten einzelner Variablen gezogen werden können (vgl. Hammann et al., 2006, S. 295–296).

3. Methodik der Analyse

3.1. Eingesetztes VKS-Testinstrument

Grundlage des eingesetzten VKS-Testinstruments war der von Schwichow entwickelte CVSI-Test (engl.: Control-of-Variables Strategy Inventory). Dieser ist ein paper-and-pencil Multiple-Choice Test, wobei bei jedem Item aus vier Antwortmöglichkeiten eine korrekte Antwort gewählt wird (vgl. Schwichow et al., 2016, S. 8). Die Items sind so konstruiert, dass sie dabei immer eine der vier Teilfähigkeiten der VKS (IN, ID, UN oder PL) erfassen. Hinsichtlich der Itemschwierigkeiten ist bezogen auf die VKS-Teilfähigkeiten nach Evaluation der Entwickler sowie nach weiteren Untersuchungen festzuhalten, dass Items der Typen ID und IN signifikant leichter sind als die Itemtypen PL und UN (vgl. Schwichow et al., 2016, S. 13–14; vgl. Brandenburger et al., 2020, S. 131–132; vgl. Brandenburger und Mikelskis-Seifert, 2019, S. 78–79). Für die hier durchgeführte Studie wurde ein Testinstrument aus insgesamt 11 Items (inhaltliche Kontexte: Elektromagnetismus, Wärmelehre und Leitung des Stroms) erstellt, die aus dem Pool des CVSI (in teils adaptierter Form) entnommen wurden (vgl. Goertz, 2022, S. 219–223). Dabei handelt es sich um je drei Items zum Typ IN, ID und UN sowie zwei zum Typ PL. Für einen zielgerichteten Einsatz in der Studie wurden die Testitems so „technisch zu Multiple-Choice- und Drag’N’Drop-Items adaptiert“ (vgl. Goertz, 2022, S. 219), dass das Testinstrument mit einem digitalen Endgerät bearbeitet werden kann.

3.2. Datenbasis

Die im Rahmen dieses Beitrags verwendeten Daten entstammen einer Design-Based Research Studie, in welcher der Untersuchungsschwerpunkt auf der Evaluation der Plattform FLexKom² (Fördern und Lernen experimenteller Kompetenzen) sowie der Wirksamkeit der entwickelten Module in Form zweier Lernzirkel lag (vgl. Goertz, 2022, S. 3–4 und S. 195). Diese zwei verschiedenen Lernzirkeltypen, jeweils bestehend aus 5 Modulen der Plattform FLexKom, wurden als Interventionen in der Studie eingesetzt. Während der eine Lernzirkel (nachfolgend mit Typ-A bezeichnet) verschiedene experimentelle Kompetenzschwerpunkte aus einem Inhaltsfeld (Elektrizitätslehre) besitzt, sind beim anderen Lernzirkel (nachfolgend mit Typ-B bezeichnet) bei immer dem gleichen experimentellen Kompetenzschwerpunkt (nämlich der VKS) die Inhaltsfelder verschieden.

An der Studie haben, wie Tab. 1 zu entnehmen ist, insgesamt N=443 SuS teilgenommen, die sich auf 15 Klassen aus 4 Schulen des Aachener Umlands aufteilen.

	Kl. 7	Kl. 8	Kl. 9	Gesamt
Anzahl Klassen	6	6	3	15
Anzahl SuS	146	216	81	443

Tab. 1: Übersicht über Stichprobengröße und Klassenaufteilung in der Studie. Das durchschnittliche Alter der Probanden lag bei 12,9 Jahren (52% weiblich, 40% männlich und 8% divers bzw. keine Angabe).

Alle Probanden haben in einem Prä-Test Teile des MeK-LSA-Tests zur Überprüfung allgemeiner experimenteller Kompetenzen (vgl. Theyßen et al., 2016) und das VKS-Testinstrument bearbeitet. Im Anschluss haben die Probanden im Klassenverbund in der Interventionsphase entweder den Typ-A-Lernzirkel oder den Typ-B-Lernzirkel bearbeitet. Gerahmt wurde die Durchführung der Lernzirkel durch eine Phase zur Motivation vor der Bearbeitung sowie eine Sicherungsphase nach der Durchführung (vgl. Goertz, 2022, S. 205–207). Im abschließenden Post-Test sind wiederum die beiden oben genannten Testinstrumente eingesetzt worden. Aus dieser Erhebung werden im Wesentlichen die für diesen Beitrag relevanten Daten zum Antwortverhalten der SuS aus dem VKS-Testinstrument für die Items vom Typ ID, IN und UN jeweils für die Zeitpunkte des Prä- und des Post-Tests verwendet. Die Daten für die Teilfähigkeit Planung kontrollierter Experimente (PL) konnten nicht im selben Format verarbeitet werden und wurden daher hier nicht berücksichtigt.

² Diese setzt sich als Ziel, experimentelle Kompetenzen im Physikunterricht explizit zu fördern. Genauere Informationen über die Plattform FLexKom sowie alle bisher entwickelten Module sind auf der Homepage des Schülerlabors Physik (SClphyLAB)

3.3. Sankey-Diagramme

Während das Antwortverhalten der SuS in Tests häufig nur dichotom als Zuordnung von „falsch“ oder „richtig“ betrachtet wird, ist das Kernelement der hier vorgestellten erweiterten Datenauswertung die detaillierte Analyse des Antwortwechselverhaltens der SuS bei den VKS-Test-Items unter Berücksichtigung aller verfügbaren Antwortoptionen. Hierbei kommen Sankey-Diagramme zum Einsatz, um u.a. die Antworthäufigkeiten und Antwortwechselströme darstellen zu können.

Die Namensbezeichnung des Sankey-Diagramms ist auf H. Riail Sankey zurückzuführen, der eine solche Darstellung erstmalig 1898 nutzte, um den Wärmefluss einer realen und einer idealisierten Dampfmaschine zu vergleichen (vgl. Schmidt, 2006, S. 7–9; vgl. Kennedy und Sankey, 1898, S. 313; vgl. Schmidt, 2008, S. 84). Infolgedessen finden sie vor allem in ingenieurwissenschaftlichen Bereichen, wie zur Darstellung des Energieflusses, Anwendung (vgl. Schmidt, 2006; vgl. Schmidt, 2008). Im Alltag werden Sankey-Diagramme bei der Analyse von Wahlergebnissen verwendet, um Wählerwanderungen zwischen den Parteien zu visualisieren (vgl. tagesschau, 2021).

Zur Erstellung eines Sankey-Diagramms gibt es keine festgelegten Regeln, jedoch nennt Schmidt sog. implizite Annahmen zur Erstellung von Sankey-Diagrammen (vgl. Schmidt, 2006, S. 25). Die folgenden sind auch im Zusammenhang mit dem Einsatz von Sankey-Diagrammen in einem fachdidaktischen Kontext relevant und sinnvoll:

- Es handelt sich um Mengengrößen, die auf eine Zeitperiode bezogen sind.
- Die Mengenskala mittels der Pfeilbreite ist proportional, d.h. die doppelte Menge wird durch einen doppelt so breiten Pfeil dargestellt.
- Es werden i.d.R. keine Bestandsgrößen berücksichtigt, sondern Ströme.

Im fachdidaktischen Bereich der Bildungs- bzw. Lehr-Lern-Forschung ist die Nutzung solcher Diagramme z.B. zur Analyse des Antwortwechselverhaltens bei Wissens- bzw. Kompetenztests wenig verbreitet. Es finden sich aber Beispiele zur Nutzung von Sankey-Diagrammen zur Visualisierung experimenteller Prozesse bei größeren Probandengruppen (vgl. Büsch, 2021, S. 145–154; vgl. Büsch und Heinke, 2018; vgl. Fraß und Heinke, 2017).

Im Rahmen dieses Beitrags wurden Sankey-Diagramme eingesetzt, um für die Daten der VKS-Test-Items mittels einer polytomen Codierung³ (gemäß Antwort A, B, C und D) der Antwortmöglichkeiten das Antwortwechselverhalten der SuS zwischen den

der RWTH Aachen University unter der folgenden Adresse zu finden: <https://www.sciphylab.de/flexkom> (Stand: 18.05.2022)

³ In der Studie von Goertz (2022) wurden die Daten des VKS-Testinstruments dichotom ausgewertet.

beiden Testzeitpunkten (Prä- und Post-Test) (persönlich) zu verfolgen und für die gesamte Probandenkohorte visuell darzustellen. Technisch umgesetzt wurde dies mit dem Programm R unter Nutzung der Funktion „sankeyNetwork“ aus dem Package „networkD3“.

3.4. Design der Test-Items

Wie bereits im Abschnitt 3.1 erwähnt, besteht jedes Item (der Typen ID, IN und UN) aus vier Antwortmöglichkeiten. Bevor die jeweils drei Fragen eines jeden Itemtyps zusammengefasst in Sankey-Diagrammen dargestellt werden, wurden alle Antwortoptionen hinsichtlich ihrer Struktur untersucht. Im Fokus stand dabei insbesondere die Frage, welcher (fehlerhaften) VKS-Strategie (s. Abschnitt 2.2) die angebotenen falschen Antwortoptionen entsprechen und die damit einhergehenden potenzielle Attraktivität der Antwortoptionen für die Lernenden. In dieser Analyse ist deutlich geworden, dass bei allen drei eingesetzten Items vom Typ IN die falschen Antwortmöglichkeiten als strukturgleich anzusehen sind. Deshalb können die Ergebnisse für alle verwendeten Items vom IN-Typ in einem Sankey-Diagramm zusammenfassend betrachtet werden. Dies gilt nicht für die jeweils drei eingesetzten Items des Typs ID und UN, deren Ergebnisse deshalb jeweils in getrennten Sankey-Diagrammen erfasst werden.

3.5. Verwendete Datenfilterungen

Für die Darstellung in Sankey-Diagrammen war es notwendig, die Daten zu verarbeiten und zu filtern. Konkret wurden dabei die folgenden Kriterien genutzt:

1. Teilnahme an Prä- und Post-Test: Da für die Erstellung eines Sankey-Diagramms die Daten von (mindestens) zwei Testzeitpunkten benötigt werden, wurden die Daten von SuS, die nur an einer der beiden Erhebungen teilgenommen haben, entfernt.
2. Teilnahme am Lernzirkel: Um auf die Forschungsfragen zum Einfluss der Intervention Bezug nehmen zu können, sind nur die SuS berücksichtigt worden, die am Lernzirkel teilgenommen haben.
3. Fehlende Antwort/technischer Fehler bei einzelnen Items: Einige SuS haben einzelne Fragen zu einem der beiden Testzeitpunkte nicht beantwortet. In Einzelfällen konnte aufgrund technischer Fehler die Antwort nicht gespeichert werden. Die betroffenen Probanden wurden ausschließlich für das betroffene Item, aus dem unter Punkt 1 genannten Grund, nicht berücksichtigt.

Die beschriebenen Filterroutinen führen dazu, dass die Stichprobengrößen bei den einzelnen Sankey-Diagrammen zu den Test-Items einerseits geringer sind als in Tab. 1 beschrieben und andererseits bei den verschiedenen Itemtypen variieren. Darüber hinaus

wurden die Daten in Bezug auf inhaltliche Fragestellungen weiteren Filterungen unterzogen. Dazu gehören die Unterscheidung der absolvierten Lernzirkeltypen Typ-A und Typ-B. Innerhalb dieser Aufteilung wurden wiederum das allgemeine sowie gesondert das VKS-spezifische Vorwissen berücksichtigt. Die Einordnung des Vorwissens erfolgt dabei auf der Basis der Prä-Test Ergebnisse. Beim VKS-spezifischen Vorwissen wird als Score die Anzahl der richtigen Antworten der Items des VKS-Tests herangezogen. Beim allgemeinen Vorwissen wird ein Gesamtscore aus der Summe des VKS-Scores und den Ergebnissen des MeK-LSA Testteils gebildet. Die Probanden aus dem unteren Drittel des VKS-Scores bzw. des Gesamtscores werden den jeweiligen Gruppen mit niedrigem Vorwissen und diejenigen aus dem oberen Drittel den Gruppen mit hohem Vorwissen zugeordnet (vgl. Goertz, 2022, S. 323). Einen weiteren Aspekt stellt die Berücksichtigung der verschiedenen Jahrgangsstufen 7 bis 9 dar.

4. Forschungsfragen

Mit der Analyse des Antwortwechselverhaltens bei den Items des VKS-Testinstruments sollen folgende Forschungsfragen beantwortet werden:

FF1: Inwiefern haben die Rahmenbedingungen/Voraussetzungen (allgemeines und VKS-spezifisches Vorwissen sowie Jahrgangsstufe) und Lernsettings (Lernzirkeltyp) einen Einfluss auf das Antwortwechselverhalten beim VKS-Testinstrument?

FF2: Inwiefern sind Unterschiede im Antwortwechselverhalten zwischen den einzelnen Teilfähigkeiten (Itemtypen IN, ID und UN) zu beobachten? Forschungsfrage 1 ist itemübergreifend formuliert und adressiert mögliche Einflüsse verschiedener Rahmenbedingungen und Lernsettings im Hinblick darauf, ob sie Veränderungen im Kompetenzaufbau der VKS auslösen oder unterstützen. Etwas spezifischer formuliert ist dagegen Forschungsfrage 2, da sie stärker auf die einzelnen Teilfähigkeiten der VKS (IN, ID und UN) fokussiert und ihren möglichen Einfluss thematisiert.

5. Analyse des Antwortwechselverhaltens mithilfe von Sankey-Diagrammen

Für die vier genannten Differenzierungsaspekte (Lernzirkeltyp, allgemeines und VKS-spezifisches Vorwissen sowie Jahrgangsstufe) wurden jeweils Sankey-Diagramme erstellt, sodass insgesamt eine Vielzahl an Diagrammen aus den Daten erzeugt wurden. Die drei IN-Items wurden bei jeder Filterung zusammenfassend dargestellt, während die drei ID- und UN-Items jeweils in eigenen Sankey-Diagrammen abgebildet wurden. Für eine bessere Übersichtlichkeit der Diagramme ist die jeweils richtige Antwortmöglichkeit in Form grüner Balken markiert, während die falschen Antwortmöglichkeiten grau gefärbt sind. Ähnlich verhält es sich hinsichtlich der Antwortwechselströme. Ein Antwortwechsel zwischen Prä-

und Post-Test von einer falschen hin zu einer richtigen Antwort sowie das Beibehalten der richtigen Antwort wird ebenfalls durch einen grünen Pfeil visualisiert. Ein nicht korrektes Wechselverhalten wird gräulich dargestellt.

In Abb. 1 sind beispielhaft zwei Sankey-Diagramme für das Beispiel eines UN-Items gegenübergestellt; einmal beim Typ-A-Lernzirkel (zur E-Lehre, linke Seite) und einmal beim Typ-B-Lernzirkel (zur VKS, rechte Seite). Dieser beispielhafte Vergleich zeigt zwei Aspekte deutlich, die generell beim Vergleich der Ergebnisse für die beiden Lernzirkel zu beobachten waren. Zum einen konnten bei ähnlichen Prä-Test-Ergebnissen im Post-Test beim Typ-B-Lernzirkel mehr richtige Antworten und damit insgesamt auch mehr richtige Antwortwechsel beobachtet werden. Dies bestätigt die grundsätzlich bessere Lernförderung des Lernzirkels vom Typ-B- gegenüber dem Typ-A-Lernzirkel, die bereits von Goertz nachgewiesen wurde (vgl. Goertz, 2022, S. 293-347). Zum anderen konnten mithilfe der Sankey-Diagramme aber auch zum Teil deutliche Unterschiede im Antwortwechselverhalten zwischen den beiden Lernzirkeltypen beobachtet werden, welche bei den UN-Fragen deutlich stärker ausfielen als bei den leichteren Items IN und ID (Genauerer bei der Diskussion der zweiten Forschungsfrage). Bei ähnlichen Prä-Test-Ergebnissen zeigt das Wechselverhalten für das UN-Item in Abb. 1, dass die falsche Antwort C im Post-Test für die SuS beim Typ-A-Lernzirkel deutlich attraktiver war als bei den SuS des Typ-B-Lernzirkels. Dabei handelt es sich um die Aussage, dass der Einfluss zweier Variablen gleichzeitig überprüfbar ist. Die unterschiedlich ausgeprägte Zustimmung der SuS zu dieser Aussage nach Durchlaufen der beiden Lernzirkel zeigt unmittelbar die deutlich höhere Lernwirksamkeit der Intervention mit dem Lernzirkel vom Typ-B beim Ausräumen der Verständnisschwierigkeiten zur fehlenden Aussagekraft konfundierter Experimente.

Hinsichtlich des Einflusses vom allgemeinen Vorwissen kann insbesondere bei den leichteren Items IN

und ID keine verlässliche Aussage darüber getroffen werden, ob ein niedriges oder hohes Vorwissen mit einer positiveren Kompetenzentwicklung korreliert. Dies liegt vor allem daran, dass die Ergebnisse von den Probanden mit hohem Vorwissen schon beim Prä-Test Deckeneffekte zeigen, die sich im Post-Test verstärken, so dass eine potentielle Verbesserung mithilfe des Testinstruments unabhängig vom Lernzirkeltyp nicht mehr zuverlässig registriert werden konnte. Beim schweren Itemtyp UN sind beim Typ-A-Lernzirkel kleine Unterschiede für Probanden mit niedrigem und hohem Vorwissen festgestellt worden, die auf eine bessere Förderung dieser VKS-Teilfähigkeit bei SuS mit niedrigem Vorwissen hindeuten. Die Unterschiede sind jedoch nicht statistisch signifikant, weshalb hierzu keine abschließende Aussage getroffen werden kann. Beim Typ-B-Lernzirkel, bei dem in allen fünf Stationen explizit VKS-Teilfähigkeiten gefördert werden, ist hingegen zu beobachten, dass statistisch signifikant mehr SuS mit einem hohen Vorwissen von falschen zu richtigen Antworten wechseln als SuS mit einem niedrigen Vorwissen. Konkret ist der Zuwachs bei der richtigen Antwort D zwischen den Testzeitpunkten bei zwei der drei analysierten UN-Items für die SuS mit hohem Vorwissen höher. Zudem kann die Vorstellung, den Einfluss zweier Variablen gleichzeitig überprüfen zu können (Antwortmöglichkeit C), bei SuS mit hohem Vorwissen im Vergleich deutlicher abgebaut werden.

Auch das spezifische Vorwissen im Bereich der VKS wurde als potentielle Einflussgröße auf das Antwortwechselverhalten untersucht. Bei der Analyse der Sankey-Diagramme wurden vergleichbare Ergebnisse wie beim allgemeinen Vorwissen gefunden. Die Daten zeigen, dass sich die Anzahl der Antwortwechsel von falschen zu richtigen Antworten zwischen den Gruppen mit hohem bzw. niedrigem allgemeinen und spezifischen Vorwissen bei beiden Lernzirkeltypen nicht statistisch signifikant unterscheidet.

Eine potentielle Jahrgangsstufenabhängigkeit des Antwortwechselverhaltens ist der letzte Untersu-

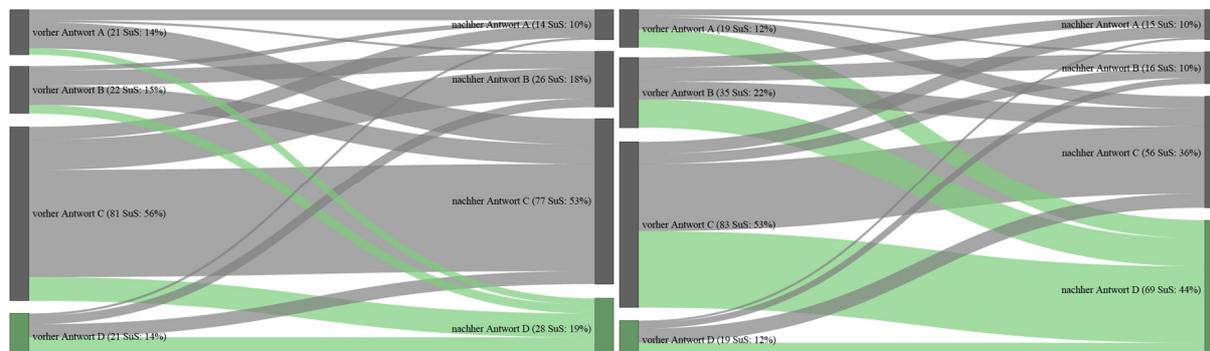


Abb. 1: Sankey-Diagramme zum Antwortverhalten der SuS im Vergleich des Prä- und Post-Tests zu einer UN-Frage im Kontext der Wärmelehre: links zum Typ-A-Lernzirkel (N=145) und rechts zum Typ-B-Lernzirkel (N=156). Bei dem Item sollte aus einem Experiment (bestehend aus zwei Experimentalansätzen á drei Variablen, die sich in zwei Variablen unterscheiden) geschlossen werden, welche Variable einen Einfluss hat. Die Antwortmöglichkeiten lauteten: Je eine einzelne Variable hat einen Einfluss (Antwort A und B), beide Variablen haben einen Einfluss (Antwort C) und es ist keine Aussage möglich (korrekte Antwort D).

chungsaspekt zur Beantwortung der Forschungsfrage 1. Während beim Itemtyp IN unabhängig vom Lernzirkeltyp kein jahrgangsstufenabhängiger Effekt beobachtet werden kann, weisen die Itemtypen ID und UN auf jeweils komplementäre Abhängigkeiten hin. Beim leichteren Typ ID sind Unterschiede, die auf eine bessere bzw. effektivere Förderung in niedrigeren Jahrgangsstufen hindeuten, bei beiden Lernzirkeltypen zu erkennen. Die Unterschiede hinsichtlich der Wechsel von falschen zu richtigen Antworten zwischen den einzelnen Jahrgangsstufen sind aber nicht statistisch signifikant. Dagegen wird beim Typ-B-Lernzirkel bei dem schwierigeren Item vom Typ UN teilweise eine Abhängigkeit von der Jahrgangsstufe beobachtet. Konkret steigt bei einem UN-Item (Frage 8) die Anzahl der Wechsel von falschen zu richtigen Antworten mit zunehmender Jahrgangsstufe. Die Unterschiede sind dort auch statistisch signifikant. Dass das richtige Wechselverhalten mit steigender Jahrgangsstufe ausgeprägter ist, scheint somit nur teilweise für einzelne Itemtypen, hier einzelne Items vom Typ UN, jedoch nicht im Allgemeinen belegt werden zu können.

Insgesamt kann die erste Forschungsfrage damit beantwortet werden. Der positive Effekt des Typ-B-Lernzirkel kann dabei allgemein hervorgehoben werden. Einflüsse auf das Antwortwechselverhalten vom Vorwissen sowie von der Jahrgangsstufe zeigen je nach Itemtyp unterschiedliche Abhängigkeiten, die jedoch keinem allgemeinen Trend folgen. Eine zusammenfassende Übersicht der diskutierten Einflüsse ist in Tab. 2 dargestellt.

Bereits bei der Beantwortung der Forschungsfrage 1 ist an verschiedenen Stellen Bezug auf ein unterschiedliches Antwortwechselverhalten in Abhängigkeit vom Itemtyp genommen worden, was in der Beantwortung der zweiten Forschungsfrage aufgegriffen wird. Grundlage der Argumentation sind vor allem die Sankey-Diagramme der Lernzirkelfilterung (Typ-A und Typ-B) und deren Vergleich für die Gesamtkohorte, da bei den anderen Differenzierungen potentielle Einflüsse auf das Antwortwechselverhalten auftreten können, die nicht direkt auf den Itemtyp zurückzuführen sind.

Grundsätzlich unterscheiden sich jeweils alle drei Itemtypen in dem beobachteten Antwortwechselverhalten. Die Wechselverhalten zwischen den Itemtypen IN und UN besitzen dabei Ähnlichkeiten, was auf das ähnliche Aufgabendesign der Items zurückzuführen

ren ist. Bei beiden Itemtypen lautet die Antwortmöglichkeit C, dass der Einfluss zweier Variablen gleichzeitig überprüft werden kann, und entspricht damit typischen Schwierigkeiten bei der Interpretation konfundierter Experimente und beim Verständnis ihrer mangelnden Aussagekraft. Bei beiden Itemtypen ist diese Auswahloption für die SuS im Vergleich zu den anderen Distraktoren vor allem im Post-Test deutlich attraktiver. Wie groß die Auswahlwahrscheinlichkeit der falschen Option C ausgeprägt ist, unterscheidet sich aber für beide Itemtypen. Die falsche Antwortoption C wird beim Typ UN im Vergleich zum Typ IN häufiger gewählt. Beim Typ ID sind die Auswahlwahrscheinlichkeiten der falschen Antworten hingegen relativ gleichmäßig verteilt.

Ähnlichkeiten beim Antwortwechselverhalten zwischen den Typen IN und ID sind vor allem bei den Sankey-Diagrammen beim Typ-B-Lernzirkel festzustellen. Hier werden grundsätzlich höhere Lösungswahrscheinlichkeiten bereits im Prä-Test gefunden, die mit Deckeneffekten verbunden sind. Folgerichtig stellt die richtige Antwort hier durchgängig auch die beliebteste Antwortoption dar. Im Gegensatz dazu zeigen die Sankey-Diagramme für die UN-Items ein auffallend ausgeprägteres Antwortwechselverhalten. Durch den höheren Schwierigkeitsgrad des Itemtyps gibt es neben einer vergleichsweise geringeren Zahl an Wechseln zur richtigen Antwort auch mehr Wechsel zu falschen Antworten als bei den IN- und ID-Items. Dies ist vermutlich auf eine höhere Ratewahrscheinlichkeit beim schwierigeren Itemtyp UN zurückzuführen. Dass bei allen drei UN-Items eine signifikant höhere Anzahl an Wechseln von falschen zu richtigen Antworten beim Typ-B- gegenüber dem Typ-A-Lernzirkel festgestellt wurde, zeigt, dass der Typ-B-Lernzirkel SuS bei der Überwindung von typischen Fehlvorstellungen zur VKS effektiv unterstützen kann.

Zusammenfassend kann die Forschungsfrage 2 damit beantwortet werden, dass sich das Antwortwechselverhalten für die verschiedenen Itemtypen unterscheidet. Die Unterschiede treten vor allem im Hinblick auf die Attraktivität der Antwortmöglichkeiten auf, die allerdings itemübergreifend von typischen Fehlvorstellungen zur VKS geprägt wird. Zusätzlich ist aber auch festzuhalten, dass SuS zum Erlernen der Teilfähigkeiten IN und ID keine ausschließliche Förderung der VKS benötigen, da sie diese Teilfähigkeiten auch beim Absolvieren des Typ-A-Lernzirkels weiterentwickeln konnten. Die Teilfähigkeit UN hin-

Teilfähigkeit der VKS	Typ-A-Lernzirkel	Typ-B-Lernzirkel			
	Gesamtkohorte	Gesamtkohorte	höhere Jgst.	hohes allgemeines VW	hohes VKS-spezifisches VW
ID	x	x			
IN	x	x			
UN		x	x	x	x

Tab. 2: Übersicht über die wesentlichen Einflüsse auf eine positive Kompetenzentwicklung der VKS, die bei der Analyse mithilfe von Sankey-Diagrammen festgestellt werden konnten. VW steht für Vorwissen und Jgst. für Jahrgangsstufe.

gegen benötigt eine umfassende und fokussierte Förderung wie beim Typ-B-Lernzirkel, um von SuS erlernt bzw. weiterentwickelt werden zu können.

6. Fazit zum Einsatz von Sankey-Diagrammen

An dieser Stelle soll ein kurzes Fazit mit Bezug auf Vor- und Nachteile gezogen werden, die der Einsatz von Sankey-Diagrammen zur Datenauswertung mit sich bringt.

Ein großer Vorteil ist, dass ein einzelnes Diagramm einen sehr hohen Informationsgehalt besitzt. In Bezug auf diesen Beitrag können so nicht nur die Häufigkeiten der einzelnen Antwortmöglichkeiten zu beiden Testzeitpunkten gleichzeitig dargestellt werden, sondern darüber hinaus auch das Wechselverhalten. Dadurch ist schnell ersichtlich, zwischen welchen Antwortmöglichkeiten die SuS hin und her wechseln. Die daraus resultierenden Schlussfolgerungen geben einen besseren Einblick, was z.B. durch eine Intervention ausgelöst wurde, als dies bei einer dichotomen Auswertung der Daten möglich ist. Dies gilt insbesondere, weil Sankey-Diagramme eine personenscharfe Rückverfolgung ermöglichen und somit z.B. auch Wechsel von richtigen Antworten im Prä-Test zu falschen Antwortoptionen im Post-Test sichtbar machen. Einen weiteren Vorteil des Sankey-Diagramms bietet die grafische Darstellungsform an. Trotz vieler Informationen ist sie sehr übersichtlich und anschaulich. Begründet ist dies durch die Tatsache, dass die Pfeilbreiten die Änderungsverhältnisse (hier die Antwortwechsel) visuell direkt abbilden können (vgl. Millar, 2005, S. 15).

Der hohe Informationsgehalt jedes einzelnen Sankey-Diagramms bedingt, dass die Analyse bzw. der Vergleich mehrerer Diagramme nur eingeschränkt möglich ist. Dies liegt daran, dass die aus den Diagrammen zu entnehmenden Informationen für einen Vergleich eines Untersuchungsaspekts zum Teil nochmal separat aufbereitet (z.B. in Tabellen) oder in einer anderen Form visualisiert werden müssen, um eine tiefergehende Analyse zu ermöglichen.

7. Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Beitrag wurden Daten eines VKS-Testinstruments, die in einer Studie mit 443 SuS der Jahrgangsstufen 7 bis 9 (vgl. Goertz, 2022) erhoben und dichotom ausgewertet wurden, polytom analysiert. Um insbesondere das Antwortwechselverhalten erfassen und darstellen zu können, wurden dazu Sankey-Diagramme eingesetzt. Dabei konnte bei der Beantwortung der Forschungsfragen gezeigt werden, dass verschiedene Rahmenbedingungen und Voraussetzungen zum Teil unterschiedliche Einflüsse auf den Kompetenzaufbau und die Entwicklung der VKS bei SuS in der Mittelstufe haben. Ein VKS-Schwerpunktlernzirkel zeigt eine positive Entwicklung für leichte und schwere Teilfähigkeiten der VKS, während ein Lernzirkel, der verschiedene experimentelle Kompetenzen adressiert, lediglich bei

leichteren VKS-Teilfähigkeiten eine Kompetenzentwicklung ermöglicht. Das Vorwissen der SuS korreliert nur beim schwereren Itemtyp UN mit der Kompetenzentwicklung, da bei diesem Typ mehr SuS mit einem hohen Vorwissen im Prä-Post-Vergleich zur richtigen Antwort wechseln als unter SuS mit niedrigem Vorwissen. Unterschiede zwischen dem allgemeinen und VKS-spezifischem Vorwissen konnten nicht beobachtet werden. Eine jahrgangsstufenabhängige Entwicklung zugunsten der älteren SuS konnte ebenfalls nur im Rahmen der schwereren Teilfähigkeit UN beobachtet werden. Dazu muss aber erwähnt werden, dass die Daten der leichteren Items (IN und ID) durch Deckeneffekte nur eingeschränkte Aussagekraft haben.

Der Einsatz von Sankey-Diagrammen zur Analyse der Daten hat einerseits gezeigt, dass diese einen gezielteren Aufschluss darüber geben können, was während einer Lern-/Erarbeitungsphase im Hinblick auf eine konzeptionelle Veränderung passiert. Jedoch hat sich auch gezeigt, dass ein Vergleich vieler Sankey-Diagramme nur bedingt möglich ist.

Der Beitrag zeigt, dass es im Bereich der VKS noch Potential gibt, den Kompetenzerwerb genauer zu verstehen, was mit Sankey-Diagrammen grundsätzlich visuell gut umsetzbar ist. Im Rahmen weiterer Untersuchungen können verschiedenen Möglichkeiten verfolgt werden, um das Verständnis hinsichtlich der Kompetenzentwicklung der VKS bei SuS zu verbessern. Diese umfassen u.a. eine Weiterentwicklung des VKS-Testinstruments im Hinblick auf ein vergleichbares Aufgabendesign der einzelnen Items, um zusammenfassende Darstellungen aller Itemtypen in Sankey-Diagrammen zu ermöglichen. Aufbauend darauf kann das Testinstrument hin zu einem adaptiven bzw. interaktiven Design erweitert werden.

8. Literaturverzeichnis

- Barzel, Bärbel, Bernd Reinoffer und Marcus Schrenk (2012). „Das Experimentieren im Unterricht“. In: Experimentieren im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht – Schüler lernen wissenschaftlich denken und arbeiten. Hrsg. von Werner Rieß, Markus A. Wirtz, Bärbel Barzel und Andreas Schulz. Münster: Waxmann Verlag, S. 103–127.
- Brandenburger, Martina und Silke Mikelskis-Seifert (2019). „Facetten experimenteller Kompetenz in den Naturwissenschaften“. In: Naturwissenschaftliche Bildung als Grundlage für berufliche und gesellschaftliche Teilhabe. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Kiel 2018. Hrsg. von Christian Maurer, S. 77–80.
- Brandenburger, Martina, Silke Mikelskis-Seifert, Martin Schwichow und Jens Wilbers (2020). „Variablenkontrollstrategien in der Grundschule“. In: Naturwissenschaftliche Kompetenzen in der Gesellschaft von morgen. Gesellschaft

- für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Wien 2019. Hrsg. von Sebastian Habig, S. 130–133.
- Büsch, Leonard und Heinke, Heidrun (2018). Experimentelle Handlungsabläufe sichtbar machen! Methoden & Ergebnisse. In: C. Maurer (Hrsg.), *Qualitätvoller Chemie- und Physikunterricht – normative und empirische Dimensionen*. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Regensburg 2017, S. 364–367.
- Büsch, Leonard (April 2021). „Entwicklung und Einsatz von neuartigen Methoden zur Erfassung und Analyse experimenteller Prozesse“. Diss. Aachen: RWTH Aachen University.
- Carey, Susan, Risa Evans, Maya Honda, Eileen Jay und Christopher Unger (1989). „An experiment is when you try it and see if it works: A study of grade 7 students understanding of the construction of scientific knowledge“. In: *International Journal of Science Education* 11 (special issue), S. 514–529.
- Chen, Zhe und David Klahr (1999). „All Other Things Being Equal: Acquisition and Transfer of the Control of Variables Strategy“. In: *Child Development* 70(5), S. 1098–1120.
- Ehmer, Maïke (Mai 2008). „Förderung von kognitiven Fähigkeiten beim Experimentieren im Biologieunterricht der 6. Klasse: Eine Untersuchung zur Wirksamkeit von methodischem, epistemologischem und negativem Wissen“. Diss. Kiel: Christian-Albrecht-Universität.
- Fraß, Stephan und Heinke, Heidrun (2017). Auf der Suche nach Strategien bei der Manipulation von Experimenten. In: C. Maurer (Hrsg.), *Implementation fachdidaktischer Innovation im Spiegel von Forschung und Praxis*. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Zürich 2016, S. 312–315.
- Goertz, Simon (2022, in Druck). *Module und Lernzirkel der Plattform FLexKom zur Förderung experimenteller Kompetenzen in der Schulpraxis - Verlauf und Ergebnisse einer Design-Based Research Studie*. Berlin: Logos Verlag Berlin GmbH.
- Hammann, Marcus und Roman Asshoff (2015). *Schülervorstellungen im Biologieunterricht - Ursachen für Lernschwierigkeiten*. 2. Auflage. Seelze: Klett Kallmeyer.
- Hammann, Marcus, T. T. H. Phan, M. Ehmer und H. Bayrhuber (2006). „Fehlerfrei Experimentieren“. In: *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht (MNU)* 59(5), S. 292–299.
- Kennedy, Alex B. W. und H. Riall Sankey (1898). „The Thermal Efficiency of Steam Engines. Report of the Committee Appointed to the Council Upon the Subject of the Definition of a Standard or Standards of Thermal Efficiency for Steam Engines: With an Introductory Note“. In: *Minutes of the Proceedings of the Institution of Civil Engineers* 134(4), S. 278–312.
- Millar, Robin (2005). *Teaching about energy*. York: University of York, Department of Educational Studies.
- Nerdel, Claudia (2017). *Grundlagen der Naturwissenschaftsdidaktik – Kompetenzorientiert und aufgabenbasiert für Schule und Hochschule*. Berlin: Springer-Verlag.
- Schmidt, Mario (2006). „Der Einsatz von Sankey-Diagrammen im Stoffstrommanagement“. In: Hrsg. von Ansgar Häfner, Karl-Heinz Rau und Christa Wehner. *Beiträge der Hochschule Pforzheim* (No. 124). Pforzheim: Hochschule Pforzheim.
- Schmidt, Mario (2008). „The Sankey Diagram in Energy and Material Flow Management: Part I: History“. In: *Journal of Industrial Ecology* 12(1), S. 82–94.
- Schulz, Andreas, Markus Wirtz und Erich Staraschek (2012). „Das Experiment in den Naturwissenschaften“. In: *Experimentieren im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht - Schüler lernen wissenschaftlich denken und arbeiten*. Hrsg. von Werner Rieß, Markus A. Wirtz, Bärbel Barzel und Andreas Schulz. Münster: Waxmann Verlag, S. 15–38.
- Schwichow, Martin (Oktober 2015). „Förderung der Variablen-Kontroll-Strategie im Physikunterricht“. Diss. Kiel: Christian-Albrecht-Universität.
- Schwichow, Martin, Simon Christoph, William J. Boone und Hendrik Härtig (2016). „The impact of sub-skills and item content on students' skills with regard to the control-of variables strategy“. In: *International Journal of Science Education* 38(2), S. 216–237.
- Schwichow, Martin und Andreas Nehring (2018). „Variablenkontrolle beim Experimentieren in Biologie, Chemie und Physik: Höhere Kompetenzausprägungen bei der Anwendung der Variablenkontrollstrategie durch höheres Fachwissen? Empirische Belege aus zwei Studien“. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 24, S. 217–233.
- tagesschau (27. September 2021). *Wie die Wähler wanderten*. <https://www.tagesschau.de/inland/btw21/waehlerwanderung-bundestagswahl-103.html>. Abgerufen am 20.01.2022.
- Theyßen, Heike, Horst Schecker, Knut Neumann, Bodo Eickhorst und Martin Dickmann (2016). „Messung experimenteller Kompetenz - ein computergestützter Experimentierertest“. In: *Physik und Didaktik in Schule und Hochschule (PhyDid-A)* 15(1), S. 26–48.
- Tschirgi, Judith E. (1980). „Sensible reasoning: A hypothesis about hypotheses“. In: *Child Development* 51(1), S. 1–10.

Der didaktische Nutzen von Feynman-Diagrammen

Merten Dahlkemper^{*+}, Pascal Klein⁺, Andreas Müller[°], Sascha Schmeling^{*}, Jeff Wiener^{*}

^{*} CERN, Esplanade des Particules 1, CH-1211 Genève 23, Schweiz,

⁺ Fakultät für Physik, Abteilung Didaktik der Physik, Universität Göttingen, Friedrich-Hund-Platz 1, 37077 Göttingen,

[°] Faculty of Science/Physics Section IUFE, Universität Genf, Pavillon Mail, Boulevard du Pont d'Arve 40, CH-1211 Genève 4, Schweiz

merten.dahlkemper@cern.ch

Kurzfassung

Feynman-Diagramme sind eine der populärsten Darstellungsformen in der Teilchenphysik. Bislang gibt es jedoch noch kaum Untersuchungen aus der Physikdidaktik zu ihrem Nutzen. In diesem Forschungsprojekt wurde deshalb untersucht, welche Nutzen Feynman-Diagramme für Oberstufenschüler:innen haben. Um diese Frage zu beantworten, wurden Interviews mit 4 Experten im Bereich der Teilchenphysikdidaktik und Wissenschaftsphilosophie durchgeführt, um nach Herausforderungen, Möglichkeiten und möglichen Konzepten zu suchen. Als Herausforderungen wurde das unbeabsichtigte Induzieren möglicher Fehlkonzepte sowie die zu oberflächliche Behandlung im Physikunterricht gefunden. Als zentrale Konzepte wurden Ladungserhaltung, Austauschteilchen und die Superposition von Prozessen gefunden. Als Möglichkeiten wurden von den Experten der Anreiz zur Auseinandersetzung mit Wissenschaft sowie die mögliche Verknüpfung von Teilchenphysik mit anderen Themen aus der Schulphysik genannt. Die Ergebnisse wurden verwendet, um mögliche Lernziele für eine multimediale Lernumgebung zum Thema Feynman-Diagramme zu definieren.

1. Einleitung

1.1. Motivation und Kontext

Teilchenphysik spielt in immer mehr Physikcurricula rund um die Welt eine Rolle. Häufig werden dabei auch Feynman-Diagramme thematisiert, die als eine der am weitesten verbreiteten Darstellungen in der Teilchenphysik unweigerlich auch interessierten Schüler:innen begegnen. Die vorliegende Studie ist Teil eines Design-Based-Research-Projektes, in dem es darum geht, diese Darstellungsform zu nutzen, um anhand von ihr Konzepte in der Elementarteilchenphysik an Oberstufenschüler:innen (14-18 Jahre) zu vermitteln.

Bisher gibt es kaum systematische Untersuchungen dazu, wie Feynman-Diagramme für die Didaktik der Teilchenphysik von Nutzen sein können. Dies herauszufinden ist das Ziel der vorliegenden Studie.

1.2. Feynman-Diagramme

Feynman-Diagramme [1] wurden erstmals von Richard Feynman auf einer Konferenz im Frühjahr 1948 öffentlich vorgestellt [2]. Seitdem sind sie in vielen Bereichen der theoretischen Physik, vor allem aber in der Quantenfeldtheorie und damit der Teilchenphysik, zu einem weit verbreiteten grafischen Hilfsmittel geworden. Tatsächlich werden sie hauptsächlich als "Buchhaltungswerkzeug" bei der störungstheoretischen Berechnung von Prozessen in der Teilchenphysik verwendet [2].

Die Diagramme werden jedoch mittlerweile nicht nur in wissenschaftlichen, sondern auch in populärwissenschaftlichen Publikationen und teilweise in Lehr-Lern-Materialien für den Schulunterricht verwendet

(z. B. [3]). Hier werden sie meist als (vermeintlich) anschauliche Darstellung teilchenphysikalischer Prozesse verwendet. Passon et al. [4], [5] weisen in diesem Zusammenhang auf verschiedene mit Feynman-Diagrammen verbundene Vorstellungen hin, die so nicht haltbar sind. So ist zum Beispiel jede Lesart, in der Teilchen eine Flugbahn in Raum und Zeit zugeordnet wird, physikalisch unsinnig. Verschiedene Physiker:innen und Physikdidaktiker:innen haben versucht, didaktische Einführungen in die Feynman-Diagramme zu geben. Pascolini & Pietroni [6] stellten die Diagramme als "akkurate Metaphern" vor und versuchten, den Lernenden die den Feynman-Diagrammen zugrunde liegenden Regeln anhand eines mechanischen Modells zu vermitteln. Dieser Ansatz wurde in einem reinen Post-Test-Design empirisch untersucht, und es wurde ein positiver Einfluss auf das Lernen festgestellt.

Im Allgemeinen unterscheiden sich die Erklärungen darin, wie viel Wert auf eine "wörtliche Lesart" gelegt wird. In einigen Texten werden die Feynman-Diagramme als Raum-Zeit-Diagramme eingeführt [7], während in anderen die einzelnen fundamentalen Vertices erklärt und mit mathematischen Begriffen verknüpft werden [8]. Wieder andere Texte beschreiben Feynman-Diagramme als Beitrag zu einer Wahrscheinlichkeitsamplitude und adressieren auf diese Art das Problem der zu wörtlichen Lesart [5], [9], [10].

Hoekzema et al. [11] verfolgen einen anderen Ansatz. In ihrem Text arbeiten sie mit einer reduzierten Form von Feynman-Diagrammen, die sie "Reaktionsdia-

gramme" nennen, um Erhaltungssätze und Symmetrien in der Teilchenphysik zu erklären. Der Text wurde in Schulen eingesetzt und erhielt positive Rückmeldungen von Lehrkräften. Insbesondere wurde der Ansatz mit der reduzierten Form der Feynman-Diagramme als verständlicher beurteilt als ein früherer Text mit herkömmlichen Feynman-Diagrammen.

1.3. Forschungsfragen

Obwohl es wie oben beschrieben viele Versuche gab, Feynman-Diagramme didaktisch einzusetzen, wurde bislang nicht systematisch untersucht, welchen didaktischen Zwecken diese Darstellungsform in der Teilchenphysik und darüber hinaus dienen könnten. Im Rahmen des eingangs erwähnten Design-Based-Research-Projektes ergibt sich die folgende Forschungsfrage:

Welchen kognitiven und affektiven Nutzen können Feynman-Diagramme haben, wenn man sie mit Oberstufenschüler:innen verwendet?

2. Methoden

Um die oben genannte Forschungsfrage zu beantworten, wurden Interviews mit Experten [12] im Bereich der Physikdidaktik mit Schwerpunkt Teilchenphysik aus dem deutschsprachigen Raum durchgeführt.

2.1. Auswahl der Experten

Als Experten wurden zunächst drei Wissenschaftler von zwei deutschen Universitäten ausgewählt, deren Physikdidaktik-Arbeitsgruppen einen ausgewiesenen Schwerpunkt in der Vermittlung von Elementarteilchenphysik an Oberstufenschüler:innen haben. Alle drei Experten haben einen Studienhintergrund in Elementarteilchenphysik. Zwei der Experten sind Forschende in der Physikdidaktik, einer in der Teilchenphysik. Alle drei haben mehrere Jahre Erfahrung in der Vermittlung von Elementarteilchenphysik an Oberstufenschüler:innen, entweder in der Schule oder in extracurricularen Aktivitäten.

Nach der Durchführung der Interviews und Diskussion der Ergebnisse im Autorenteam wurde deutlich, dass die epistemologische Fragestellung über den Zusammenhang zwischen Feynman-Diagrammen und Realität nicht eindeutig aufgelöst werden konnte. Aus diesem Grund wurde ein weiteres Interview mit einem Wissenschaftsphilosophen durchgeführt. Dieser verfügt über eine ausgewiesene Expertise im Bereich von philosophischen Aspekten der modernen Physik.

2.2. Durchführung der Interviews

Die Interviews wurden semistrukturiert durchgeführt, d.h. der Interviewer, in diesem Fall der Erstautor, hatte einen Interviewleitfaden, von dem abgewichen werden konnte, sofern es für die Antwort angemessen erschien.

Der Interviewleitfaden wurde um zwei Leitfragen herum konstruiert, welche sich wiederum aus der Forschungsfrage ableiten. Diese lauteten:

- 1) Welche Herausforderungen und möglichen Lernschwierigkeiten sind damit verbunden, Feynman-Diagramme für Oberstufenschüler:innen zu unterrichten?
- 2) Welche Möglichkeiten für den Physikunterricht in der Oberstufe ergeben sich aus der Verwendung von Feynman-Diagrammen?

Der Interviewleitfaden bestand aus insgesamt 12 Fragen, die in drei Abschnitte aufgeteilt wurden: Im ersten Abschnitt sollten die Experten beschreiben, was Feynman-Diagramme sind, im zweiten Abschnitt mögliche Lernschwierigkeiten beschreiben und im dritten Möglichkeiten aufzeigen, die Feynman-Diagramme für den Physikunterricht mit sich bringen.

Somit zielte der zweite Abschnitt primär auf die Beantwortung der ersten Leitfrage und der dritte Abschnitt auf die zweite Leitfrage ab. Der erste Abschnitt zielte darauf ab, mögliche Erklärungsmuster für Oberstufenschüler:innen zu generieren. Aufgrund der Natur des semistrukturierten Interviews wurde den Experten bei der Beantwortung der Fragen ein gewisser Freiraum gelassen, sodass Antworten auf die beiden Leitfragen auch im jeweils anderen Teil gegeben wurden.

Besonders wurde darauf geachtet, dass die Experten bei der Beantwortung der Fragen die Eignung für die Zielgruppe im Blick behielten. So wurde zum Beispiel im ersten Abschnitt explizit nach einer Erklärung für 17-jährige Oberstufenschüler:innen gefragt.

Für das vierte Interview wurde der Interviewleitfaden entsprechend der mit ihm verbundenen Fragestellung sowie der Expertise des Experten angepasst. Der Leitfaden wurde um 11 Fragen erweitert. Um die Vergleichbarkeit zwischen den Interviews zu gewährleisten, wurden aus dem ersten Leitfaden 5 Fragen übernommen. Der neue Leitfaden bestand aus insgesamt vier Abschnitten. Im ersten Abschnitt wurde eine gemeinsame Sprache rund um die im Interview verwendeten Begriffe wie Realität, Modell oder Theorie gefunden, im zweiten Teil wurde der Zusammenhang zwischen Modellen und Realität erörtert. Der dritte Abschnitt bestand aus den Fragen rund um Feynman-Diagramme aus dem ersten Leitfaden. Der vierte Abschnitt behandelte den Nutzen moderner Physik und wissenschaftsphilosophischer Aspekte in der Schule.

Die Interviews wurden durch den Erstautor in deutscher Sprache über eine Videokonferenzsoftware in Ton und Bild durchgeführt und aufgezeichnet. Die Audioaufnahmen wurden anschließend manuell sowie unter Zuhilfenahme einer Spracherkennungssoftware transkribiert.

2.3. Analyse der Interviews

Die Transkripte der Interviews wurden mittels thematischer Analyse ausgewertet [13]. Das Codierschema für die Analyse wurde induktiv erstellt, wobei jedoch die o.g. Leitfragen als Gerüst dienten, mit deren Hilfe das Schema erstellt wurde. Die Transkripte wurden also einerseits auf Herausforderungen, andererseits

auf Möglichkeiten hin untersucht, die Feynman-Diagramme im Gebrauch mit Oberstufenschüler:innen bieten. Zusätzlich wurden die Textstellen kodiert, in denen explizit Konzepte erwähnt wurden, die mit Feynman-Diagrammen verbunden sind.

In einem ersten Codierdurchgang wurden ca. 30% der Transkripte codiert. Das heißt, einzelnen Textstellen wurden Codes mit vorläufigen Code-Beschreibungen zugeordnet, die ihren Inhalt im Hinblick auf die drei o.g. Kategorien beschrieben. Die Codes wurden direkt einer der drei Kategorien zugeordnet. Nach dem ersten Codierdurchgang wurde das Codierschema zwischen den Autoren diskutiert und überarbeitet. Basierend auf dem überarbeiteten Codierschema wurde der volle Text codiert, wobei noch Codes hinzugefügt wurden. Anschließend wurden die Codes innerhalb der Kategorien in übergeordnete Themen und Sub-Themen zusammengefasst. Die Codes und Themen wurden anschließend ein weiteres Mal überarbeitet, wobei Themen und Codes umbenannt wurden und eine finale Beschreibung erhielten. Die Kategorien, Themen und Codes wurden anschließend zusammen mit allen Code-Beschreibungen in einem Coding-Handbuch zusammengefasst.

3. Ergebnisse

Die Interviews dauerten jeweils 63, 81, 37 und 81 Minuten. In den Transkripten wurden insgesamt 327 Textstellen in 71 Codes codiert.

Insgesamt konnten die Codes acht Themen zugeordnet werden, die wiederum per Konstruktion den drei Kategorien *Herausforderungen*, *Möglichkeiten* und *Konzepte* zugeordnet waren. Bei den Herausforderungen war die unbeabsichtigte Induzierung von Allob-Vorstellungen über Teilchenphysik das prominenteste Thema, daneben wurden Herausforderungen genannt, die insbesondere die Behandlung von Feynman-Diagrammen im Schulunterricht betreffen. Unter den Möglichkeiten wurden im Wesentlichen zwei Themen diskutiert: Einerseits die Möglichkeit, anhand der Diagramme sich mit Wissenschaft im Allgemeinen auseinanderzusetzen und andererseits die Möglichkeit, über die Feynman-Diagramme eine Verbindung zu anderen Themen der Schulphysik herzustellen. Die in den Interviews erwähnten Konzepte wiederum lassen sich unterteilen in Ladung und Ladungserhaltung, Superposition von Prozessen sowie Austauschteilchen. Im Folgenden werden die gefundenen Themen kurz genauer beschrieben.

Die Experten werden im Folgenden mit E1, E2 und E3 bezeichnet.

3.1. Herausforderungen

3.1.1. Beförderung von Fehlvorstellungen über Teilchenphysik

Die Experten diskutierten einige Quellen für Fehlvorstellungen, die aus den Feynman-Diagrammen herühren. Eine wichtige Quelle für den Ursprung dieser Fehlvorstellungen ist die Verwendung von Feynman-Diagrammen im Alltag von Wissenschaftler:innen.

E1 beschreibt diesen Umstand, dass „der Umgang mit Feynman-Diagrammen immer in eine Praxis eingebettet“ und „das Reden über Feynman-Diagramme ... einfach der Jargon“ sei. Für Schüler:innen hingegen seien „diese Diagramme ... einfach pures Gift“.

Insbesondere verweist E1 darauf, dass Feynman-Diagramme „vorgeblich Geschichten davon was passiert“ erzählen würden. Jedoch solle diese „Form von Anschaulichkeit im Sinne von raumzeitlicher Einbettung“ vermieden werden. Jedoch verweist E3 darauf, dass ihm „auch bei Lehrkräften aufgefallen“ sei, dass sie „versuchen, aus [der] Geometrie Information abzulesen über die Bewegung ... der beteiligten Teilchen“. Auch E2 stellt klar, dass die Interpretation eines Feynman-Diagramms als Orts-Zeit-Diagramm „nur hier ne Krücke“ sei, denn es könne „gar kein richtiges Orts-Zeit-Diagramm sein“, da es „in der Quantenmechanik ja gar keinen Bahnbegriff“ gebe. Weiter führt E2 aus, dass ein Feynman-Diagramm „schon gar nicht ein Abbild eines Prozesses in dem Sinn“ sei, sondern „eine quantenmechanische Amplitude“. E1 erweitert diesen Punkt, indem er betont, dass die Quantenfeldtheorie, also die der Elementarteilchenphysik zugrunde liegende Theorie, „nicht weniger seltsam“ sei als die Quantenmechanik und die „Form von Anschaulichkeit“, die durch die Feynman-Diagramme suggerierten, „unsere modernen Theorien nicht [bieten]“ würden.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Experten darauf hinweisen, dass in Feynman-Diagrammen Information enkodiert ist, die Wissenschaftler:innen im täglichen Umgang mit diesen leicht zugänglich ist, für Laien ohne Erfahrung im Umgang mit diesen jedoch Missverständnisse entstehen, insbesondere dadurch, dass sie vergleichsweise einfach aussehen.

3.1.2. Allgemeine Herausforderungen für den Schulunterricht

Eine Herausforderung, die vor allem von E1 herausgestellt wurde, war die, dass die Behandlung von Teilchenphysik im Schulunterricht Zeit koste, die von der Behandlung anderer Themen weggenommen würde. Zu der Frage ob Feynman-Diagramme bzw. Teilchenphysik insgesamt im Schulunterricht behandelt werden sollten, führt er aus, dass dies ja auch mit der Frage verbunden sei, was dadurch rausfiele und man verliere. Man solle diese Zeit „zum Beispiel der Quantenmechanik nicht wegnehmen“. E3 weist außerdem darauf hin, dass für eine Behandlung der Diagramme im Schulunterricht ein gewisses „Vorwissen, um nicht einer zu wörtlichen Lesart der Diagramme zu unterliegen“ nötig sei, also etwa „Vorwissen zu Quantenobjekten allgemein“.

Insgesamt spielten Herausforderungen im Zusammenhang mit dem Schulunterricht in den Interviews eine kleine Rolle und wurden nur von E1 und E3 überhaupt erwähnt.

3.2. Möglichkeiten

3.2.1. Auseinandersetzung mit Wissenschaft

Die Experten erwähnten mehrere Aspekte, mit denen Feynman-Diagramme als Anreiz zur Auseinandersetzung mit Wissenschaft im allgemeinen bzw. der modernen Physik im speziellen beitragen können.

Der erste Aspekt dabei ist, dass die Feynman-Diagramme einen wichtigen Beitrag dazu leisten, hochpräzise theoretische Vorhersagen zu machen. E2 betont, dass „die Physik so weit gekommen [sei], es geschafft zu haben, vorherzusagen, was darf passieren, ... was darf nicht passieren und sogar mit welcher Wahrscheinlichkeit passiert dieses oder jenes“. Diese „Vorhersagekraft“ sei etwas, „was man unbedingt auch schon in der Schule betonen sollte“. Auch der vierte Experte, E4, beschreibt diese Theorie als „die erfolgreichste Theorie, die die Menschheit je aufgestellt“ habe. Mit Bezug auf die o.g. Herausforderung, dass die Feynman-Diagramme nicht einen tatsächlich stattfindenden Prozess darstellen, betont er jedoch, „dass etwas, von dem man glaubt, dass es so nicht stattfindet ... trotzdem eine so gute Berechnung erlauben kann, die sich x-fach bestätigt“ habe. E2 beschreibt diesen Aspekt aus der Sicht eines Teilchenphysikers, dass Feynman-Diagramme für ihn „[eine] sehr anschauliche Darstellung, [eine] sehr hilfreiche, aber eben auch sehr eindrucksvoll mächtige Darstellung“ sei. Schüler:innen wiederum lernten durch die Verwendung von Feynman-Diagrammen „[etwas] über Vorgehen und Mathematisierung in der theoretischen Physik“ (E3). Auch E4 erklärt, „dass man vieles, das Standardmodell der Teilchenphysik ohne Feynman-Diagramme unterrichten kann, ... aber dass vielleicht Feynman-Diagramme dazu dienen können, ... auch die Methodik der Teilchenphysik [aufzuzeigen]“. Er betont also den Nutzen über die teilchenphysikalischen Konzepte hinaus. Vielmehr könnten Feynman-Diagramme dazu dienen, die Arbeitsweise der modernen Teilchenphysik aufzuzeigen.

Ein weiterer Aspekt, der mit der Auseinandersetzung mit Wissenschaft zusammenhängt, ist die kritische Betrachtung von wissenschaftlichen Darstellungen, wie etwa in Lehrbüchern oder populärwissenschaftlichen Texten. E3 erläutert, dass „es natürlich auch ein Lernziel sein“ solle, „dass die Schüler:innen dazu populärwissenschaftliche Literatur oder Quellen ... einordnen können“. E1 beschreibt sogar als „Hauptnutzen im didaktischen Kontext“, dass man „auf verbreitete Missverständnisse hinweisen“ können und „die Schüler auf die Reise schicken, in populären, aber auch fachnahen Darstellungen irreführende oder falsche Darstellungen zu finden“. Dies könne „ein Beitrag zu einem Autonomieerlebnis sein“.

3.2.2. Verbindung zu anderen Themen der Schulphysik

Die Experten erwähnten in den Interviews, dass Feynman-Diagramme auf vielfältige Weise mit im Schulunterricht vorkommenden Konzepten verknüpft

sind. Auf die Konzepte wird im Einzelnen in den Themen der dritten Kategorie eingegangen.

Insbesondere wird von den Experten darauf hingewiesen, dass mittels der Feynman-Diagramme eine Verknüpfung zwischen Quantenmechanik und Teilchenphysik hergestellt werden könne. E1 betont, dass man im Unterricht der Elementarteilchenphysik „eine gewisse Einheitlichkeit der modernen Physik“ darstellen solle und „dass man guckt, wo man noch vertiefen kann, was man in der Quantenmechanik schon gelernt hat, dass das wie [eine] Einheit betrachtet wird“. E2 stellt heraus, dass „man frühestmöglich auf die andere Welt der Quantenphysik verweisen“ solle.

Daneben wird das Konzept der Ladungserhaltung als sehr anschlussfähig beurteilt. E2 schätzt ein, dass sich „Ladungserhaltung ... auf jeden Fall mit jüngeren [als Oberstufenschüler:innen] machen“ ließe.

3.3. Verknüpfte Konzepte

3.3.1. Ladung und Ladungserhaltung

Eines der am häufigsten erwähnten Konzepte in den Interviews war das Konzept der Ladungserhaltung. So beschreibt E3, dass es „natürlich ... relevant“ sei, „dass man die Erhaltungssätze ... anhand dieser Feynman-Diagramme auch überprüfen kann“. Aber auch das Konzept der Ladung an sich sei wichtig. So beschreibt E2 Ladung als „wichtige[n] Begriff, um überhaupt zu verstehen, welches Diagramm darf ich malen, welchen Vertex darf ich malen?“.

Insgesamt werden die Konzepte der Ladung und der Ladungserhaltung eng verknüpft betrachtet und als wesentliches Konzept im Zusammenhang mit Feynman-Diagrammen beschrieben.

3.3.2. Superposition von Prozessen

Wie oben erwähnt wurden Feynman-Diagramme als Gelegenheit gesehen, wie man Quantenmechanik und Teilchenphysik verknüpfen kann.

E1 beschreibt diesen Punkt, „dass jedes Feynman-Diagramm nicht nur für einen physikalischen Prozess steht, sondern nur ein Anteil ist ... bei der Berechnung der Übergangswahrscheinlichkeit“. Er beschreibt dies auch in der Analogie zum Doppelspalt, „dass man sagt ... es gibt einen Anteil der Wellenfunktion, der drückt aus, dass das Elektron durch den einen Spalt drückt“. E2 hebt dieses Thema auf eine etwas allgemeinere Ebene, indem er den Punkt betont, dass man „nur noch Wahrscheinlichkeiten sagen“ könne.

Insgesamt betonen alle Experten, dass insbesondere durch Feynman-Diagramme der probabilistische Charakter der Teilchenphysik sehr gut motiviert werden könne.

3.3.3. Austauscheteilchen

Das wichtigste teilchenphysikalische Konzept, dass die Experten erwähnten, war das der Wechselwirkungs-, Austausch oder Botenteilchen. E1 erwähnte dazu, dass „Austauschteilchen ihre metaphorische

Bedeutung aus dieser graphischen Symbolsprache erhalten“ würden und beschrieb, dass „der einzige Grund, weshalb man [in der Schule] über Feynman-Diagramme reden sollte“ sei, „weil man darüber Austauscheteilchen einführen“ könne. E3 wiederum beschreibt es gerade anders herum, dass Schüler:innen „das Konzept der Beschreibung von Wechselwirkungen kennen“ müssten.

Alle Experten erwähnten dieses Konzept als ein zentrales in der Teilchenphysik, wobei E1 einen besonderen Schwerpunkt darauf legte.

4. Diskussion

Die Ergebnisse aus den Experteninterviews zeigen das Potential, aber auch die Schwierigkeiten auf, die mit der Behandlung von Feynman-Diagrammen mit Jugendlichen verbunden sind. Basierend auf den Ergebnissen wurden vier Lernziele für potenzielles Lernmaterial für Feynman-Diagramme entwickelt. Diese werden hier kurz vorgestellt und motiviert.

4.1. Lernziele

4.1.1. Ladungserhaltung

Das erste Lernziel lautet „Schüler:innen sind in der Lage, mit Hilfe des Konzepts der Ladungserhaltung zu überprüfen, ob ein Teilchenprozess möglich ist.“. Das Konzept der Ladungserhaltung wurde von den Experten als eines der grundlegenden mit Feynman-Diagrammen verbundenen Konzepte erwähnt und ist anschlussfähig an die Mittelstufe, in denen die Konzepte Ladung (wenn auch nur elektrische) und Erhaltungssätze (unter anderem am Beispiel der Energie) eingeführt werden. Auch Hoekzema et al. [11] verwenden Erhaltungssätze als eines der Kernelemente ihrer Lerneinheit.

4.1.2. Austauscheteilchen

Das zweite Lernziel basiert ebenfalls auf einem der Konzepte, welches die Experten als zentral erachtet haben. Es lautet: „Schüler:innen können die Rolle von Wechselwirkungsteilchen erklären sowie ihre Existenz im Standardmodell der Teilchenphysik motivieren.“. Die Rolle von Wechselwirkungs- oder Austauscheteilchen im Standardmodell wird auf unterschiedliche Art und Weise eingeführt, so zum Beispiel über Alltagsanalogien, die jedoch eher Fehlkonzepte befördern, als dass sie physikalische Konzepte erklären. Fachnähere Darstellungen führen das Konzept der Austauscheteilchen über Felder ein [9], [10], [14].

4.1.3. Superposition

Das dritte Lernziel greift das Konzept der Superposition von Prozessen auf und trägt dem Gedanken Rechnung, die teilchenphysikalischen Konzepte mehr mit der Quantenphysik zu verknüpfen. Um es für Oberstufenschüler:innen zugänglicher zu machen, besteht es aus zwei Teilen. Der erste Teil lautet: „Die Schüler:innen sind in der Lage, das Superpositionsprinzip aus der Quantenmechanik auf Teilchenprozesse zu übertragen.“ Hierbei sollen die Schüler:innen erkennen, dass ein Prozess nicht nur von einem

einzelnen Diagramm dargestellt wird, sondern immer mehrere Diagramme zu einem Prozess beitragen, in Analogie zum Doppelspaltexperiment, bei dem beide Spalte gleichermaßen zum Interferenzmuster beitragen. In Erweiterung dieses Prinzips lautet der zweite Teil dieses Lernziels: „Die Schüler:innen erkennen Teilchenprozesse als eine Superposition von unendlich vielen Beiträgen.“. Hierbei lernen die Schüler:innen, dass jedes Feynman-Diagramm im Prinzip erweiterbar ist, ohne dass es einen anderen Prozess repräsentiert.

4.1.4. Arbeit von Teilchenphysiker:innen

Das vierte Lernziel trägt dem Thema der Auseinandersetzung mit Wissenschaft Rechnung. Die Experten betonten, dass Feynman-Diagramme einen Einblick darein geben können, wie in der (theoretischen) Teilchenphysik gearbeitet wird. Um dies zu nutzen, lautet das vierte Lernziel: „Die Schüler:innen können die Methode der Feynman-Diagramme auf die Arbeit von Teilchenphysiker:innen anwenden.“. Um dieses Lernziel zu erreichen, könnten die Schüler:innen etwa damit konfrontiert werden, dass eine Messung nicht mit einer theoretischen Vorhersage übereinstimmt und die Schüler:innen müssten erkennen, dass dies unter anderem daran liegen könnte, dass zu wenig Feynman-Diagramme berücksichtigt wurden. So kann der Einsatz von Feynman-Diagrammen in der Praxis dargestellt werden.

5. Ausblick

Die in dieser Studie entwickelten Lernziele werden verwendet, um darauf basierend Lernmaterialien zum Thema Feynman-Diagramme zu erstellen, welche mittel- bis langfristig in einen derzeit in der Entwicklung befindlichen Online-Kurs über Teilchenphysik für 14-18-Jährige eingegliedert werden. Die Entwicklung dieser Lernmaterialien passiert im Rahmen des Design-Based Research Frameworks [15]. Für diese Lernmaterialien werden Designprinzipien auf Basis von Multimedia-Lerntheorien entwickelt. Die auf Basis dieser Prinzipien entwickelten Lernmaterialien werden in sogenannten Teaching Experiments unter Einbeziehung von Eye Tracking-Daten mit Schüler:innen aus der Zielgruppe getestet und auf die Unterstützung durch Designprinzipien sowie auf die Angemessenheit der Lernziele hin überprüft. Auf Basis der Ergebnisse dieser Teaching Experiments werden die Lernmaterialien anschließend weiterentwickelt.

6. Literatur

- [1] R. P. Feynman, „Space-Time Approach to Quantum Electrodynamics“, *Phys. Rev.*, Bd. 76, Nr. 6, S. 769–789, Sep. 1949, doi: <https://doi.org/10.1103/PhysRev.76.769>.
- [2] D. Kaiser, *Drawing Theories Apart: The Dispersion of Feynman Diagrams in Postwar Physics*. University of Chicago Press, 2005.
- [3] M. Kobel, U. Bilow, P. Lindenau, und B. Schorn, „Teilchenphysik: Ladungen, Wech-

- selwirkungen und Teilchen - Unterrichtsmaterial ab Klasse 10“, Joachim Herz Stiftung, Hamburg, 2018. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.teilchenwelt.de/wp-content/uploads/2022/05/band1.pdf>
- [4] O. Passon, T. Zügge, und J. Grebe-Ellis, „Pitfalls in the teaching of elementary particle physics“, *Phys. Educ.*, Bd. 54, Nr. 1, S. 015014, Nov. 2018, doi: <https://doi.org/10.1088/1361-6552/aadbc7>.
- [5] O. Passon, P. Lindenau, und M. Kobel, „Von Feynman-Diagrammen und Stromkreisen“, *Unterr. Phys.*, Bd. 180, 2020, Zugegriffen: 19. März 2021. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.friedrich-verlag.de/physik/quantenphysik/von-feynman-diagrammen-und-stromkreisen-7480>
- [6] A. Pascolini und M. Pietroni, „Feynman diagrams as metaphors: borrowing the particle physicist’s imagery for science communication purposes“, *Phys. Educ.*, Bd. 37, Nr. 4, S. 324, Juli 2002, doi: <https://doi.org/10.1088/0031-9120/37/4/306>.
- [7] G. T. Jones, „The uncertainty principle, virtual particles and real forces“, *Phys. Educ.*, Bd. 37, Nr. 3, S. 223–233, Mai 2002, doi: <https://doi.org/10.1088/0031-9120/37/3/306>.
- [8] J. Woithe, G. J. Wiener, und F. F. V. der Veken, „Let’s have a coffee with the Standard Model of particle physics!“, *Phys. Educ.*, Bd. 52, Nr. 3, S. 034001, März 2017, doi: <https://doi.org/10.1088/1361-6552/aa5b25>.
- [9] J. Allday, „The nature of force in particle physics“, *Phys. Educ.*, Bd. 32, Nr. 5, S. 327, Sep. 1997, doi: <https://doi.org/10.1088/0031-9120/32/5/016>.
- [10] R. Lambourne, „Predicting the physics of particles“, *Phys. Educ.*, Bd. 27, Nr. 2, S. 71, März 1992, doi: <https://doi.org/10.1088/0031-9120/27/2/003>.
- [11] D. Hoekzema, G. Schooten, E. van den Berg, und P. Lijnse, „Conservation Laws, Symmetries, and Elementary Particles“, *Phys. Teach.*, Bd. 43, Nr. 5, S. 266–271, Apr. 2005, doi: <https://doi.org/10.1119/1.1903808>.
- [12] A. Bogner, B. Littig, und W. Menz, *Interviews mit Experten: Eine praxisorientierte Einführung*. VS Verlag für Sozialwissenschaften, 2014. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-531-19416-5>.
- [13] V. Braun und V. Clarke, „Using thematic analysis in psychology“, *Qual. Res. Psychol.*, Bd. 3, Nr. 2, S. 77–101, 2006, doi: <https://doi.org/10.1191/1478088706qp063oa>.
- [14] M. Daniel, „Particles, Feynman diagrams and all that“, *Phys. Educ.*, Bd. 41, Nr. 2, S. 119–129, Feb. 2006, doi: <https://doi.org/10.1088/0031-9120/41/2/001>.
- [15] The Design-Based Research Collective, „Design-Based Research: An Emerging Paradigm for Educational Inquiry“, *Educ. Res.*, Bd. 32, Nr. 1, S. 5–8, Jan. 2003, doi: <https://doi.org/10.3102/0013189X032001005>.

Danksagung

Diese Arbeit wurde gefördert durch das Wolfgang-Gentner-Programm des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF-Forschungsvorhaben 13E18CHA).

Empathisierendes oder systematisierendes Denken im Physikunterricht? Testentwicklung für Lernende der Sekundarstufe I

Julia Welberg, Daniel Laumann, Susanne Heinicke

Institut für Didaktik der Physik, WWU Münster, Wilhelm-Klemm-Str. 10, 48149 Münster
julia.welberg@wwu.de, daniel.laumann@wwu.de, susanne.heinicke@wwu.de

Kurzfassung

Spricht man über Interesse, gelangt man schnell in eine Unterteilung von Interessen in „Typisch Mädchen“ oder „Typisch Jungen“. So wird ein Interesse an Physik und Physikunterricht auch eher Jungen zugeschrieben als den Mädchen. Diese Zuschreibung wirkt jedoch eher pauschalisierend als das sie den beiden Gruppen wirklich gerecht wird, denn selbstverständlich gibt es auch Mädchen, die sich für physikalische Themen interessieren und auch Jungen, für die das nicht gilt. Einen anderen Ansatz liefert die „Empathizing-Systemizing Theory“ (EST) auch bekannt als „Brain Type“, die Lernende anhand ihrer Art zu Denken in eher empathisierende bzw. systematisierende Typen einteilt. Da es bis lang noch kein geeignetes gekürztes Erhebungsinstrument für Schülerinnen und Schüler gab, wurde eine mehrschrittige Kürzung der Langskala (120 Items) vorgenommen. Das Ergebnis ist eine handliche Kurzskaale mit insgesamt 24 Items, die in weiteren Erhebungen eingesetzt werden soll. Erste Ergebnisse spiegeln im Allgemeinen die Ergebnisse der Langskala wider, sodass die Kurzskaale demnächst im großen Rahmen eingesetzt werden kann.

1. Einleitung

Das Interesse an einem Unterrichtsfach ist speziell in Physik und Mathematik Grundlage für Lernerfolg [1], zur Erlangung von Kompetenzen der Scientific Literacy und einer weitergehenden Auseinandersetzung in Studium und Beruf. Daher gilt es einen besonderen Blick auf das Interesse zu legen und dieses genau zu untersuchen, um auch in Zukunft Fachkräfte mit Physikwissen und -interesse zu erhalten. Interessensstudien, insbesondere die bekannte IPN-Interessensstudie [2], hebt Unterschiede im Interesse am Physikunterricht zwischen Jungen und Mädchen hervor. Demnach interessieren sich Mädchen eher für Kontexte im Physikunterricht, die Natur, Gesellschaft oder den eigenen Körper betreffen und Jungen eher für technische Kontexte oder für alle gleichermaßen [3]. Die Betrachtung eines Mixed-Rasch-Modells führte Häußler et al. [3] zur Klassifikation dreier Interessentypen. Typ A interessiert sich für die Physik als Wissenschaft und den Bau und Umgang mit technischen Geräten, Typ B für Physik zur Erklärung von Naturerscheinungen und als Hilfsmittel für den Menschen und Typ C interessiert sich besonders für die Bedeutung der Physik für die Gesellschaft. Im Typ A sind dabei überwiegend Jungen einzuordnen, beim Typ C Mädchen und im Typ B finden sich in etwa ausgeglichener Anzahl Mädchen und Jungen wieder. Demnach versuchen bekannte Studien auch andere Clustervariablen zu nutzen als das Geschlecht.

Die Empathizing-Systemizing-Theorie, welche ihren Ursprung in der Autismusforschung in Cambridge hat [4, 5], geht dabei einen Schritt zurück und misst

die Art des Denkens über einen Empathisierungs- und einen Systemisierungsquotienten per Selbsteinschätzung via Fragebogen. Aus diesen lassen sich im Anschluss sogenannte Brain Types berechnen. Zur ursprünglich englischsprachigen Originalversion der Skala existiert auch eine deutsche Kurzversion von Samson und Huber [6], welche mit Studierenden getestet wurde. Testungen dieser Skala mit Schülerinnen und Schülern der achten und neunten Jahrgangsstufe zeigten, dass die Konstrukte nicht zufriedenstellend gemessen werden [7]. Dies ist der Ausgangspunkt für eine erneute Kürzung der deutschen Version der Originalskala mit Schülerinnen und Schülern der Sekundarstufen I und II um ein geeignetes Erhebungsinstrument für weitere Forschungsvorhaben zu erhalten.

2. Theoretische Grundlagen

Die theoretische Grundlage bilden zwei Theorien bzw. Definitionen: Einerseits die ES-Theorie mit den Definitionen unterschiedlicher Brain Types, andererseits eine Definition des Interesses für die anschließende Betrachtung erster Ergebnisse von Brain Types und Interesse an Physikunterricht.

2.1. ES-Theorie und Brain Type

Der Ursprung der „Empathizing-Systemizing Theory“ (EST) liegt in der Autismusforschung der Arbeitsgruppe von Simon Baron-Cohen der University of Cambridge. Nach dieser Theorie können Menschen durch ihren Brain Type unterschieden werden [5]. Dabei äußert sich der Brain Type durch die Stärke der Ausprägung zweier Dimensionen (s. Abb. 1). Die Dimension des „Empathisierens“ beschreibt

dabei die Fähigkeit, die Gefühle anderer Personen nachzuvollziehen und deren Verhalten vorherzusagen. Die Stärke der individuellen Ausprägung wird über den sogenannten „Empathisierungs-Quotienten“ (EQ) in einem Selbsteinschätzungs-Fragebogen ermittelt. Die andere Dimension ist das „Systematisieren“. Der Systematisierungs-Quotient (SQ) beschreibt die Betrachtung der Umwelt als System und Nutzung logischer „wenn-dann“-Aussagen. Das Gehirn fokussiert sich bei starker Ausprägung dieser Dimension auf ein Teil eines Systems und versucht zu schlussfolgern, was passiert, wenn sich ein Teil verändert. Die beiden Dimensionen liegen dabei nicht separiert im menschlichen Gehirn vor sondern sind individuell unterschiedlich stark ausgeprägt, sodass die Betrachtung des Verhältnisses zueinander den Brain Type einer Person liefert [5, 8].

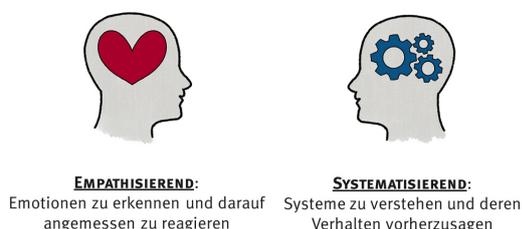


Abb. 1: Dimensionen des Brain Types nach [5].

Ist bei einer Person der EQ stärker ausgeprägt als der SQ, so spricht man vom Typ E (Empathisierend). Ist der SQ stärker ausgeprägt als der EQ, liegt der Typ S (Systematisierend) vor. Sind beide Ausprägungen in etwa gleich stark ausgeprägt, so spricht man vom Typ B (Balanced/Ausgeglichen). Vom Typ E und Typ S existieren zudem Extrem-Formen, bei denen die jeweilige Dimensionen sehr viel stärker ausgeprägt sind.

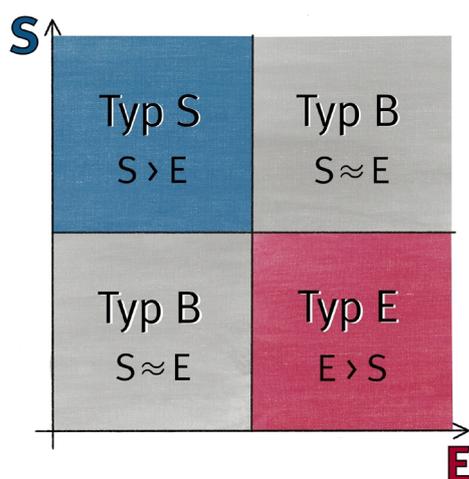


Abb. 2: Visualisierung der unterschiedlichen Brain Types.

In den hier vorgestellten didaktischen Nutzungen sollen die Extremtypen allerdings nicht weiter betrachtet werden.

Zusätzlich zur Betrachtung unterschiedlicher Brain Types hat es sich als sinnvoll erwiesen, auch die beiden Dimensionen getrennt voneinander zu betrachten [9]. In den hier vorgestellten Ausarbeitungen werden keine Fragen nach den neurologischen Ursachen der Brain Types gestellt, sondern lediglich die Konstrukte zur Erklärung des Interesses an Physikunterricht genutzt. Daher werden in den nachfolgenden Betrachtungen diese Extrem-Typen vernachlässigt, bzw. im Typ S oder Typ E mit inbegriffen.

2.2. ES-Theorie in der didaktischen Forschung

Baron-Cohen und Kollegen haben bereits in mehreren groß angelegten Studien gezeigt, dass Frauen im Durchschnitt einen höheren EQ erzielen als Männer [4, 10]. Darüber hinaus fanden sie heraus, dass der SQ ein signifikanter Prädiktor für die Aufnahme eines naturwissenschaftlichen Studiums ist. Das Geschlecht hingegen sei kein starker Faktor, der die Wahl der akademischen Laufbahn beeinflusst (ebd.). Im deutschsprachigen Raum haben Albert Zeyer und Kollegen untersucht, inwieweit die Empathie- und Systematisierungsfähigkeiten von Gymnasiasten einen Einfluss auf die Studienwahl haben. Sie fanden heraus, dass es keinen Zusammenhang zwischen dem Geschlecht und der Motivation, Naturwissenschaften zu lernen, gibt, aber eine hochsignifikante positive Korrelation zwischen dem Brain Type und der Motivation, Naturwissenschaften zu lernen [11]. Während Zeyer und Kollegen in erster Linie Gymnasiasten untersuchten, untersuchte Nina Skorsetz in ihrer Dissertation Lernumgebungen für Kinder im Vorschulalter. Die eine Lernumgebung war dabei eher strukturiert gestaltet und die zweite eher explorativ-narrativ. Die Ergebnisse von Skorsetz zeigen, dass Kinder mit einem hohen SQ in beiden Lernumgebungen motiviert waren. Darüber hinaus konnte kein Zusammenhang zwischen dem Geschlecht der teilnehmenden Kinder und der Art und Weise, wie sie in den jeweiligen Lernumgebungen arbeiteten, festgestellt werden [12].

2.3. Interesse

Nach der Person-Gegenstands-Theorie [13] wird das Interesse in einer Beziehung zwischen einer Person und einem Gegenstand verstanden. Unterscheidbare Teile der Umwelt können als Gegenstände verstanden werden. Im schulischen Kontext sind in diesem Sinne Gegenstände Inhalte und Wissensgebiete, aber auch Aktivitäten [13, 14]. Im Laufe der Entwicklung von Schülerinnen und Schülern bilden sich bestimmte Präferenzen für Themen und Wissensgebiete heraus, die deshalb als "interessant" oder "weniger interessant" bewertet werden. Dabei wird zwischen individuellem/persönlichem Interesse und situativem Interesse unterschieden, wobei sich diese Begriffe nicht klar trennen lassen (ebd.). In einer konkreten Situation oder bei einer interessenorientierten Aus-

einandersetzung mit einem Gegenstand kommt es zu einer Wechselwirkung zwischen individuellem und situativem Interesse. Insbesondere die Lehrkraft kann Einfluss auf die Art der Lernumgebung nehmen und damit auf deren Interessantheit.

3. Forschungsziel

Ziel der hier vorgestellten Studie ist es über ein mehrschrittiges Verfahren die deutschsprachige Langversion aus [15] zu kürzen, um ein für Schülerinnen und Schüler geeignetes Erhebungsinstrument zur Messung der Ausprägungen des EQ und SQ zu erhalten, woraus im Anschluss auch der Brain Type berechnet werden kann.

4. Methode

Die Kürzung erfolgt über einen Dreischritt analog zur Kürzung von Samson und Huber [6]. Zunächst werden die Items der deutschen Langskala gesichtet und sprachlich angepasst und so verändert, dass sie für Schülerinnen und Schüler der Sekundarstufe I verständlich und zeitgemäß sind, ohne ihren Inhalt zu verändern, z.B.

- Ich merke sofort, ob jemand das, was ich erzähle, interessant oder langweilig findet. → Ich erkenne leicht, ob jemand meine Erzählungen interessant oder langweilig findet. (EQ)
- Wenn ich mir eine Stereoanlage kaufen würde, hätte ich gern präzise Informationen über alle technischen Merkmale. → Wenn ich mir ein neues Smartphone kaufen würde, hätte ich gerne präzise Informationen über alle technischen Merkmale. (SQ)

Die für diese Zielgruppe zu komplexen Items wurden entfernt, da sie nicht ohne eine Veränderung des Inhalts angepasst werden konnten, z.B.:

- Wenn ich mir ein Auto kaufe, hole ich genauesten Informationen über seine Motorleistung ein. (SQ)
- Ich habe Schwierigkeiten, das Informationsmaterial zu verstehen, das mir die Bank über verschiedene Investments und Sparanlagen zuschickt. (SQ)

Die adaptierte deutsche Langform mit insgesamt 105 Items (36 EQ, 35 SQ, 34 Stör-Items), wobei die Stör-Items lediglich dazu dienen, einen Trend der Befragten zu verhindern, ist anschließend der Ausgangspunkt für die Kürzung des Fragebogens. Die Schritte mit den jeweiligen Ergebnissen werden nun folgend beschrieben.

5. Ergebnisse der Kürzung des Fragebogens

5.1. Erster Schritt der Kürzung

Zuerst füllen 240 Schülerinnen und Schüler mit einem Durchschnittsalter von etwa 13,4 Jahren die, wie zuvor beschrieben, adaptierte Langfassung aus. Anschließend werden die erhobenen Daten in das Statistikprogramm „SPSS“ importiert und eine explorative Faktoranalyse mit Varimax-Rotation durchgeführt. Die Betrachtung des Screeplots (s.

Abb.3) legt die Weiterarbeit mit vier Faktoren nahe („Knick“, rote Markierung), weshalb in einem nächsten Schritt die Faktoranalyse erneut mit einer Vorgabe von vier festen Faktoren durchgeführt und die rotierte Komponentenmatrix betrachtet wird.

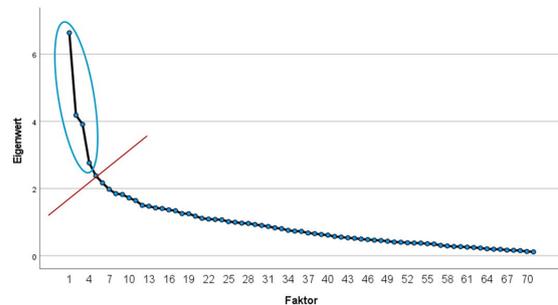


Abb. 3: Screeplot des ersten Kürzungsschrittes.

Bei Betrachtung der rotierten Komponentenmatrix und der zugehörigen Faktorladungen zeigt sich, dass drei der vier durch den Screeplot vermuteten Faktoren interpretierbar sind. Der vierte Faktor ist nach Guadagnoli und Velicer [16] aufgrund zu weniger aussagekräftiger Faktorladungen nicht interpretierbar. Daher werden die verbliebenen drei Faktoren genauer betrachtet. Es fällt auf, dass ein Faktor mit ausschließlich SQ-Items, ein Faktor mit nur nicht-negativ formulierten EQ-Items und ein Faktor mit nur negativ formulierten EQ-Items klassifiziert wurde. Negativ formulierte Items sollen einen Antworttrend der Probandinnen und Probanden verhindern, ob dies auch den gewünschten Effekt erzielt, ist dabei nicht näher untersucht. Allerdings stellten van Sonderen et al. [17] fest, dass negativ formulierte Items eher für Verwirrung und Unaufmerksamkeit sorgen. Daher werden diese Items für die folgenden Kürzungsschritte umformuliert, sodass keine negativ formulierten Items mehr vorhanden sind.

5.2. Zweiter Schritt der Kürzung

Für den nächsten Kürzungsschritt füllen 276 Schülerinnen und Schüler mit einem Durchschnittsalter von etwa 13,9 Jahren die einmal gekürzte Version des Fragebogens aus. Dieser besteht aus insgesamt 47 Items (12 EQ, 10 EQ (ehemals neg.), 14 SQ und 11 Stör-Items). Wie im vorherigen Schritt wird mithilfe von SPSS eine explorative Faktoranalyse durchgeführt, der Screeplot liefert zwei Faktoren (s. Abb. 4).

Die Betrachtung der rotierten Komponentenmatrix zeigt, dass zwei Faktoren entstehen, von denen einer 10 SQ-Items und einer 14 EQ-Items enthält. Ein dritter Faktor, wie bei der vorherigen Kürzung, ist nicht entstanden. Insgesamt besteht das gekürzte Erhebungsinstrument nun aus 14 EQ-Items und 10 SQ-Items. Dies bestätigt die Vermutung, dass die Schülerinnen und Schüler durch die negativ formulierten Items unaufmerksamer wurden, sodass der

Entfall dieser Items beibehalten wird und die Items der Skala nur in eine Richtung gepolt werden.

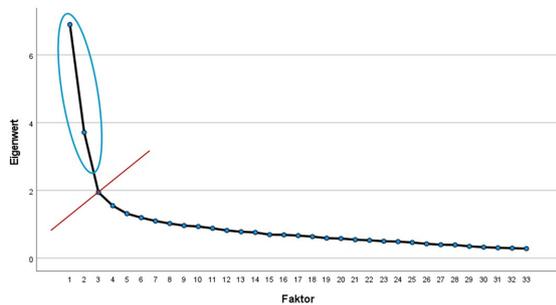


Abb. 4: Screeplot des zweiten Kürzungsschrittes.

5.3. Dritter Schritt der Kürzung

Im dritten und letzten Schritt wird das gekürzte Instrument auf seine Re-Test-Reliabilität überprüft. Die Konstrukte des Empathisierens und Systematisierens sollten bei Schülerinnen und Schülern auch über mehrere Wochen stabil sein. Dazu wird der Fragebogen von etwa 200 Schülerinnen und Schülern im Abstand von etwa 4 – 6 Wochen zweimal ausgefüllt. Dieser Test ist zum aktuellen Zeitpunkt noch nicht beendet, die Ergebnisse hierzu stehen demnach noch aus.

6. Gütekriterien

Um ein für weitere Befragungen geeignetes und statistisch sicheres Erhebungsinstrument zu erhalten, wurden bei der Kürzung des Fragebogens die Gütekriterien quantitativer Forschung „Objektivität, Reliabilität und Validität“ [18, 19] berücksichtigt.

6.1. Objektivität

Um die Anwenderunabhängigkeit bzw. Objektivität ist durch die Konstruktion des Erhebungsinstrumentes als Fragebogen unkritisch. Wie Döring und Bortz beschreiben, „bleibt den Testanwendenden eigentlich gar kein Raum für subjektive Abweichungen“. Damit ist die Durchführungsobjektivität bereits durch die Konstruktion des Instrumentes gegeben. Da die Konstrukte bereits aus der Literatur bekannt sind und nicht komplett neu entwickelt wurden liegen auch bereits Anleitungen zur Auswertung und anschließenden Interpretation (z.B. Zuordnung zu Brain Types) vor, sodass Auswertungs- und Interpretationsobjektivität ebenfalls als gegeben angesehen werden können.

6.2. Reliabilität

Für die Überprüfung der Reliabilität bzw. Zuverlässigkeit wurde Cronbachs Alpha sowohl für die EQ- als auch für die SQ-Skala berechnet, dabei sind in Klammern die Cronbachs Alpha Werte der Langskala dargestellt. Die interne Konsistenz des EQ (14 Items) ist hoch, mit Cronbachs Alpha = .87 (.81) und des SQ (10 Items) ist ebenfalls hoch mit Cronbachs Alpha = .83 (.73) [20]. Die Testwiederholungs-Reliabilität wird wie bereits in 5.3 beschrieben in naher Zukunft ebenfalls betrachtet.

6.3. Validität

Um zu überprüfen, ob mit den Fragen zur Bestimmung von EQ und SQ auch tatsächlich diese Merkmale gemessen werden, wurde in Vorarbeit zur Kürzung der Fragebogen die Langform des Fragebogens einer Schülerin der Zielgruppe gegeben und gebeten diesen auszufüllen und Verständnisschwierigkeiten zu kennzeichnen. Dies diente zur Überprüfung der Inhaltsvalidität. Des Weiteren liegt die Unterdimension der Konstruktvalidität „Faktorielle Validität“ [19] bereits durch die Vorgehensweise beim Kürzen mittels explorativer Faktoranalysen vor, sodass die Validität als gegeben angesehen werden kann.

7. Erste Ergebnisse

Zur Finalisierung des Erhebungsinstrument steht lediglich noch die Überprüfung der Re-Test-Reliabilität aus, dennoch lassen sich auch jetzt schon erste Ergebnisse aus Runde 2 der Kürzung festhalten. Abbildung 5 zeigt die mit der gekürzten Fragebogenversion berechneten Brain Types nach [8].

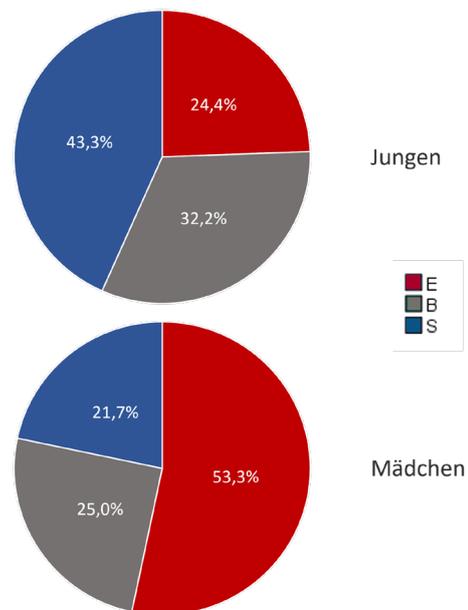


Abb. 5: Verteilung der mit der Kurzska berechneten Brain Types auf das Geschlecht.

Analog zu den bekannten Literaturquellen ist der Typ S der dominierende Typ bei den Jungen und Typ E der dominierende Typ bei den Mädchen. Abb.6 zeigt das unterschiedliche Interesse am Fach Physik unterteilt nach Geschlecht und Brain Type. Dabei ist bei einer Betrachtung nach Geschlecht das Interesse der Jungen höher als das der Mädchen. Sortiert man das Interesse am Fach Physik nach den berechneten Brain Types, so hat der Typ S erwartungsgemäß das höchste Interesse an Physikunterricht und der Typ E das geringste Interesse. In weiteren Studien sollen diese Auswertungen vertieft werden um herauszufinden, ob das Interesse an Physik-

unterricht besser mit den Konstrukten der ES-Theorie als dem Geschlecht erklärt werden kann.

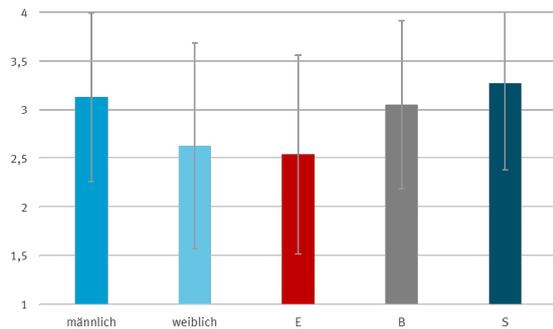


Abb. 6: Interesse am Fach Physik (1: niedriges Interesse, 4: hohes Interesse) nach Geschlecht und Brain Type (n = 273).

8. Diskussion und Ausblick

Ziel ist es, ein für die Schule handliches Erhebungsinstrument zur Messung der Konstrukte der Empathizing-Systemizing Theorie zu erhalten, da eine Erhebung mit der deutschen Langform der Skala in der ersten Kürzungsrunde teilweise über 45 Minuten dauerte und damit am Ende der Zeit auch die Konzentrationsfähigkeit der jüngeren Schülerinnen und Schüler der Sekundarstufe I nachgelassen hat. Des Weiteren existierte bislang auch noch keine Skala, die einfach und zeiteffizient sowohl in der Sekundarstufe I als auch in der Sekundarstufe II eingesetzt werden kann. Die hier vorgestellte Kürzung der Skala befindet sich in ihren letzten Schritten vor der finalen Veröffentlichung und kann dann dazu eingesetzt werden z.B. das Interesse an Physikunterricht besser zu erklären und möglicherweise auch die speziellen Bedürfnisse der Schülerinnen und Schüler des Typs E an den Physikunterricht herauszufinden, um ihnen einen Zugang zu Physik zu verschaffen. Insgesamt wird sich erhofft, dass die Konstrukte Empathisieren und Systemisieren das Interesse an Physik(unterricht) besser aufklären als das Geschlecht. Dennoch zerwirft es keine bestehenden Erkenntnisse, sondern soll diese nur ergänzen und gegebenenfalls besser erklären.

Des Weiteren haben Testungen gezeigt, dass die hier entwickelte Kurzskala sowohl für die zu Anfang geplante Zielgruppe, Lernende der Sekundarstufe I, geeignet ist, als auch für Lernende der Sekundarstufe II und Studierende. Eine Testung mit Lehrkräften, in der diese Skala und die Kurzskala von Samson & Huber genutzt wurde, zeigte ebenfalls analoge Ergebnisse, sodass das hier entwickelte Erhebungsinstrument für Personen ab der Sekundarstufe I geeignet ist.

9. Literatur

[1] SCHIEFELE, Ulrich ; KRAPP, Andreas ; SCHREYER, Inge: *Metaanalyse des Zusammenhangs von Interesse und schulischer Leistung*. In: *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie*

und pädagogische Psychologie 25 (1993), Nr. 2, S. 120–148

- [2] HOFFMANN, Lore ; HÄUBLER, Peter ; LEHRKE, Manfred: *Die IPN-Interessenstudie Physik*. Kiel : IPN, 1998 (IPN 158)
- [3] HÄUBLER, Peter ; HOFFMANN, Lore ; LANGEHEINE, Rolf ; ROST, Jürgen ; SIEVERS, Knud: *Qualitative Unterschiede im Interesse an Physik und Konsequenzen für den Unterricht*. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 2 (1996), Nr. 3, S. 57–69
- [4] BARON-COHEN, Simon: *The extreme male brain theory of autism*. In: *Trends in Cognitive Sciences* 6 (2002), Nr. 6, S. 248–254
- [5] BARON-COHEN, Simon: *The essential difference*. London : Penguin, 2004
- [6] SAMSON, Andrea C. ; HUBER, Odilo W.: *Short German Versions of Empathizing and Systemizing Self-Assessment Scales*. In: *Swiss Journal of Psychology* 69 (2010), Nr. 4, S. 239–244
- [7] SCHNEIDER, Ann-Katrin: *„Mag ich nicht. Interessiert mich nicht. Bin schlecht drinne.“ – Eine Untersuchung zum Interesse am Physikunterricht unter Beachtung von Geschlecht und Brain Type*. Münster, Westfälische Wilhelms-Universität, Institut für Didaktik der Physik. Masterarbeit. 2021
- [8] WHEELWRIGHT, S. ; BARON-COHEN, S. ; GOLDENFELD, N. ; DELANEY, J. ; FINE, D. ; SMITH, R. ; WEIL, L. ; WAKABAYASHI, A.: *Predicting Autism Spectrum Quotient (AQ) from the Systemizing Quotient-Revised (SQ-R) and Empathy Quotient (EQ)*. In: *Brain research* 1079 (2006), Nr. 1, S. 47–56
- [9] SVEDHOLM-HÄKKINEN, Annika M. ; LINDEMAN, Marjaana: *Testing the Empathizing-Systemizing theory in the general population: Occupations, vocational interests, grades, hobbies, friendship quality, social intelligence, and sex role identity*. In: *Personality and Individual Differences* 90 (2016), S. 365–370
- [10] BILLINGTON, Jac ; BARON-COHEN, Simon ; WHEELWRIGHT, Sally: *Cognitive style predicts entry into physical sciences and humanities: Questionnaire and performance tests of empathy and systemizing*. In: *Learning and Individual Differences* 17 (2007), Nr. 3, S. 260–268
- [11] ZEYER, Albert ; WOLF, Sarah: *Is There a Relationship between Brain Type, Sex and Motivation to Learn Science?* In: *International Journal of Science Education* 32 (2010), Nr. 16, S. 2217–2233
- [12] SKORSETZ, Nina: *Empathisierer und Systematisierer im Vorschulalter*. [s.l.] : Logos Verlag, 2019

- [13] KRAPP, Andreas: Das Interessenkonstrukt Bestimmungsmernkmale der Interessenhandlung und des individuellen Interesses aus der Sicht einer Person-Gegenstands-Konzeption. In: KRAPP, Andreas; PRENZEL, Manfred (Hrsg.): *Interesse, Lernen, Leistung. : Neuere Ansätze der pädagogisch-psychologischen Interessenforschung*. Münster : Aschendorff, 1992, S. 297–329
- [14] KRAPP, Andreas: *Interesse, Lernen und Leistung. Neue Forschungsansätze in der Pädagogischen Psychologie*. In: *Zeitschrift für Pädagogik* 38 (1992), Nr. 5, S. 747–770
- [15] BARON-COHEN, Simon: *Vom ersten Tag an anders : Das weibliche und das männliche Gehirn*. Düsseldorf : Walter, 2004
- [16] GUADAGNOLI, Edward ; VELICER, Wayne F.: *Relation of sample size to the stability of component patterns*. In: *Psychological bulletin* 103 (1988), Nr. 2, S. 265–275
- [17] VAN SONDEREN, Eric ; SANDERMAN, Robbert ; COYNE, James C.: *Ineffectiveness of reverse wording of questionnaire items: let's learn from cows in the rain*. In: *PloS one* 8 (2013), Nr. 7, e68967
- [18] KREBS, Dagmar ; MENOLD, Natalja: Gütekriterien quantitativer Sozialforschung. In: BAUR, Nina; BLASIUS, Jörg (Hrsg.): *Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung*. Wiesbaden : Springer Fachmedien Wiesbaden; Imprint: Springer VS, 2014 (Springer VS Handbuch), S. 425–438
- [19] DÖRING, Nicola ; BORTZ, Jürgen: *Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften*. Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg, 2016
- [20] BLANZ, Mathias: *Forschungsmethoden und Statistik für die Soziale Arbeit : Grundlagen und Anwendungen*. 2. Auflage. Stuttgart : Kohlhammer, 2021

Investigating Differences in How Teachers Facilitate the Classbook "The Radiation Around Us"

Markus Wintersteller, Maximilian Jeidler, Michael M Hull

Austrian Educational Competence Centre, Division of Physics, University of Vienna, Porzellangasse 4/2/2, Vienna, Vienna, Austria/1090
michael.malvern.hull@univie.ac.at

Abstract

HEC (Hypothesis–Experiment Class) is a Japanese teaching method Kiyonobu Itakura first introduced. Similar to a gameshow, students in HEC are asked a series of problems from which to choose answers A, B, or C. After a discussion phase, the correct answer is revealed. In repeating this procedure, the students are constantly learning more about a specific topic. The first author is the first teacher to conduct the HEC lesson "The Radiation Around Us" (TRAU) at an Austrian school. Our impression is that TRAU has much potential and the first two authors are writing their MS theses on evaluating this potential. According to Itakura, HEC has three goals: growth in conceptual understanding, enjoyment of the lesson, and reproducibility of the lesson across classrooms. In this paper, we will discuss the last of those three points; namely, we look to see how increased experience does or does not affect how TRAU is carried out in the classroom. This paper accompanies the DPG Proceedings by Jeidler *et al.* which addresses the first two goals of HEC.

1. Introduction

The MS theses of the first two authors concern the curriculum "The Radiation Around Us" (TRAU). TRAU aims to teach students that radioactivity is not just something we find around nuclear weapons and power plants, but that it is all around us and always has been. TRAU aspires to have students learn this in a way that is enjoyable and that deepens student understanding also about the nature of science. TRAU has recently been translated first from Japanese into English by the third author and Prof. Haruhiko Funahashi and then from English into German by native German-speaking MS students at the University of Vienna, including the first two authors. It is available upon request to the third author.

1.1. Theoretical background behind TRAU

The original Japanese version of TRAU is an excerpt from Miyuki Yamamoto's curriculum "Radiation and Sievert" (Yamamoto, 2011), which is an example of a Hypothesis–Experiment Class (HEC). HEC was proposed in 1963 by Dr. Kiyonobu Itakura (1930–2018) (Itakura, 2019), who specialized in pedagogy, science history, and the history of science education. HEC is intended to help improve the basic conceptual understanding of students via a cyclical process of "Problem, Expectation, Discussion, Experiment, Problem..." in the classroom (Itakura, 2019). HEC curricular materials for a given topic are comprised primarily of a Classbook, which contains readings and carefully-arranged multiple-choice questions pertaining to a series of experiments. Recently, English

translations of a few Classbooks and writings by Itakura have been published (Itakura, 2019).

Since its inception, a number of HEC curricular materials have been developed to teach students a wide range of topics in both natural and social sciences, and HEC is well-known and widely used by science teachers throughout Japan. The curricular materials of HEC are comprised primarily of an indispensable "Classbook", which students generally receive from their instructor page by page (but in our study students read instead from a projector screen to save paper). These pages contain multiple-choice questions pertaining to an experiment. Students discuss in the whole-class setting after making a personal prediction about the outcome of the experiment. Once the discussion has come to a close, the experiment is conducted or the next pages are distributed which contain the results of the experiment. The next question pertaining to the next experiment is also handed out.

In HEC, authority is given to experimental results and to the discussion between students regarding the experiments. The teacher's role is not to be an authoritative source of knowledge, but rather to ensure that the outcomes of the experiments are clear and to facilitate discussion. For example, during the discussion, the instructor will invite students to share "any other ideas that have not been heard yet? Maybe you chose option A but you were kind of thinking B at first? What was attractive about B in the beginning?" Similarly, part of the discussion is explicitly dedicated to giving space to students who have changed their mind, such that they can share what made sense to them about the other perspective. Just as important

as what the teacher does during the discussion is what the teacher should **not** do. The teacher does not correct the errors in the reasoning of the students, but rather leaves them as they are, waiting for students to accept the scientific principle through the results of a series of carefully chosen and arranged experiments. These measures are considered crucial for the three HEC goals:

Goal 1: "Make sure each and every student gains the ability to use the central theory or concept" (Itakura, 2019, p. 20). This means that more than 90% of the students should correctly predict the correct answer to the last problem in the Classbook. In addition, it is advised to give a test on the material covered one to two weeks after completing the Classbook (Itakura, 2019, p. 20). Problems in the Classbook are carefully chosen and arranged such that this goal can be accomplished. At the same time, HEC urges teachers to refrain from testing students on things not directly discussed in the Classbook.

Goal 2: "Structure the class so that most students report that they like both science and these science classes" (Itakura, 2019, p. 21). The explicit goal is that over 50% of learners report that they "liked" or "really liked" science and the Classbook and that virtually no one reports that they "disliked" the Classbook. To ascertain this, HEC practitioners generally ask students directly whether they enjoyed their learning by having students answer a one-question survey administered immediately after the Classbook has ended (Itakura, 2019, p. 21). This question is referred to as the "*tanodo*" (translated from Japanese as "degree of enjoyment") survey. Participants choose a selection from a five-point scale, with 1 being "it was very enjoyable" and 5 being "it was very boring".

Goal 3: "Make all necessary preparations so that any teacher sufficiently passionate about education, not just special veteran teachers, will be able to teach this type of class (Itakura, 2019, p. 22)". In short, this means that HEC lessons should be easy to carry out with the help of the Classbook by any teacher, regardless of that teacher's extent of teaching experience.

In order for students to enjoy learning and to personally accept the scientific principles on the basis of demonstrated experimental results, HEC considers it essential for students to participate in the accumulation of the knowledge without having their ideas denied by the authority of the teacher; rather, student ideas are to be informed by the authority of the experimental results themselves. This is why minimal explanation, if any, is given between experiments in a Classbook. Instead, the questions are carefully arranged such that students gradually come to a scientifically-accepted understanding of the content material in a way that feels organic to them and that they are personally convinced of. Problem 6 of TRAU, for example, asks students how they would expect the gamma radiation level to change as we climb a tower

to a height of 140 m (Figure 1 below). We have observed a wide range of student ideas during discussion about this question, for example, that cosmic rays increase with height, that cosmic rays are completely blocked by the atmosphere, that concrete of the tower emits radiation, and that the humidity of the air between the ground and the observation deck absorbs radiation. However, after seeing the result of the experiment (that the radiation is less at the top of the tower), students proceed immediately to Problem 7 without additional narrative. Teachers unfamiliar with HEC may be tempted to add discussion at this point about ideas students brought up that are incorrect and/or would have led to the incorrect prediction. Such additions to the original curriculum are discouraged, however, as they are seen as rejecting student ideas and "brutally forcing a theory on the student" (Itakura, 2019).

1.2. Structure of the TRAU Classbook

TRAU typically begins by having students construct their own cloud chambers from dry ice and rather everyday materials like Styrofoam boxes, thick paper, and alcohol. This way, when students see that tracks from ionizing radiation appear even when no radioactive source has been put inside the cloud chamber, they can recognize that it is not because of using high-tech physics equipment that is generating ionizing radiation; rather, radioactivity is part of their everyday existence. In Austria, however, it is problematic for teachers to bring dry ice into the classroom due to safety concerns. As our goal is to provide Austrian teachers with effective curricular materials that they can use relatively easily, we hence replaced the activity of having students design their own cloud chambers with having students watch videos of tracks in cloud chambers. This was justified by the study of Theyßen (2014) which found that learning gains of students studying geometric optics were unaffected whether students did hands-on experiments or used simulations. Specific to radioactivity, this result was also found in the BS thesis of Marlene Freilingner (2022) who found that student learning about ionizing radiation was not noticeably affected whether they made their own cloud chambers (using a frozen gel pack instead of dry ice) or watched and discussed videos about cloud chambers. Regarding student enjoyment (HEC goal #2), Freilingner asked students to rate on a scale of 1 ("really uninteresting") to 10 ("very exciting") how interesting they had found the lesson. She found that student interest was greatest in the class where the students succeeded in making their own cloud chambers (9.2/10). However, the gel pack design proved unreliable, and student enjoyment was lowest in the class where they failed in making tracks visible in the chamber (6.5/10) (the enjoyment of students in the video-based lessons was between these two extremes at 7.2/10). Since all of these results are

[Problem 6]
 Ein anderer Weg uns von der Erde zu entfernen ist unseren Abstand zum Boden zu erhöhen. Dieses Foto zeigt die Strahlungsmessung am Boden des Tokyo Towers. Wie du sehen kannst, war die gemessene Dosisleistung bei 0,065 Mikro-Sievert pro Stunde. Wie würde sich die Strahlung verändern, wenn wir die Stiegen auf 140m hochklettern?

Erwartung
 A) Die Strahlung wird mit zunehmender Höhe schwächer.
 B) Die Strahlung bleibt gleich, unabhängig von der Höhe.
 C) Die Strahlung wird mit zunehmender Höhe stärker.

Warum denkst du das? Teile deine Ideen mit den anderen.



Fig. 1: Problem 6 from the Classbook TRAU. Although the experimental result is A, that the radiation at the top of the tower is weaker, it is not surprising at this point of the Classbook for students to give very sensible reasons for choosing the other two options, based upon the results of the first five Problems (Printed with permission from Miyuki Yamamoto).

above “neutral”, we judged that removing the hands-on task of creating a cloud chamber would make TRAU much more acceptable to Austrian school teachers without compromising the three HEC goals. After the introduction with the cloud chamber, students are introduced to the hand-held ionizing radiation detector (the Classbook uses a gamma detector) and Sievert unit, which is defined as a measure of the health-related effects of radiation on the human body. After this, a succession of nine “Problems” ensue that involve measuring with the gamma detector, including Problem 6 discussed above. The final problem of the Classbook that is used to assess whether the first goal of HEC is met asks “do humans emit gamma radiation?” Everything that has been discussed in the Classbook up until this point is intended to prepare students to answer this final Problem correctly. This Problem thus tests to see if students have successfully constructed the hypothesis that radiation is everywhere and constantly present.

1.3. Motivation for our study

The first author is the first teacher to conduct TRAU (the English version) at an Austrian school. Our impression is that TRAU has much potential and the first two authors are writing their MS theses on evaluating this potential. Although some studies were conducted during the creation and revision of Radiation and Sievert, they were primarily unpublished and anecdotal in nature. Likewise regarding TRAU, other than a MS thesis written by the TRAU developer, Mr. Takashi Goto, there are no published reports about whether the HEC goals are met or not. In this paper, we will

discuss the last of the three HEC goals, that effectiveness of TRAU should not depend upon who the teacher is. Generally speaking, there is reason to suspect that a given curriculum would *not* be equally effective with all teachers. The PhD thesis of Goertzen, for example, demonstrated how graduate student teachers (TA’s) did or did not faithfully implement research-based guided worksheets. These worksheets (Open Source Tutorials) emphasize the role of intuition in learning physics, aiming to have students refine their intuitions to align with the physics they are learning while coming to value the process of doing so. One of the TA’s she observed, Oscar, told his students to not give much thought to the questions asking about intuition. In so doing, he severely undermined the Tutorial, making it essentially ineffective (Goertzen, 2010). We aim to investigate how prone TRAU is to teachers similarly acting in ways that compromise the effectiveness of the Classbook. In this paper, we focus on one teacher who began with no experience with HEC and who taught TRAU three times. By examining changes in how the teacher carried out TRAU, we can tell a story of how increased experience does or does not affect how TRAU is carried out in the classroom. This paper accompanies the DPG Proceedings by Jeidler *et al.* which addresses the first two goals of HEC.

2. Methodology

Our study involves the teaching of TRAU to 8th grade students at two different schools. The first school is a Gymnasium in Lower Austria and the second one is a

middle school in Vienna. At each school, two teachers will teach or have already taught using TRAU. Specifically, with the exception of one of the middle school teachers (the first author), all three teachers have already used TRAU with their students. This paper focuses upon one of the two Gymnasium teachers who is relatively new to the teaching profession and who taught TRAU a total of three times (the other three teachers will teach or have already taught TRAU only once, totaling six cohorts of students). Each of the three implementations of TRAU was with a different cohort of 8th grade Gymnasium students at the school of the teacher.

We focus on this teacher in this paper with the argument that novice teachers are more likely to change their teaching approaches rapidly as they “settle in” to their new profession. If we observe relatively little change in how this novice teacher facilitates TRAU across each of the three implementations, then we can suspect that more established teachers would likewise make only relatively small changes to how they teach TRAU. This would be part of meeting HEC’s third goal, that the Classbooks can be used effectively even the first time by novice instructors.

The bulk of the data involved in assessing whether the third HEC goal is met comes from audio and written recordings of the six cohorts of 8th grade students learning with TRAU. Detailed descriptions of how each cohort of students progressed in coming to understand radioactivity will be compared to find similarities and differences in how the teachers implemented TRAU. The first author will draw upon data from these descriptions to build arguments that either the instruction was or was not faithful to the intentions of TRAU and the HEC approach discussed above, and these arguments will be discussed with the third author. Together, data from other segments of the audio transcripts will be drawn upon to reinforce or refute these claims and the arguments will be refined in a manner consistent with the constant comparative method (Kolb, 2012).

In addition to these in-class recordings, the first author has also interviewed each of the other three teachers in one-on-one interviews after their teaching with TRAU to see if the teachers felt satisfied with TRAU and to discover what, if any, problems they had faced. The interview protocols consisted of the following prompts:

- How difficult was the lesson to prepare and how long did it take?
- What was the biggest problem that occurred during the lesson?
- How does the style of instruction compare with what you usually do?
- Is there anything you found strange about the Classbook approach?
- Were there any times that you deviated from the Classbook? If so, how and why?

- Do you feel like your students were actively involved in their learning with the Classbook? More than usual? Less than usual?
- Do you feel like the discussion in the class was dominated by just a few students, or do you feel that everyone was contributing?
- Will you use the Classbook in future lessons?

These interviews serve as secondary sources of data to triangulate the accounts of teachers with the perceptions of the first and third authors regarding what happens in the TRAU classrooms. As such, they serve as secondary sources of data and were kept relatively short (10 – 15 minutes). Due to COVID-19, Zoom was used to conduct and record all three interviews.

3. Results

Generally speaking, only two changes were observed across the three times that the novice instructor facilitated TRAU, and they were both rather minor. The first difference was the degree to which the teacher had students read the Classbook out loud. In the first implementation, the teacher did most of the reading for the students. In the third implementation, the teacher asked the students to do most of the reading, and intentionally called on the students who were silent during the discussion phase to read the next part. The teacher reported, in the interview, an increased confidence in the third implementation compared to the first. We find it plausible that this increase in confidence may have resulted in an increased willingness to give control to students in reading the Classbook. Particularly in the first implementation, the teacher reported, it felt strange to read so much, as reflected in the following quote.

Ja, also es war für mich und die Schüler ungewohnt, dass wir so viel gelesen haben. Also das ist in meinem Unterricht eigentlich nicht so. Es wird zwar viel geredet und diskutiert, aber dass man so richtig lesen ist eher selten der Fall, bis auf Artikel oder solche Dinge ab und zu, aber aus Büchern eher nicht. Das war am Anfang etwas ungewohnt und habe mir gedacht, dass es schon lange dauert, bis man zur ersten Aufgabe kommt.

The second difference we observed was that the teacher took more time to explain the Classbook structure and HEC learning format in later implementations. In the interview, the teacher described greater familiarity with the Classbook as time went on, as reflected in the following quote.

Ich habe gemerkt, dass ich bei der dritten Klasse auf jeden Fall am sichersten war. Da habe ich schon gewusst wie es abläuft und ich habe gemerkt, dass es gut war, dass ich es öfter gemacht habe und nicht nur ein Mal.

We find it plausible that the extra time spent explaining the HEC format to students resulted from this increased familiarity with the Classbook itself and with

what students in earlier implementations had found unusual.

These two differences are sufficiently small that we do not think they would lead to a significantly greater likelihood of obtaining the first two HEC goals (about conceptual learning gains and student interest). We see this intra-teacher consistency as being some evidence that the third HEC goal is met in TRAU: extent of teaching experience does not play a major role in how teachers facilitate TRAU. As early as the first implementation, the novice teacher was following the HEC procedure described above.

Additional evidence that the third goal of HEC is satisfied with TRAU comes from the teacher's response to the first question about how difficult it was to prepare for facilitating TRAU. The teacher said that, although some questions did arise while preparing, the questions were readily answered by the second author (who teaches at the same school), and not much time was needed to prepare:

Genau also ich habe mir das damals in den Semesterferien mal angeschaut und alles durchgelesen und ein paar Fragen mir notiert, wie das mit dem Abfragen genau gemeint ist und dem Notieren an der Tafel. Da habe ich dann den Maximilian Jeidler ein paar Dinge gefragt, wo mir Sachen unklar waren. Ansonsten ist die Vorbereitung eigentlich schneller als gedacht gegangen, weil alles eigentlich im Guide super erklärt ist. Eben wie gesagt ein paar Sachen habe ich nicht ganz verstanden wie sie gemeint sind. Aber ansonsten hat das dann eigentlich relativ schnell funktioniert.

The answers to these questions can readily be added to future versions of the German translation of the HEC instructor's guide. Since preparing for TRAU (especially when no cloud chambers are actually assembled) requires relatively little time, we see that even busy and preoccupied teachers can succeed in teaching it, giving further evidence that the third goal of HEC is being met.

4. Outlook

In this paper, we have presented an abbreviated case study of one teacher who facilitated TRAU. The teacher was a novice instructor in general and was completely new to HEC and TRAU. The teacher said that, at first, it felt strange to read so much out loud from the text during class. After three implementations of the Classbook, the teacher reported increased understanding of the process and accompanying confidence, and we observed an increase in how much the teacher had students read the Classbook out loud during class and in how much the teacher explained about the Classbook and the HEC process. Although these are changes, our point is that these changes are relatively small. Since this was a novice teacher, we can expect that experienced teachers would exhibit even smaller changes in how they facilitate TRAU from implementation to implementation. We see this

stability as evidence that even inexperienced teachers can successfully facilitate TRAU, which is the third goal HEC places on each of its Classbooks. Indeed, the novice teacher discussed above was able to make sense of the HEC approach sufficiently well to stay true to the teacher's guide even in the first implementation.

In future work, transcripts from the class of all four teachers will be created and compared with each other and with the teacher's guide to see the extent to which the teachers stayed true to the HEC approach, and if and how these differences influenced interest and learning of students.

It remains a question for future research how teachers in Austrian schools will respond to TRAU and to HEC in general. Even if all three goals of HEC are satisfied, if teachers do not enjoy teaching in the HEC manner, then it is unlikely to be disseminated. The first author has found teaching with TRAU to be enjoyable for himself and his students, as it feels like playing in a quiz show. The novice teacher, when asked in the interview "will you use the Classbook in future lessons?" responded very favorably with "absolutely yes":

Absolut ja. Ich war am Anfang ein wenig gespannt wie das wird, wie die Schüler das aufnehmen und wie ich das finde. [...] Aber es ist wirklich so ein cooles Thema. Es wird von den Kindern so gut aufgenommen und man kann so viel drüber reden und diskutieren. Vor allem weil es eben so allgegenwärtig ist das Thema. Und da muss ich wirklich sagen, es ist es ein super Einstieg in das Thema. Ich hätte es sicher nicht so interessant gemacht, dass gleich mal alle Kinder wissen, ok Radioaktivität umgibt uns. Also das finde ich auch das Schwere, dass man es ihnen beibringt. Genau durch dieses Unterrichtskonzept wird das so gut übermittelt und ich glaube wirklich, dass ich das beibehalten werde.

Here, the teacher is expressing passion not only about the topic of radioactivity, but about the Classbook's approach to teaching it in particular, saying that TRAU does a great job of conveying that we are surrounded by ionizing radiation. The teacher voiced intention to use the Classbook again in the future. Whether the teacher (and other teachers) actually do so or not is a question warranting future research.

5. Literature

- Goertzen, R. M. (2010). *Investigating and Accounting for Physics Graduate Students' Tutorial Classroom Practice*. University of Maryland, College Park.
- Itakura, K. (2019). *Hypothesis–Experiment Class (Kasetsu): With practical materials for fun and innovative science classes* (H. Funahashi, Ed.). Kyoto: Kyoto Univ. Press & Melbourne: Trans Pacific Press.
- Kolb, S. M. (2012). *Grounded theory and the*

constant comparative method: Valid research strategies for educators. *Journal of Emerging Trends in Educational Research and Policy Studies*, 3(1), 83–86.

Theyßen, H. (2014). Methodik von Vergleichsstudien zur Wirkung von Unterrichtsmedien. In S. Spektrum (Ed.), *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (pp. 67–79). Berlin, Heidelberg.

Yamamoto, M. (2011). Radiation and Sievert (Japanese). Hippopoya Summer Conference Edition.

Learning Gains with the Newton's Third Law Open Source Tutorial in Austrian High Schools

Iva N. Sampaio-Kronister, Michael M. Hull

Austrian Educational Competence Centre, Division of Physics, University of Vienna, Porzellangasse 4/2/2, Vienna, Vienna, Austria/1090
michael.malvern.hull@univie.ac.at

Abstract

In her MS thesis, the first author researched the use of the Newton's Third Law Open Source Tutorial in Austrian high schools in order to see if students achieve a better conceptual understanding of the physics concepts, compared to traditional instruction. The research was carried out in nine classes from three different schools (a total of 240 students). Pre-post testing was done with a "Force-Test" that included the Force Concept Inventory's Third Law dimension. All classes had already had their lessons in mechanics by the time of the pre-test. Therefore, the pre-tests results presented a good picture of what students had learned with traditional instruction. Between pre- and post-tests students had their normal classes with traditional instruction, which did not include mechanics, and only one 50-minute intervention with the Open Source Tutorial on Newton's Third Law. Subsequently they had the post-test, which showed what they learned with the tutorial. The results' analysis shows an evident gain on conceptual understanding of Newton's Third Law's concepts (g-factor=0,45). The survey also indicated that these concepts actually made sense to the students: many of them had reconciled their intuitive ideas with the correct scientific concepts.

1. Motivation and Introduction

Physics instruction in schools is important on the individual scale, as it can provide a student with knowledge and problem solving skills that can positively impact their future career and general well-being. Physics instruction is also important on the collective scale, as these influences on individuals further impact social, political, economic and cultural worlds. Awareness of the role that learning (or failing to learn) physics has on society has motivated the past decades of physics education research, which has examined how students learn, and what are better ways to teach. This body of research has demonstrated that teaching physics in a traditional didactic (lecture-based) manner is ineffective, both in terms of learning gains and in terms of student enjoyment of and interest in the subject. Teachers can not "spread knowledge" the way one might spread fertilizer over a field. Students do not passively absorb knowledge; their interaction with each other and with the content material is crucial to their learning. Research has shown that for most students to learn beyond an extremely superficial level, it is necessary for teachers to provide opportunities for those students to actively participate in the classroom. This is true not only for developing conceptual understanding of physics content (e.g., Newton's laws of motion). This is also true for improving students' attitudes and views about the nature of physics knowledge and about what it means

to acquire physics knowledge (that is, a student's "epistemology"). Many teachers (implicitly) assume that it can help students learn about the nature of physics by making side remarks like "see, this model is useful not only in the idealized no-friction world, but in the real world outside the classroom too!" Research has shown, however, that this is just as feckless as lecturing about Newton's laws: "spreading fertilizer" on students, either in the form of content knowledge or epistemological knowledge, is rarely effective (Schecker et al. 2018).

Students' epistemology is important, because it can influence the way students prepare for classes and their self-evaluation of how well they "know" the material being taught. Research has shown that students' epistemology in physics correlates with their interest in physics, with the courses they choose to take, with conceptual gain in those courses, and with the decision to become a physicist (Hull et al. 2016). Researchers have also found a positive correlation between epistemology and performance motivation of students (highly motivated adolescents have more expert-like views about the nature of science knowledge and learning) (Urhahne and Hopf, 2004). Epistemology is important not only at the level of the individual, but also at the level of a democratic society, since people's perception of science affects both the financial support given to scientific research (Hull et al.

2016), and also the degree to which government officials place their trust in scientific findings. In times of crisis, like what the world currently faces with the COVID-19 pandemic, we can clearly see the importance of such trust.

Many instructors assume that students will develop a more expert-like epistemology automatically as they learn the content taught in class. Research has shown, however, that this is generally not the case, even in courses that use research-based curricular materials in an active learning environment to promote conceptual understanding. In fact, unless the physics instruction explicitly embeds epistemology into the curriculum, it is most common for student epistemology to become less expert-like after the instruction (Hull et al. 2016).

According to Elby (2001), “so many excellent physics courses fail to foster significant epistemological change,” even courses that include some elements with focus in epistemology. He argued that “isolated pieces of epistemologically focused curriculum aren’t enough. Instead, the epistemological focus must suffuse every aspect of the course. Therefore, the instructor’s commitment to an epistemological agenda must go beyond a willingness to implement certain curricular elements... [there is] no reason to think that partial adoption of [a suite of curricular elements demonstrated to improve epistemology] will lead to epistemological change.”

The course Elby described in his article utilized guided worksheets (“Open Source Tutorials”, or OSTs) that students complete in groups. OSTs emphasize not only conceptual growth of learners around unintuitive physics topics, but also epistemological development, by having learners come to see that their intuitions can align with physics. Elby is the founder of the OSTs concept, and a suite of OSTs was developed at the University of Maryland, College Park. Our research investigates the effectiveness of OSTs with Austrian high school students.

After Elby’s words of caution, there have been occasional reports of instructional interventions that saw improvement in student epistemology despite not having “the epistemological focus... suffuse every aspect of the course.” (e.g., Hull et al., 2016; Wilhelm, 2006) As such, to date, there remains work to be done to examine what the necessary conditions are for epistemology to improve (Hull et al., 2016). We hence decided to evaluate not only students’ conceptual learning gains, but also changes in student views about the nature of physics knowledge and learning, despite our intervention being limited to implementation of just one OST, covering the topic of Newton’s Third Law.

2. Newton’s Third Law and Open Source Tutorials

Although students in beginning physics classes often see much of the physics they learn as being vastly disparate from the “real world” outside of the classroom, Newton’s Third Law (N3) seems particularly “against common sense”. The law concerns the interaction between two objects: “To every action there is always an opposed equal reaction”, or “Whenever one object exerts a force on a second object, the second object exerts an equal and opposite force on the first” (Hewitt, 2015).

Smith and Wittmann (2007) analyzed student reasoning about N3 in various contexts that they categorized as pushing situations and collision situations. These two types of situations are distinguished by the period of time in which the two bodies are in contact. While collision situations happen when the bodies interact for a very short period of time, pushing situations are when the objects are in contact for an extended period of time. They found that, for both types of situations, student reasoning is affected by contextual factors such as the velocities and masses of the two objects (students have no difficulty, for example, thinking that equal mass objects colliding with each other at equal speeds exert equally large forces on each other. In cases where one of the two colliding objects begins at rest and has less mass, on the other hand, student thinking is much less likely to align with N3). Smith and Wittmann categorized these context-based subtleties in student reasoning with three facets of reasoning:

- a) action dependence facet (the more active or energetic object exerts more force);
- b) mass dependence facet (the bigger or heavier object exerts more force);
- c) velocity dependence facet (the moving object or a faster-moving object exerts a greater force) (Smith and Wittmann, 2007).

Students may also use two or all three of these facets simultaneously in thinking about a given problem. For example, in the situation of a more massive object smashing into a smaller-mass, stationary object, all three facets might be elicited. On the other hand, students may produce a false positive (giving the correct answer with incorrect reasoning) because of different facets compensating each other (for example, students may say that the forces are equal if a lighter object crashes into a slower object). Smith and Wittmann (2007) found that the action dependence facet was the most common incorrect reasoning used by students in their study (e.g., if A hits B, A exerts a force on B. B does not exert a force; it is just in the way).

It is important for instructors planning and teaching lessons on N3 to consider how students reason about the topic and to be aware of what epistemological implications their instruction may have. Specifically, the

three facets of reasoning mentioned above seem sensible to students, so teachers should be very careful when teaching about N3 that student epistemology does not deteriorate; namely, students generally walk away from learning about N3 with a stronger feeling that physics doesn't make sense except, perhaps, to physicists. Just as important as this pedagogical content knowledge is curricular knowledge, being aware of what curricular materials have been developed that teachers can take advantage of to guide their students to conceptual change and the feeling that the physics they are learning can make sense.

Created by the University of Maryland Physics Education Research Group, Open Source Tutorials (OSTs) are a collection of active-learning worksheets intended for use in the classroom. Although many OSTs are based upon Tutorials in Introductory Physics (TIPs) developed by the Physics Education Group at the University of Washington, some—like the tutorial on N3—are unique. TIPs are research-based in the sense that 1) the topics were chosen as a result of extensive physics education research on what topics are particularly difficult for students and 2) they have been developed through extensive testing, with many groups of students being observed in class to see how they interact with the lesson, and they have been shown to be substantially more effective than traditional instruction in helping students build a good conceptual understanding of physics (Tutorials from the UMD PERG, 2009).

OSTs and TIPs were developed to be given in a 50-minute class with approximately 15 to 30 students, divided into small groups of three to five students. The students are guided by the carefully designed worksheets (four to six pages), and each group generally works and reasons together, while instructor(s) rotate from group to group to facilitate the discussions and clarify any ambiguity in the instructions. These tutorials were created to be functional also in settings where computer tools are not available for each student, making modest use of digital resources. In order to promote authentic student discussions where students say what they really think (instead of giving the answers they think the teacher wants to hear), tutorials are usually not graded (often homework is assigned based upon the tutorial and sometimes exams incorporate tutorial-like questions so that students take tutorials seriously).

While both TIPs and OSTs aim to help students improve their conceptual understanding of tricky physics topics, OSTs place an additional explicit emphasis on epistemology. In particular, OSTs aim to have students come to value their intuitions in learning physics by seeing how their everyday experiences can be reconciled with the physics they learn (Tutorials from the UMD PERG, 2009). OSTs expect students to share and scrutinize their prior knowledge and intuitions and to consider the extent to which those intuitions agree with the concepts being studied. “Rather than just helping students resolve their difficulties,

the OST[s] help students understand when their intuitive ideas are applicable and when not.” In terms of the “elicit, confront, resolve” process, OSTs explicitly have the “resolve” step be a process of refining existing (and misapplied) intuitions, which helps make epistemology more expert-like (Wittmann et al., 2009).

Although the developers specify that OSTs were designed so that each teacher can “make adjustments” in order to fit the worksheets to their individual instructional needs, teaching in OSTs in a manner faithful to their intended use is not trivial, in part due to the epistemological emphasis, which many teachers and students find off-putting (Tutorials from the UMD PERG, 2009). To help teachers avoid mistakes when administering the OSTs, the developers produced instructors manuals which call attention to some key guidelines behind the lessons. These manuals, together with the worksheets themselves (and the homework associated with each OST) are available for free for teachers online (Maryland Open Source Tutorials in Physics Sensemaking, 2011).

The Newton's Third Law Open Source Tutorial (N3 OST) (Open-source tutorials integrated with professional development materials, n.d.) considers students' intuitions about a collision of a heavy truck that rams into a parked car (see Figure 1, below). This is a situation in which all three facets of reasoning (action, mass, and velocity dependence) can be triggered.

The main point of this tutorial is helping you learn more strategies for learning physics concepts that seem to defy common sense.

I. Newton's third law and common sense

According to Newton's third law, when two objects interact,

The force exerted by object A on object B is equal in strength (but opposite in direction) to the force exerted by object B on object A.

Often, this law makes perfect sense. But in some cases, it seems not to.

Consider a heavy truck ramming into a parked, unoccupied car.



Fig. 1: Excerpt from the Open Source Tutorial on Newton's Third Law

Research has shown that the N3 OST helps students achieve a better conceptual understanding of N3, not only compared to traditional instruction, but compared to other active-learning worksheets. Smith and Wittmann (2007) have researched and compared three methods for teaching Newton's Third Law, including the OST and TIP, and concluded that students using the OST out-performed students using the other types of worksheets.

Our work involves the use of only the N3 OST in Austrian high schools, and our research question is:

- Can the Open Source Tutorial on Newton's Third Law help students in Austrian high schools achieve a better conceptual understanding as well as a better view about the nature of physics knowledge and learning (i.e. epistemology development), compared to their usual physics instruction?

As a "side question", we also investigated the extent to which learners accepted the teaching approach that was new to them:

- Will the N3 OST have a good acceptance among students, since it differs from what they are used to in traditional instruction?

3. Methodology

Our research priority was to compare the difference between traditional instruction with the intervention using OST on the same population of students, having the same parameters (conditions, background, culture, i.e., in Austria) and not the comparison with other samples of students of existing findings from other countries. Comparison between our findings with Austrian students and existing results and findings from other studies was secondary in importance.

At the time that our test instruments (described below) and the N3 OST were administered, students had already received traditional mechanics lessons from their teachers. Therefore, the pretest gave a good indication of students' status (in terms of N3 conceptual understanding and epistemology) after traditional instruction. Hence, we could say that the pretest for our study was simultaneously a post-test for the traditional instruction.

Between pre- and post-test there was a time elapse of approximately six weeks. During this period of time, the N3 OST was the only instruction about force or Newton's laws that students had, as their physics instruction did not discuss mechanics after the pretest.

Therefore, the post-test gave a good measure of students' status (in N3 conceptual understanding and their epistemology) after the OST intervention.

In order to have a wide sample of students from different courses and schools, i.e., a generalized and heterogeneous representation of Austrian high school students, we obtained data from a total of nine classes of students taken across three schools. Since not only the general high school (AHS – Allgemein bildende höhere Schule, including Gymnasium and Realgymnasium) but also the vocational school (BHS – Berufsbildende höhere Schule) accounts for a great percentage of youth's education in Austria (Bildung in Zahlen, 2020), we included both school types in the study (half of the students from AHS and half from BHS). In total, there were seven different course focuses represented: language, informatics, music, arts,

sports, agriculture and agricultural machinery. This also enabled a good balance between gender (in some classes there were mainly girls, but in others mainly boys).

The decision as to which school year to involve in the study was made based on the official high schools' curricula (Lehrplan), provided by the Austrian Federal Ministry of Education, Science and Research (bmbwf) (Austrian Federal Ministry of Education, Science and Research, n.d.). Both the Lehrplan for AHS (Austrian official curriculum for general high schools, n.d.) and the Lehrplan for BHS (Austrian official curricula for vocational high schools, n.d.) prescribe the study of Newton's laws in the first year physics is learned in high school (which is not necessarily the first high school year; depending on school and course types, it can be either on the first, second or third high school year). As a result, the age range was quite large, ranging from 14 to 19 years old.

The total number of students, which took part in either the pretest, the OST, or the post-test (or in some combination of these) was 240. The analysis was made from the $N = 181$ students who participated in all three phases of the process.

The bulk of our research data comes from written surveys administered to students on the pretest and post-test sandwiching the N3 OST. To measure conceptual understanding about N3, we used items taken from the FCI. To consider epistemology, we had students answer these items in a "split task" format. We will discuss this test format after discussing the items on the conceptual survey themselves.

3.1. Force Test

The Force Concept Inventory (FCI) is a test instrument created by Hestenes, Wells and Swackhamer (1992) in the 1990s to evaluate student understanding of the fundamental concepts of Newtonian physics. Since its inception, the FCI has become the most internationally-used test for students' misconceptions in kinematics and dynamics, and it has established an extensive collection of test results.

The FCI is composed of 30 multiple-choice questions, each with five possible answers – from A to E. These items have been categorized into six major conceptual dimensions (Kinematics, First Law, Second Law, Third Law, Superposition Principle and Kinds of Force). There are no questions where calculations are necessary: the questions are purely conceptual. By answering the FCI multiple-choice questions, the student is compelled to make a decision between Newtonian concepts (represented by the one correct answer in each question) and commonsense alternatives – or misconceptions (represented by "distractors" distributed among the other four answer possibilities). At first glance, the FCI questions appear to be quite banal (and therefore not very revealing) to many physics teachers. These teachers are astonished

when they find how badly their own students do on the test. Although there is controversy over individual items, the FCI as a whole is a good indicator of Newtonian thinking (Hestenes et al., 1992). Hestenes and Halloun (1995) stated that the FCI can be used for several different purposes, but that evaluating the effectiveness of instruction is the most appropriate one.

In order to measure the conceptual gains after N3 traditional instruction and after the N3 OST intervention, we created a survey containing the four FCI questions that relate to Newton's third law (FCI N3). However, a test containing only four difficult questions could lead to a floor effect, which is where measurement errors arise from an excess of low scores (i.e., we know the students did poorly, but we cannot adequately measure *how* poorly they did). We also considered that a control measure would be important to compare students' conceptual changes in other topics with those of N3. If students improved also in topics that were not discussed in the N3 OST, then there would be a good chance that the improvement on the N3 items was likewise due to some other factor beyond the N3 OST.

Taking these points into consideration, a "Force Test" with ten questions about forces was designed containing the following items:

- a) four FCI N3 questions (for conceptual understanding about the content in the intervention);
- b) three other FCI questions (as control measure);
- c) three N3 "very easy" made up questions (to reduce floor effects).

The Force Test was administered using the "split task" format, which we will now discuss.

3.2. The Split Task Format

The "split task" format is a simple but rather amazing set of instructions that students follow in answering multiple choice items of a survey.

McCaskey and Elby (2005) explored the question: "Do students really believe the physical principles they learn in class?" by having students complete the FCI with the instructions that they should give two answers to each question. One answer (indicated with a circle) represented the answer which made "the most intuitive sense" to the student. The other (a square) represented the answer which the student thought "a scientist would give". In this "split task" format, students are told clearly that they can (but do not need to) circle and square the same answer, if appropriate (McCaskey and Elby, 2005).

McCaskey and Elby showed in validation interviews of this methodology that "intuition splits" really do indicate a discrepancy between a student's common-sense ideas and the answer he thinks a scientist would give. Furthermore, these interviews verified that focusing on the intuition split provides insight into the tendency and capacity students have to reconcile their intuitive ideas with physics concepts. The interviews

showed the desire of some students to reconcile the squared and circled answers (McCaskey and Elby, 2005), exactly what OSTs aim to do.

3.3. Analysis Tools

In order to quantify the pre-post improvement made by students, we used the normalized gain (g) - or g -factor, which is often used by the physics education research community. The normalized gain is the number of points gained compared to the number of points that could have been gained; in other words, it is the ratio of the realized improvement to the maximum possible improvement. To check these gains for statistical significance, the p -value was calculated.

Furthermore, we used the t -test paired (two samples for means) with a significance level $\alpha = 0,05$ to determine if there is a significant difference between the arithmetic means of pre- and post-tests.

4. Analysis and Results

When analyzing the split task results, we differentiate between four possible outcomes:

- a) "Right reconciled" means the correct answer was given for both the scientist's and the intuitive answer (not split).
- b) "Right scientist" means the student selected the correct answer as the scientist's answer but a different answer for the intuitive one (split).
- c) "Right intuition" is just the opposite of "right scientist": the correct answer was given as the intuitive answer but a different answer was given as the scientist's one (split).
- d) "Wrong" means both scientist's and intuitive answers were wrong, whether they agreed with each other or not.

We consider the "right scientist" splits to be the most important, as they show a lack of reconciliation between the student's intuitions and what they (otherwise) successfully learned. However, we have also collapsed "right reconciled" and "right scientist" into one category ("right") shown in the black bars in Figure 2 below. Similarly, we collapsed "right intuition" and "wrong" into the white bars (labeled "wrong").

The calculation of the split percentage is the percentage of "Right scientist" answers in relation to (divided by) the percentage of "Right" answers.

The amount of right answers given on the four FCI N3 questions after traditional instruction was 31% and after the N3 OST was 62% (an increase of 1.24 points on average). The g -factor was $g = 0,45$ ($p = 6,71 \cdot 10^{-25} \ll \alpha$). The split percentage in the right answers was 41% (13/31) after traditional instruction and 29% (18/62) after the N3 OST intervention.

The amount of right answers given on the FCI N3 collision question after traditional instruction was 35% and after the N3 OST was 80% (an increase of 0.45 points). The g -factor was $g = 0,69$ ($p = 1,47 \cdot$

$10^{-19} \ll \alpha$). The split percentage in the right answers was 63% (22/35) after traditional instruction and 22% (18/80) after the N3 OST intervention.

The amount of right answers given on the non-N3 FCI items after traditional instruction was 30% and it remained at 30% after the N3 OST. The split percentage in the right answers was 29% (9/30) after traditional instruction and 27% (8/30) after the N3 OST intervention.

5. Discussion

Regarding conceptual learning gains about Newton's Third Law, the results from the four FCI N3 questions clearly reveal that students had a better understanding of N3 after the N3 OST than what they had learned with traditional instruction. The p-value being less than α indicates that there is a high probability that the collected data do not represent a random result, but rather that the OST is indeed more effective than traditional instruction.

Existing research has indicated that we can expect traditional physics instruction to yield a normalized gain as small as $g \sim 0,2$. Physics courses that are research-based and that utilize interactive engagement obtain higher normalized gains, ranging from $g \sim 0,35$ to $g \sim 0,6$, depending on the extent of the reform (Redish and Hammer, 2009). The result of $g \sim 0,45$ on the four N3 FCI items achieved in Austrian high schools for one 50-minute intervention with the N3 OST was within this range.

Although the FCI was not designed to have conclusions drawn on the basis of individual items, we decided to look specifically at the one FCI N3 collision question, since the N3 OST focuses exclusively upon such a collision situation. The number of students who answered this question correctly after the N3 OST intervention was dramatically more than after traditional instruction. On the pretest, 64 out of $N = 181$ students answered this question correctly but on the post-test, this number escalated to 145 (2,27 times more). We can also see a dramatic difference in comparing the normalized gain of the arithmetic means (g) from the group "FCI N3 questions" (0,45), which includes three pushing items and the one collision item, with the g from that one FCI N3 collision question (0,69). It is clear that there are a number of students who do not transfer what they learned in the N3 OST about collisions to reasoning about pushing. This supports the decision of Smith and Wittmann (2007) to distinguish pushing situations from collision situations: for at least some students in Austria, they are different contexts which trigger different reasoning patterns.

The null result from the non-N3 FCI items has important conclusions as well. Since the N3 OST does not discuss the force topics discussed in these items, we did not expect a gain on these items. To be more precise, we had *hoped* to not see a gain with these

items, as such a gain would indicate that the student had had some exposure to mechanics instruction other than the N3 OST in between pretest and post-test. Were that the case, then we would not be able to claim that gains on the N3 FCI items were due to the N3 OST (they may have been due to that additional instruction instead). This lack of improvement on the non-N3 FCI items, together with the growth on the N3 items, suggests that the growth on the N3 items did indeed come from the N3 OST.

In terms of epistemology, the split task results clearly indicates an epistemological growth from the pretest to the post-test. Not only a bigger percentage of the students knew the correct scientific answer to the FCI N3 questions (larger black bars), but also a higher percentage of those students indicated that the correct answers made intuitive sense. From the students who answered the right answers on the FCI N3 after traditional instruction 41% had splits, and after the N3 OST instruction this number was reduced to 28%. Particularly impressive is the dramatic change that can be seen in the collision question, where these numbers are 63% versus 22%. Lower split rates indicate that students have reconciled Newton's Third Law with their intuitive ideas. In this sense, after traditional instruction, even students who had "learned" N3 had not done so as "deeply" as they did after the N3 OST intervention.

6. Conclusions and Further Work

As a result of a single 50-minute lesson using the Open Source Tutorial on Newton's Third Law, students increased their conceptual understanding of N3, as indicated by the four N3 FCI items administered pre- and post-intervention. More than that, this new knowledge actually made sense for them. Many of the students had reconciled their intuitive ideas with the correct scientific concepts. This shows that the OST's "epistemological plan" to help students understand both science and learning as "a refinement of everyday thinking" can be effective also with Austrian high school students.

The learning indicated by the Force Test is consistent with observations made by the first author in the classroom as she carried out the OST. According to her field notes, students worked well together during the OST, showing excitement and enjoyment. They worked actively, had discussions that were intent and on-topic, and even expressed disappointment when they realized that they would not experience the OST style of learning beyond the one lesson. Many students gave additional positive feedback as well, for example, that the OST had helped them on the post-test.

Based upon our findings, we advise that teachers consider incorporating the N3 OST into their mechanics lessons and that further research attend to assessing the effectiveness of other OSTs in Austrian high

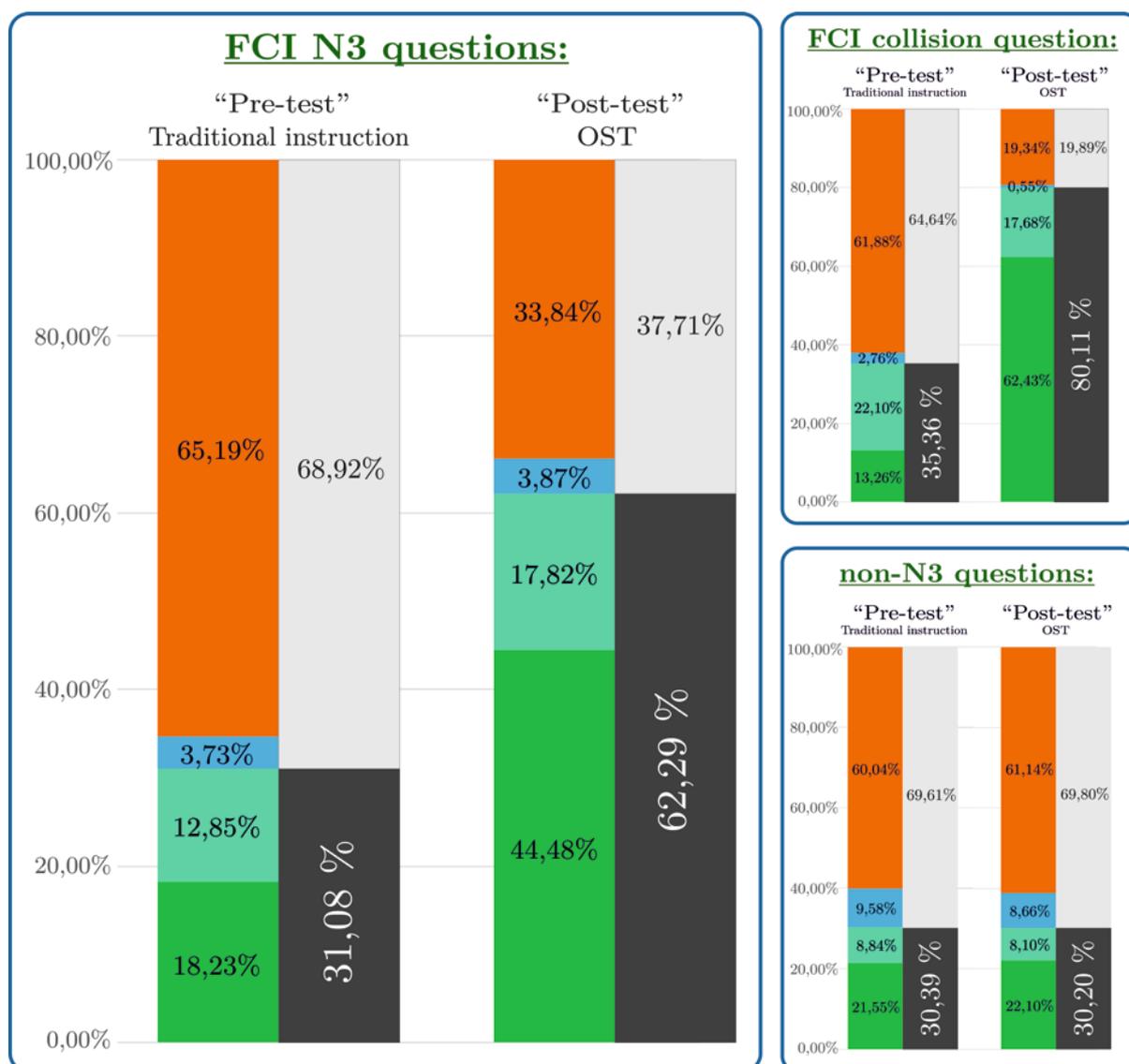


Fig. 2: Results from the four N3 FCI items (left), the item of those four specific to the case of a collision (top-right), and the non-N3 FCI items (bottom-right). The three “very easy” items ended up not being necessary to avoid the floor effect and are not in the graphs. Black bars indicate correct responses, comprised of “right reconciled” (dark green) and “right scientist” (light green). White bars indicate incorrect responses, comprised of “right intuition” (blue) and “wrong” (orange).

schools. We think it would be productive also to expand the N3 OST to include also pushing and pulling situations to help students understand N3 even better.

Although a German translation of the Maryland Physics Expectations (MPEX) Survey exists, additional work is needed to validate the survey. Such an instrument would enable surveying student views about the nature of physics knowledge and learning more directly than with the split task format. The first author found in her MS thesis that student epistemology, as measured by the current version of the German MPEX, did not improve pretest to post-test. This is consistent with Elby’s warning that “isolated pieces of epistemologically focused curriculum aren’t enough” (Elby, 2001). It may be the case that this would be the case even with a finalized German translation of the MPEX. Further work should investigate the effects of using OSTs throughout the school year on high school student epistemological development.

7. Literature

- [1] Schecker, H., et al. (2018). *Schülervorstellungen und Physikunterricht*. Springer Berlin Heidelberg.
- [2] Hull, M. M., et al. (2016). Unexpected attitudinal growth in a course combining reformed curricula. *Physical Review Physics Education Research* 12, no.1.
- [3] Urhahne, D. and Hopf, M. (2004). Epistemologische Überzeugungen in den Naturwissenschaften und ihre Zusammenhänge mit Motivation, Selbstkonzept und Lernstrategien. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 10, no.1, 71-87, 2004.
- [4] Elby, A. (2001). Helping physics students learn how to learn. *American Journal of Physics* 69, no.S1, 54-64.

- [5] Wilhelm, T. (2006). Ansichten von Elftklässlern über Physik und Lernen von Physik–Ergebnisse beim „Maryland Physics Expectations Survey“. Didaktik der Physik-Kassel.
- [6] Hewitt, P. G. (2015). Conceptual Physics. Pearson Education Inc., 12th edition – Global edition.
- [7] Smith, T. I. and Wittmann, M. C. (2007). Comparing three methods for teaching Newton’s third law. Physical Review Special Topics - Physics Education Research 3, no.2.
- [8] Tutorials from the UMd PERG (2009) Online: <http://umd-perg.pbworks.com/w/page/10511238/Tutorials%20from%20the%20UMd%20PERG>; accessed 15/5/2020.
- [9] Wittmann, M. C. et al. (2009). Comparing three methods for teaching newton’s second law. In AIP Conference Proceedings, vol. 1179, no.1, 301-304, American Institute of Physics.
- [10] Maryland Open Source Tutorials in Physics Sensemaking (2011) Online: https://www.physport.org/curricula/MD_OST; accessed 15/5/2020.
- [11] Open-source tutorials integrated with professional development materials Online: <http://www2.physics.umd.edu/~elby/CCLI/index.html>; accessed 15/5/2020.
- [12] Bildung in Zahlen 2019/20 Online: https://www.statistik.at/fileadmin/publications/Bildung_in_Zahlen_2019_20_-_Schlusselindikatoren_und_Analysen.pdf; accessed 31/8/2022.
- [13] Austrian Federal Ministry of Education, Science and Research (Bundesministerium Bildung, Wissenschaft und Forschung), Online: <https://www.bmbwf.gv.at/>; accessed 22/5/2020.
- [14] Austrian official curriculum for general high schools: BGBl. II Nr. 216 (2018). Verordnung des Bundesministers für Bildung, Wissenschaft und Forschung, mit der die Verordnung über die Lehrpläne der allgemeinbildenden höheren Schulen geändert wird; Änderung der Bekanntmachung der Lehrpläne für den Religionsunterricht sowie Bekanntmachung der Lehrpläne für den Religionsunterricht. Online: <https://www.ris.bka.gv.at/eli/bgbl/II/2018/216/20180828>; accessed 22/5/2020.
- [15] Austrian official curricula for vocational high schools: Lehrpläne: Höhere Land- und Forstwirtschaftliche Lehranstalten, Forstfachschnule. Online: <https://www.abc.berufsbildendeschulen.at/downloads/?kategorie=19>; accessed 22/5/2020.
- [16] Hestenes, D. et al. (1992). Force Concept Inventory. The Physics Teacher 30, 141-151.
- [17] Hestenes, D. and Halloun, I. (1995). Interpreting the Force Concept Inventory: A response to Huffman and Heller. The Physics Teacher, 33, 502-506.
- [18] McCaskey, T. L. and Elby, A. (2005). Probing students’ epistemologies using split tasks. In AIP Conference Proceedings, vol.790, no.1, 57-60, American Institute of Physics.
- [19] Redish, E. F. and Hammer, D. (2009). Reinventing college physics for biologists: Explicating an epistemological curriculum. American Journal of Physics 77, no.7, 629-642.

Physikbezogene Mindsets in der gymnasialen Oberstufe

Laura Goldhorn*, Thomas Wilhelm*, Verena Spatz⁺

*Institut für Didaktik der Physik, Goethe-Universität Frankfurt am Main, Max-von-Laue-Str. 1, 60438 Frankfurt

⁺ Didaktik der Physik, TU Darmstadt, Hochschulstraße 12, 64289 Darmstadt
goldhorn@physik.uni-frankfurt.de

Kurzfassung

Als Überzeugung zur Natur von Intelligenz und Fähigkeiten wirkt sich das Mindset darauf aus, wie Schüler*innen mit (herausfordernden) Lernsituationen umgehen: Während ein Fixed Mindset bei Herausforderungen schnell zum Aufgeben führen kann, lassen sich Schüler*innen mit einem Growth Mindset von schwierigen Aufgaben und Lernsituationen nicht abschrecken. Diese Reaktion ist unabhängig vom jeweiligen Könnens- und Wissensstand der Schüler*innen.

Ob Schüler*innen ein Fixed oder Growth Mindset haben, wird in den meisten Studien über einen allgemeinen Fragebogen mit nur wenigen Items bestimmt: Wer Aussagen wie „Intelligenz bleibt gleich, auch wenn man viel lernt und übt“ ablehnt, wird dem Growth Mindset zugeordnet. In einer Erhebung mit Oberstufenschüler*innen in Hessen (N = 780) wurde zusätzlich zur Überzeugung zur allgemeinen Intelligenz nach den fachbezogenen Überzeugungen zu Begabung und Anstrengung im Fach Physik gefragt, um das Mindset bezogen auf Physik zu untersuchen. Die Ergebnisse dieser Mindset-Erhebung ermöglichen einen ersten Einblick in fachbezogene Mindset-Charakteristika in der gymnasialen Oberstufe. Beispielsweise ist das physikbezogene Fixed Mindset im Leistungskurs stärker vertreten, als im Grundkurs und bei den Mädchen, die sich für Physik in der Oberstufe entscheiden, ist der Anteil des Growth Mindset höher als bei den Jungen.

1. Einleitung: Fixed und Growth Mindset

Das Mindset nach Dweck beschreibt die impliziten Überzeugungen zur Intelligenz. Die zwei Pole dieser impliziten Theorien zur Intelligenz werden nach Dweck (2006) als Fixed Mindset und Growth Mindset bezeichnet. Das Fixed Mindset beschreibt dabei die Überzeugung, dass es sich bei Intelligenz um eine unveränderliche Eigenschaft handle, die das individuelle Potential von vornherein festlegt. Das Growth Mindset ist die Überzeugung, dass Intelligenz eine aktiv entwickelbare Eigenschaft sei und somit Intelligenz, aber auch Wissen und Können zu jedem Zeitpunkt noch weiter ausgebaut werden können (Dweck, 1999).

Abhängig vom Mindset lassen sich unterschiedliche Reaktions- und Handlungsmuster identifizieren und insbesondere im akademischen Kontext überwiegen die Vorteile eines Growth Mindsets. Die Überzeugung einer entwickelbaren Intelligenz führt zu dem Ziel, neue Fähigkeiten und neues Wissen aufzubauen. Dieses wortwörtliche Lernziel steht dabei über dem Ziel, bereits vorhandene Fähigkeiten und Fertigkeiten unter Beweis zu stellen. Entsprechend trauen sich Schüler*innen mit einem Growth Mindset eher an herausfordernde (Lern-)Situationen mit unklarem Ausgang heran und ein anstrengender Lernweg mit seinen Höhen und Tiefen wird als Beitrag zum späteren Erfolg tendenziell positiver als im Fixed Mindset wahrgenommen (Dweck & Leggett,

1988; Hong et al., 1999). Im Unterschied dazu führt die Überzeugung einer festgelegten Intelligenz zu dem Ziel, die eigene Intelligenz möglichst unter Beweis zu stellen. Schüler*innen mit einem Fixed Mindset wählen beispielsweise eher Aufgaben, bei denen sie sich sicher sind, sie erfolgreich bewältigen zu können, statt neue Inhalte daran zu erlernen. Und insbesondere bei temporären Rückschlägen im Lernprozess führt ein Fixed Mindset schnell zum Aufgeben: Ein schlechtes Testergebnis oder das Nicht-Bewältigen einer Aufgabe zeigt für Menschen mit einem Fixed Mindset, dass die notwendige Begabung bzw. die Intelligenz fehlt und demzufolge lohnt sich auch kein weiteres Versuchen (Dweck & Leggett, 1988; Hong et al., 1999; Mangels et al., 2006). Ob Schüler*innen ein Fixed oder Growth Mindset haben, sagt zunächst nichts über ihren akademischen Weg oder Erfolg aus. Doch insbesondere bei Schüler*innen, die im Lernprozess auf Herausforderungen und Rückschläge stoßen, zeigen zahlreiche Untersuchungen einen positiven Zusammenhang zwischen Growth Mindset und besseren Lernergebnissen (Yeager et al., 2019; OECD, 2021).

2. Mindsets in Physik

Das Konstrukt Fixed bzw. Growth Mindset ist hierarchisch und kontextabhängig zu betrachten, d.h. die wenigsten Menschen haben allgemein ein Fixed oder ein Growth Mindset (Hong et al, 1999; Yeager et al., 2013). Neben der individuellen Verteilung des

Mindsets gibt es auch Bereiche, die allgemein eher dem Fixed oder Growth Mindset zugeordnet werden. Beispielsweise ist das Fixed Mindset in den Naturwissenschaften stärker vertreten (Dweck, 2008).

Trotzdem wird in den meisten Studien zum Mindset die von Dweck entwickelte, allgemeine Skala „Implizite Theorien zur Intelligenz“ eingesetzt (Dweck, 1999). Dabei variiert zwar die Zahl der verwendeten Items, es geht jedoch immer darum, ob und wie sehr die teilnehmenden Personen Aussagen wie „Intelligenz ist eine Grundeigenschaft, die sich nicht verändern lässt“ zustimmen. Wer diese Aussagen ablehnt, wird dem Growth Mindset zugeordnet und umgekehrt. Es gibt zwar fachspezifische Erhebungen zum Mindset, doch meist werden die allgemeinen Items lediglich in der Wortwahl angepasst und „Intelligenz“ wird durch „Fähigkeiten in Physik“ oder „Intelligenz in Physik“ ersetzt (vgl. Sisk et al. (2018) für eine Übersicht verschiedener Studien und deren Erhebungsinstrumente).

Mit dem Wissen, dass sich die Mindset-Ausprägung kontextspezifisch unterscheidet, stellt sich auch die Frage, ob es entsprechende Charakteristika von Fixed und Growth Mindset in den verschiedenen Kontexten gibt. Auf der Basis von qualitativen Interview-Studien (Spatz & Goldhorn, 2021) wurde für die Erhebung des physikbezogenen Mindsets ein Fragebogen entwickelt, der zusätzlich zur Überzeugung zur allgemeinen Intelligenz auch Items zur Überzeugung zu Begabung und Anstrengung im Fach Physik beinhaltet (Spatz & Hopf, 2017; Goldhorn et al., 2020). Damit lassen sich nicht nur Zusammenhänge zwischen dem allgemeinen Mindset und physikbezogenen Fragen untersuchen, sondern das fachbezogene Mindset kann direkt abgebildet werden.

Erste Erhebungen mit dem physikbezogenen Mindset-Fragebogen zeigen, dass der Anteil der Schüler*innen mit einem physikbezogenen Fixed Mindset während der Sekundarstufe I mit jedem Lernjahr Physik zunimmt. Dabei scheint insbesondere die Überzeugung, dass eine spezielle Physikbegabung Voraussetzung für den Lernerfolg ist, durch den Physikunterricht selbst gestärkt zu werden (Goldhorn et al., 2020).

Zu ähnlichen Beobachtungen kommen auch Archer und Kolleginnen (2020), die den stark ausgeprägten „Talent-Habitus“ in Physik beschreiben. So nennen Schüler*innen ein angeborenes Talent als wichtige Grundlage für den Erfolg in Physik und diese Überzeugung wird im Verlauf der Schulzeit stärker. Sie beschreiben ebenfalls das Bild des „Physik-Genies“, einer Person die (scheinbar) mühelos alle Herausforderungen in Physik meistert. Diese Überzeugung ist bei Mädchen noch stärker verbreitet, während Mädchen auch seltener Physik in der Oberstufe wählen (Archer et al., 2020).

Ein vergleichbares Bild zeigt sich auch bei der Kurswahl für Schwerpunktfächer in der gymnasialen

Oberstufe in Deutschland. Physik ist seit vielen Jahren eines der unbeliebtesten Schulfächer. Beispielsweise haben sich 2015 nur 5,7 % der Schüler*innen für den Physik-Leistungskurs entschieden und von den Leistungskurs-Schüler*innen waren weniger als ein Viertel weiblich (Kultusministerkonferenz, 2015).

3. Motivation der vorliegenden Studie

Mit dem physikspezifischen Mindset-Fragebogen soll die Verteilung von Fixed und Growth Mindset in Bezug auf den Physikunterricht untersucht werden. Dabei liegt der Fokus in der hier vorgestellten Teilstudie auf den Oberstufenschüler*innen: Wie verändert sich die Verteilung von Fixed und Growth Mindset während der gymnasialen Oberstufe; insbesondere unter Berücksichtigung, dass die Schüler*innen in dieser Phase selbst wählen können, ob sie Physik als Grundkurs, Leistungskurs oder gar nicht mehr belegen möchten? Zusätzlich sollen mögliche genderbezogene Unterschiede bei der Mindset-Verteilung erhoben werden. Die Ergebnisse, die im Folgenden vorgestellt werden, sind dabei nur als erster Einblick zu verstehen, doch mithilfe weiterer gezielter Mindset-Erhebungen im Fach Physik lassen sich möglicherweise Zusammenhänge zwischen physikbezogenem Mindset und dem Kurswahlverhalten herstellen, auf die dann in einem nächsten Schritt mit einer gezielter Förderung des Growth Mindsets eingewirkt werden kann.

4. Methode

Um die Fragen zum physikbezogenen Mindset von Schüler*innen in der Oberstufe zu untersuchen, wird eine Stichprobe von $N = 780$ Schüler*innen (42 % weiblich, 57 % männlich) betrachtet. Die teilnehmenden Schüler*innen kommen von insgesamt 16 Schulen im Rhein-Main-Gebiet: 9 Gymnasien, 3 Oberstufengymnasien und 4 Gesamtschulen. Die Daten stammen aus dem Schuljahr 2019/2020 (November bis Februar) und als Erhebungsinstrument wurde der physikbezogene Mindset-Fragebogen eingesetzt, der aus 15 Items besteht, die sich auf drei Skalen verteilen (Goldhorn et al., 2020).

- Überzeugungen zur Intelligenz (4 Items, $\alpha = .80$), Beispiel-Item: „Intelligenz ist eine Grundeigenschaft, die sich nicht verändern lässt.“
- Physikalische Begabung (4 Items, $\alpha = .81$), Beispiel-Item: „In Physik gibt es ein Verständnis, das man von Geburt an mitgegeben bekommt.“
- Anstrengung in Physik (7 Items, $\alpha = .83$), Beispiel-Item: „Jede*r kann Physik verstehen, man muss nur genug dafür tun.“

Basierend auf einer Clusteranalyse kann eine Unterscheidung in verschiedene Mindset-Typen vorgenommen werden. Insgesamt lassen sich vier Gruppen identifizieren. Zwei Gruppen gehören in das

Spektrum des Fixed Mindset und werden im Folgenden als Fixed Mindset (allgemeine Intelligenz) und Fixed Mindset (Physikbegabung) bezeichnet. Beim Fixed Mindset (allgemeine Intelligenz) ist die Überzeugung, dass Intelligenz eine festgelegte Eigenschaft ist, dominierend. Die Schüler*innen mit diesem Fixed Mindset glauben nicht, dass sich durch Lernen und Anstrengung die Leistung in Physik wesentlich verbessern kann, doch von einer speziellen Physikbegabung sind sie nicht überzeugt. Demgegenüber sind Schüler*innen, die dem Fixed Mindset (Physikbegabung) zugeordnet werden, davon überzeugt, dass es eben diese besondere Begabung für Physik gibt und diese das individuelle Potential in Physik bestimmt, während die Überzeugung einer festgelegten Intelligenz weniger stark ausgeprägt ist. Die dritte Gruppe von Schüler*innen wird dem physikbezogenen Growth Mindset zugeordnet: sie sind davon überzeugt, dass sowohl Intelligenz entwickelbar ist und auch jede*r Physik lernen kann, es also auch keine fachspezifische, determinierende Begabung gibt. Die letzte Gruppe ist das sogenannte Mixed Mindset und umfasst die Schüler*innen, die weder einem der Fixed Mindsets noch dem Growth Mindset zugeordnet werden können.

5. Ausgewählte Ergebnisse

Da es bei der vorliegenden Studie um ein besseres Verständnis des physikbezogenen Mindsets bei Schüler*innen geht, werden in der folgenden Auswertung nur die Gruppen Growth Mindset und Fixed Mindset (Physikbegabung) betrachtet. Der Fokus liegt als auf den physikbezogenen Überzeugungen, so dass Veränderungen bzw. Unterschiede in verschiedenen Schüler*innengruppen möglichst gut verglichen werden können. Die dargestellten Ergebnisse bilden jedoch nicht die Verteilung von Fixed und Growth Mindset in den jeweiligen Schüler*innengruppen ab. Hierzu müsste die Gruppe Fixed Mindset (allgemeine Intelligenz) mitbetrachtet werden, wodurch der Anteil der Schüler*innen mit einem Fixed Mindset erhöhen würde.

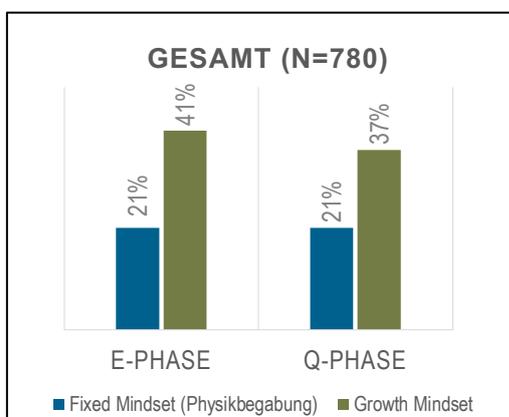


Abb. 1: Prozentuale Anteile von Schüler*innen mit Fixed Mindset (Physikbegabung) und Growth Mindset in der E-Phase und Q-Phase im Vergleich.

Abbildung 1 zeigt den Übergang von der Einführungsphase (E-Phase) zur Qualifikationsphase (Q-Phase) für die Gesamtzahl der teilnehmenden Schüler*innen. Dabei scheint die prozentuale Verteilung annähernd konstant zu bleiben. Doch bei der Aufteilung in Jungen und Mädchen (Abb. 2 und Abb. 3) zeigt sich, dass sich vor allem der Anteil des Growth Mindsets gegenläufig verändert: bei den Jungen sinkt er von 44 % in der E-Phase auf 35 % in der Q-Phase, während er bei den Mädchen von 37 % auf 42 % steigt.

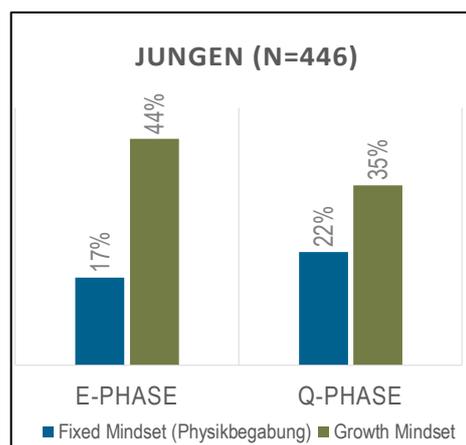


Abb. 2: Prozentuale Anteile von Fixed Mindset (Physikbegabung) und Growth Mindset bei den Jungen in der E-Phase und Q-Phase im Vergleich.

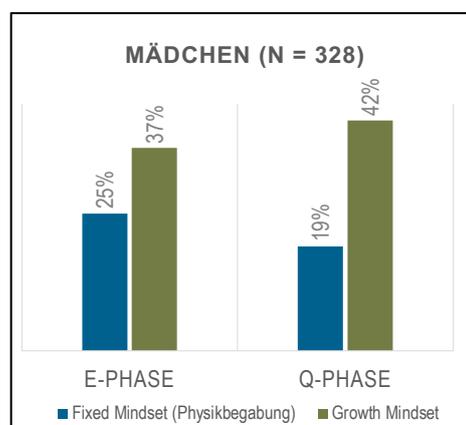


Abb. 3: Prozentuale Anteile von Fixed Mindset (Physikbegabung) und Growth Mindset bei den Mädchen in der E-Phase und Q-Phase im Vergleich.

Beim Vergleich der Mindset-Verteilungen im Grundkurs und Leistungskurs (Abb. 4) fällt auf, dass der Anteil von Schüler*innen mit einem Fixed Mindset (Physikbegabung) im Leistungskurs mit 26 % deutlich höher ist als im Grundkurs (18 %). Betrachtet man hierbei nur die Jungen, ist der Unterschied noch größer: 31 % der Jungen, die Physik als Leistungskurs wählen, werden dem Fixed Mindset (Physikbegabung) zugeordnet, während es im Grundkurs nur 18 % sind (Abb. 5). Da nur 77 Schülerinnen in der Q-Phase teilgenommen haben und von diesen nur 17 Physik als Leistungskurs gewählt haben, lässt sich hier kein prozentualer Vergleich

zwischen Jungen und Mädchen betrachten. Gleichzeitig bestätigen diese Zahlen den geringen Prozentsatz von Mädchen, die sich für Physik in der Oberstufe bzw. im Leistungskurs entscheiden (Merzyn, 2010).

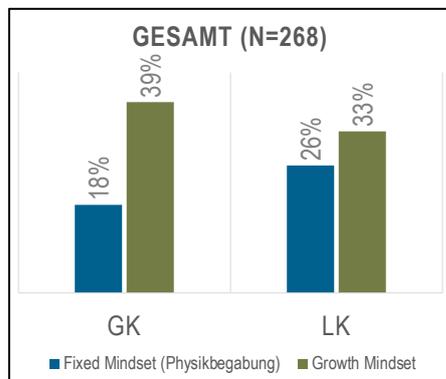


Abb. 4: Prozentuale Verteilung von Fixed Mindset (Physikbegabung) und Growth Mindset bei Schüler*innen im Grundkurs und Leistungskurs.

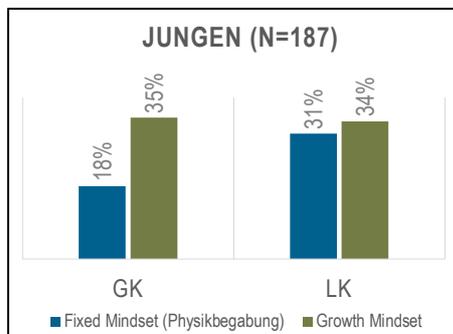


Abb. 5: Prozentuale Verteilung von Fixed Mindset (Physikbegabung) und Growth Mindset bei männlichen Schülern im Grundkurs und Leistungskurs.

Die teilnehmenden Schüler*innen haben im Fragebogen auch angegeben, in welchem Bereich ihre Physiknoten in der Mittelstufe lagen. Abb. 6 zeigt die Verteilung aufgeschlüsselt nach Grund- und Leistungskurs. Dabei fällt auf, dass im Leistungskurs Physik 75 % der Schüler*innen angeben, in der Mittelstufe Physiknoten im Bereich von 1 bis 2, d.h. sehr gut bis gut, gehabt zu haben.

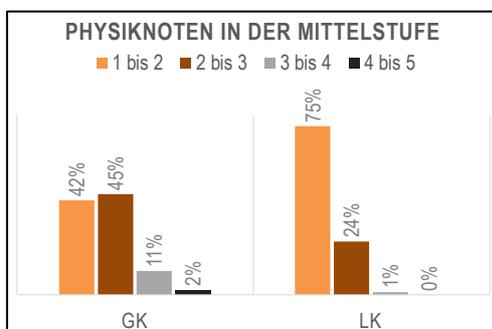


Abb. 6: Von den Schüler*innen berichtete Physiknoten aus der Mittelstufe, aufgeteilt in Schüler*innen des Grundkurses (GK) und Leistungskurses (LK) Physik.

6. Diskussion

Die gezeigten Ergebnisse fügen sich einerseits gut in das bereits bestehende Bild zum Kurswahlverhalten in Physik, gleichzeitig bieten sie unter Berücksichtigung der Mindset-Forschung mögliche Ansatzpunkte, die näher betrachtet werden sollten.

Die von den Schüler*innen angegebenen Physiknoten aus der Mittelstufe weisen darauf hin, dass nur diejenigen Physik in der Oberstufe (speziell im Leistungskurs) wählen, die bereits in den Schuljahren vorher gute bis sehr gute Noten hatten. Das deckt sich mit bereits bekannten Untersuchungsergebnissen. Es wurde beispielsweise gezeigt, dass die Physik-Durchschnittsnote von Schüler*innen im Physik-Leistungskurs vorher bei 1,63 lag, während die Biologie-Durchschnittsnote von Schüler*innen im Biologie-Leistungskurs nur bei 2,5 lag (Merzyn, 2010). Das führt dazu, dass sich im Physik-Leistungskurs dann tatsächlich fast nur sehr leistungsstarke Schüler*innen treffen und dadurch eine ungewollte Elite-Förderung entsteht, die wiederum das Bild der „Physik-Genies“ bestärkt, also der notwendigen Physikbegabung, die zu (scheinbar) mühelosem Lernerfolg führt.

In der Q-Phase ist bei den Mädchen der Anteil des Growth Mindsets mit 42 % höher in der E-Phase mit 37 %. Das könnte bedeuten, dass Mädchen Physik in der Oberstufe eher wählen, wenn sie ein Growth Mindset haben. Bei den Jungen bleibt der Anteil des Growth Mindsets zwischen E-Phase und Q-Phase dagegen nahezu konstant, für sie scheint es also keinen Zusammenhang zwischen Growth Mindset und der Wahl von Physik in der Oberstufe zu geben. Das würde auch zu den Ergebnissen von Archer und ihren Kolleginnen passen: Diese schlussfolgern, dass bei Mädchen die „Genie-Überzeugung“ stärker ausgeprägt ist und sie deshalb auch seltener Physik in der Oberstufe wählen (Archer et al., 2020). Bezieht man die Mindset-Theorie mit ein, bietet das Ergebnis einen möglichen Ansatz, um den Anteil von Mädchen in den Physikkursen zu erhöhen. Ein großer Teil der Mindset-Forschung ist die Entwicklung und Erprobung von Growth Mindset fördernden Interventionen (Blackwell et al., 2007; Paunesku et al., 2015; Yeager et al., 2016); ein Vorschlag für eine fachspezifische Umsetzung findet sich bei Zeeb et al. (2020) und kombiniert mit dem physikspezifischen Mindset-Fragebogen auch bei Goldhorn et al. (2021). Wenn eine solche Intervention den Anteil der Schüler*innen in der Mittelstufe mit einem physikbezogenen Growth Mindset vergrößert, könnte das auch zu höheren Anteilen von Mädchen in den Physikkursen führen.

Eine frühzeitige, physikbezogene Förderung des Growth Mindsets könnte auch zu mehr Schüler*innen führen, die sich für Physik als Leistungskurs oder überhaupt für Physik in der Oberstufe entscheiden, auch wenn sie in der Mittelstufe nicht nur gute bis sehr gute Noten hatten. Denn gerade für

Schüler*innen, die bereits Straucheln und Schwierigkeiten auf ihrem Lernweg erlebt haben, ist das Growth Mindset besonders wertvoll und mit höherem Lernerfolg verknüpft (OECD, 2021; Yeager & Dweck 2020).

7. Literatur

- Archer, L., Moote, J., & MacLeod, E. (2020). Learning that physics is ‘not for me’: Pedagogic work and the cultivation of habitus among advanced level physics students. *Journal of the Learning Sciences*, 29(3), 347–384.
- Blackwell, L. S., Trzesniewski, K. H., & Dweck, C. S. (2007). Implicit Theories of Intelligence Predict Achievement Across an Adolescent Transition: A Longitudinal Study and an Intervention. *Child Development*, 78(1), 246–263. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2007.00995.x>
- Dweck, C. S., & Leggett, E. L. (1988). A social-cognitive approach to motivation and personality. *Psychological Review*, 95(2), 256–273. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.95.2.256>
- Dweck, C. S. (1999). *Self-theories: Their role in motivation, personality, and development*. Psychology Press.
- Dweck, C. S. (2006). *Mindset: The new Psychology of Success*. Random House.
- Dweck, C. S. (2008). *Mindsets and Math/Science Achievement*. New York: Carnegie Corporation of New York, Institute for Advanced Study, Commission on Mathematics and Science Education.
- Goldhorn, L., Wilhelm, T., Spatz, V., & Rehberg, J. (2020). Fixed and Growth Mindset: Selbstbilder von Schüler*innen in Physik. *PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*, 187-191. <http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/1030/1126>
- Goldhorn, L., Wilhelm, T., & Spatz, V. (2021). Das physikbezogene Growth Mindset bei Schüler*innen fördern. *PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*, 259–263. <http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/1120>
- Hong, Y., Chiu, C., Dweck, C. S., Lin, D. M.-S., & Wan, W. (1999). Implicit theories, attributions, and coping: A meaning system approach. *Journal of Personality and Social Psychology*, 77(3), 588–599. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.77.3.588>
- Kultusministerkonferenz. (2015). *KMK-Schulstatistik*. <https://www.kmk.org/dokumentation-statistik/statistik/schulstatistik.html>
- Mangels, J. A., Butterfield, B., Lamb, J., Good, C., & Dweck, C. S. (2006). Why do beliefs about intelligence influence learning success? A social cognitive neuroscience model. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 1(2), 75–86. <https://doi.org/10.1093/scan/ns1013>
- Merzyn, G. (2010). Physik—Ein schwieriges Fach? *Praxis der Naturwissenschaften - Physik in der Schule*, 59(5), 9–12.
- OECD. (2021). *Sky’s the limit. Growth mindset, students, and schools in PISA (PISA 2018)*. <https://www.oecd.org/pisa/growth-mindset.pdf>
- Paunesku, D., Walton, G. M., Romero, C., Smith, E. N., Yeager, D. S., & Dweck, C. S. (2015). Mind-Set Interventions Are a Scalable Treatment for Academic Underachievement. *Psychological Science*, 26(6), 784–793. <https://doi.org/10.1177/0956797615571017>
- Sisk, V. F., Burgoyne, A. P., Sun, J., Butler, J. L., & Macnamara, B. N. (2018). To What Extent and Under Which Circumstances Are Growth Mindsets Important to Academic Achievement? Two Meta-Analyses. *Psychological Science*, 29(4), 549–571. <https://doi.org/10.1177/0956797617739704>
- Spatz, V., & Goldhorn, L. (2021). When It’s More Difficult, I Just Cram More! An Exploratory Interview Study on Students’ Mindsets in Physics. *European Journal of Science and Mathematics Education*, 9(1), 1-18.
- Spatz, V., & Hopf, M. (2017). Erhebungsinstrument zu den Mindsets von Lernenden im Fach Physik Oder: „Albert Einstein — Der war schon so ein bisschen begabt ...“ In: C. Maurer (Hrsg.), *Implementation fachdidaktischer Innovation im Spiegel von Forschung und Praxis*. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Zürich 2016, Band 37, S. 344 – 347.
- Yeager, D. S., Miu, A. S., Powers, J., & Dweck, C. S. (2013). Implicit Theories of Personality and Attributions of Hostile Intent: A Meta-Analysis, an Experiment, and a Longitudinal Intervention. *Child Development*, 84(5), 1651–1667. <https://doi.org/10.1111/cdev.12062>
- Yeager, D. S., Romero, C., Paunesku, D., Hulleman, C. S., Schneider, B., Hinojosa, C., Lee, H. Y., O’Brien, J., Flint, K., Roberts, A., Trott, J., Greene, D., Walton, G. M., & Dweck, C. S. (2016). Using design thinking to improve psychological interventions: The case of the growth mindset during the transition to high school. *Journal of Educational Psychology*, 108(3), 374–391. <https://doi.org/10.1037/edu0000098>
- Yeager, D. S., Hanselman, P., Walton, G. M., Murray, J. S., Crosnoe, R., Muller, C., Tipton, E., Schneider, B., Hulleman, C. S., Hinojosa, C. P., Paunesku, D., Romero, C., Flint, K., Roberts, A., Trott, J., Iachan, R., Buontempo, J., Yang, S. M., Carvalho, C. M., ... Dweck, C. S. (2019). A national experiment reveals where a growth mindset improves achievement. *Nature*, 573(7774),

364–369.

<https://doi.org/10.1038/s41586-019-1466-y>

Yeager, D. S., & Dweck, C. S. (2020). What can be learned from growth mindset controversies? *American Psychologist*, 75(9), 1269–1284.

<https://doi.org/10.1037/amp0000794>

Zeeb, H., Ostertag, J., & Renkl, A. (2020). Towards a Growth Mindset Culture in the Classroom: Implementation of a Lesson-Integrated Mindset Training. *Education Research International*, 2020, 1–13.

<https://doi.org/10.1155/2020/8067619>

Pilotierungsergebnisse eines Klimawandel-Konzepttests

Thomas Schubatzky*, Rainer Wackermann[†], Carina Wöhlke[‡], Claudia Haagen-Schützenhöfer[°], Hannes Kasimir Lindemann[†], Kai Cardinal[†], Marko Jedamski[†]

*Institut für Fachdidaktik und Institut für Experimentalphysik, Universität Innsbruck,
Technikerstraße 25, 6020 Innsbruck

[†]Didaktik der Physik, Ruhr-Universität Bochum, Universitätsstraße 150, 44801 Bochum

[°]Physikdidaktik, Universität Graz, Universitätsplatz 5, 8010 Graz

thomas.schubatzky@uibk.ac.at

Kurzfassung

Der aktuelle Klimawandel stellt unsere Gesellschaft vor große Herausforderungen. Der Klimawandel ist besonders für junge Menschen, deren Leben künftig von Klimawandelauswirkungen geprägt ist, zentral. Ein grundlegendes Verständnis des Klimawandels kann Personen insbesondere dabei helfen, falsche oder widersprüchliche Darstellungen besser einzuschätzen, um so am gesellschaftlichen Diskurs zum Thema Klimawandel teilhaben zu können. Um Aussagen über das Verständnis von zentralen fachlichen Inhalten zum Klimawandel zuverlässig treffen zu können, braucht es geeignete Testinstrumente. Denn die Erfassung von typischen Schülervorstellungen ist zentral für die Entwicklung von Lernangeboten, etwa im Sinne der didaktischen Rekonstruktion. Für die Entwicklung eines derartigen Klimawandel-Konzepttests (den wir CCCI-422 nennen) wurden zentrale fachliche Inhalte identifiziert, offene Fragen entwickelt und schließlich Distraktoren und Attraktoren aus Interviews abgeleitet. Anschließend wurde der Konzepttest in mehreren Pilotierungs- und Validierungsstudien eingesetzt. In diesem Beitrag wird der entwickelte Test in seinen Grundzügen vorgestellt, Pilotierungsergebnisse diskutiert und ein Ausblick auf die laufende Haupterhebung gegeben.

1. Einleitung

Schülerinnen und Schüler wachsen heutzutage in unsicheren Zeiten auf. Zumal die sozialen, ökologischen, wirtschaftlichen, kulturellen und umweltbezogenen Auswirkungen des globalen Klimawandels beginnen, ihren Alltag und ihr Umfeld immer mehr zu beeinflussen (Kagawa & Selby, 2010; Rousell & Cutter-Mackenzie-Knowles, 2020). Trotz dieser bereits spürbaren Auswirkungen gibt es immer noch eine oberflächliche Kontroverse um den Klimawandel, die zu Verwirrung über die naturwissenschaftlichen Grundlagen des Klimawandels führen kann, da der Klimawandel in den Medien manchmal falsch dargestellt wird (Coan et al., 2021; McCright & Dunlap, 2011). Einige Studien berichten sogar, dass Schülerinnen und Schüler mehr über den Klimawandel durch Medien erfahren als durch formalen Unterricht, was zur Entwicklung von nicht wünschenswerten Schülervorstellungen über den Klimawandel beitragen kann (Nation & Feldman, 2021). Solche weit verbreiteten und nicht mit der naturwissenschaftlichen Sicht vereinbaren Vorstellungen werden als große Hindernisse angesehen, die im naturwissenschaftlichen Unterricht im Allgemeinen und dadurch auch im Unterricht über den Klimawandel überwunden werden müssen (Vosniadou, 2009). Um Lernende zu unterstützen, Schülervorstellungen im naturwissenschaftlichen Unterricht zu überwinden, ist eine gründliche Kenntnis des gegenwärtigen Verständnisses der Schülerinnen und Schüler unerlässlich.

2. Concept Inventories in naturwissenschaftsdi-daktischer Forschung

Concept Inventories oder Konzepttests gelten als hervorragendes Instrument zur zuverlässigen Messung des Verständnisses von Lernenden, um Schülervorstellungen zu ermitteln und sie von fehlendem Wissen zu unterscheiden (Sands et al., 2018). Concept Inventories haben daher auch eine große Tradition in der naturwissenschaftsdi-daktischen Forschung (Ivanjek et al., 2021; Nelson et al., 2007; Schecker & Gerdes, 1999). Obwohl in der Vergangenheit bereits mehrere Testinstrumente zum Thema Klimawandel entwickelt wurden (z.B. Arslan, Cigdemoglu & Moseley, 2012; Jarrett & Takacs, 2020; Keller, 2006), fehlt bis heute ein aktuelles, psychometrisch und inhaltlich valides Konzeptinventar zu naturwissenschaftlichen Grundlagen des Klimawandels, das auch in deutscher Sprache verfügbar ist. Das Ziel dieses Projekts ist es daher, einen aktuellen und validen Klimawandel-Konzepttests (in einem ersten Schritt in deutscher Sprache) zu entwickeln, der aus früheren Studien und bestehender Literatur zum Verständnis der naturwissenschaftlichen Grundlagen des Klimawandels bei Schülerinnen und Schülern abgeleitet ist.

3. Entwicklung des CCCI-422

Ausgangspunkt für die Entwicklung des in diesem Artikel vorgestellten Konzepttests (CCCI-422) war ein existierendes Climate Change Concept Inventory (CCCI), das ursprünglich in Australien entwickelt wurde (Jarrett & Takacs, 2020). Dieser CCCI wurde übersetzt und an

N = 338 Schülerinnen und Schülern der Sekundarstufe II in der Steiermark (Ö) pilotiert (Schubatzky, Pichler & Haagen-Schützenhöfer, 2020). Das Ergebnis dieser Pilotierung war, dass einige Item-Formulierungen verbesserungswürdig waren, zwei Items offensichtlich missverstanden wurden, und das australische CCCI keine

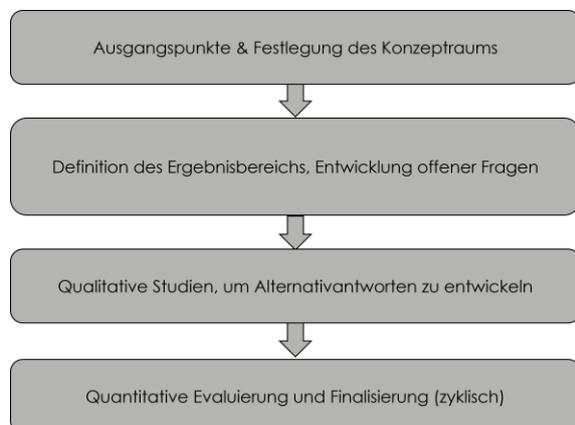


Abb. 1: Vorgehensweise und Ablauf der Testentwicklung

ausgewogene Item-Konzept-Verteilung aufweist. Nach dieser Pilotstudie wurde deshalb entschieden, einen aktualisierten und optimierten Klimawandel-Konzepttest grundlegend neu zu entwickeln. Das Vorgehen orientierte sich dabei an üblichen Entwicklungspfaden von Konzepttests (Nelson et al., 2007) und ist überblicksartig in Abbildung 1 dargestellt.

Im ersten Schritt wurden durch Sichtung bestehender Literatur sowie Experteninterviews (N = 8 Klimawissenschaftlerinnen und Klimawissenschaftler aus Österreich und der Schweiz) fünf zentrale Inhaltsbereiche identifiziert, die im Folgenden kurz umrissen werden.

4. Definition des zu messenden Konstrukts

Der Klimawandel stellt ein interdisziplinäres Thema dar, welches von unterschiedlichen Seiten beleuchtet werden kann. Deshalb ist klar, dass es nie eine einzige „Liste“ an zentralen naturwissenschaftlichen Inhalten oder Ideen geben kann, die für alle Betrachtungsweisen des Klimawandels immer die gleiche Relevanz besitzen. Wenn es um ein basales Grundverständnis unseres Klimasystems und des aktuellen Klimawandels aus naturwissenschaftlicher Sicht geht, kristallisieren sich jedoch einige Konzepte und Inhalte heraus, die als wesentliche Voraussetzungen gesehen werden können. Basierend auf Fachliteratur, bestehenden Rahmenkonzepten und den Experteninterviews sind wir zu dem Schluss gekommen, dass die folgenden Inhaltsbereiche als zentral für ein Verständnis des Klimawandels aus physikalischer bzw. naturwissenschaftlicher Sicht gesehen werden können (Schubatzky et al., 2021). Diese inhaltlichen Beschreibungen haben nicht die Absicht, alle Details aus physikalischer Sicht zu beschreiben, sondern sollen

das zu messende Konstrukt beschreiben, um eine anschließende Operationalisierung zu ermöglichen.

4.1 Die Atmosphäre der Erde

Ein rudimentäres Verständnis von Aufbau, Zusammensetzung und Ausmaß der Atmosphäre der Erde stellt eine zentrale Basis für ein Verständnis des Klimawandels dar. Dazu gehört die Einsicht, dass unsere Atmosphäre eine dünne Gasschicht ist, deren Dichte nach oben hin schnell abnimmt und die gedanklich in unterschiedliche Schichten wie Tropo- oder Stratosphäre unterteilt werden kann. Für ein Verständnis des Klimawandels ist es wichtig, zu verstehen, dass hauptsächlich die Atmosphärenschichten, die der Erdoberfläche sehr nah sind, relevant für das Wetter- und Klimageschehen sind. Diese beinhalten den größten Teil der Luftmenge und die Erwärmung der Atmosphäre geht von Richtung des Erdbodens aus.

Für ein Verständnis des Klimawandels ist es auch zentral, den Anteil an Treibhausgasen in der Atmosphäre einschätzen zu können und deren (relative) Änderungen in der Atmosphärenzusammensetzung durch den Klimawandel benennen zu können.

Items im CCCI-422 beziehen sich daher primär auf den Aufbau und die Zusammensetzung der Atmosphäre mit einem besonderen Augenmerk auf die Rolle von Treibhausgasen in dieser.

4.2 Der Unterschied zwischen Wetter und Klima

Für ein Verständnis des Klimawandels braucht man eine Idee davon, wie der Zustand der Atmosphäre an einem bestimmten Ort zu einer bestimmten Zeitpunkt beschrieben werden kann. Durch Messung bestimmter Parameter wie der Temperatur lässt sich das Wetter unmittelbar bestimmen, das Klima jedoch nicht. Es braucht also ein Verständnis davon, dass Klima etwas Längerfristiges umfasst, das sich durch statistische Werte wie etwa mittlere Temperatur oder Schwankungen (Streuung, Extremwerte,...) beschreiben lässt. Der Unterschied zwischen Wetter und Klima manifestiert sich neben der zeitlichen Skala aber auch auf der räumlichen Skala. Ein globales Wetter ist keine sinnvolle Zuschreibung, es kann aber von einem globalen Klima gesprochen werden. Dementsprechend ist eine zentrale Einsicht, dass sich das Wetter an einem Ort kaum mehr als sieben Tage voraussagen lässt, während es anhand von Klimamodellen sehr wohl möglich ist, Klimaentwicklungen für Jahrzehnte zuverlässig zu projizieren.

Items im CCCI-422 beziehen sich daher auf den Unterschied der beiden Konzepte Wetter und Klima – sowohl hinsichtlich der zeitlichen als auch der räumlichen Dimension.

4.3 Das Klima als System

Um den Klimawandel aus naturwissenschaftlicher Sicht zu verstehen reicht es nicht, sich auf Betrachtungen der Atmosphäre zu beschränken. Das Klima unserer Erde kann auch als System beschrieben werden, in dem unterschiedliche Bestandteile miteinander wechselwirken. Dabei wird Energie, aber auch

Materie (wie etwa Kohlenstoff) ausgetauscht. Das Klimasystem ändert sich dabei unter dem Einfluss seiner eigenen Dynamik (Feedbackeffekte), durch natürliche externe Einflüsse wie langfristigen Änderungen in der Sonneneinstrahlung (Milanković-Zyklen) oder durch anthropogene Einflüsse wie die Verbrennung fossiler Brennstoffe. Die unterschiedlichen Teile des Klimasystem reagieren außerdem unterschiedlich schnell auf diese Antriebsfaktoren. Das Klimasystem ist insgesamt hochkomplex mit unüberschaubar vielen Systemelementen und hat stochastische Züge.

Items im CCCI-422 beziehen sich auf eine sehr einfache Operationalisierung des „Klima als System“-Gedanken. Die Fragen beziehen sich auf ein basales Verständnis von Rückkopplungseffekten im Klimasystem.

4.4 Der Treibhauseffekt

Der Treibhauseffekt, insbesondere der anthropogene Anteil an diesem, stellt einen zentralen Baustein für ein Verständnis des Klimawandels aus naturwissenschaftlicher Sicht dar. Um den Treibhauseffekt zu verstehen, müssen jedoch unterschiedliche Wissens-elemente verknüpft und angewendet werden. Dazu zählt vor allem Wissen darüber, welche Strahlungsarten in welcher Intensität von der Sonne auf unsere Erde gelangen und wie unterschiedliche Arten von Oberflächen auf der Erde mit dieser Strahlung wechselwirken. Außerdem braucht es Wissen darüber, wie Treibhausgase mit den unterschiedlichen Strahlungsarten wechselwirken und wie es durch die Wechselwirkung von Treibhausgasen mit Infrarotstrahlung zu einer Erhöhung der mittleren Temperatur der Erde kommt. Aus unserer Sicht erscheint es dabei auch zentral, eine Idee davon zu haben, welchen Anteil an der Temperaturerhöhung der von Menschen verursachte Ausstoß von Treibhausgasen in die Atmosphäre hat.

Items im CCCI-422 zum Treibhauseffekt beziehen sich also auf Fragen zur Funktionsweise des Treibhauseffekts. Dazu gehören Fragen zur Wechselwirkung von unterschiedlichen Strahlungsarten mit Oberflächen auf der Erde und Gasen in der Atmosphäre. Außerdem gehören dazu Fragen über die Temperaturerhöhung durch den Treibhauseffekt und den Anteil menschlicher Aktivitäten daran.

4.5 Der Kohlenstoffkreislauf

Um den Klimawandel aus naturwissenschaftlicher Sicht verstehen zu können, braucht es eine Idee davon, wie es zu einer Anreicherung an Treibhausgasen in der Atmosphäre kommen kann. Darauf liefert der Kohlenstoffkreislauf eine Antwort. Es braucht also Wissen darüber, dass Kohlenstoff in unterschiedlichen Teilen des Klimasystems vorkommt und, dass sich dieser zwischen der Atmosphäre, Biosphäre und Hydrosphäre in einem dynamischen Austausch-Gleichgewicht befindet. Zudem braucht es Wissen darüber, dass es eine große Menge an Kohlenstoff gibt, der auf natürliche Weise nicht an diesem

Austausch beteiligt ist, wie etwa in Form fossiler Brennstoffe.

Items im CCCI-422 zum Kohlenstoffkreislauf beziehen sich demnach auf basale Fragen zum Vorkommen von Kohlenstoff auf unserer Erde bzw. in unterschiedlichen Teilen des Klimasystems. Weitere Fragen thematisieren das dynamische Gleichgewicht zwischen Teilen des Klimasystems und Mechanismen des Kohlenstoffaustausches.

5. Entwicklung und Pilotierung der Items

Nach dieser Beschreibung des Konzeptraums bzw. der Definition des zu messenden Konstrukts wird im nächsten Abschnitt die Entwicklung der Items dargestellt.

5.1 Entwicklung offener Items

Der nächste Schritt bestand aus der Entwicklung offener Fragen zu den jeweiligen Inhaltsbereichen. Die Formulierungen der Itemstämme, Attraktoren und Distraktoren wurden anhand von insgesamt 48 Interviews entwickelt. Die ProbandInnen verteilten sich dabei auf Schülerinnen und Schüler der achten bis elften Jahrgangsstufe und Studierende. Die Anzahl der Distraktoren wurde an dieser Stelle noch nicht eingeschränkt, weil a priori nicht davon ausgegangen werden konnte, welche der genannten Distraktoren sich in zukünftigen quantitativen Evaluierungen des Konzepttests als relevant herausstellen werden. Der Zweck der Interviews lag also insbesondere auf der Sicherstellung der kognitiven Validität der Items. Schließlich wurde eine Erstversion des Konzepttests entwickelt, der aus insgesamt 40 Items mit jeweils einem Attraktor und jeweils zwischen drei und sieben Distraktoren bestand.

5.2 Erste quantitative Pilotierungen

Für die Finalisierung des CCCI-422 wurden insgesamt drei quantitative Pilotierungen durchgeführt. Die erste quantitative Pilotierung wurde mit insgesamt $N = 10$ Studierenden des Lehramts Physik sowie $N = 23$ Studierenden eines technischen Studiengangs durchgeführt. Das Ziel dieser ersten Pilotierung des CCCI-422 im geschlossenen Antwortformat war es, die eingesetzten Items sowie den Gesamttest prinzipiell hinsichtlich der Eignung zu prüfen. Dazu wurden einerseits Reliabilitätswerte berechnet (unter Nutzung klassischer Testtheorie durch Cronbach's Alpha sowie mithilfe einer Rasch-Modellierung unter Berechnung der WLE-Personenreliabilität), Punkt-Moment Korrelationen mit dem Gesamtscore sowie Infit- und Outfit-Werte für die einzelnen Items bestimmt, um Hinweise auf potenziell irreführend formulierte Items zu finden. Auf Basis dieser Analyse wurden insgesamt drei Items ausgeschlossen, da sie nach erneuter inhaltlicher Prüfung als missverständlich formuliert betrachtet werden können. Nach Ausschluss dieser drei Items zeigte der Test eine Reliabilität von Cronbachs' alpha = .87 bzw. eine WLE-Personenreliabilität von .88.

Die zweite quantitative Pilotierung wurde mit insgesamt $N = 153$ Personen durchgeführt. Unter diesen 151 Personen waren 92 Schülerinnen und Schüler der 8. bis 12. Jahrgangsstufe sowie 61 Erstsemesterstudierende eines technischen Studiengangs. Ziel dieser zweiten Pilotierungsstudie war es, die überarbeitete und gekürzte Version des CCCI-422 hinsichtlich Itemfit sowie Reliabilität zu überprüfen, um zu einer potenziell finalen Version des Testinstruments zu gelangen. Es wurde daher auch eine möglichst breit gestreute Stichprobe angestrebt. Die berechneten Infit- sowie Outfitwerte waren in einem zufriedenstellenden Bereich ($0.75 < \text{Infit/Outfit} < 1.25$). In dieser Pilotierung ergab sich eine WLE-Personenreliabilität von .71.

Die dritte quantitative Pilotierung war als eine Validierungsstudie mit insgesamt 58 Schülerinnen und Schüler aus Deutschland und Österreich sowie 7 aktiven Scientists for Future angelegt. Die Schülerinnen und Schüler teilten sich dabei in zwei Gruppen auf: 18 Schülerinnen und Schüler waren noch nicht zum Thema Klimawandel unterrichtet worden, die restlichen 40 Schülerinnen und Schüler hatten erst kürzlich das Thema Klimawandel im Physikunterricht behandelt. Das Ziel dieser dritten Pilotierung bestand also insbesondere darin, die Kriteriumsvalidität des Testinstruments anhand der Methode der bekannten Gruppen zu untersuchen. Die Hypothese war demnach, dass die Scientists for Future im Mittel einen signifikant höheren Score erreichen als Schülerinnen und Schüler, die bereits zum Thema unterrichtet wurden, welche im Mittel wiederum einen höheren Score erreichen als die Schülerinnen und Schüler, die bisher noch keinen Physikunterricht zum Thema Klimawandel hatten. Diese Hypothese wurde anhand einer ANOVA sowie TukeyHSD-Tests überprüft (ein Levene's Test zeigte Varianzhomogenität, $p = .481$), in

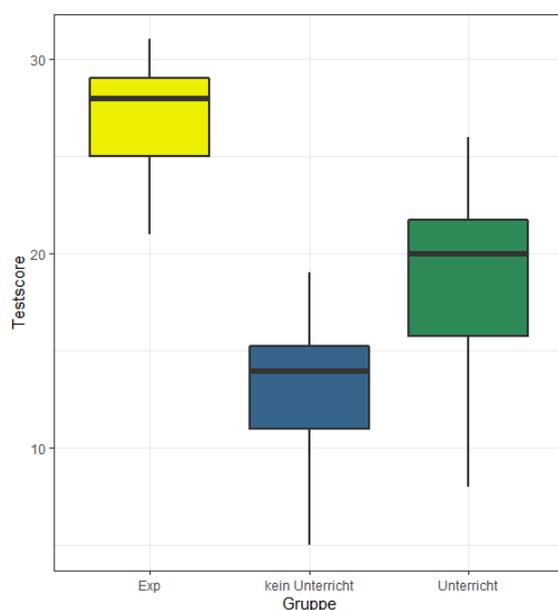


Abb. 2: Boxplot der Score-Verteilung für die drei untersuchten Gruppen.

Abbildung 2 ist ein Boxplot der Scores der jeweiligen Gruppen dargestellt. Die Analyse zeigt, dass sich alle Gruppen signifikant unterscheiden ($F(62,2) = 40.4, p < .001$), was wir als Anzeichen für Kriteriumsvalidität für den CCCI-422 betrachten. Als Limitation muss angeführt werden, dass sich die Stichproben der unterschiedlichen Gruppen hinsichtlich ihrer Gruppengröße unterscheiden.

6. Aufbau des finalen Testinstruments und Beispielitems

Der finale Konzepttest besteht aus insgesamt 36 Items mit jeweils einer korrekten Antwort und drei bis fünf Distraktoren. In Abbildung 3 und Abbildung 4 sind beispielhaft zwei Items dargestellt, eines davon zum Inhaltsbereich Der Kohlenstoffkreislauf, das andere Item zum Inhaltsbereich Der Treibhauseffekt.

Welche Aussage beschreibt den Treibhauseffekt auf der Erde am besten?	
A	Sonnenstrahlung gelangt durch die Atmosphäre und erwärmt den Erdboden. Von der Erde abgegebene Wärmestrahlung wird von den Treibhausgasen in unserer Atmosphäre aufgenommen. Danach wird diese Wärmestrahlung unter anderem wieder in Richtung Erde abgestrahlt. Dadurch erwärmt sich die Erde stärker.
B	Sonnenstrahlung gelangt durch die Atmosphäre und erwärmt den Erdboden. Der Erdboden reflektiert diese Sonnenstrahlung. Diese Strahlung wird von den Treibhausgasen in unserer Atmosphäre wieder zur Erde reflektiert. Dadurch erwärmt sich die Erde stärker.
C	Treibhausgase beschädigen die Ozonschicht in unserer Atmosphäre. Dadurch erzeugen und vergrößern sie das Ozonloch. Durch das Ozonloch kann mehr Sonnenstrahlung den Erdboden erreichen. Dadurch erwärmt sich die Erde stärker.
D	Treibhausgase in unserer Atmosphäre bündeln die eintreffenden Sonnenstrahlen. Durch die gebündelten Sonnenstrahlen erwärmt sich die Erde stärker.
E	Treibhausgase isolieren durch ihre hohe Dichte gut. Treibhausgase steigen zum Rand der Atmosphäre auf und verhindern so einen Wärmeaustausch der Erde mit dem Weltall. Dadurch erwärmt sich die Erde stärker.

Abb. 3: Beispielhaftes Item zum Inhaltsbereich "Der Treibhauseffekt". Die fachlich angemessene Antwort ist fett markiert.

Beim Verbrennen fossiler Brennstoffe gelangt der Kohlenstoff (C) dieser Brennstoffe als Kohlenstoffdioxid (CO ₂) in unsere Atmosphäre. Kann dieser Kohlenstoff (C) aus dem Kohlenstoffdioxid (CO ₂) irgendwann von einer Pflanze aufgenommen werden?	
A	Ja, die Pflanzen können den Kohlenstoff (C) aus Kohlenstoffdioxid (CO₂) durch Photosynthese aufnehmen.
B	Ja, wenn es regnet, gelangt der Kohlenstoff (C) in Form von Kohlenstoffdioxid (CO ₂) in den Boden und wird dort von Pflanzen aufgenommen.
C	Nein, Kohlenstoffdioxid (CO ₂) und die Pflanzen kommen nicht in Kontakt, weil das gasförmige Kohlenstoffdioxid (CO ₂) nach oben steigt.
D	Nein, der Kohlenstoff (C) aus der Verbrennung von fossilen Brennstoffen ist künstlich erzeugt und kann von Pflanzen nicht aufgenommen werden.

Abb. 4: Beispielhaftes Item zum Inhaltsbereich "Der Kohlenstoffkreislauf". Die fachlich angemessene Antwort ist fett markiert.

Die Items wurden von den AutorInnen für die jeweiligen Inhaltsbereiche entwickelt und teilen sich folgendermaßen auf diese auf:

- Die Atmosphäre unserer Erde: sieben Items
- Das Klima als System: acht Items
- Der Kohlenstoffkreislauf: sechs Items
- Klima und Wetter: sieben Items
- Der Treibhauseffekt: acht Items

Eine empirische Überprüfung der Dimensionalität steht an dieser Stelle jedoch noch aus und wird in einer aktuellen Studie überprüft.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Itementwicklung für den CCCI-422 aktuell abgeschlossen ist und sich in bisherigen Pilotierungsstudien einige Validitäts- als auch Reliabilitätsargumente für den CCCI-422 sammeln ließen. Der hier vorgestellte Klimawandel-Konzepttest kann also in zukünftigen Studien, in denen ein konzeptuelles Verständnis naturwissenschaftlicher Grundlagen des Klimawandels eine Rolle spielt, eingesetzt werden.

Aktuell läuft zudem die Hauptstudie dieses Projekts, in dem typische Vorstellungen Jugendlicher, die in Deutschland oder Österreich leben, über naturwissenschaftliche Grundlagen des Klimawandels erhoben werden.

7. Anmerkung

Die aktuelle Version des CCCI-422 kann bei den AutorInnen für den Einsatz in Forschungsprojekten bezogen werden.

8. Literatur

- Arslan, H. O., Cigdemoglu, C. & Moseley, C. (2012). A three-tier diagnostic test to assess pre-service teachers' misconceptions about global warming, greenhouse effect, ozone layer depletion, and acid rain. *International Journal of Science Education*, 34(11), 1667–1686.
- Coan, T. G., Boussalis, C., Cook, J. & Nanko, M. O. (2021). Computer-assisted classification of contrarian claims about climate change. *Scientific Reports*, 11(1), 22320. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-01714-4>
- Ivanjek, L., Morris, L., Schubatzky, T., Hopf, M., Burde, J.-P., Haagen-Schützenhöfer, C. et al. (2021). Development of a two-tier instrument on simple electric circuits. *Physical Review Physics Education Research*, 17(2), 2–15. <https://doi.org/10.1103/physrevphyseducres.17.020123>
- Jarrett, L. & Takacs, G. (2020). Secondary students' ideas about scientific concepts underlying climate change. *Environmental Education Research*, 26(3), 400–420.
- Kagawa, F. & Selby, D. (2010). *Education and climate change. Living and learning in interesting times* (Routledge research in education, vol. 30). New York: Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203866399>
- Keller, J. M. (2006). Development of a concept inventory addressing students' beliefs and reasoning difficulties regarding the greenhouse effect. *University of Arizona, AAT*, 3237466.
- McCright, A. M. & Dunlap, R. E. (2011). Cool dudes: The denial of climate change among conservative white males in the United States. *Global Environmental Change*, 21(4), 1163–1172. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2011.06.003>
- Nation, M. T. & Feldman, A. (2021). Environmental Education in the Secondary Science Classroom: How Teachers' Beliefs Influence Their Instruction of Climate Change. *Journal of Science Teacher Education*, 32(5), 481–499. <https://doi.org/10.1080/1046560X.2020.1854968>
- Nelson, M. A., Geist, M. R., Miller, R.L., Streveler, R.A. & Olds, B. M. (2007). How to create a concept inventory: The thermal and transport concept inventory. *Annual Conference of the American Educational Research Association*.
- Rousell, D. & Cutter-Mackenzie-Knowles, A. (2020). A systematic review of climate change education: giving children and young people a 'voice' and a 'hand' in redressing climate change. *Children's Geographies*, 18(2), 191–208. <https://doi.org/10.1080/14733285.2019.1614532>
- Sands, D., Parker, M., Hedgeland, H., Jordan, S. & Galloway, R. (2018). Using concept inventories to measure understanding. *Higher Education Pedagogies*, 3(1), 173–182. <https://doi.org/10.1080/23752696.2018.1433546>
- Schecker, H. & Gerdes, J. (1999). Messung von Konzeptualisierungsfähigkeit in der Mechanik. Zur Aussagekraft des Force Concept Inventory. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 5(1), 75–89.
- Schubatzky, T., Pichler, A. & Haagen-Schützenhöfer, C. (2020). Weiter-Entwicklung eines Klimawandel-Testinstruments. *PhyDid B-Didaktik der Physik-Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*, 211–217.
- Schubatzky, T., Wackermann, R., Wöhlke, C. & Haagen-Schützenhöfer, C. (2021). Das Thema Klimawandel im Physikunterricht. *Plus Lucis*, 2021(3), 4–8.
- Vosniadou, S. (Hrsg.). (2009). *International Handbook of Research on Conceptual Change* (0. Aufl.): Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203874813>

Student Understanding of Half-life and Background Radiation

Michael M. Hull, Eva Holzinger, Maximilian Jeidler, Markus Wintersteller

Austrian Educational Competence Centre, Division of Physics, University of Vienna, Porzellangasse 4/2/2, Vienna, Vienna, Austria/1090
michael.malvern.hull@univie.ac.at

Abstract

We have been studying the conceptual understanding of high school students about radioactivity, particularly regarding background radiation and half-life. We have seen that it is difficult for learners to grapple with the idea that random behavior of individual atoms can give rise to predictable patterns in the collective, and many students have said both on the Stochastic World of Radioactive Decay Evaluation (SWORDE) and in interviews that, if you are looking at an individual atom, half of the atom will have decayed after one half-life. Our findings have indicated, however, that this idea (of individual atoms decaying in a predictably continuous manner) is often not a robust and intact mental structure; rather, in other contexts, the same students correctly discuss decay as being instantaneous and unpredictable. Approaches to teaching radioactivity that take this fluidity of student reasoning into account are desired. We created and validated an expanded version of SWORDE and are using the survey to assess "The Radiation Around Us", curriculum that does exactly that.

1. Introduction

Our research concerns the assessment of curriculum to teach students about radioactivity and ionizing radiation. Rather than attempt an exhaustive review of potential curricular materials, we have narrowed down our study to two research-based curricula, Inquiry into Radioactivity (IiR) and The Radiation Around Us (TRAU). This decision is supported by prior work conducted by the first author concerning not only what student ideas students bring with them to the classroom, but also the cognitive structure of those ideas. Specifically, the first author has found that student reasoning about radioactivity exhibits considerable context-dependency. Both IiR and TRAU anticipate and allow for this context-sensitivity. Since TRAU is more straight-forward for teachers to implement, the third and fourth authors are focusing on TRAU for their MS theses. The assessment involves, in part, student responses to a conceptual survey about radioactivity that was developed and validated in the MS thesis of the second author.

1.1. Theoretical Background: The "Pieces" Model

In discussing theoretical frameworks for modeling student ideas, Scherr contrasted the "Misconceptions" model with the "Pieces" model (Scherr, 2007). Whereas the Misconceptions model attributes (often only tacitly!) a stable, rigid, and context-independent character to student ideas, the Pieces model (e.g., diSessa, 2009) explicitly treats student ideas as being potentially fluctuating, pliable, and context-depend-

ent. Let us consider a research finding from mechanics for an example to illustrate this difference (Hammer, Elby, Scherr, & Redish, 2006). When a ball is thrown, there are two forces acting on the ball: a downward force from gravity and a force from air resistance that opposes the motion of the ball (which is often neglected in introductory mechanics instruction). When teachers ask students what forces are acting on the ball, however, it is not uncommon for students to answer that there is a downward force due to gravity and, in addition, a force from the hand which stays with the ball and becomes smaller and smaller as the ball's speed decreases. If students had a "misconception" in the sense of a stable, rigid, and context-independent idea that "motion requires force", then it should be the case that, when students are asked about the forces on the ball at the top of the trajectory (where the ball momentarily comes to rest), that students should now (correctly) say that there is only the downward force from gravity, as the force from the hand has decreased to zero. However, when many of these same students are asked about the apex of the throw, they change their reasoning to argue that "the downward force of gravity must be balanced by an upward force." The point is not that the students are wrong in both contexts (ball traveling upwards and ball at rest at the apex). Rather, the point is that the reasoning employed by students changed from context to context. This suggests that the students reasoning about this situation did not have a "misconcep-

tion”, but rather that their reasoning can better be described as “pieces”-like. For additional examples, we refer readers to (Hull & Hopf, 2021).

More generally, an analogy can help us visualize the difference between the two models of student ideas. In this analogy, the Misconceptions model might think of student’s ideas as being like a tree, growing wild and deeply planted in the ground. This tree might be the “motion requires force” misconception described above, for example. The goal of instruction (the understanding that a net force changes motion) is represented in this analogy by a tower. In the Misconceptions model it follows that effective instruction would entail cutting down the tree, digging out the roots, and starting construction of the tower from scratch. The Pieces model, on the other hand, recognizes that what looks like a tree might actually be a composition of smaller knowledge pieces. Therefore, to have students leave the classroom with a tower-like understanding, it may be that all that is necessary is to rearrange some of the same knowledge pieces that were involved in establishing the tree. True, some of the knowledge pieces activated in the tree idea might not be helpful in constructing the tower and should be replaced with more appropriate knowledge pieces. The fact that many of the knowledge pieces, however, become activated both when thinking about the tree and about the tower indicates that these knowledge pieces are not inherently “right” or “wrong” in the way that a Misconception is wrong.



Fig. 1: Comparison of the Misconceptions (left) and Pieces (right) models of student ideas. Whereas the former model suggests that replacement (in this case of a tree with a tower) is efficient for student learning, the latter suggests that much of learning involves rearranging smaller knowledge pieces that students already have.

2. Student Understanding about Radioactivity can be Context-Dependent

Radioactivity decreases in a predictable manner characterized by the half-life. Holzinger found in her MS thesis, however, that even survey respondents who selected the correct definition for half-life failed to apply that knowledge in answering questions asking for a decision about radioactive material. For example, one of the items on Holzinger’s survey is CLOSET, which is taken from the SWORDE (formerly known as FAROS) survey (M. M. Hull, Jansky, & Hopf, GDCP, 2022). This prompt asks respondents what they would do were their closet to become filled with I-131 gas. The survey item specifies that the half-life of the iodine is 8 days, and respondents are to choose after how many days they would open the closet to retrieve valuables from inside. When CLOSET was

being developed, some respondents answered the free-response version of the prompt with something like “it would depend upon various factors”, such as the concentration of gas in the closet and how the radioactivity of I-131 compares with background radiation, and we considered such a response to be appropriate. On the multiple choice version of the survey item that Holzinger administered, however, the most commonly selected response was “I would never open the closet.” This is consistent with the findings of Alsop (2001) that learners have an image of radioactivity as being “quintessentially eternal”. We think that making risk-benefit decisions regarding radioactivity is an important activity for citizens in a modern society; however, as indicated in this CLOSET prompt, it seems common for people to instead take on a stance of “avoid all radioactivity”, which is delusional, since radioactive material is ubiquitous. Eijkelhof (1990) posited that the difficulty for people in making risk-benefit decisions about radioactivity is that radioactivity is stochastic in nature. The first author has argued that much content in physics is stochastic, and what may appear to be a wide range of student ideas in various topics may actually have a shared origin of difficulty in understanding randomness (M. M. Hull, Jansky, & Hopf, 2021). Specific to radioactivity, it is considered random when an individual atom will decay, and it is regarded as random whether or not the radiation emitted will ionize a victim molecule. To investigate whether student difficulties in radioactivity do arise due to an underlying difficulty in understanding randomness, and to see whether this difficulty is better described by the Misconceptions or Pieces model, the first author conducted seven semi-structured think-aloud interviews in 2018.

One of these interviewees, Bailey (all names are pseudonyms) demonstrated an awareness of the random nature of radioactivity in the interview. Bailey explained that “Atoms don’t follow a scheme... ten can fall apart at once, and then in the next two seconds, only one.” Nevertheless, Bailey had difficulties regarding how predictable rules (such as half-life) can emerge from such randomness (M. M. Hull & Hopf, 2020; Michael M. Hull & Nakamura, 2018).

During the interview, the first author had Bailey draw the decay of a single Radon-222 atom as time passes. Bailey made the sketch shown below in Figure 2 and explained that the decay must take place at some point before the half-life (roughly 4 days). There are various ways to interpret this data. One possibility we can consider is that Bailey did not understand what is meant by the physics term “half-life”. Perhaps Bailey thought it means “life-time”, such that a Rn-222 atom cannot live longer than 4 days. This idea, however, is problematic, in that earlier in the same interview, Baily demonstrated understanding about what “half-life” means in the context of considering a radioactive

sample. In particular, Bailey correctly said that half of a sample of such atoms will remain after one half-life.

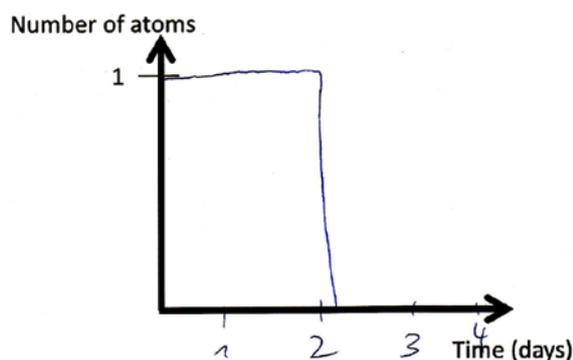


Fig. 2: Bailey's sketch to show the decay of a single Rn-222 nucleus as time passes. At this point in the interview, Bailey specified that the decay must happen at some point prior to the half-life (approximately 4 days).

At this point of the interview (drawing the decay of a single nucleus as time passes), however, Bailey treated the "half-life" as a special day for the constituents as well as for the radioactive sample: "When I flip a coin, the probability that I get a tails is 50% but an atom has this specific amount of time. After that, it *will* break apart (emphasis Bailey's)."

In general, Bailey's reasoning about the randomness inherent in radioactive decay was context-dependent throughout the hour-long interview. During this interview, the first author had Bailey consider and compare several analogies involving flipping coins. After the last analogy, the first author invited Bailey to revisit previous answers by asking "how confident are you with your previous answers?" At this point, Bailey changed the graph for the decay of the single atom (Figure 2) to no longer be restricted to lie within one (or even two) half-lives. We might be tempted to say that the succession of analogies succeeded in "cutting down the tree" about half-life being a "special day" for the individual unstable nucleus. However, when the first author then asked Bailey an isomorphic prompt ("isomorphic" meaning that two or more prompts can be answered correctly with the same conceptual understanding, despite differences in surface features), Bailey reverted back to thinking of the half-life as being a special day for the individual atom. Specifically, the first author asked Bailey which day the Rn-222 atom would be most likely to decay. Rather than saying "well, as I just learned, it is random and could take place at any point in time," Bailey instead answered "on the third day... on the fourth day, it is like fifty-fifty, so it might already be gone." Again, Bailey was using the "special day" way of thinking.

These interviews served as motivation for the Stochastic World of Radioactive Decay Evaluation (SWORDE). SWORDE (formerly known as FAROS) consists of three isomorphic prompts that can all be

answered satisfactorily with the conceptual understanding that, despite the usefulness of half-life for making predictions about radioactive samples, it is random when an individual unstable nucleus will decay. The prompts are two-tier, in that respondents are first asked to answer the item (answer tier) and then asked to select an explanation (reasoning tier) that led to the answer selected. Both tiers for all prompts are closed form (multiple choice or multiple select). The first of these prompts, MANY vs ONE or MvO, involves thinking about the decay of a single nucleus as time passes (equivalent to the interview prompt featured in Figure 2). The MANY part of this prompt reads:

- Iodine-131 is an example of a radioactive atom. It has a half-life of 8 days, so if one begins with a large number of these atoms, then half of the atoms will have transformed into a different atom after 8 days.

Imagine that there are 100 million Iodine-131 atoms in the beginning. How much Iodine-131 will have not yet transformed after ... i. 8 days? ii. 16 days? iii. 24 days?

Although many students answered this three-part question correctly, the subsequent three parts (ONE) proved more challenging:

- Imagine that there is just a single Iodine-131 atom in the beginning. How much Iodine-131 will have not yet transformed after ... i. 8 days? ii. 16 days? iii. 24 days?

Many students, like Bailey, attributed the status of a "special day" to the half-life when answering not only MANY, but ONE as well. Some respondents selected the options "0 atoms", "0 atoms", and "0 atoms", consistent with Bailey saying that the decay must take place before the half-life. Much more common, however, was thinking that, after one half-life, half of an atom would remain. This "half-atom" idea has been described elsewhere in physics education research (PER) (M. M. Hull & Hopf, 2020; Jansky, 2019; Klaassen, Eijkelhof, & Lijnse, 1990). We see this idea that what is true for the collective (half "gone" after one half-life) is also true for the constituents making up that collective as being an example of a "Level Confusion" (LC). (Wilensky and Resnick, 1999). Since our interviews had indicated that such LC's are not context-independent Misconceptions, but rather that student reasoning can fluidly shift, we included not only the MvO prompt in SWORDE, but two other isomorphic prompts as well. One of these other two prompts is CAGE, which asks what day the atom is most likely to decay (Jansky, 2019). The final prompt is ANT, where survey respondents consider a concept cartoon of students making claims about the radiation sent out by a radioactive stone to an ant who is standing motionless nearby, first when the stone contains a trace amount of radioactive material, and then when the stone contains a huge amount of radioactive ma-

terial. These three prompts are isomorphic in that students can answer satisfactorily if they understand that it is random when an individual atom decays. All three prompts can also be answered with a response indicating an LC. For example, students who say that there would be no difference whether the stone contains a trace or huge amount of radioactive material were coded as indicating an LC on this prompt: whatever is true when there are many radioactive atoms together must also be true when there are only a few together.

Isomorphic prompts were made popular to the PER community by Singh, who used them to demonstrate that student reasoning can vary from prompt to prompt, indicating the context-sensitivity of student ideas. Singh (2008) wrote:

“From the perspective of knowledge in pieces, problem context with distracting features can trigger the activation of knowledge that a student thinks is relevant but which is not actually applicable in that context... students activat[e] different resources to deal with somewhat different contexts which experts view as equivalent”.

A student with a "misconception" (in the sense of it being a stable cognitive structure that is not context-dependent) should answer consistently across the three prompts with the same wrong reasoning: "What is true for the radioactive sample is true for the individual atom."

The first author administered the final version of SWORDE online (using Survey Monkey) from Nov. 9th 2020 to March 24th 2021. After data cleaning, N = 234 (17-18 year olds who had already learned about half-life) remained.

On ANT, we assigned an LC code to students who selected "My answers would not change" [whether the stone has a trace or abundant amount of radioactive material in it] AND/OR if the respondent selected "There is no difference, except that the stone sends out radiation longer." On CAGE, we assigned a code of LC if respondents selected "After the half-life, half of the atom will have transformed" AND/OR "The atom transforms on the day of the half-life" AND/OR "The atom transforms continuously" on the reasoning tier. Finally, on MvO, we assigned an LC code if respondents selected "Half an atom" after one half-life for ONE on the answer tier; AND/OR selected "After the half-life, half of an atom will have transformed" on the reason tier; AND/OR selected "0 atoms" after one half-life on the answer tier of ONE while also selecting "One cannot have half an atom" on the reason tier.

We found that out of the N = 234 respondents, 193 (82%) answered MANY correctly. Of those 193 students, 116 students (60%) received an LC code on ONE. Looking at all three prompts, most respondents (224, 96%) showed evidence of LC on at least one of

the three prompts (see Figure 3, below). However, only 104 (44%) exhibited a level confusion consistently across all three prompts. For the majority of students indicating a level confusion, it seems inappropriate to describe them as "having a misconception". Rather, this response pattern is better described by the Pieces model (Michael M. Hull, Jansky, & Hopf, PRPER 2022).

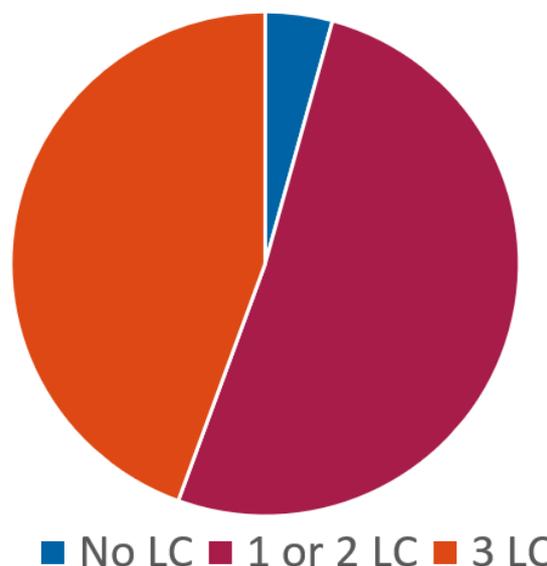


Fig. 3: Most of the N = 234 students indicated a level confusion (LC) on at least one of the three isomorphic prompts. However, less than half of those students consistently demonstrated a level confusion throughout the survey.

3. Radioactivity Curriculum that Allows for Context-dependent Reasoning

There are two curricula for teaching about radioactivity that have caught our attention as they do not attempt to “chop down the tree” of student ideas. Rather, they respect student ideas and allow them to fluidly shift in response to experimental outcomes and peer discussions. These two curricula are The Radiation Around Us (TRAU), an excerpt from Yamamoto’s curriculum “Radiation and Sievert” (Yamamoto, 2011) developed in the MS thesis of Goda at the University of Kyoto, and Inquiry into Radioactivity (iIR), developed by Johnson in the USA (M. M. Hull & Johnson, 2021; Johnson, 2013).

iIR is designed for non-science majors taking a physical science course at a USA university. The instruction on radioactivity lasts for one semester, and even this is rarely enough time to complete the iIR materials. In each lesson, students work in groups of 3-4 to conduct experiments with radioactive materials and Geiger Müller counters. As the name suggests, it is an inquiry-based approach to learning, where the instructor is not the distributor of knowledge, but rather the facilitator of the group- and class-based discussions. Only after students have come to a consensus do they record key ideas of what they learned in that

lesson. There are several difficulties with implementing IiR in an Austrian high school. First off, not every school has a Geiger Müller detector to measure ionizing radiation, let alone one for each group of students, as proposed by IiR. Most high schools are not permitted to have radioactive materials at all, even those that are only marginally above background radiation. Over the past few years, the first author and his pre-service teachers have worked to surpass these challenges by choosing indispensable parts of IiR to compress into three 50-minute-long lessons and to create videos of the experiments that students can watch and discuss in their groups in cases when hands-on equipment is not available. There is an additional challenge with IiR in terms of its dissemination in Austrian high schools, however. Although the inquiry spirit is perhaps ideal in terms of students coming to reach an understanding of radioactivity in a way that feels organic to them (as opposed to being knowledge that they must merely memorize from the teacher, after rejecting their own ideas), it is perhaps the most challenging for teachers—especially novice teachers—to implement. Here is where TRAU shows a strong potential benefit.

Whereas IiR covers (at one point or another) virtually all of the Austrian Lehrplan, TRAU focuses on building awareness that we are continuously surrounded by ionizing radiation: it is not just something we find around Fukushima and Chernobyl; rather, we ourselves are radioactive. This is something that is rarely learned satisfactorily in high school. The second author created, validated, and administered an online survey to $N = 386$ adults (who had learned about radioactivity in school) who were not working in a radioactivity-related field. This survey, which included some items from SWORDE, also included the question "which of the following would make a radioactivity detector click?" (with the correct answer being to check all 10 items in the list). She found that only about 10% of respondents said that a school child would do so (see Figure 4, below).

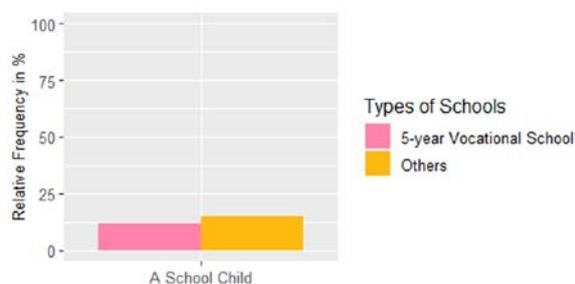


Fig. 4: Regardless of what kind of school the survey respondent had graduated from, only about 10% correctly indicated that a school child would make a radioactivity detector click.

TRAU respects and encourages fluidity of student reasoning while still being relatively easy for teachers

to implement. TRAU is an instructional module created in the Hypothesis–Experiment Class (HEC) style. In general, HEC expects that an individual may simultaneously have multiple ways of thinking about a given situation. As the HEC founder, Itakura, wrote: “Even students with minimal knowledge of the topic at hand will nonetheless probably have, at least, some naïve ideas regarding the topic. These may not be very logical and may even be an amorphous understanding with fluid interpretations” (2019).

HEC, TRAU included, follows a cyclical process that begins with students making a personal expectation about what the result of a proposed experiment will be. Unlike in IiR, where students are given freedom to design and interpret their own experiments, HEC has the experiments printed ahead of time in the worksheets students receive. Part of the teacher’s role is to ensure that the outcome of the experiments is unambiguous to students. After students have chosen their expectation from a multiple choice question that is also printed in the worksheets, the teacher conducts a public tally. Although student names are generally not attached to the votes, a tally of how many students chose option A, B, or C is written on the board. At this point, a discussion ensues between the students. Here again, the teacher plays a role by calling on students, even if they are not raising their hands, and by ensuring that all ideas are heard. Although students must participate during this whole-class discussion, it is sufficient for them to respond with statements like “I chose A, but it was just a guess” or “I chose A because my friend chose A, and she is usually right about these kinds of things.” For example, one of the nine Problems for which students select an expectation involves the situation of climbing a tall tower and seeing how the gamma radiation detected in the handheld gamma detector will change. During the discussion stage of this Problem, we often hear students justify their selections in terms of the results of the experiments in the previous Problems of the lesson. Students will argue things like “well, we have seen that the ground is a source of radiation, and we are going farther away from the ground, so the radiation should decrease” or “we have seen that on the sea or above a swimming pool, the radiation level is less, so I think the humidity in the air will similarly act as a shield”. Following the discussion, the teacher invites students to change their prediction if there was anything that had convinced them during the discussion. These changes of prediction are also tallied on the board. Finally, the experiment is conducted or (in the case of TRAU) the results of the experiment are disclosed to students in the next worksheet they received from the teacher. This next worksheet also contains marginal (if any) explanation about the cause of the experimental outcome before presenting students with the next Problem to repeat the cycle.

Throughout this process, the teacher does not correct errors in student reasoning, but rather leaves them as

they are, waiting for students to accept new information through a succession of results from experiments that are carefully selected and arranged. Unlike in an inquiry style of learning, the whole class format and the pre-determination of experiments poses less of a challenge on teachers. At the same time, student ideas are not rejected by the teacher. As Itakura wrote in comparing HEC with more traditional approaches, "...the student will often spin out a newer interpretation ... just to incorporate the new fact. And yet the teacher and textbook [in traditional instruction]... simply conclud[e], 'So we can see that these facts lead to such and such.' In cases such as this, the teacher has brutally forced a theory on the student..." (2019).

4. Outlook

In both interviews and surveys, the first author has documented that student reasoning about radioactivity can be fluid and context-sensitive. As such, effective instruction about radioactivity should not aim to "cut down the tree" of student ideas but rather create a space where pieces of student ideas can shuffle about in response to experimental outcomes and peer discussion until crystallizing organically into the "tower" of normative knowledge we desire our students to learn. An inquiry style of teaching like IIR might be ideal from the student perspective, but the group-based student-directed interactions are hard for novice teachers to facilitate. TRAU is a viable alternative, but it needs to be tested. To carry out this assessment, we utilize a survey developed by the second author (see Holzinger & Hull, 2022 for details). So far, unfortunately, it seems that TRAU is not as effective as hoped for helping students recognize that they are radioactive, but it does seem that the HEC goal of student enjoyment is satisfied in TRAU (see Jeidler, Wintersteller, & Hull, 2022). At present, the claim that TRAU is relatively easy—even for novice teachers—to implement is a hypothesis in need of testing. Based upon preliminary findings with a novice high school teacher who taught with TRAU three times, it seems that the HEC goal of reliable learning outcomes may be satisfied (see Wintersteller, Jeidler, & Hull, 2022).

5. Literature

diSessa, A. A. (2009). A Bird's-Eye View of the "Pieces" vs. "Coherence" Controversy (From the "Pieces" Side of the Fence). In S. Vosniadou (Ed.), *International handbook of research on conceptual change* (p. 35). Retrieved from [https://books.google.at/books?hl=en&lr=&id=sdYOAgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=A.+diSessa,+in+International+Handbook+of+Research+on+Conceptual+Change,+edited+by+S.+Vosniadou+\(Routledge,+New+York,+2008&](https://books.google.at/books?hl=en&lr=&id=sdYOAgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=A.+diSessa,+in+International+Handbook+of+Research+on+Conceptual+Change,+edited+by+S.+Vosniadou+(Routledge,+New+York,+2008&)

ots=qAW9Qp7Xqo&sig=ek10is6IrNONz8GE7XcL52IgTyU

- Eijkelhof, H. M. C. (1990). *Radiation and risk in physics education* (CD[beta] Press). Retrieved from https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:22010294
- Hammer, D., Elby, A., Scherr, R. E., & Redish, E. F. (2006). Resources, framing, and transfer. In J. P. Mestre (Ed.), *Transfer of learning from a modern multidisciplinary perspective* (Vol. 1, pp. 89–121). Retrieved from http://umdperg.pbworks.com/w/file/attach/51074580/Transfer_chapter_final.pdf
- Holzinger, E., & Hull, M. M. (2022). The Public's Knowledge on Radioactivity - What effect does the passing of time after graduation and the type of school attended make? *PhyDid B - Didaktik Der Physik - Beiträge Zur DPG-Frühjahrstagung*, (under review).
- Hull, M. M., & Hopf, M. (2020). Student understanding of emergent aspects of radioactivity. *International Journal of Physics & Chemistry Education*, 12(2), 19–33.
- Hull, M. M., Jansky, A., & Hopf, M. (2021). Probability-related naïve ideas across physics topics. *Studies in Science Education*, 1–39.
- Hull, M. M., Jansky, A., & Hopf, M. (2022). Radioactivity as "quintessentially eternal": two survey prompts. 2021 GDPC Conf. Proc. (Accepted for Publication).
- Hull, M. M., & Johnson, A. (2021). Wie adaptiert man Unterrichtskonzepte erfolgreich? Ein Beispiel anhand von Inquiry into Radioactivity für den Einsatz in Gymnasien. (German). In et al. Kubsch, M. (Ed.), *Lehrkräftebildung neu gedacht. Ein Praxishandbuch für die Lehre in den Naturwissenschaften und deren Didaktiken*. Waxmann Verlag.
- Hull, Michael M., & Hopf, M. (2021). Students' Conceptions. In *Physics Education* (pp. 383–411). Springer, Cham.
- Hull, Michael M., Alexandra Jansky, and Martin Hopf. (2022). Does confidence in a wrong answer imply a misconception? *Physical Review Physics Education Research* 18.2: 020108.
- Hull, Michael M., & Nakamura, T. (2018). Understanding Half-Life as Emergent. GDPC Conf. Proc., 484–487.
- Itakura, K. (2019). *Hypothesis-Experiment Class (Kasetsu) : With practical materials for fun and innovative science classes* (H. Funahashi, Ed.). Kyoto: Kyoto Univ. Press & Melbourne: Trans

Pacific Press.

- Jansky, A. (2019). Die Rolle von Schülervorstellungen zu Wahrscheinlichkeit und Zufall im naturwissenschaftlichen Kontext. University of Vienna.
- Jeidler, M., Wintersteller, M., & Hull, M. M. (2022). The Influence of “The Radiation Around Us” on Student Conceptual Understanding and Interest. *PhyDid B - Didaktik Der Physik - Beiträge Zur DPG-Frühjahrstagung*, (under review).
- Johnson, A. (2013). Radiation and Atomic Literacy for Nonscientists IBI* SERIES WINNER. 25 OCTOBER, 342.
<https://doi.org/10.1126/science.1230003>
- Klaassen, C. W. J. M., Eijkelhof, H. M. C., & Lijnse, P. L. (1990). Considering an alternative approach to teaching radioactivity. In *Relating macroscopic phenomena to microscopic particles: A central problem in secondary science education* (pp. 304–316). Retrieved from
<https://www.researchgate.net/publication/280531228>
- Scherr, R. E. (2007). Modeling student thinking: An example from special relativity. *American Journal of Physics*, 75(3), 272–280.
- Singh, C. (2008). Assessing student expertise in introductory physics with isomorphic problems. II. Effect of some potential factors on problem solving and transfer. *Physical Review Special Topics-Physics Education Research*, 4(1), 010105.
- Wintersteller, M., Jeidler, M., & Hull, M. M. (2022). Investigating Differences in How Teachers Facilitate the Classbook “The Radiation Around Us.” *PhyDid B - Didaktik Der Physik - Beiträge Zur DPG-Frühjahrstagung*, (under review).
- Yamamoto, M. (2011). Radiation and Sievert (Japanese). Hippopoya Summer Conference Edition.

The Public's Knowledge on Radioactivity

- What effect does the passing of time after graduation and the type of school attended make?-

Eva Holzinger, Michael M Hull

Austrian Educational Competence Centre, Division of Physics, University of Vienna, Porzellangasse 4/2/2, Vienna, Vienna, Austria/1090
michael.malvern.hull@univie.ac.at

Abstract

Physics is an unpopular topic in casual conversation today. This may be due to the fact that many adults do not remember any physics that they supposedly learned at school. This paper will address this hypothesis by seeing if time spent since graduating affects adults' understanding of radioactivity, and if school attended makes a difference in this retention. We created an online questionnaire composed of demographic questions and questions to probe understanding and misconceptions about radioactivity. We then collected data with this questionnaire from $N = 386$ individuals with Austrian school-leaving qualifications. We performed a three-way ANOVA and found that there is a difference in knowledge about radioactivity between recent school leavers and non-recent school leavers, with recent school leavers performing better. Nevertheless, even recent school graduates exhibited the typical misconceptions (they conflated irradiation and contamination, for example), with school attended making no significant difference.

1. Introduction

Radiation emitted from radioactive decay is unavoidable. Despite that, many believe that radioactivity is man-made, originating exclusively from medical and industrial processes (Morales & Tuzón, 2020, pp. 8–13; cf. Schecker et al., 2018, p. 231; cf. Sesen & Ince, 2010, p. 97). In the MS thesis of the first author, we aimed to quantify the public's ignorance about radioactivity. Concretely, we wanted to investigate 1) what percentage of people are unaware that we are surrounded by radioactivity all the time, and 2) if that number depends upon the type of school attended and the time since last attending school. To this end, we generated two research questions:

- RQ1: How does understanding about radioactivity change with the passing of time after graduation from school?
- RQ2: How does understanding about radioactivity depend upon the school graduated from?

Research question one (RQ1) asks whether understanding about radioactivity depends upon the passing of time after school graduation. Intuitively, we might suppose that people fresh out of school remember more physics than those who have attended school a longer period of time ago. On the other hand, a trend in the opposite direction may indicate a decline in student interest with learning about radioactivity from one generation to the next. Like Alsop, we define “recent school leavers” to be people 25 years old or younger (Alsop, 2001, p. 265). In our study,

this corresponds to respondents who reported last attending school less than 10 years ago.

RQ2 considers how understanding about radioactivity is affected by the type of school attended. Students in Austria have a wide range of schools from which they can choose: compulsory school (“Pflichtschule” in German), polytechnical school (“polytechnische Schule”), general secondary school (“allgemeinbildende höhere Schule”), vocational school (“Berufsschule”), 3-year vocational school (“berufsbildende mittlere Schule”), and 5-year vocational school (“berufsbildende höhere Schule”) (Bundesministerium Bildung, Wissenschaft und Forschung [BMBWF], 2022).

2. Methodology

2.1. Questionnaire

To answer the two research questions, we created an online questionnaire intended to be appropriate for all persons who have acquired a school-leaving certificate from Austria, regardless of which type of school they attended. The questionnaire can be considered semi-structured in that, in addition to multiple-choice questions, it also contains open-ended questions to elicit additional information to categorize participants (Gillham, 2008, pp. 2–6).

The multiple-choice questions probe basic conceptual understanding of radioactivity while eliciting students' conceptions (for example, the “undifferentiated view” that irradiation results in objects becoming contaminated). The questions are a combination of

items taken from Johnson's "Inquiry into Radioactivity" (2021), the "Stochastic World of Radioactive Decay Evaluation" (SWORDE) by Hull and Hopf (formerly known as "FAROS") (2020) and items we created ourselves for this project.

As recommended by Gillham (2008, pp. 41-44), we initially tested this questionnaire via survey validation interviews. Four respondents (none of whom worked in a profession that would give them an above-average knowledge of radioactivity) of various ages participated in the interviews. Analysis of these interviews led to a modified version of the questionnaire that was then tested by an expert panel. While the items borrowed from Inquiry into Radioactivity and SWORDE already had associated correct answers that had been established, this was not the case with the new items we had created. The goal of the expert panel was to confirm our opinions about which selection to these new items is correct. Our condition was that we would only use the new items for which eight out of ten members of the expert panel chose the same response we had as the "correct" one. This expert panel simultaneously 1) justified our coding of whether a response was correct or incorrect and 2) complemented the survey validation interviews in assuring that the wording of the items was sufficiently clear. Due to these survey validation interviews and expert panel, we maintain that our survey fulfills all quality criteria (i.e., objectivity, reliability, and validity) according to Hollenberg (2016, 6-7).

2.2. Analysis of Variance

To analyze the results, the three-way "Analysis of Variance" (Backhaus et al., 2018, p. 165) (abbreviated ANOVA) test was applied. The ANOVA tests whether the mean values of two compared factor levels within one factor are about the same or if there is a significant difference. For this research, the three independent variables are whether the series "Chernobyl" has been watched (this independent variable is not part of the research questions, but was added out of interest), the time passed since attending school, and the type of school attended. An ANOVA shows if the dependent variable (in this case, survey score) is affected by the three independent variables. If the difference between the observed means is sufficiently large, it can be assumed that the variance between the factor levels is greater than the variance within the factor levels. It can therefore be concluded that the factor levels did not achieve equal points and, hence, do not have the same knowledge about radioactivity (Bortz & Schuster, 2010, p. 265; Fahrmeir et al., 2016, pp. 478, 486).

Within each of the three factors (independent variables), there are two comparable factor levels. In total, there are hence six factor levels. In Table 1 below, the three factors are indicated with a number 1-3, the first two coinciding with the corresponding hypotheses.

	Factor Level 1	Factor Level 2
Factor 1	Adults who have graduated from school recently (in the last 10 years)	Adults who have graduated from school, but not recently (more than 10 years)
Factor 2	Adults who graduated from a 5-year vocational school	Adults who have not graduated from a 5-year vocational school
Factor 3	Adults who have seen "Chernobyl"	Adults who have not seen "Chernobyl"

Tab. 1: Formation of factor levels for analysis by means of the three-way ANOVA

We created seven null hypotheses (H₀) for use with the three-way ANOVA to consider main effects between factor levels as well as interaction effects. Each H₀ states that there will be no significant difference between the mean values of the respective factor levels.

The ANOVA requires that the data be normally distributed and that the data variance be homogeneous (that is, that the variances of the data within the factor levels are approximately equal). We used the D'Agostino test of skewness to confirm that the data is normally distributed, and we used the Bartlett test of homogeneity of variances to confirm that the variances are homogeneous (D'Agostino, 1970, p. 680; Keating & Leung, 2010, p. 61).

3. Results

We used the SoSci online platform ("SoSci Survey" (Leiner, 2019)) to host the questionnaire. From November 11th to November 29th, 2021, 416 people completed the questionnaire. Respondents who stated that they work with ionizing radiation as part of their profession (usually in the medical profession or research) were excluded from the evaluation, resulting in N = 386 responses that were analyzed in this study. The questionnaire contains 16 items, each with a value of 1 point, and no partial credit was awarded. On average, respondents obtained a score of 9.57 points, and the standard deviation was 2.95 points.

The results of the ANOVA are below in Table 2. The first three samples are the main effects of each independent variable (factor). Samples 4 to 6 are the interaction effects between each independent variable. The main advantage of a three-way ANOVA in comparison to conducting several two-way ANOVAs is that we can see if there is an interaction effect between all three independent variables. This is shown in Sample 7, the last row of the table. With an ANOVA, there are degrees of freedom associated with both the numerator (DF_n) and with the denominator (DF_d). For the numerator, DF_n is equal to the number of factor levels (see Table 1) minus 1. Since

each case consists of two factor levels, the DF_n is 1 for each sample. For the denominator, DF_d is equal to the total number of participants minus the number of effects (8 in this study). Hence, DF_d is 378 for each sample. The F-value reflects a difference between the mean values of the respective factor levels. The closer the F-value is to 1, the lower the mean difference. If there is a mean difference between the respective factor levels, the F-value exceeds 1 by far, and the corresponding H₀ should be rejected. In addition to the F-test, the p-value checks whether the null hypothesis can be rejected. If the p-value is lower than 0.05, H₀ is rejected. When there is a significant difference, the effect size is indicated by “ges”. The higher the “ges”, the larger the effect size and the more meaningful the result.

Sample	Effect	F-value	p-value
1	Time Passed	22.3	3.32e-06*
2	School Types	1.39	2.40e-01
3	“Chernobyl”	1.13	2.89e-01
4	Time Passed : School Types	6.0e-03	9.39e-01
5	School Types : “Chernobyl”	0.280	5.97e-01
6	Time Passed : “Chernobyl”	2.73	1.00e-01
7	Time Passed : School Types : “Chernobyl”	1.79	1.82e-01

Tab. 2: Results obtained from the ANOVA. The DF_n and DF_d for each sample is 1 and 378, respectively. The “ges” value for Sample 1 is 5.60e-02.

As can be seen in Table 2, H₀ is rejected only for the first sample, as the p-value is less than the cutoff of 0.05 and the F-value is much larger than 1. The effect size for sample 1 is 0.056, which is denoted as medium effect (Backhaus et al., 2018, p. 194; Bortz & Schuster, 2010, p. 270; Cohen, 2008, p. 690; Effect Size in Statistics - The Ultimate Guide, n.d.; Fahrmeir et al., 2016, p. 266). Only for sample 1 is the p-value lower than the α -error. Every other main effect and interaction has a p-value greater than 5%, which

means that the H₀ is not rejected. The rejection of H_{0_1} means that there is a difference in the adults' knowledge on radioactivity in relation to the passing of time after school. As a result, the alternative hypothesis, which states that there is a difference in the adults' knowledge on radioactivity between “recent school leavers” and “non-recent school leavers” is accepted. On the other hand, there is no significant main effect on the adults' knowledge on radioactivity if they have graduated from a 5-year vocational school or another type of school ($F = 1.4$, $p > 0,05$). Hence, H_{0_2} is not rejected. Contrary to expectation, adults who attended a 5-year vocational school do not have the highest understanding of radioactivity. Additionally, there is no advantage in watching “Chernobyl” in regard to the understanding of radioactivity.

The boxplot in Figure 1 illustrates the difference in means according to the three independent variables. The colored boxplots represent the factor of “time passed since last school attendance”, with the blue boxes indicating the factor level “recent school leavers” and the yellow boxes representing “non recent school leavers”. The independent variables “Types of Schools” and “Have Seen ‘Chernobyl’” are represented on the x-axes. This representation was chosen to display the difference in factor levels that the ANOVA found to be significant (for the factor “Time Since Last School Attendance”). Regardless of the school attended and regardless of whether the adult had watched “Chernobyl” or not, the mean values (asterisks within the boxes) of “recent school leavers” are higher than the mean values of “non recent school leavers”. Furthermore, the medians (horizontal lines within the boxes) of the blue boxes are always higher than those of the yellow boxes. This indicates that 50% of the “recent school leavers” reached higher points than 50% of the “non-recent school leavers”.

Consolidating the data, the mean value of “recent school leavers” is 10.16 points whereas the mean value of “non recent school leavers” is 8.76 points. There is a clear difference between these two factor levels. Based on this analysis, we have shown that recent school leavers are more knowledgeable about radioactivity than those who attended school more than 10 years ago.

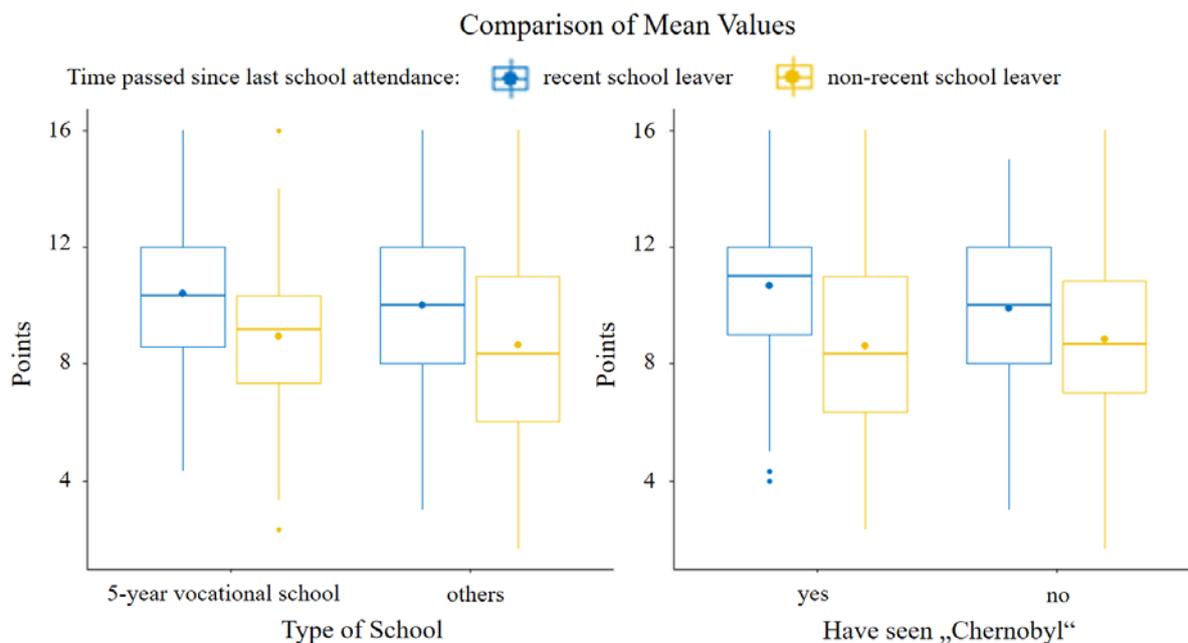


Fig. 1: Boxplots showing that recent school leavers perform better on the survey than non-recent school leavers, regardless of whether they graduated from a 5-year vocational school, and regardless of whether they have seen “Chernobyl”.

4. Discussion

Our main research finding is that recent school leavers (within 10 years) have a greater understanding of radioactivity than non-recent school leavers. We have also reported an important null result, that having attended a 5-year vocational school does not leave adults with a greater likelihood of understanding radioactivity than attending other kinds of school. In addition, we can also use the survey findings to gain more specific insight into the understanding (or lack thereof) of adults about radioactivity.

Item 4 on the questionnaire asks respondents to select all objects that would make a radioactivity detector click (with the correct answer to select all objects, including “a school child”). The majority of respondents did not answer this item correctly, indicating a lack of awareness of radioactivity being ubiquitous. However, the majority of respondents on this same item did select that concrete walls of rooms in which X-rays were performed are radioactive. Although it is correct to select this answer, it is likely that respondents preferentially chose it not because all concrete walls are radioactive, but rather because they assume (incorrectly) that the walls were made radioactive by the X-rays, as found by Millar et al. (1990).

Item 5 of the questionnaire asks respondents to choose the correct response that defines “radioactivity”. The majority of respondents of every factor correctly answered this item. However, many respondents did not use this answer when responding to Item 13, which concerns the irradiation of a kiwi. On this latter item, the majority of the “non-recent school

leavers”, for example, answered that the radiation itself is “radioactive”, whereas the correct answer is that only the source of radiation is radioactive. This failure to distinguish between radioactivity and radiation mirrors the failure of conflating irradiation and contamination discussed above for Item 4. We see indicators of this “undifferentiated view” also in responses to Items 12 and 14. Item 14 is a follow-up question to Item 13, where respondents are asked if the kiwi has become radioactive if the radioactive source is now removed. Only about a third of respondents correctly answered with “no, it did not become radioactive due to the radiation.” Item 12 involves the situation of what to do if you encounter a radioactive object. Approximately one quarter of respondents said that they would “move away from the rock to avoid becoming radioactive myself.”

Item 7 asks for the definition of half-life, and this was answered correctly by most participants. Item 8 asks how much Iodine-131 will remain after one and two half-lives. The vast majority of respondents correctly said that half of the Iodine-131 sample will have not yet transformed after one half-life, and only about 10% of respondents said that the Iodine-131 would be entirely gone after two half-lives (the majority correctly said that it would be reduced to 25% the original amount).

Item 10 asks respondents how long they would wait if their closet would become filled with Iodine-131 gas, which, the questionnaire tells them, has a half-life of 8 days. Approximately one third of respondents answered that they would never open the closet, consistent with Alsop’s (2001) study, which found that

people tend to view radioactivity and associated radiation as unstoppable and eternal.

Item 6 asks respondents to select all from a list that are examples of radiation. Most respondents correctly selected “alpha”, “beta”, and “gamma” radiation and did not select the fictitious “theta” radiation. Items 16 and 17 aimed to see if respondents view radioactive decay as “uncontrollable” and “dangerous”, respectively. The majority of participants, however, correctly selected that radioactive decay “can be controllable and can be uncontrollable” and “can be harmless and can be dangerous” for the human organism.

Item 19 asked respondents for their emotions regarding radioactivity, and we found them to not be as negative as expected. In particular, more participants of the “5-year vocational school” and “recent school leavers” factor levels tended to have neutral emotions (as opposed to negative) than participants from other types of schools and “non-recent school leavers”.

A final item of the survey asked respondents how difficult they had found the items to answer. More than half of the participants said the survey had been difficult. In response to a free-response follow-up question asking to explain why, the most common reasons were coded as “too little knowledge on radioactivity/physics”, “school time too long ago” and “no knowledge on radioactivity”.

The items asking for definitions about radioactivity and half-life (Items 5 and 7, respectively), as already noted, were answered correctly by most respondents. Respondents had a greater struggle when trying to apply these definitions to answer other items (such as Items 10 and 13). This could be due to the fact that in the minds of many students, passing a test or getting good grades is considered more important than learning the concepts and processes of physics in a way which allows them to be understood thoroughly and applied correctly.

5. Literature

- [1] Alsop, S. (2001). Living with and learning about radioactivity: A comparative conceptual study. *International Journal of Science Education*, 23(3), 263–281. <https://doi.org/10.1080/095006901750066510>
- [2] Backhaus, K., Erichson, B., Plinke, W., & Weiber, R. (2018). *Multivariate Analysemethoden: Eine anwendungsorientierte Einführung*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-56655-8>
- [3] Bortz, J., & Schuster, C. (2010). *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler (7. Aufl.)*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. <http://doi.org/10.1007/978-3-642-12770-0>
- [4] Bundesministerium Bildung, Wissenschaft und Forschung. (2022). Die Schularten. Bundesministerium Bildung, Wissenschaft und Forschung. <https://www.bmbwf.gv.at/Themen/schule/schulsystem/sa.html>
- [5] Cohen, B. H. (2008). Three-Way ANOVA. In *Explaining psychological statistics* (pp. 688–746).
- [6] D’Agostino, R. B. (1970). Transformation to Normality of the Null Distribution of g_1 . *Biometrika*, 57(3), 679–681. <https://doi.org/10.2307/2334794>
- [7] Effect Size in Statistics—The Ultimate Guide. (n.d.). Retrieved December 22, 2021, from <https://www.spss-tutorials.com/effect-size/>
- [8] Fahrmeir, L., Heumann, C., Künstler, R., Pigeot, I., & Tutz, G. (2016). *Statistik: Der Weg zur Datenanalyse (8th ed.)*. Springer Spektrum. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-50372-0>
- [9] Gillham, B. (2008). *Developing a Questionnaire. (2.)*. Bloomsbury Publishing. <https://www.bloomsbury.com/uk/developing-a-questionnaire-9781441154866/>
- [10] Hollenberg, S. (2016). *Fragebögen: Fundierte Konstruktion, sachgerechte Anwendung und aussagekräftige Auswertung*. Springer VS. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-12967-5>
- [11] Hull, M. M., Jansky, A., & Hopf, M. (2021a). Radioactivity as “quint essentially eternal”: A comparison of two survey prompts.
- [12] Johnson, A. (2014). *Inquiry into Radioactivity for Radiation Literacy. Inquiry into Radioactivity - IiR*. <https://www.radiationliteracy.org/>
- [13] Keating, J. P., & Leung, M. (2010). Bartlett’s Test (pp. 61–64).
- [14] Leiner, D. (2019). SoSci Survey [Computer software]. SoSci Survey. (One must first make an account to use). <https://www.socisurvey.de/>

Vorstellungen von Schüler_innen zur Tätigkeit von Forschenden in der Physik

Moritz Kriegel*, Verena Spatz*

*Technische Universität Darmstadt – Didaktik der Physik
Hochschulstraße 12, 64289 Darmstadt
moritz.kriegel@physik.tu-darmstadt.de

Kurzfassung

Schüler_innen haben ein stark verkürztes Bild von den Arbeitsweisen und Tätigkeiten von Naturwissenschaftler_innen, was zu naiven, stereotypischen Vorstellungen über dieses Berufsfeld führt (Wentorf et al., 2015). Besonders die theoretische Physik spielt bei den Vorstellungen der Lernenden über Physik eine stark untergeordnete Rolle und wurde in den Modellen der empirischen Forschung bisher eher vernachlässigt (Heine & Pospiech, 2015). Diese unvollständigen Vorstellungen über den physikalischen Forschungsalltag können zu unreflektierten Entscheidungen hinsichtlich der späteren Berufswahl führen. Die volitionalen Laufbahnentscheidungen für oder gegen die Naturwissenschaften hängen dabei zudem auch vom Interesse und den Selbstwirksamkeitserwartungen der Lernenden in diesem Bereich ab (Taskinen, 2010). Daher werden in einem Forschungsprojekt zunächst die Tätigkeiten von Physiker_innen in einem Sonderforschungsbereich der Kern- und Astrophysik mittels Interview- und Fragebogenstudie differenziert erfasst, um auf dieser Grundlage das RIASEC+N Modell für diesen Bereich zu spezifizieren. Mit dieser theoretischen Fundierung soll anschließend eine Projektwoche konzipiert werden, welche die unzureichenden Vorstellungen der Schüler_innen hierzu adressiert und ein ganzheitliches Bild des Spektrums an Tätigkeiten vermittelt. In diesem Beitrag wird ein Überblick über das Design der Gesamtstudie gegeben. Außerdem werden erste ausgewählte Ergebnisse der Interviewstudie mit Kern- und Astrophysiker_innen vorgestellt.

1. Vorstellungen der Schüler_innen zu Tätigkeiten von Naturwissenschaftler_innen

Fragt man Schüler_innen nach einer Person, die in den Naturwissenschaften forscht, beschreiben viele einen alten Mann mit Bart und Brille, der, in einen Kittel gekleidet, allein in einem Labor arbeitet. Höttecke und Hopf (2018) fassen diese Vorstellungen zusammen und beschreiben ihn gar als einen „seltsamen Menschen“ (ebd. S.274). Es zeigt sich, dass Schüler_innen mehrheitlich stereotypische Vorstellungen über Naturwissenschaftler_innen haben. Neben den personenbezogenen Merkmalen wie Aussehen, Kleidung und Intelligenz zeigen sich auch unvollständige Ansichten über deren berufliche Tätigkeiten. Stamer (2019) und Leiß (2019) konnten zeigen, dass Schüler_innen teils stark verkürzte Sichtweisen über die Tätigkeiten von Naturwissenschaftler_innen haben. So überschätzen viele den Stellenwert des Experimentierens und unterschätzen oder übersehen gar beispielsweise Aufgaben der Wissenschaftsverwaltung. Wentorf et al. (2015) argumentieren daher, dass die Erfassung der Vorstellungen über die Tätigkeiten und Arbeitsweisen von Naturwissenschaftler_innen sowie die Interessen und Selbstwirksamkeitserwartungen der Schüler_innen diesbezüglich (siehe hierzu auch Taskinen 2010) unabdingbar für die Berufsorientierung im MINT-Bereich ist. Bei fast allen bisherigen Studien wird dabei stets nach den Naturwissenschaften im Allgemeinen gefragt. Betrachtet man einzelne Teildisziplinen und hier besonders die Physik,

so stellen Heine und Pospiech (2015) fest, dass gerade die theoretisch mathematische Seite der Physik in den Vorstellungen der Schüler_innen stark unterrepräsentiert ist.

2. RIASEC+N Modell

Um die Tätigkeiten von Naturwissenschaftler_innen zu klassifizieren und deren Vielfalt darzustellen, adaptieren Dierks et al. (2014) erstmals das RIASEC-Modell aus der Berufswahlforschung nach Holland (1997). Tätigkeiten werden von Holland in die sechs Dimensionen – realistic, investigative, artistic, social, enterprising und conventional unterteilt. Dabei zeichnet sich die realistic-Dimension durch vornehmlich handwerkliche, die investigative-Dimension durch forschend-kognitive, die artistic-Dimension durch künstlerisch-gestalterische, die social-Dimension durch lehrend-unterstützende, die enterprising-Dimension durch unternehmerische und die conventional-Dimension durch administrative und wiederkehrende Tätigkeiten aus. Indem Holland verschiedene Berufsgruppen zu den Dimensionen zuteilt und Personen, je nach Interessensausprägung in den einzelnen Dimensionen, einen Persönlichkeitstyp zuordnet, kann er vielversprechende Empfehlungen für die individuelle Berufswahl geben. Beispielsweise ordnet Holland den Beruf des Physikers/ der Physikerin in die investigative-Dimension ein. Dierks et al. (2014) nehmen an, dass diese Zuteilung zu kurz greift, da Forschende in den Naturwissenschaften heutzutage

Tätigkeiten aus allen Dimensionen ausführen. Im Rahmen ihrer Studie adaptieren sie daher das RIASEC Modell zur Untersuchung der Interessen von Schüler_innen an den Naturwissenschaften. Dabei finden sie eine weitere Dimension – networking, die besonders den peer-to-peer – Austausch zwischen Naturwissenschaftler_innen im Fokus hat.

Das so adaptierte RIASEC+N Modell wurde seither in verschiedenen Studien zur Untersuchung von Vorstellungen und Interessen von Schüler_innen in verschiedenen inner- und außerschulischen Kontexten verwendet (Wentorf, 2015; Stamer, 2019; Leiß, 2019; Blankenburg, 2015 usw.). Es zeigt sich, dass gerade Schülerinnen besonders an Tätigkeiten der artistic- und social-Dimension interessiert sind, diese Tätigkeiten gleichzeitig fälschlicherweise als wenig relevant für den Forschungsalltag halten (vgl. Stamer, 2019; Dierks et al., 2014). Stamer et al. (2019) untersuchen außerdem die Unterschiede in den Tätigkeiten von Professor_innen und Doktorand_innen. Sie konnten zeigen, dass sich deren Tätigkeitsprofile entlang der RIASEC+N-Dimensionen unterscheiden. Eine mögliche Differenzierung durch die Schüler_innen wurde an dieser Stelle noch nicht erfragt. Insgesamt wurde die siebendimensionale Struktur des Modells fast ausnahmslos bestätigt. Allen Studien mit Ausnahme von Höft (2020), der sich auf Tätigkeiten im Chemieunterricht beschränkt, ist außerdem gemein, dass sie die Naturwissenschaften als Ganzes betrachten. Bezieht man sich auf lediglich auf die Physik, konnte Heine (2018) zeigen, dass gerade die theoretisch mathematische Seite der Physik in den Vorstellungen der Schüler_innen stark unterrepräsentiert ist. Wie Heine und Pospiech (2015) darlegen, werden außerdem die Arbeitsweisen der theoretischen Physik in den bisherigen Studien nur unzureichend abgedeckt. In der vorgestellten Studie soll dieser Umstand in Zusammenarbeit mit einem Sonderforschungsbereich der Kern- und Astrophysik bearbeitet werden.

3. Sonderforschungsbereich 1245

Der Sonderforschungsbereich (SFB) 1245 – „Atomkerne: Von fundamentalen Wechselwirkungen zu Strukturen und Sternen“ ist eine von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) seit 2016 geförderte Forschungskollaboration von über 100 Physiker_innen an der TU Darmstadt sowie der JGU Mainz. Er befindet sich aktuell in der zweiten Förderperiode. Hier untersuchen Forschende aus der experimentellen und theoretischen Physik in 13 Teilprojekten der Kern- und nuklearen Astrophysik die wesentlichen Entstehungsprozesse von schweren Atomkernen und deren zugrundeliegende Wechselwirkungen. In dem geplanten Projekt soll der SFB 1245 dabei die vielfältigen Arbeitsweisen von Physiker_innen in der heutigen universitären Forschung der Kern- und Astrophysik repräsentieren.

4. Forschungsziele

Das übergeordnete Forschungsziel besteht darin, die Vorstellungen von Schüler_innen und deren Interessen an Tätigkeiten von Forschenden aus der Kern- und Astrophysik zu erfassen. Anschließend sollen diese möglicherweise noch unzureichenden Vorstellungen in einer universitären Projektwoche adressiert werden. Besonders die Unterschiede und Gemeinsamkeiten der Experimentalphysik und der theoretischen Physik sollen hier aufgezeigt werden. Um dies sinnvoll erfassen und umsetzen zu können, ist zunächst eine Befragung von Forschenden des SFB 1245 notwendig.

Hieraus ergeben sich für das Gesamtprojekt folgende Forschungsziele und Hypothesen:

- a) Erhebung der Tätigkeiten von Forschenden des Sonderforschungsbereiches (SFB) 1245 der Kern- und Astrophysik und Erstellung von Tätigkeitsprofilen entlang der RIASEC+N Dimensionen.

Die entsprechende Hypothese lautet: Die Tätigkeiten von experimentellen und theoretischen Physiker_innen im SFB 1245 unterscheiden sich deutlich und besonders letztere werden über das bisherige RIASEC+N-Modell nur unzureichend erfasst. Professoren_innen, Post-Docs und Doktorand_innen weisen dabei unterschiedliche Tätigkeitsprofile auf.

- b) Ausschärfung des RIASEC+N Fragebogens und Erhebung der Interessen und Vorstellungen von Schüler_innen an den Tätigkeiten von Forschenden des SFB 1245.

Die entsprechende Hypothese lautet: Schüler_innen haben ein stereotypisches Bild von den Tätigkeiten von Forschenden in der Physik. Sie überbewerten die Tätigkeiten in der realistic-Dimension und unterschätzen im Allgemeinen die Tätigkeiten der theoretischen Physik. Zudem finden Schüler_innen Tätigkeiten interessant, die sie fälschlicherweise für irrelevant für die physikalische Forschung halten.

- c) Untersuchung des kurz- und langfristigen Einflusses einer universitären Projektwoche auf die Vorstellungen und das Interesse der Schüler_innen bzgl. der Tätigkeiten von Forschenden in der Physik.

Die entsprechende Hypothese lautet: Schüler_innen, die die universitäre Projektwoche besucht haben, weisen realistischere Vorstellungen über die Tätigkeiten von Forschenden aus der Physik auf, als jene einer Kontroll- oder Baseline-Gruppe, welche die Projektwoche nicht besuchen haben. Das Interesse an den Tätigkeiten wird durch die Projektwoche befördert.

5. Design der Gesamtstudie

Zur Adressierung des Forschungsziels a) wurden im Wintersemester 21/22 zunächst eine qualitative Interviewstudie sowie eine quantitative Fragebogenerhebung mit Forschenden des SFB 1245 durchgeführt.

Mit Blick auf das Forschungsziel b) werden anhand der gewonnenen Erkenntnisse die bisherigen Fragebögen des RIASEC+N-Modells (vgl. Stamer, 2019; Leiß, 2019) angepasst, um die Vorstellungen der Schüler_innen ab dem Sommersemester 22 zu erfassen.

Um das Forschungsziel c) zu erreichen wird auf dieser Grundlage eine universitäre Projektwoche für Schüler_innen der achten bis zehnten Klasse entwickelt, welche erstmals im Frühjahr 2023 und nach einer Überarbeitung erneut im Sommer 2023 durchgeführt und evaluiert wird. Hierbei wird ein Pre-, Post- und Follow-Up Design verwendet, um die Interventionsgruppe der Projektwoche mit einer Kontroll- und Baseline-Gruppe vergleichen zu können. Die Projektwoche „Kerne und Sterne“, die in enger Zusammenarbeit mit dem SFB 1245 geplant wird, umfasst insgesamt fünf Projekttag. Die Kontrollgruppe soll ein alternatives Programm mit vergleichbaren Inhalten an einem Tag im Physik-Schüler_innenlabor der TU Darmstadt absolvieren. Die Baseline wird parallel mit Schulklassen aus dem DLR_School_Lab – TU Darmstadt erhoben, wo keine vergleichbaren Inhalte vermittelt werden. In allen Gruppen werden jeweils die Vorstellungen und Interessen der Schüler_innen an Tätigkeiten von Forschenden des SFB 1245 anhand der angepassten Fragebögen (s.o) erfasst (sowie bei der Interventionsgruppe die Konzeption und die Umsetzung der Projektwoche evaluiert).

In diesem Beitrag werden erste ausgewählte Ergebnisse der Interviewstudie mit Kern- und Astrophysiker_innen vorgestellt.

6. Interviewstudie

6.1. Datenerhebung und Stichprobe

Für die qualitative Studie haben im Wintersemester 21/22 leitfadengestützte Interviews mit zwölf (drei weibliche und neun männliche TN) Professor_innen und wissenschaftlichen Mitarbeitenden des SFB 1245 (siehe Tab. 1) mit einer Dauer von je 25 bis 35 Minuten stattgefunden. Alle Teilnehmenden haben sich freiwillig auf einen Aufruf hin gemeldet und einer Aufzeichnung der digitalen Interviews zugestimmt.

	Experimentelle Physik	Theoretische Physik
Professor_in	2	3
Post-Doc	1	-
Doktorand_in	3	3

Tab. 1: Anzahl der Teilnehmenden der Interviewstudie

Alle Interviews wurden anhand eines tabellarischen Leitfadens geführt, der neben Fragen zu den Tätigkeiten auch Fragen zu Besonderheiten des SFB 1245, zur Zusammenarbeit von theoretischer und experimenteller Physik und zur geplanten Projektwoche enthielt. Die grundlegenden Leitfragen waren hierbei wie bei

Wentorf (2015, S.213): „Wie sieht ein typischer Arbeitsalltag bei Ihnen aus?“ und „Welchen Tätigkeiten gehen Sie am häufigsten in ihrem Arbeitsalltag nach?“. Sollten die Antworten sehr knapp oder nur einseitig erfolgen, wurde die Möglichkeit offen gelassen Nachfragen zu Tätigkeitsbereichen der RIASEC+N-Dimensionen zu stellen (z.B. conventional-Dimension: „Führen Sie auch administrative Tätigkeiten aus?“).

6.2. Auswertung

Für die Auswertung der qualitativen Studie wurden die Interviews mittels MAXQDA transkribiert und inhaltsanalytisch (in Anlehnung an Mayring, 2010) untersucht. Anschließend wurden die geäußerten Tätigkeiten in das bestehende Kategoriensystem nach Stamer (2019) eingeordnet und wenn nötig neue Tätigkeitsitems im Kategoriensystem ergänzt. Die Tätigkeitsitems wurden für den späteren Verwendungszweck direkt in altersgerechter Sprache für Schüler_innen formuliert. Insgesamt wurde darauf geachtet, dass die Items jeweils genau eine Tätigkeit beschreiben. Die Zuordnung der Äußerungen zu den Tätigkeitsitems wurde an fünf Interviews mittels segmentgenauer Intercoder-Übereinstimmung (mindestens 60% Übereinstimmung bei den Segmenten) in MAXQDA überprüft, was eine sehr gute Passung ($\kappa = 0.79$ nach Brennan & Prediger (1981)) ergab.

6.3. Erste Ergebnisse

Bei der Interviewstudie wurden insgesamt 46 verschiedene Tätigkeitsitems gefunden (siehe Tab. 2). Es deutet sich am Antwortverhalten in den Interviews an, dass Professor_innen und Doktorand_innen der theoretischen und experimentellen Physik teils deutlich verschiedene Tätigkeiten ausführen. Die größten Unterschiede sind hier in der realistic- und der investigative-Dimension zu finden. Betrachtet man die investigative-Dimension, so berichten Forschende aus der theoretischen Physik beispielsweise von intensiven Programmier- oder Simulationstätigkeiten, während sich jene aus der Experimentalphysik eher mit der Anwendung von Software beispielsweise zur Datenauswertung beschäftigen. Die Interviews lassen vermuten, dass die erwähnten Tätigkeiten, die sich der investigative-Dimension zuordnen lassen, heterogen auf die Theorie- und Experimentalseite verteilt sind. Während Simulationstätigkeiten auch in den Fragebögen von Stamer (2019) und Leiß (2019) auftauchen, wird das Programmieren von Computersoftware, das von vielen theoretischen Physiker_innen als wesentliche Tätigkeit erwähnt wurde, dort noch nicht aufgeführt. Wie zu erwarten war, fehlen in der theoretischen Physik außerdem jegliche Aussagen über Tätigkeiten im Zusammenhang mit Experimenten. Die realistic-Dimension scheint also im Tätigkeitsprofil von Forschenden aus der theoretischen Kern- und Astrophysik keine Rolle zu spielen. Außerdem wurden zahlreiche weniger stereotypische Tätigkeiten, wie beispielsweise das Kümmern um Personal-

angelegenheiten oder das Übernehmen von Verwaltungsaufgaben der Universität in den Interviews geäußert. Abseits der expliziten Tätigkeiten scheint es interessant, dass über die Wichtigkeit der Zusammenarbeit von Theorie und Experiment große Uneinigkeit herrscht, was die Ergebnisse von Heine (2018) bestätigt. Die Frage, ob sich die Tätigkeiten innerhalb des SFB 1245 von den sonst üblichen Tätigkeiten unterscheiden, wurde mehrheitlich verneint. Hier waren besonders die Ansichten der Professor_innen und des Post-Doc wertvoll, da diese bereits vor der Förderperiode des SFB 1245 in der universitären Forschung tätig waren. Wie genau sich die Tätigkeitsprofile der einzelnen Gruppen unterscheiden, wird durch die Fragebogenstudie noch zu untersuchen sein.

Tätigkeitsitems:	
In meinem Arbeitsalltag beschäftige ich mich damit...	
Arbeitsschutzmaßnahmen durchzusetzen/ mich darin weiterzubilden.	Ω
Graphen/Diagramme/Bilder für Veröffentlichungen zu erstellen.	Δ,Ω
Experimente an anderen (internationalen) Standorten zu unterstützen.	
genaue Einstellung von experimentellen Aufbauten und Probemessungen vorzunehmen.	Δ
bestehende Computersoftware für eigene Experimente anwenden/erweitern.	
ein Experiment aufzubauen/ umzubauen	(Δ)
Anträge für die Nutzung von Großexperimenten zu stellen.	
Experimente durchzuführen.	Δ,Ω
Daten mit Kolleg_innen zu interpretieren/zu diskutieren.	
Vorlesungen/Seminare vor- und nachzubereiten.	
das Labor aufzuräumen.	
ein Experiment zu planen.	
Materialien/Bauteile zu bestellen.	
Verwaltungsaufgaben der Universität zu übernehmen.	
mich um Personalangelegenheiten zu kümmern (Einstellungsgespräche usw.).	
Öffentlichkeitsarbeit zu machen (Poster/Imagefilm/Presse).	
Studierende beim Experimentieren zu betreuen.	(Δ)
Anträge für Forschungsgelder zu stellen.	(Δ)
Organisatorisches in einer Projekt-/Arbeitsgruppe zu besprechen.	Ω

Berichte über die Verwendung von Forschungsgeldern zu schreiben.	
Anträge für die Nutzung von Hochleistungsrechnern zu stellen.	
Übungsaufgaben zu erstellen/mit Studierenden zu besprechen.	(Δ)
Vorlesungen/Seminare zu halten.	Δ,Ω
Doktorand_innen bei deren Forschung zu betreuen.	Ω
technische Geräte zu bedienen.	
Gutachten zu Forschungsanträgen von anderen Physiker_innen zu schreiben.	
Prüfungen durchzuführen.	Δ
Gleichungen mit Stift und Papier herzuleiten/ zu berechnen.	(Ω)
Poster oder Vorträge zu gestalten.	(Δ)
mir neue Forschungsprojekte auszudenken.	Δ,Ω
wissenschaftliche Literatur zu schreiben.	Δ,Ω
Daten am Computer aufzunehmen und auszuwerten.	(Δ)
wissenschaftliche Literatur zu lesen.	Δ
an Tagungen oder Konferenzen teilzunehmen.	Δ,Ω
Veranstaltungen zu organisieren.	
eine Präsentation vor anderen Physiker_innen zu halten.	Ω
neue Software für theoretische Berechnungen zu programmieren.	
mich mit (inter-) nationalen Kolleg_innen über die Forschung auszutauschen.	Δ,Ω
3D-Zeichnungen am Computer zu erstellen.	
mich mit Kolleg_innen an der Universität über die Forschung auszutauschen.	
mich weiterzubilden/zu lernen.	
Abschlussarbeiten von Studierenden zu betreuen.	Δ,Ω
Gutachten zu wissenschaftlicher Literatur von anderen Physiker_innen zu schreiben.	
Gleichungen am Computer herzuleiten/zu berechnen.	
physikalische Prozesse durch Computersimulationen zu untersuchen.	Δ,Ω
Abschlussarbeiten von Studierenden oder Doktorand_innen zu bewerten/ zu begutachten.	

(Ω): (in ähnlicher Form) enthalten in Leiß (2019)

(Δ): (in ähnlicher Form) enthalten in Stamer (2019)

Tab. 2: Tätigkeitsitems, die sich aus den Interviews ergeben haben

Insgesamt lassen sich nur etwa 50% der Items in den bisherigen Fragebögen zu Tätigkeiten von Naturwissenschaftler_innen wiederfinden (siehe z.B. Stamer, 2019 oder Leiß, 2019; der Fragebogen von Wentorf, 2015 liegt nicht vor.). In Bezug auf Hypothese a) lässt sich aufgrund der Interviews vermuten, dass das Tätigkeitsprofil von Doktorand_innen der theoretischen Physik aufgrund von fehlender Tätigkeiten in der realistic-Dimension und vielfältigen Programmier-tätigkeiten bisher nur ungenügend abgebildet wird.

7. Ausblick

Im Anschluss an die Interviewstudie werden die gefundenen Tätigkeitsitems in einen Fragebogen überführt. Der so entstandene Fragebogen wird zunächst im Frühjahr 2022 bei einer Befragung der Forschenden des SFB 1245 eingesetzt. Hierbei sollen die Teilnehmenden auf einer fünfstufigen Rating Skala von nie (< monatlich) bis häufig (täglich) beurteilen, wie häufig sie den einzelnen Tätigkeiten nachgehen.

Im Sommersemester 2022 ist eine Pilotierung des Fragebogens mit Schüler_innen geplant. Dabei soll angegeben werden, wie häufig Physiker_innen die einzelnen Tätigkeiten nach Meinung der Schüler_innen ausführen. Außerdem soll zu jeder Tätigkeit zusätzlich das jeweilige Interesse der Schüler_innen erhoben werden.

Schließlich wird der so entwickelte Fragebogen in der Hauptstudie beim Vergleich der Interventionsgruppe mit einer Kontroll- und Baseline-Gruppe verwendet.

8. Literatur

- Blankenburg, J. S. (2015) Modellbasierte Entwicklung und Evaluation eines naturwissenschaftlichen Projekttages zur Heranführung an Schülerwettbewerbe. [Dissertation] Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Kiel.
- Brennan, R. L., & Prediger, D. J. (1981). Coefficient Kappa: Some Uses, Misuses, and Alternatives. *Educational and Psychological Measurement*, 41(3), 687-699. <https://doi.org/10.1177/001316448104100307>.
- Dierks, P. O. et al. (2014). Profiling interest of students in science: Learning in school and beyond. *Research in Science & Technological Education*, 32(2), 97-114. <https://doi.org/10.1080/02635143.2014.895712>.
- Heine, A., Pospiech, G. (2015). Wissenschaftstheoretische Vorstellungen über die theoretische Physik. *Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*.
- Heine, A. (2018). Was ist theoretische Physik? Eine wissenschaftstheoretische Betrachtung und Rekonstruktion von Vorstellungen von Studierenden und Dozenten über das Wesen der theoretischen Physik. [Dissertation] Technische Universität Dresden, Dresden.
- Höft, L. (2020). Die Entwicklung des Interesses an naturwissenschaftlichen Tätigkeiten: Quer- und

längsschnittliche Analysen zu Verlauf und Einflussfaktoren der Interessenentwicklung im Chemieunterricht der Sekundarstufen I und II [Dissertation]. Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Kiel.

- Höttecke, D., Hopf, M. (2018). Schülervorstellungen zur Natur der Naturwissenschaften. In H. Schecker, T. Wilhelm, M. Hopf, R. Duit (Hrsg.), *Schülervorstellungen und Physikunterricht*, (S. 272-285), Berlin Heidelberg: Springer https://doi.org/10.1007/978-3-662-57270-2_13.
- Holland, J.L. (1997) *Making vocational choices: a theory of vocational personalities and work environments*. (3rd ed.). Odessa: Psychological Assessment Resources.
- Leiß, F. (2019). Untersuchung von Schülervorstellungen über Tätigkeiten von Naturwissenschaftlern und deren Beeinflussung durch ein Schülerlabor [Dissertation]. RWTH Aachen University, Aachen.
- Mayring, P. (2010) *Qualitative Inhaltsanalyse – Grundlagen und Techniken*. (11. Auflage) Weinheim: Beltz.
- [Sonderforschungsbereich 1245]. (o.D.) SFB 1245. <https://www.sfb1245.tu-darmstadt.de/welcome.html>.
- Stamer, I. (2019). Authentische Vermittlung von Naturwissenschaften im Schülerlabor: Förderung der authentischen Wahrnehmung von Naturwissenschaften durch Einblicke in die Forschung des Sonderforschungsbereichs (SFB) 677 mittels Videos [Dissertation]. Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Kiel.
- Stamer, I. et al. (2019). Scientists, Their Work, and how Others Perceive Them: Self-Perceptions of Scientists and Students' Stereotypes. *RISTAL*, 2, 85-101. <https://doi.org/10.23770/rt1826>.
- Taskinen, P. H. (2010). Naturwissenschaften als zukünftiges Berufsfeld für Schülerinnen und Schüler mit hoher naturwissenschaftlicher und mathematischer Kompetenz: Eine Untersuchung von Bedingungen für Berufserwartungen [Dissertation]. Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Kiel.
- Wentorf, W. et al. (2015). Schülerkonzepte über das Tätigkeitsspektrum von Naturwissenschaftlerinnen und Naturwissenschaftlern: Vorstellungen, korrespondierende Interessen und Selbstwirksamkeitserwartungen. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 21(1), 207-222. <https://doi.org/10.1007/s40573-015-0035-7>.

Zusammenhänge zwischen dem Blickverhalten und der Antwortsicherheit beim Lösen von Aufgaben zum Graphenverständnis

Hanna Blumenthal*, Pascal Klein*

* Georg-August-Universität Göttingen, Didaktik der Physik, Friedrich-Hund-Platz 1, 37077 Göttingen, h.blumenthal@stud.uni-goettingen.de

Kurzfassung

Die Antwortsicherheit beim Bearbeiten physikalischer Aufgaben ist ein wichtiger Indikator zur Ermittlung des Lernstands und zur Überprüfung des Verständnisses von Konzepten. Bislang wird die Antwortsicherheit durch Abfragen nach der Bearbeitung der Aufgabe erfasst. Erste Ergebnisse von Eye-Tracking-Studien zeigen, dass auch das Blickverhalten während der Bearbeitung der Aufgabe zur Vorhersage der Antwortsicherheit verwendet werden kann. In dieser Arbeit wurden die Zusammenhänge zwischen der Antwortsicherheit und dem Blickverhalten anhand von Aufgaben zum Verständnis von Graphen überprüft und die Vorhersagekraft des Blickverhaltens für die Antwortsicherheit untersucht. Dafür wurden die Augenbewegungen von Versuchspersonen ($N = 114$) während der Bearbeitung der Items des Test of Understanding Graphs in Kinematics und die von den Versuchspersonen angegebene Antwortsicherheit in linearen gemischten Modellen analysiert. Es wurde zwischen verschiedenen Itemkategorien unterschieden, welche sich aus der unterschiedlichen Verwendung von Graphen, Texten und Werten in der Frage und den Antwortoptionen ergeben. Die Analyse bestätigt signifikante Zusammenhänge zwischen der Antwortsicherheit und dem Blickverhalten. Allerdings konnte nur ein geringer Zuwachs der Vorhersagekraft für die Antwortsicherheit gefunden werden, wenn neben der Leistung der Versuchspersonen und der Bearbeitungszeit zusätzlich das Blickverhalten als Prädiktor verwendet wurde.

1. Einleitung

Die Antwortsicherheit von Lernenden beim Lösen von Aufgaben ist innerhalb des Lernprozesses ein wichtiger Indikator für den Lernstand der Lernenden. Erstens deuten unsichere Antworten darauf hin, dass ein Konzept noch nicht vollständig verstanden wurde und zweitens kann aus falschen Antworten, die mit hoher Sicherheit getroffen wurden, auf das Vorhandensein von Fehlkonzepten geschlossen werden (Hasan, Bagayoko & Kelley, 1999).

Außerdem gehen Lindsey und Nagel (2015) davon aus, dass für ein vollständiges Verständnis eines Inhalts sich die Lernenden zusätzlich über ihr eigenes Wissen bewusst sein müssen. Bezogen auf die Antwortsicherheit bedeutet dies, dass Lernende metakognitiv fähig sein müssen zu entscheiden, ob sie eine Frage richtig beantworten konnten oder nicht.

Momentan wird die Antwortsicherheit nach Bearbeitung der Aufgabe durch eine zusätzliche Abfrage aufgenommen. Wäre eine Ableitung der Antwortsicherheit aus dem Blickverhalten möglich, müsste keine Unterbrechung zur Ermittlung der Antwortsicherheit während des Lernprozesses stattfinden (Smith, Legg, Matovic & Kinsey, 2018) und eine simultane Erhebung der Antwortsicherheit während der Bearbeitung der Aufgabe und noch bevor die Antwort gegeben wird, wäre denkbar.

Die Einsatzmöglichkeiten dieses Verfahrens wären vielfältig. In adaptiven Lernumgebungen könnte es genutzt werden, um die Lernumgebung noch präziser an die lernende Person anzupassen. Außerdem könnten während des Bearbeitens von Aufgaben Hinweise eingeblendet werden, sobald eine Unsicherheit der lernenden Person erkannt wurde. Schließlich könnte es in Eye-Tracking-Studien zur Erhebung der Antwortsicherheit genutzt werden.

In jüngster Zeit gab es bereits mehrere Untersuchungen, die Antwortsicherheit mithilfe von maschinellem Lernen aus dem Blickverhalten abzuleiten. Bei den Studien wurde die Antwortsicherheit kategorial als sicher und unsicher erhoben. Nach einer Trainingsphase konnte die Antwortsicherheit in den Studien mit einer Genauigkeit von 78 Prozent oder mehr vorhergesagt werden (vgl. Ishimaru, Maruichi, Dengel & Kise 2021; Smith et al., 2018; Yamada, Kise & Augereau, 2017). In der Studie von Ishimaru et al. (2021) zeigte ein Vergleich der Vorhersagekraft der Antwortsicherheit aus dem Blickverhalten und aus der Bearbeitungszeit, dass die Vorhersage aus dem Blickverhalten lediglich um 6 Prozent besser war als die Vorhersage aus der Bearbeitungszeit.

Innerhalb der Physikdidaktik wurde die Verbindung zwischen der Antwortsicherheit und dem Blickverhalten erst wenig untersucht. Klein et al. (2020) analysierten die visuelle Aufmerksamkeit von Lernenden beim Bearbeiten des modifizierten Test of

Understanding Graphs in Kinematics (TUG-K) von Zavala, Tejada, Barniol und Beichner (2017) und setzten die Blickzeiten der Lernenden auf Frage und Antwortoptionen mit ihrer Antwortsicherheit in Verbindung. Die Blickzeit auf die Frage korrelierte signifikant mit der Antwortsicherheit. Für die Blickzeit auf die Optionen konnte dies nicht festgestellt werden. Die Antwortsicherheit wirkte sich auf die Blickzeiten auf die Frage bzw. auf die Optionen mit einer geringen Effektstärke aus.

In einer weiteren Veröffentlichung zu denselben Daten untersuchten Klein, Becker, Küchemann & Kuhn (2021), ob die Items des TUG-K von den Lernenden bearbeitet werden, wie es Zavala et al. (2017) beabsichtigten. Denn der TUG-K besitzt unterschiedliche Itemkategorien und daraus folgend übergeordnete Aufgaben, die sich aus den verschiedenen Kombinationen von Texten, Graphen und Werten in Frage und Antwort ergeben. Diese Aufgaben sind das Auswählen eines passenden Graphen zu einer textlichen Beschreibung, das Auswählen eines passenden Graphen zu einem gegebenen Graphen, das Auswählen einer textlichen Beschreibung zu einem gegebenen Graphen und das Auswählen eines Wertes zu einem gegebenen Graphen. Klein et al. führten eine Cluster-Analyse durch, in der sie die Sprünge des Blicks zwischen der Frage und den Antwortoptionen sowie die Sprünge zwischen den einzelnen Antwortoptionen als Variablen zum Clustering nutzten. Es ergaben sich drei Cluster, die den oben vorgestellten unterschiedlichen Itemkategorien des TUG-K entsprachen, wobei das Auswählen einer textlichen Beschreibung bzw. eines Wertes zu einem gegebenen Graphen ein Cluster bildeten. Als interessantes Nebenergebnis konnten die Forschenden feststellen, dass sich die Anzahl der Sprünge sicherer und unsicherer Lernender stärker unterschieden als die Anzahl der Sprünge von Personen, die richtig oder falsch antworteten.

Die Ergebnisse der bisherigen Studien zur Vorhersage der Antwortsicherheit aus dem Blickverhalten mithilfe von maschinellem Lernen deuten darauf hin, dass Zusammenhänge zwischen dem Blickverhalten und der Antwortsicherheit bestehen. Eine erste Beschreibung einiger Zusammenhänge fand in der Studie von Klein et al. (2020) statt. Ziel dieser Untersuchung war die genauere Herausarbeitung und Benennung der Zusammenhänge und das Bestimmen ihrer Vorhersagekraft für die Antwortsicherheit. Die Forschungsfragen lauten:

- 1: Welche Zusammenhänge bestehen zwischen der Antwortsicherheit und dem Blickverhalten beim Lösen physikalischer Multiple-Choice-Aufgaben?
- 2: Inwieweit kann die Varianz der Antwortsicherheit neben der Leistung durch das Blickverhalten aufgeklärt werden?

Für die erste Forschungsfrage wurden vier Hypothesen aufgestellt, die auf den Ergebnissen der bisherigen Studien basieren:

H1: Sichere Personen antworten schneller als unsichere Personen.

H2: Sichere Personen betrachten sowohl die Frage als auch die Antwortoptionen kürzer als unsichere Personen.

H3: Sichere Personen springen weniger häufig zwischen Frage und Antwortoptionen als unsichere Personen.

H4: Sichere Personen betrachten vorrangig die gewählte Antwortoption. Unsichere Personen springen mehr zwischen den Antwortoptionen.

2. Methode

Die Daten für diese Studie stammen aus der Erhebung von Klein et al. (2020).

2.1. Stichprobe und Datenerhebung

Die Stichprobe bestand aus 114 (58 weiblich, 56 männlich) Lernenden der Oberstufe. Diese bearbeiteten den TUG-K in seiner modifizierten Form von Zavala et al. (2017) an einem Computer. Dabei wurden ihre Augenbewegungen aufgezeichnet. Nach jedem Item sollten die Lernenden ihre Antwortsicherheit angeben (Klein et al., 2020).

2.2. Material

Der TUG-K besteht aus 26 Items zum Verständnis kinematischer Graphen. Wie bereits oben erwähnt, können die Items des TUG-K verschiedenen Itemkategorien zugeordnet werden, die sich aus der unterschiedlichen Verwendung von Texten, Graphen und Werten in der Frage und den Antwortoptionen ergeben. Diese sind in Tabelle 1 dargestellt.

Kat.	Aufbau
1	Text → Graph
2	Text + Graph → Text
3	Text + Graph → Werte
4	Text + Graph → Graphen
5	Text + Graphen → Text (zweistufige Aufgabe)

Tab. 1: Aufbauweisen der verschiedenen Itemkategorien (Kat.) des TUG-K

Der Test wurde in die Tobii Studio Eye-Tracking-Software eingebunden, welche gleichzeitig mit dem stationären Eye-Tracker verbunden war. Zu jedem Item wurden drei Folien erstellt. Als Erstes wurde das Item mit der Frage und den Antwortoptionen präsentiert. Auf der nächsten Folie musste die gewählte Antwortoption angegeben werden. Auf der letzten Folie wurde die Antwortsicherheit abgefragt. Es wurde eine sechsstufige Likert-Skala eingesetzt. Diese Skala reichte von absolut sicher (1) bis völlig unsicher (6) (Klein et al., 2020).

2.3. Definition der Areas of Interest (AOIs)

Um die Blickdaten bezüglich der Forschungsfragen auswerten zu können, wurden für jedes Item mehrere Areas of Interest (AOIs) definiert.

Die erste AOI (T) wurde über die gesamte Folie gelegt. Eine zweite AOI bedeckt die Frage (Q). Diese besteht je nach Itemkategorie aus Text oder Text und Graph. Über die Antwortoptionen wurde eine dritte AOI (O) gelegt. Innerhalb der O-AOI wurden fünf kleinere AOIs (A - E) definiert, die jeweils eine der Antwortoptionen beinhalten. Die Antwortoptionen bestehen je nach Itemkategorie aus Texten, Werten oder Graphen. In Abbildung 1 ist die Definition der AOIs für ein Item beispielhaft dargestellt.

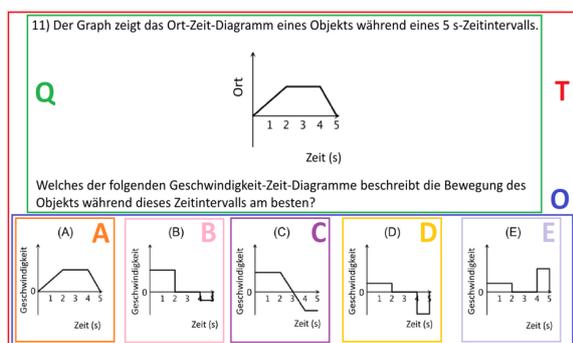


Abb. 1: Definition der Areas of Interest (T,Q,O,A-E) für das Item 11 des TUG-K

2.4. Eye-Tracking Apparatur

Für die Studie wurde ein 22-Zoll-Bildschirm mit einer Auflösung von 1920×1080 Pixeln und einer Bildwiederholfrequenz von 75 Hz verwendet. Zur Aufnahme der Augenbewegungen wurde der stationäre Eye-Tracker Tobii Pro X3-120 genutzt. Dieser besitzt laut Herstellerangaben eine Genauigkeit von weniger als 0.4° des Blickwinkels und die Position der Augen wird mit 120 Hz erfasst. Als eine Sakkade wurde eine Augenbewegung erkannt, bei der die Beschleunigung der Augen 8500°s^{-2} überstieg und die Geschwindigkeit der Augen größer als 30°s^{-2} war. Der durchschnittliche Abstand zwischen dem Monitor und den Augen der Teilnehmenden betrug 62 cm (Klein et al., 2020; 2021).

2.5. Eye-Tracking-Maße

Zum Überprüfen der Hypothesen wurden das in den Hypothesen beschriebene Blickverhalten durch verschiedene Eye-Trackingmaße gemessen und daraus Blickvariablen erstellt.

Erstens wurden die Blickzeiten auf das gesamte Item (TVD_T), auf die Frage (TVD_Q) und auf die Antwortoptionen (TVD_O) bestimmt. Die Blickzeit auf das gesamte Item entspricht der Bearbeitungszeit.

Zweitens wurden als Blickvariable für die Anzahl der Blickwechsel zum einen die Sprünge zwischen der Frage und den Antwortoptionen (Jumps_QO) sowie zwischen den einzelnen Antwortoptionen (Jumps_AE) verwendet. Zum anderen wurden die Besuche auf der Frage und den Antwortoptionen (VC_QO) beziehungsweise auf der Frage und den einzelnen Antwortoptionen (VQ_QAE) sowie die Besuche auf den einzelnen Antwortoptionen (VC_AE) genutzt.

Drittens wurde das von Rodemer, Graulich und Bernholt (2020) entwickelte Fixation/Transition Ratio (FTR) verwendet. Das FTR beschreibt das Verhältnis zwischen den Fixationen und den Sprüngen. Der Vorteil dieses Maßes ist die Möglichkeit, das Sprungverhalten unabhängig von der Bearbeitungszeit mit der Antwortsicherheit in Verbindung zu setzen, denn die Anzahl der Fixationen auf eine AOI korreliert hoch mit der Blickzeit auf die AOI (Tullis & Albert 2013). Das FTR kann demnach als Maß für die durchschnittliche Zeit zwischen zwei Sprüngen angesehen werden. Es wurden das FTR zwischen der Frage und den Antwortoptionen (FTR_QO) sowie das FTR zwischen der Frage und den einzelnen Antwortoptionen (FTR_QAE) bestimmt.

Viertens wurde der Anteil der Blickzeit auf die gewählte Option von der Blickzeit auf alle Antwortoptionen verwendet.

2.6. Daten und Datenauswertung

In die Analyse wurden die Antwortsicherheit der Lernenden, die Blickvariablen sowie die Leistung der Lernenden einbezogen. Die Angaben zur Antwortsicherheit wurden auf eine Skala von 0 (völlig unsicher) bis 1 (völlig sicher) linear transformiert. Als Leistung wurde der Anteil der richtig gelösten Aufgaben bestimmt. Die Blickvariablen und die Leistung der Lernenden wurden z-transformiert.

Um die Zusammenhänge zwischen der Antwortsicherheit und dem Blickverhalten zu untersuchen, wurden lineare gemischte Modelle verwendet. Die Antwortsicherheit S wurde als abhängige Variable gewählt. Die Personen und die Items wurden als zufällige Effekte in Form von zufälligen Schnittpunkten für die einzelnen Personen und Items mit einbezogen. Das Modell mit den zufälligen Parametern lautet

$$S_{ij} = b_0 + P_{0i} + I_{0j} + \epsilon_{ij}. \quad (1)$$

Hierbei beschreibt S_{ij} die Antwortsicherheit der i -ten Person beim j -ten Item. Der Schnittpunkt für das Modell ist b_0 . P_{0i} bzw. I_{0j} geben die Verschiebung des Schnittpunkts für die Person i und das Item j an. Der verbleibende Fehler wird als ϵ_{ij} bezeichnet.

Zum Testen der Hypothesen wurde das Modell jeweils um eine Blickvariable BV als Prädiktor für die Antwortsicherheit erweitert

$$S_{ij} = b_0 + P_{0i} + I_{0j} + b_1 * BV_{ij} + \epsilon_{ij}. \quad (2)$$

Die Hypothesen wurden außerdem für jede Itemkategorie einzeln überprüft. Dazu wurden die Itemkategorien zunächst als Effekt-kodierte Variable dargestellt und anschließend die Gewichte der Blickvariablen für die einzelnen Itemkategorien bestimmt.

Um die zweite Forschungsfrage zu beantworten, wurde zunächst ein allgemeines Modell entwickelt, das die Leistung sowie relevante Blickvariablen als Prädiktoren beinhaltet. Dazu wurde ein Modell mit der Leistung als Prädiktor sukzessive um Blickvari-

ablen ergänzt. Es wurde jeweils eine Blickvariable dem Modell hinzugefügt und mittels der Devianz verglichen, welche Blickvariable das Modell am stärksten und signifikant verbessert. Es wurden Blickvariablen hinzugefügt, bis die Erweiterung um eine Blickvariable zu keiner signifikanten Verbesserung des Modells führte. Um Aussagen über die Varianzaufklärung zu treffen, wurde für die Modelle ein korrigiertes pseudo R^2 nach Zhang 2017 berechnet.

Analog wurde für jede Itemkategorie ein eigenes spezielles Modell aufgestellt.

Schließlich wurden das allgemeine Modell und die speziellen Modelle auf die einzelnen Items angewendet, um die Passung der Modelle auf die Items zu überprüfen. Dazu wurden für jedes Item vier multiple Regressionen durchgeführt. Bei der ersten Regression wurde nur die Leistung als Prädiktor verwendet. Für die zweite Regression wurden die Leistung und die Blickzeit auf das gesamte Item als Prädiktoren gewählt. Für die dritte Regression wurden die Leistung und die Blickvariablen des allgemeinen Modells als Prädiktoren eingesetzt. Bei der vierten Regression wurden die Leistung und die Blickvariablen, die das spezielle Modell der Itemkategorie enthält, als Prädiktoren verwendet. Für diese vier Regressionen wurde jeweils das korrigierte R^2 bestimmt.

Für die Analyse der vorliegenden Daten wurde das lmerTest Package Version 3.1-3 (Kuznetsova, Brockhoff & Christensen, (2017) in R (R Core Team, 2022) verwendet. Dieses nutzt Satterthwaites Approximationsmethode um die Anzahl der Freiheitsgrade und somit die Signifikanz eines Parameters zu bestimmen. Als Signifikanzniveau wurde $p = .05$ gewählt. Das pseudo R^2 wurde mit dem rsq Package Version 2.2 (Zhang, 2021) bestimmt.

3. Ergebnisse

Zwischen der Antwortsicherheit und den einzelnen Blickvariablen bestehen jeweils signifikante Zusammenhänge. Die Gewichte der Blickvariablen für das Modell (2) sind in Tabelle 2 angegeben. Für Blickvariablen, die Blickzeiten oder Anzahlen von Sprüngen bzw. Besuchen beschreiben, ist der Zusammenhang zur Antwortsicherheit negativ. Für den Anteil der Blickzeit auf die gewählte Option und für die FTRs besteht ein positiver Zusammenhang zur Antwortsicherheit.

Die Ergebnisse der Berechnungen für die einzelnen Itemkategorien sind in Tabelle 5 im Anhang dargestellt. Auch hier können größtenteils signifikante Zusammenhänge zwischen den Blickvariablen und der Antwortsicherheit festgestellt werden. Kein signifikanter Zusammenhang zwischen der Blickzeit auf die Frage und der Antwortsicherheit kann für die Itemkategorie 1 ausgemacht werden. Für die zwei FTRs bestehen nur signifikante Zusammenhänge zur Antwortsicherheit für die Itemkategorien 3 und 4.

	BV	b_1	$SE(b_1)$	p
H1	TVD_T	-0.076	0.004	< .001
H2	TVD_Q	-0.058	0.004	< .001
	TVD_O	-0.072	0.003	< .001
H3	Jumps_QO	-0.063	0.004	< .001
	VC_QO	-0.068	0.004	< .001
	FTR_QO	0.013	0.004	< .001
H4	An_TVD	0.033	0.003	< .001
	Jumps_AE	-0.054	0.004	< .001
	VC_AE	-0.072	0.003	< .001
	VC_QAE	-0.075	0.004	< 0.01
	FTR_QAE	0.017	0.004	< .001

Tab. 2: Gewichte b_1 der einzelnen Blickvariablen als Prädiktoren für die Antwortsicherheit

Die ausgewählten Blickvariablen des allgemeinen Modells sind in Tabelle 3 angegeben.

Die Leistung erklärt 14 Prozent der Varianz der Antwortsicherheit. Die Ergänzung des Modells um die Blickzeit auf das gesamte Item führt zu einer Steigerung der Varianzaufklärung von weiteren 8 Prozent. Durch das Hinzufügen der weiteren Blickvariablen steigt die Varianzaufklärung jeweils im Promillebereich. Insgesamt können 23 Prozent der Varianz der Antwortsicherheit aufgeklärt werden.

Prädiktoren	R^2
Leistung	.137
+TVD_T	.214
+VC_AE	.221
+An_TVD	.223
+TVD_O	.225
+FTR_QO	.228

Tab. 3: Schrittweise Entwicklung eines allgemeinen Modells zur Beschreibung der Antwortsicherheit durch die Leistung und das Blickverhalten und deren Varianzaufklärung pro Stufe durch ein korrigiertes pseudo R^2

Die ausgewählten Blickvariablen für die speziellen Modelle der Itemkategorien sind in Tabelle 4 angegeben. Durch die Leistung können zwischen 10 Prozent der Varianz bei den Itemkategorien 2 und 3 und 26 Prozent bei Itemkategorie 4 erklärt werden. Durch die Blickvariablen kann die Varianzaufklärung um weitere 6 bis 13 Prozent gesteigert werden. Insgesamt werden Varianzaufklärungen zwischen 20 Prozent bei Itemkategorie 2 und 31 Prozent bei Itemkategorie 4 erreicht.

Die Varianzaufklärungen der Modelle angewendet auf die einzelnen Items sind in Tabelle 6 im Anhang dargestellt.

Wenn die Leistung als einziger Prädiktor verwendet wurde, schwankt die Aufklärung der Varianz der Antwortsicherheit zwischen 1 Prozent bei Item 4 und 33 Prozent bei Item 21.

Wurden die Regressionen um die Blickzeit auf das gesamte Item als Prädiktor erweitert, können bis zu weitere 22 Prozent der Varianz erklärt werden. Die Varianzaufklärung der Antwortsicherheit liegt für dieses Modell zwischen 11 Prozent und 37 Prozent.

Die Verwendung der Variablen des allgemeinen Modells für die Regression führt zu einer Steigerung der Varianzaufklärung im Vergleich zu der Regression, in der die Leistung und die Blickzeit auf das gesamte Item als Prädiktoren verwendet wurde, um bis zu weitere 8 Prozent. Jedoch gibt es auch sieben Fälle, in denen die Varianzaufklärung abnimmt. Besonders bei den Items der Kategorie 5 scheinen die weiteren Variablen zu keinem Gewinn der Varianzaufklärung zu führen. Für die Itemkategorien 1 und 2 werden maximal weitere 3 Prozent der Varianz erklärt. Für die meisten Items der Kategorie 3 liegt die Steigerung im Bereich um weitere 5 Prozent. Für die Itemkategorie 4 liegen die Differenzen der Varianzaufklärung in einer Spanne von 1 Prozent bis 6 Prozent.

Ein ähnliches Bild zeigt sich, wenn die Varianzaufklärung der speziellen Modelle mit der Varianzaufklärung des Modells mit der Leistung und der Blickzeit auf das gesamte Item verglichen wird. Für die Itemkategorie 5 sind die Werte sehr ähnlich. Für die Itemkategorien 1 und 2 können Steigerungen um bis zu weitere 4 Prozent ausgemacht werden. Bei den Itemkategorien 3 und 4 gibt es wenige Items mit einer Steigerung um 6 Prozent, bei den anderen sind die Werte beider Modelle ähnlich.

4. Diskussion

Zur Beantwortung der ersten Forschungsfrage, die nach Zusammenhängen zwischen der Antwortsicherheit und dem Blickverhalten fragt, wurden die aufgestellten Hypothesen überprüft.

Die erste Hypothese, dass sichere Personen schneller antworten als unsichere Personen, kann bestätigt werden. Es können signifikante Zusammenhänge zwischen der Blickzeit auf das gesamte Item und der Antwortsicherheit festgestellt werden. Dies gilt für alle Itemkategorien. Weil die Blickzeit auf das gesamte Item der Bearbeitungszeit entspricht, kann geschlossen werden, je kürzer das Item bearbeitet wurde, desto sicherer waren sich die Lernenden.

Auch die zweite Hypothese, dass sichere Lernende sowohl die Frage als auch die Antwortoptionen kürzer betrachten als unsichere Personen, kann im Allgemeinen zunächst bestätigt werden. Sowohl die Blickzeit auf die Frage als auch die Blickzeit auf die

Antwortoptionen besitzen einen signifikanten Zusammenhang zur Antwortsicherheit. Mit steigenden Blickzeiten sinkt die Antwortsicherheit. Es besteht jedoch eine Ausnahme. Für Items der Kategorie 1, die nur Text in der Frage besitzen, ist die Blickzeit auf die Frage kein signifikanter Prädiktor für die Antwortsicherheit.

Die Überprüfung der dritten Hypothese, dass sichere Personen weniger häufig zwischen Frage und Antwortoptionen springen als unsichere Personen, erfolgte durch mehrere Blickvariablen und kann eingeschränkt bestätigt werden. Die Analyse unter Einbeziehung der Daten zu allen Items zeigt jeweils einen Zusammenhang der Antwortsicherheit mit den Sprüngen zwischen der Frage und den Antwortoptionen, mit der Anzahl der Besuche auf der Frage und den Antwortoptionen sowie mit dem FTR zwischen Frage und Antwortoptionen. Mit steigender Anzahl von Sprüngen oder Besuchen nimmt die Antwortsicherheit ab. Für das FTR besteht ein positiver Zusammenhang. Je mehr Fixationen durchschnittlich zwischen den Sprüngen lagen, desto höher war die Antwortsicherheit. Wurden die Itemkategorien einzeln betrachtet, so bleiben die Sprünge zwischen der Frage und den Antwortoptionen sowie die Besuche auf diesen signifikante Prädiktoren. Für das FTR zwischen Frage und Antwortoptionen besteht nur für die Itemkategorien 3 und 4 ein signifikanter Zusammenhang zur Antwortsicherheit. Da das FTR als Maß für die durchschnittliche Zeit zwischen zwei Sprüngen genutzt werden kann, kann aus den Ergebnissen geschlossen werden, dass sichere Personen zwar weniger mit ihrem Blick zwischen Frage und Antwortoptionen springen, dies für die drei Itemkategorien 1, 2 und 5 jedoch auf der längeren Bearbeitungszeit unsicherer Personen basiert.

Zur Überprüfung der vierten Hypothese, dass sichere Personen vorrangig die gewählte Antwortoption betrachten und unsichere Personen mehr zwischen den einzelnen Antwortoptionen springen, wurden für mehrere Blickvariablen die Zusammenhänge zur Antwortsicherheit untersucht. Auch diese Hypothese kann eingeschränkt bestätigt werden. Der Anteil der Blickzeit auf die gewählte Option von der Blickzeit auf alle Optionen steht in einem signifikanten Zusammenhang zur Antwortsicherheit. Für alle Itemkategorien nimmt die Antwortsicherheit mit steigender Fokussierung auf die gewählte Option zu. Sowohl die Sprünge zwischen den einzelnen Antwortoptionen als auch die Besuche auf den einzelnen Antwortoptionen zeigen zudem signifikante Zusammenhänge zur Antwortsicherheit. Mit steigender

Kategorie 1		Kategorie 2		Kategorie 3		Kategorie 4		Kategorie 5	
Prädiktoren	R^2								
Leistung	.135	Leistung	.104	Leistung	.101	Leistung	.256	Leistung	.196
+TVD_O	.210	+TVD_O	.183	+VC_QAE	.212	+TVD_T	.298	+TVD_T	.264
		+Jumps_QO	.196	+TVD_T	.229	+An_TVD	.313	+VC_QO	.273

Tab. 4: Schrittweise Entwicklung von speziellen Modellen zur Beschreibung der Antwortsicherheit durch die Leistung und das Blickverhalten für die einzelnen Itemkategorien und deren Varianzaufklärung pro Stufe durch ein korrigiertes pseudo R^2

Anzahl der Sprünge bzw. Besuche nimmt die Antwortsicherheit bei allen Itemkategorien ab. Für FTR zwischen der Frage und den einzelnen Antwortoptionen besteht allerdings nur für die Itemkategorien 3 und 4 ein signifikanter positiver Zusammenhang zur Antwortsicherheit. Dies deutet darauf hin, dass für die anderen Itemkategorien der häufigere Blickwechsel zwischen den Antwortoptionen auf der längeren Bearbeitungszeit basiert.

Die in dieser Untersuchung festgestellten Zusammenhänge zwischen der Antwortsicherheit und der Anzahl der Sprünge zwischen der Frage und den Antwortoptionen bzw. der Sprünge zwischen den einzelnen Antwortoptionen bestätigen die Unterschiede im Sprungverhalten sicherer und unsicherer Personen, die Klein et al. (2021) in ihrer Clusteranalyse beobachteten.

Zusammenfassend kann zu den Zusammenhängen zwischen dem Blickverhalten und der Antwortsicherheit festgehalten werden, dass Zusammenhänge zwischen Blickzeiten bzw. Sprüngen des Blicks und der Antwortsicherheit bestehen. Diese jedoch wahrscheinlich auf der längeren Bearbeitungszeit unsicherer Personen beruhen.

Zur Beantwortung der zweiten Forschungsfrage, die nach der Varianzaufklärung der Antwortsicherheit durch das Blickverhalten fragt, wurde ein allgemeines Modell zur Beschreibung der Antwortsicherheit auf Basis der Leistung und des Blickverhaltens entwickelt. Die Varianzaufklärung des allgemeinen Modelles verbessert sich durch das Hinzufügen der Blickzeit auf das gesamte Item als Prädiktor deutlich. Die Erweiterungen um die weiteren Blickvariablen als Prädiktoren führten jeweils nur zu einer geringen Verbesserung im Promillebereich. Weil die Blickzeit auf das gesamte Item mit der Bearbeitungszeit gleichgesetzt werden kann und diese auf anderen Wegen ermittelt werden kann, lässt sich aus dieser Analyse schließen, dass das Blickverhalten wenig zur Varianzaufklärung der Antwortsicherheit beitragen kann.

Auf Ebene der Itemkategorien konnten Unterschiede der Varianzaufklärung zwischen den Itemkategorien festgestellt werden. Die Leistung scheint besonders für die Itemkategorie 4 ein gewichtiger Prädiktor zu sein. Die größte Verbesserung durch das Hinzufügen weiterer Variablen neben der Leistung konnte für die Itemkategorie 3 ausgemacht werden.

Die Analyse auf Itemebene bestätigt, dass für die Itemkategorie 4 viel Varianz allein durch die Leistung erklärt werden kann. Außerdem kann durch das Hinzufügen der Blickzeit auf das gesamte Item als Prädiktor in den meisten Fällen eine deutliche Steigerung der Varianzaufklärung erreicht werden. Im Vergleich zu diesem Modell mit der Leistung und der Blickzeit auf das gesamte Item, die der Bearbeitungszeit entspricht, als Prädiktoren konnten für das allgemeine Modell und für die speziellen Modelle keine eindeutig besseren Varianzaufklärungen fest-

gestellt werden. Eine Ausnahme bilden die Items der Kategorie 3. Für diese Kategorie scheint das Blickverhalten gemäß dem allgemeinen Modell die Varianzaufklärung verbessern zu können. Generell schwankte der Wert der Varianzaufklärung jedoch stark zwischen den Items – auch innerhalb einer Itemkategorie.

Zusammenfassend deuten die Ergebnisse zur Varianzaufklärung der Antwortsicherheit darauf hin, dass das Blickverhalten, wie es hier durch die Blickvariablen dargestellt wurde, neben der Leistung und der Bearbeitungszeit für die meisten Itemkategorien nur wenig zur Varianzaufklärung beitragen kann.

Bereits die Überprüfung der Zusammenhänge zwischen dem Blickverhalten und der Antwortsicherheit ließ vermuten, dass die festgestellten Zusammenhänge größtenteils auf dem Zusammenhang zwischen der Bearbeitungszeit und der Antwortsicherheit beruhen. Diese Abhängigkeit sollte in weiteren Studien genauer untersucht werden.

Die Ergebnisse dieser Untersuchung decken sich mit den Erkenntnissen von Ishimaru et al. (2021). Diese fanden nur eine geringe Verbesserung der Vorhersagekraft der Antwortsicherheit, wenn neben der Bearbeitungszeit auch das Blickverhalten in die Vorhersage der Antwortsicherheit einbezogen wurde.

In dieser Untersuchung wurde das Blickverhalten nicht sequenziell erfasst. Durch eine Erhebung der Blickpfade könnten die verschiedenen Strategien zum Lösen von Multiple-Choice-Aufgaben in die Vorhersage der Antwortsicherheit einbezogen werden.

Außerdem wurde das Blickverhalten relativ grob für verschiedene AOIs untersucht, um die Ergebnisse einfach auf andere Multiple-Choice-Aufgaben anwenden zu können. Möglicherweise lohnt sich eine genauere Untersuchung des Blickverhaltens auf die Graphen, um die Antwortsicherheit präziser vorherzusagen zu können.

Zudem wurde eine Tendenz festgestellt, dass die Itemkategorie 3, die aus Text und einem Graphen in der Frage und Werten als Antwortoptionen besteht, sich besser als die anderen Itemkategorien eignet, um die Antwortsicherheit aus dem Blickverhalten vorherzusagen. Eine mögliche Erklärung der besseren Eignung dieser Kategorie basiert auf den Erkenntnissen von Mitchum und Kelly (2010). Diese stellen die Constructive Matching Strategy, bei welcher zunächst die Aufgabe gelöst und dann die eigene Lösung in den Optionen gesucht wird, der Response Elimination Strategy, bei welcher die einzelnen Antwortoptionen ausgeschlossen werden bis eine übrig bleibt, als Strategien zum Lösen von Multiple-Choice-Aufgaben gegenüber und fanden eine genauere Einschätzung der Antwortsicherheit, wenn die Constructive Matching Strategy genutzt wurde.

Bei den Aufgaben der Kategorie 3 müssen entweder Werte aus einem Graphen berechnet werden oder

bestimmte Bereiche in einem Graphen identifiziert werden, sodass sich bei dieser Itemkategorie die Constructive Matching Strategy anbietet. Zunächst wird der gesuchte Wert berechnet oder der Bereich im Graphen ausfindig gemacht und anschließend wird die eigene Lösung mit den Antwortoptionen verglichen. Personen, deren Lösung mit einer der Optionen übereinstimmt, werden sich nach Mitchum und Kelly ihrer Antwort sicher sein. Diese Personen werden fokussierter sein und weniger mit ihrem Blick springen. Personen, die ihre Lösung nicht in den Optionen finden, werden häufiger mit ihrem Blick springen, um eine der Optionen auszuwählen und sich nach Mitchum und Kelly unsicher sein. Für diese Vermutung sprechen die gefundenen Zusammenhänge zwischen den FTRs und der Antwortsicherheit für diese Itemkategorie sowie kurze Blickzeiten auf die Antwortoptionen, die in der Veröffentlichung von Klein et al. (2020) angegeben sind. Die Aufgaben der anderen Itemkategorien können nicht oder nur schwer ohne Betrachtung der Optionen gelöst werden. Hier wird vermutlich vorrangig die Response Elimination Strategy Anwendung finden, sodass auch die sicheren Personen alle Optionen betrachten. Deswegen wird sich ihr Blickverhalten für diese Aufgaben weniger von dem Blickverhalten unsicherer Personen unterscheiden. Zur Überprüfung dieser Vermutung könnten die Blickpfade der Teilnehmenden analysiert werden. Bei einer Bestätigung dieser Vermutung könnte für die Erstellung von Items abgeleitet werden, dass sich Items, die sich ohne Betrachtung der Optionen lösen lassen, besser zur Erhebung der Antwortsicherheit aus dem Blickverhalten eignen.

Nach den Ergebnissen dieser Studie lohnt sich der Einsatz von Eye-Tracking momentan nicht, um die Antwortsicherheit vorherzusagen. Es sollte auf die Leistung und die Bearbeitungszeit zurückgegriffen werden. Die genannten weiteren Forschungsansätze könnten jedoch dazu führen, dass Eye-Tracking gewinnbringend zur Erfassung der Antwortsicherheit eingesetzt werden kann.

5. Literatur

Hasan, S., Bagayoko, D. & Kelley, E. L. (1999). Misconceptions and the Certainty of Response Index (CRI). *Phys. Educ.*, 34 (5), 294–299.

Ishimaru, S., Maruichi, T., Dengel, A. & Kise, K. (2021). *Confidence-Aware Learning Assistant*. Zugriff auf <https://arxiv.org/pdf/2102.07312>

Lindsey, B. A. & Nagel, M. L. (2015). Do students know what they know? Exploring the accuracy of students' self-assessments. *Phys. Rev ST Phys. Educ. Res.*, 11 (2), 59.

Klein, P., Becker, S., Küchemann, S. & Kuhn, J. (2021). Test of understanding graphs in kinematics: Item objectives confirmed by clustering

eye movement transitions. *Phys. Rev. Phys. Educ. Res.*, 17 (1).

Klein, P., Lichtenberger, A., Küchemann, S., Becker, S., Kekule, M., Viiri, J., . . . Kuhn, J. (2020). Visual attention while solving the test of understanding graphs in kinematics: an eye-tracking analysis. *Eur. J. Phys.*, 41 (2), 025701.

Kuznetsova, A., Brockhoff, P. B. & Christensen, R. H. B. (2017). lmerTest Package: Tests in Linear Mixed Effects Models. *J. Stat. Softw.*, 82 (13).

Mitchum, A. L. & Kelley, C. M. (2010). Solve the problem first: constructive solution strategies can influence the accuracy of retrospective confidence judgments. *J. Exp. Psychol. Learn. Mem. Cogn.*, 36 (3), 699–710.

R Core Team. (2022). R: A language and environment for statistical computing [Software-Handbuch]. Vienna, Austria. Zugriff auf <https://www.R-project.org/>

Rodemer, M., Graulich, N. & Bernholt, S. (2020). Decoding Case Comparisons in Organic Chemistry: Eye-Tracking Students' Visual Behavior. *J. Chem. Educ.*, 97, 3530–3539.

Smith, J., Legg, P., Matovic, M. & Kinsey, K. (2018). Predicting User Confidence During Visual Decision Making. *ACM Trans. Inf. Syst.*, 8 (2), 1–30.

Tullis, T. & Albert, B. (2013). *Measuring the user experience: Collecting, analyzing, and presenting usability metrics* (2. Aufl.). Waltham, MA: Morgan Kaufmann/Elsevier.

Yamada, K., Kise, K. & Augereau, O. (2017). Estimation of confidence based on eye gaze. In S. Lee, L. Takayama & K. Truong (Hrsg.), *Proceedings of the 2017 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing and Proceedings of the 2017 ACM International Symposium on Wearable Computers* (S. 217–220). New York: ACM.

Zavala, G., Tejada, S., Barniol, P. & Beichner, R. J. (2017). Modifying the test of understanding graphs in kinematics. *Phys. Rev. Phys. Educ. Res.*, 13 (2), 285.

Zhang, D. (2017). A Coefficient of Determination for Generalized Linear Models. *Am. Stat.*, 71 (4), 310–316.

Zhang, D. (2021). R-squared and related measures [Software-Handbuch]. Zugriff auf <https://cran.r-project.org/web/packages/rsq/index.html>

Danksagung

Wir bedanken uns für die Unterstützung und Beratung bei Prof. Dr. Sascha Schroeder (Institut für Psychologie, Universität Göttingen).

Anhang

BV	Kat	B_k	$SD(B_k)$	p	BV	Kat	B_k	$SD(B_k)$	p
TVD_T	1	-0.062	0.009	<.001	An_TVD	1	0.032	0.010	.001
	2	-0.075	0.006	<.001		2	0.018	0.007	.006
	3	-0.096	0.006	<.001		3	0.042	0.006	<.001
	4	-0.059	0.008	<.001		4	0.043	0.009	<.001
	5	-0.069	0.008	<.001		5	0.035	0.009	<.001
TVD_Q	1	-0.014	0.010	.150	Jumps_AE	1	-0.050	0.010	<.001
	2	-0.049	0.007	<.001		2	-0.051	0.006	<.001
	3	-0.085	0.006	<.001		3	-0.072	0.006	<.001
	4	-0.048	0.009	<.001		4	-0.031	0.008	<.001
	5	-0.062	0.008	<.001		5	-0.051	0.008	<.001
TVD_O	1	-0.067	0.009	<.001	VC_AE	1	-0.059	0.009	<.001
	2	-0.076	0.006	<.001		2	-0.076	0.006	<.001
	3	-0.092	0.006	<.001		3	-0.092	0.006	<.001
	4	-0.050	0.008	<.001		4	-0.048	0.008	<.001
	5	-0.054	0.008	<.001		5	-0.062	0.008	<.001
Jumps_QO	1	-0.032	0.013	.001	VC_QAE	1	-0.058	0.009	<.001
	2	-0.066	0.006	<.001		2	-0.077	0.006	<.001
	3	-0.082	0.006	<.001		3	-0.095	0.006	<.001
	4	-0.058	0.009	<.001		4	-0.053	0.008	<.001
	5	-0.046	0.008	<.001		5	-0.066	0.008	<.001
VC_QO	1	-0.041	0.010	<.001	FTR_QAE	1	0.001	0.010	.953
	2	-0.066	0.006	<.001		2	0.011	0.007	.108
	3	-0.085	0.006	<.001		3	0.031	0.006	<.001
	4	-0.057	0.008	<.001		4	0.022	0.009	.015
	5	-0.068	0.008	<.001		5	0.003	0.009	.710
FTR_QO	1	-0.005	0.010	.622					
	2	0.010	0.007	.134					
	3	0.023	0.006	<.001					
	4	0.028	0.009	.002					
	5	-0.001	0.009	.868					

Tab. 5: Gewichte B_k der einzelnen Blickvariablen pro Itemkategorie als Prädiktoren für die Antwortsicherheit

Kat.	Item	L	Korrigiertes R^2		
			L+TVD_T	all.	spez.
1	1	.163	.182	.172	.195
	9	.057	.113	.130	.137
	23	.190	.249	.256	.287
	3	.204	.268	.246	.256
	8	.143	.153	.165	.154
2	10	.070	.129	.159	.178
	17	.115	.281	.288	.313
	19	.054	.183	.210	.208
	24	.117	.267	.258	.248
	25	.134	.166	.187	.201
3	2	.153	.241	.291	.239
	4	.012	.166	.206	.190
	5	.061	.276	.355	.342
	6	.241	.336	.324	.332
	7	.120	.132	.194	.128
	13	.173	.356	.412	.351
	16	.038	.258	.301	.259
	18	.184	.321	.384	.380
Kat.	Item	L	Korrigiertes R^2		
			L+TVD_T	all.	spez.
4	11	.283	.358	.374	.364
	14	.244	.315	.373	.369
	15	.172	.212	.228	.205
	21	.327	.334	.327	.335
5	12	.188	.373	.361	.387
	20	.141	.212	.208	.225
	22	.207	.318	.316	.312
	26	.252	.247	.266	.252

Tab. 6: Varianzaufklärung der Modelle Leistung (L) und Leistung und Bearbeitungszeit (L+TVD_T), des allgemeinen Modells (all.) und der speziellen Modelle (spez.) für die einzelnen Items. Sortiert nach den Itemkategorien (Kat.)

Didaktische Rekonstruktion der Strahlentherapie

Axel-Thilo Prokop, Ronny Nawrodt

5. Physikalisches Institut, Abt. Physik und ihre Didaktik, Pfaffenwaldring 57, 70569 Stuttgart
a.prokop@physik.uni-stuttgart.de

Kurzfassung

Die Entwicklung des Lehr-Lern-Labors „Radioaktivität von A(tom) bis Z(erfall)“ schließt auch die medizinische Anwendung radioaktiver Stoffe bzw. deren ionisierender Strahlung ein. Die Entwicklung erfolgt auf Grundlage einer um die Perspektive der Lehrenden erweiterte Didaktische Rekonstruktion. Diese Erweiterung wird in dem Beitrag theoretisch umrissen. Die biologische Wirkung ionisierende Strahlung wird anhand der zugehörigen physikalischen, chemischen und biologischen Effekte differenziert und so für den Physikunterricht erschlossen.

1. Einleitung

Vorstellungen zur Radioaktivität sind bereits seit mehreren Jahrzehnten Untersuchungsgegenstand der Physikdidaktik. Beginnend mit Arbeiten Rieschs und Westphals [1] halten alle Veröffentlichungen in Bezug auf die Radioaktivität fest, dass Schülerinnen und Schüler (SuS) die Begriffe Radioaktivität, (ionisierende) Strahlung und radioaktive Materie unzureichend voneinander trennen können [1, 3, 4]. Ionisierende Strahlung führe beispielsweise zwingend dazu, dass ein bestrahlter Stoff selbst radioaktiv werde, was mit einer Speicherung der Strahlung assoziiert werden kann [3]. Ähnliche Vorstellungen finden sich auch bei angehenden Lehrerinnen und Lehrern [5].

2. Didaktische Rekonstruktion als Rahmentheorie

Physikdidaktisches Arbeiten erschließt physikalische Inhalte für den Unterricht. Auf den ersten Blick mag es erscheinen, dass bei einer hinreichenden Betrachtung der Fachinhalte und einer ausreichenden Reduzierung derselben, sich physikdidaktisches Arbeiten selbst auf die Betrachtung bzw. Reduktion von Fachinhalten reduziert. Der Inhalt des Physikunterrichts und dessen Erarbeitung wären damit der Physik selbst gleichzusetzen. Dieser primitive und flüchtige Ansatz vernachlässigt dabei eine Vielzahl von Einflussfaktoren und muss abwertend mit einem Nürnberger Trichter gleichgesetzt werden. Die Didaktische Rekonstruktion als zentrales Forschungsparadigma der entwickelnden Physikdidaktik bzw. Naturwissenschaftsdidaktik bringt die sogenannte fachliche Klärung, Erfassen der Lernendenperspektive und die der didaktischen Strukturierung synthetisch zusammen und schafft damit einen evolutiven Rahmen für die Ent- bzw. Weiterentwicklung des Physikunterrichts [2, 6].

Die fachliche Klärung strukturiert die zu unterrichtenden Inhalte anhand ihrer physikalischen bzw. naturwissenschaftlichen Leitdisziplin und erarbeitet fachwissenschaftliche Bezüge durch die Inhaltsanalyse angemessener Materialien wie z.B. Lehrbücher. Das Erfassen der Lernendenperspektive wird

zentralen konstruktivistischen Forderungen gerecht und trägt zu einem lernendenorientierten Unterricht bei. Der didaktischen Strukturierung kommt eine vermittelnde Rolle zu. Diese ermöglicht es Lernenden den jeweiligen erschlossenen Kontext fachdidaktisch geleitet zu verstehen. Die Teilaufgaben der Didaktischen Rekonstruktion sind dabei keine an und für sich stehenden Teilaufgaben, sondern weisen starke Querbezüge zueinander auf und führen zu einem rekursiven Entwicklungsvorgang von naturwissenschaftlichen Entwicklungsaufgaben. Das Wissen von Lehrenden lässt sich Shulman zufolge in drei wesentliche Kategorien unterteilen: Fachwissen, fachdidaktisches Wissen und pädagogisches Wissen [7]. Die Didaktische Rekonstruktion vermittelt dabei zwischen diesen einzelnen Polen und schafft damit die Basis für eine entwicklungsorientierte, empirisch gesicherte Forschung [2].

Die Didaktische Rekonstruktion berücksichtigt die Perspektive der Lehrenden nicht explizit. Im Rahmen der fachlichen Klärung werden jedoch Erwartungen an die Aufbereitung des Inhalts formuliert, die bei einer Unterrichtsgestaltung umzusetzen sind. Ähnliches gilt für die Betrachtung der Lernendenperspektive sowie die didaktische Strukturierung. Innerhalb der physikdidaktischen Forschung wurden vielfältige persistierende Vorstellungen zu physikalischen Inhalten bei Lehramtsstudierenden gefunden. Die Annahme, dass diese mit dem Berufseinstieg verschwinden, scheint unter dem Blick des Konzeptwandels fraglich, wenn nicht sogar abwegig. Es kann also mit einer ähnlichen Begründung wie für die Betrachtung der Lernendenperspektive erwartet werden, dass die Perspektive der Lehrenden eine ebenso große Rolle spielt. Jenseits des bloßen Vergleiches mit der Lernendenperspektive kann sich diese Erweiterung als fruchtbares Paradigma etablieren.

3. Erweiterung der didaktischen Rekonstruktion

Die Beschreibung der Lehrendenperspektive werden bereits durchgeführte Forschungen zu Vorstellungen der Lehrenden unter der Didaktischen Rekonstruktion theoretisch vereinigt. Der Begriff der

Schülervorstellung wird durch den allgemeineren Begriff der Vorstellung ersetzt und bezieht Lehrende und ihre Vorstellungen ein. Ausgehend von der Arbeitshypothese, dass sich diese Vorstellungen bei SuS, Lehrerinnen und Lehrern und Studierenden finden lassen, müssen ihnen in der Planung und Erforschung von Unterricht ein theoretischer Platz zugewiesen werden. Es handelt sich in diesem Sinne nicht um eine neue Theorie, sondern um eine Zusammenfassung, die existierende Forschung zu Vorstellungen von Lehramtsstudierenden pragmatisch unter dem Dach der Didaktischen Rekonstruktion zusammenführt.

Die Dimension der Lehrendenperspektive (s. Abb. 1) trägt damit eine dezidierte Aufgabe für die Entwicklung für den Unterricht, die sich aus der ursprünglichen Didaktischen Rekonstruktion implizit ergeben hat. Diese kann als Selbstbeobachtung bzw. Introspektion betrachtet werden. Durch die Aufnahme der Lehrendenperspektive wird die Didaktische Rekonstruktion entscheidend weiterentwickelt.

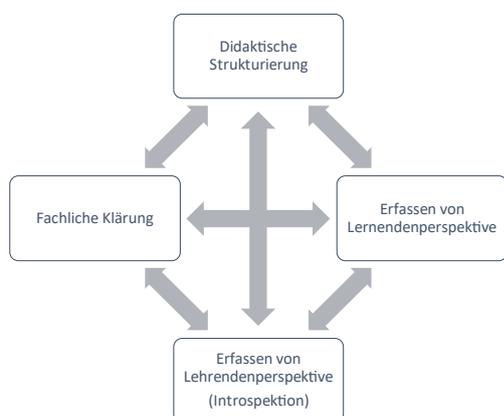


Abb.1: Didaktische Rekonstruktion mit Lehrendenperspektive (in Anlehnung an [2]).

4. Vorstellungen von Lehramtsstudierenden zur biologischen Wirkung ionisierender Strahlung

Die Datenlage zu den Vorstellungen Lehramtsstudierender ist, mit Ausnahme der Studie von Colclough et al. prekär [5]. Unter der Arbeitshypothese, dass Lehramtsstudierende und SuS ähnliche Vorstellungen aufweisen, lassen sich aus der Literatur Annahmen über die zu erwartenden Vorstellungen treffen. Eine Leitfrage der Studie bezieht sich daher darauf, welche Vorstellungen Lehramtsstudierende gegenüber dem Themengebiet Radioaktivität haben:

Eine Beantwortung dieser allgemein gehaltenen Frage ist im Rahmen dieses Beitrages unmöglich, daher soll hier der Fokus auf der Beschreibung eines Teils gelegt werden. Dabei handelt es sich um biologische Wirkung ionisierender Strahlung und der damit verbundenen Vorstellungen von Lehramtsstudierenden. Die Vorstellungen wurden im Rahmen von teilstrukturierten Einzelinterviews erhoben. Die Problemzentriertheit orientiert sich an vier

verschiedenen Prompts, die verschiedene schülernahe Szenarien enthalten.

Für eine explorative Annäherung an die Frage, wie sich Vorstellungen bei Lehramtsstudierenden präsentieren, erweist sich eine teiloffene Methode als vorteilhaft. Die Verwendung eines mündlichen Verfahrens erweist sich über die Pilotierung [8] hinaus als fruchtbares Verfahren, um ein Vorstellungsinventar für Lehramtsstudierende zum Teil erstmalig zusammenzustellen. Die Auswertung der Transkripte erfolgt mit Hilfe der qualitativen Inhaltsanalyse [9].

Potenzielle Teilnehmer erhielten eine E-Mail; einschränkend wurde die Einladung unter der Einschränkung ausgesprochen, dass die Personen eine kernphysikalische Vorlesung erfolgreich abgeschlossen haben. Die Interviews der Studie wurden mit einem onlinegestützten Konferenztool aufgezeichnet. Insgesamt wurden mit 13 Lehramtsstudierenden Interviews durchgeführt.

Die biologische Wirkung ionisierender Strahlung zeichnet sich in allen Fällen durch die Schädigung biologischer Strukturen bzw. einer allgemeinen Schädigung des Lebewesens aus. Die Differenzierung der Kategorien erfolgt zwischen biologischen Strukturen, die alle biologischen Strukturen größer bzw. gleich groß wie eine Zelle einschließen und den biochemischen Strukturen, deren Beschreibung im Kontext der Radioaktivität auf deren chemische Bindungen abzielen. Erweiternd wird diese Schädigung von einem Teil der Lehramtsstudierenden auf biochemische Veränderungen (z.B. der DNA bzw. Erbgutes) zurückgeführt, die notwendigen Prozesse werden mechanistisch über Stöße beschrieben. In seltenen Fällen wird diese Beschreibung durch eine stochastische Beschreibung der Schädigung der DNA erweitert, durch die stochastisch das Auftreten von Krebserkrankungen erklärt wird. Die biologische Wirkung ionisierender Strahlung ist den Studierenden in Bezug auf deren karzinogene Eigenschaften bekannt. Dieser Befund ist in Angesicht der Darstellungsformen in den Medien erwartungskonform. Neben der makroskopischen Deutung beziehen sich einige Studierende auf einen stärker zellulären Zusammenhang bzw. auf die Erbinformation, was in Bezug auf das Modell ionisierender Strahlung erstmalig einen Wirkungsmechanismus auf der Teilchenebene einschließt.

Zu einer umfänglicheren Beschreibung, die die stochastischen Risiken einschließt, sind sie im Allgemeinen nicht in der Lage. Zusammengefasst stellen die Befunde dar, dass Studierende einen vereinfachten Wirkungsmechanismus beschreiben, welcher zur Beschreibung der Gefährdung und der Sicherheitsmaßnahmen aber ausreichend ist. Die Bedeutung der Kernphysik im schulischen Kontext liegt in der fachlichen Klärung der biologischen Vorgänge und deren Strukturierung.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass für Lehramtsstudierende die biologische Wirkung ionisierender Strahlung auf einer Schädigung der

Erbinformation beruht. Dabei wird die Ionisation als zentrale Eigenschaft der ionisierenden Strahlung zur Erklärung der Zerstörung chemischer Bindungen genutzt. Es zeigt sich ein gestaffeltes Bild mit zunehmender Detailtiefe. Ein geringer Anteil beschreibt die Wirkung als stochastisches Phänomen, während dies bei der Beschreibung der Natur der Halbwertszeit deutlicher war. Die Zerstörung von Organen bzw. der Erbinformation kann im Rahmen der Vorstellungen der Studierenden als eine Art gerichteter Prozess verstanden werden und ist damit gegenüber der fachlichen Beschreibung unvollständig (s. Abb.2).

5. Didaktische Rekonstruktion der Strahlentherapie

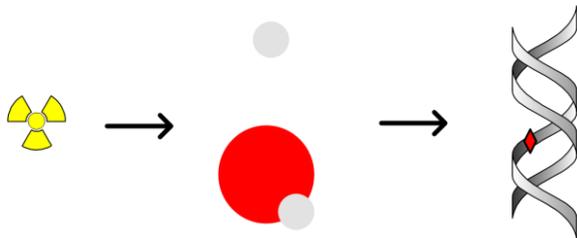


Abb.2: Ionisierende Strahlung trifft auf ein Wassermolekül und trennt dieses in Radikale. Die Radikale können anschließend vielfältige Reaktionen eingehen unter anderem auch mit der DNA.

Im Rahmen des Lehr-Lern-Labors „Radioaktivität von A(tom) bis Z(erfall)“ werden neben stark experimentell orientierten Stationen die biologische Wirkung ionisierender Strahlung und deren Nutzen in der medizinischen Anwendung diskutiert. Dies erfolgt am Beispiel einer neuartigen Therapie zur Behandlung von Prostatakarzinomen [10]. Das wirksame Isotop ist dabei Lu-177, welches in Reaktoren durch die Aktivierung mit Neutronen aus Lu-176 hergestellt wird. Bedingt durch die relativ kurze Halbwertszeit muss die Aufarbeitung des Isotops und dessen Verarbeitung in Form eines Medikaments zeitnah erfolgen. Lu-177 ist ein Betastrahler. Das Lu-177 wird über einen Komplexbildner chemisch gebunden und mit einem PSMA-Liganden verknüpft. Diese PSMA-Liganden binden dann an PSMA exprimierende Zellen, die besonders an Prostatakarzinomen verstärkt auftreten und bewirken somit eine zielgerichtete Therapie des Karzinoms.

In Bezug auf die schulische Beschreibung des Sachverhalts mit Blick auf auftretende Vorstellungen zur Speicherung von Strahlung oder ähnlichem, lassen sich hier die Begriffe Strahlung und Kontamination praxisnah erarbeiten. Die biologische Wirkung auf Krebszellen und gesunde Zellen werden über ähnliche Prozesse beschrieben, wodurch die Wirkung ionisierender Strahlung entmystifiziert wird. Die Speicherung von Strahlung wird innerhalb der Station experimentell durch die SuS untersucht. Dabei wird ein Lebensmittel bestrahlt und anschließend auf eine Freisetzung ionisierender Strahlung untersucht. Die



Abb.3: Modell des Lu-177-PSMA-Liganden. In der Spitze sitzt das Lu-177 gebunden von einem Chelatkomplex, welcher dann an den PSMA-Liganden gebunden wird.

Lehramtsstudierenden lernen dabei die Persistenz bestimmter Vorstellungen, zu denen die Speicherung der Strahlung zählen muss, kennen. Ohne auf die gesamte Struktur des Lehr-Lern-Labors einzugehen, ist dieser Umgang mit den Vorstellungen der Studierenden und der SuS charakteristisch für die physikdidaktische Motivation bzw. Zielsetzung des Lehr-Lern-Labors.

6. Zusammenfassung

Die Didaktische Rekonstruktion eignet sich nicht nur für die Einbettung der Vorstellungen von Lernenden in den Unterricht, sondern auch für die Reflexion der Lehrenden und deren Vorstellungen bzw. der eigenen Vorstellungen. Durch die Aufnahme der Lehrendenperspektive wurde die Didaktische Rekonstruktion in diesem Beitrag geöffnet, wobei diese Öffnung sicherlich diskussionswürdig ist. Am Beispiel der Anwendung einer Lu-177 Therapie wurde gezeigt, dass die praxisnahe Anwendung kernphysikalischer Bezüge durch die Vorstellungen von SuS als auch von den betreuenden Lehramtsstudierenden beeinflusst wird.

7. Literaturverzeichnis

- [1] RIESCH, Werner ; WESTPHAL, Walter: *Modellhafte Schülervorstellungen zur Ausbreitung radioaktiver Strahlung*. In: *Der Physikunterricht* 1975/4 (1975), S. 75–85
- [2] KATTMANN, Ulrich ; DUIT, Reinders ; GROPEGIEßER, Harald ; KOMOREK, Michael: *Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion - Ein Rahmen für naturwissenschaftsdidaktische Forschung und Entwicklung*. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 3 (1997), Nr. 3, S. 3–18.
- [3] EIJKELHOF, Hendrikus Maria Carolus: *Radiation and risk in physics education : Straling en risico's in het natuurkundeonderwijs*. Zugl.: Utrecht, Univ., Diss. : 1990. Utrecht : CD-Beta Press, 1990 (The CD-/beta] series on research in education 2)
- [4] MILLAR, Robin ; KLAASSEN, Kees ; EIJKELHOF, Harrie: *Teaching about radioactivity and ionising radiation : An alternative*

- approach*. In: *Physics Education* 25 (1990), Nr. 6, S. 338–342
- [5] COLCLOUGH, Nicholas Denys ; LOCK, Roger ; SOARES, Allan: *Pre-service Teachers' Subject Knowledge of and Attitudes about Radioactivity and Ionising Radiation*. In: *International Journal of Science Education* 33 (2011), Nr. 3, S. 423–446
- [6] ENGELMANN, Philipp: *Fächerübergreifende Naturwissenschaften in der Lehrerfortbildung: eine Didaktische Rekonstruktion*. Friedrich-Schiller-Universität Jena. 2019
- [7] SHULMAN, Lee S.: *Those Who Understand: Knowledge Growth in Teaching*. In: *Educational Researcher* 15 (1986), Nr. 2, S. 4
- [8] PROKOP, Axel-Thilo ; NAWRODT, Ronny: *Radioaktivität - eine didaktische Rekonstruktion*. In: *PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung* 1 (2019). URL <https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phydid-b/article/view/955>
- [9] MAYRING, Philipp: *Qualitative Inhaltsanalyse : Grundlagen und Techniken*. 12., überarb. Aufl. Weinheim, Basel : Beltz, 2015
- [10] BAUM, R. ; KULKARNI, H. ; VOLKMER, B. ; BOHUSLAVIZKI, K. ; SCHUCHARDT, C. ; KLETTE, I. ; SINGH, A. ; WESTER, H.-J.: *Theragnostik des metastasierten Prostatakarzinoms mittels Lu-177 PSMA-Liganden in Kombination mit Ga-68 PSMA PET/CT*. In: *Der Nuklearmediziner* 38 (2015), Nr. 02, S. 145–152

Danksagung

Die vorliegende Arbeit wurde im Rahmen der gemeinsamen Qualitätsoffensive Lehrerbildung von Bund und Ländern aus Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung im Projekt „Lehrerbildung PLUS“ (Förderkennzeichen 01JA1907A) unterstützt

EduChallenge: Perspektiven auf Naturwissenschaften.

- Entwicklung eines innovativen Unterrichtskonzepts zum Bereich Nature of Science -

Jan Heysel^{1,✉}, Johanna Rätz², Inga Woeste¹, Vera Munz¹, Janina Beigel³, Frank Bertoldi²

¹ Universität Bonn, Physikalisches Institut, Fachdidaktik Physik, Nussallee 12, 53115 Bonn

² Universität Bonn, Argelander Institut für Astronomie, Auf dem Hügel 71, 53121 Bonn

³ Universität Heidelberg, Institut für Bildungswissenschaft, Akademiestraße 3, 69117 Heidelberg

✉ jan.heysel@uni-bonn.de

Kurzfassung

Zum Verständnis und der gemeinschaftlichen Lösung vieler gesellschaftlicher Herausforderungen des 21. Jahrhunderts sind ein Grundverständnis von und Kompetenzen zu naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung sowie allgemein Kompetenzen des 4K-Modells elementar. Es gibt verschiedene didaktische Konzepte hierzu und doch scheint eine entsprechende Etablierung in der Unterrichtspraxis selten. Mit unserem Design-Based Research Projekt möchten wir dazu beitragen diese Lücke zwischen didaktischer Forschung und Unterrichtspraxis zu schließen.

Hierzu entwickeln wir sowohl einen inhaltlichen als auch einen methodischen Ansatz an der Schnittstelle zwischen Forschung und Praxis und führen diese anhand eines konkreten Beispiel-Lernarrangements zusammen. Die allgemeinen Konzepte und das konkrete Beispiel werden durch aufeinander aufbauenden Entwicklungs- und Erprobungszyklen weiterentwickelt.

Der inhaltliche Ansatz der „Perspektiven auf Naturwissenschaften“ bündelt fachlich und didaktisch aufgearbeitete Konzepte naturwissenschaftlicher Forschung als Basis für einen expliziten Unterricht im Bereich „Nature of Science“ und eine Kompetenzförderung im Bereich Erkenntnisgewinnung.

Die „EduChallenge“ als methodischer Ansatz ist ein auf der Lerntheorie des Deeper Learning aufbauendes vielseitig einsetzbares Lernarrangement, das insbesondere eine Kompetenzförderung der 4K zum Ziel hat.

Das Beispiel-Lernarrangement, das beide Ansätze kombiniert, wurde in einem ersten Zyklus Ende 2021 an zwei Schulen erprobt. Es werden hier die Ergebnisse der formativen Evaluation zusammengefasst. Diese zeigen die Durchführbarkeit der Ansätze sowie Entwicklungsmöglichkeiten.

1. Motivation und Hintergrund

1.1. Gesellschaftliche Relevanz

Schlüsselprobleme des 21. Jahrhunderts wie der Klimawandel, nachhaltige Energieversorgung oder die Eindämmung von Pandemien zeichnen sich durch eine komplexe Verknüpfung von politischen, ethisch-moralischen, wirtschaftlichen und naturwissenschaftlichen Aspekten aus. Zur mündigen Partizipation an gesellschaftlichen Debatten zu solchen „Socio-Scientific Issues“ ist daher auch ein Grundverständnis naturwissenschaftlicher Forschung und Erkenntnisgewinnung notwendig.

1.2. Curriculare Verankerung

Die Förderung eines solchen Grundverständnisses naturwissenschaftlicher Forschung ist als Grundlage des Kompetenzbereichs Erkenntnisgewinnung in Deutschland Teil der KMK-Bildungsstandards der naturwissenschaftlichen Fächer (z.B. für Physik in Kultusministerkonferenz, 2020) und wurde entsprechend in den Kernlehrplänen der Bundesländer verankert (z.B. für NRW im KLP des Schulministeriums, 2014). Weltweit werden entsprechende Inhalte der s.g. „Nature of Science“ (NOS) als wichtige Aspekte naturwissenschaftlicher Schulbildung betont (Lederman & Lederman, 2019, S. 2).

1.3. Schülervorstellungen

Dennoch bleiben Schülervorstellungen zu naturwissenschaftlichem Forschen und Wissen oft durch undifferenzierte und eher naiv-empiristische Vorstellungen geprägt (Höttecke & Hopf, 2018, S. 278). Schüler:innen stellen sich oft „unter naturwissenschaftlichem Wissen etwas Gesichertes, Feststehendes und zugleich in fachspezifischen Symbolsystemen Aufbewahrtes“ vor (ebd.). Solches Wissen bilde demnach „die Natur in gewisser Weise nach. Gesetze ‚stecken‘ also schon in der Natur, bevor sie jemand ‚entdeckt‘ oder ‚findet‘“ (ebd.). Solche Vorstellungen widersprechen einer differenzierten Einsicht in naturwissenschaftliche Erkenntnisprozesse und erschweren damit eine mündige Teilnahme an entsprechenden gesellschaftlichen Debatten.

Lederman & Lederman (2019, S. 2) sehen die Ursachen solcher undifferenzierten Vorstellungen zu NOS darin, dass explizite Vorstellungen zu NOS selten unterrichtet würden. Dies liege primär daran, dass Lehrkräfte selber oft keine fundierten Vorstellungen zu NOS besäßen und damit alleine gelassen würden, wie Unterricht zu NOS gestaltet sein könnte. Dies ist bemerkenswert, da die fachdidaktische Literatur nebst Betonung der gesellschaftlichen Relevanz auch konzeptionelle Ansätze

(Billion-Kramer, 2021; Heering & Kremer, 2018) und konkrete Unterrichtskonzeptionen (Höttecke & Schecker, 2021) im Bereich NOS bietet. Letztere scheinen die Unterrichtspraxis zu selten zu erreichen.

1.4. Zielsetzung und Vorgehen im Projekt

Ziel unseres Design-Based Research Projekts (DBR, vgl. Barab, 2005; Euler & Sloane, 2014) ist es daher praxistaugliche Gestaltungsprinzipien für Lernarrangements zu entwickeln, durch die die Lernenden den Prozess naturwissenschaftlicher Forschung aus verschiedenen Perspektiven verstehen, sowie naturwissenschaftliche Erkenntnisse hinsichtlich ihrer Sicherheit und Aussagekraft wie auch ihrer Grenzen und Entwicklungsfähigkeit bewerten und für fundierte Entscheidungsprozesse nutzen können. Mit dem Konzepts der „EduChallenge“ verfolgen wir darüber hinaus das Ziel ein auf diverse Fächer und Kontexte übertragbares Lernarrangement zu entwickeln, das zusammen mit den inhaltlichen Lernzielen des jeweiligen Fachs die übergreifenden Kompetenzen des 4K-Modells, Kommunikation, Kooperation, Kreativität und kritisches Denken (vgl. Sliwka & Klopsch, 2022, S. 73), fördert.

Die entwickelten Gestaltungsprinzipien und zugehörige Unterrichtsbeispiele sollen wissenschaftlich fundiert und in der Schulpraxis erprobt und evaluiert sein, zu den Vorgaben der Kernlehrpläne passen und im Regelunterricht nutzbar sein. Die zugehörigen Materialien sollen frei verfügbar und leicht zugänglich sein und mit Begleitmaterialien für Lehrkräfte sowie einem Vorschlag für einen Bewertungsleitfaden versehen sein.

Zu diesem Ziel entwickeln wir das inhaltliche Konzept der „Perspektiven auf Naturwissenschaften“ (Heysel & Bertoldi, 2021) (Abschnitt 2) sowie das inhaltsunabhängige methodische Konzept der „EduChallenge“ (Abschnitt 3.2), welches auf der Lerntheorie des Deeper Learning (Sliwka, 2018; Sliwka & Klopsch, 2022) aufbaut (Abschnitt 3.1). Beide Konzepte kombinieren wir in einem Beispiel-Lernarrangement (Abschnitt 3.3).

Dieses Lernarrangement wurde im ersten Erprobungszyklus 2021 summativ und formativ evaluiert, wobei der Fokus auf der formativen Evaluation lag. Deshalb wird in diesem Artikel (Abschnitt 4) der Fokus auf die formative Evaluation gelegt und nur deren Methodik und Ergebnisse dargestellt. Aufbauend auf den formativen Ergebnissen wird ein Ausblick auf den zweiten Erprobungszyklus gegeben und ein Fazit gezogen (Abschnitt 5).

2. Perspektiven auf Naturwissenschaften

Auf verschiedenen in der Literatur belegte Gestaltungsmerkmalen zu einem expliziten Unterricht zu NOS bauen wir auf: ein Unterricht zu NOS sollte eine explizite, reflexive Thematisierung von NOS beinhalten (Lederman & Lederman, 2019). Er sollte dabei

jedoch nicht nur allgemeine Prinzipien auflisten, sondern eine aktive Auseinandersetzung mit wissenschaftlichen Methoden und Prinzipien im eigenen Handeln ermöglichen (Duschl & Grandy, 2013). Er sollte grundlegende Konzepte zu Naturwissenschaften einführen, die „Familienähnlichkeitsmerkmale“ verschiedener wissenschaftlicher Disziplinen bilden (Dagher & Erduran, 2016; Erduran & Dagher, 2014a; Irzik & Nola, 2011). Er sollte Wissenschaft und deren Funktion im Kontext von Gesellschaft reflektieren (Zemplén, 2009) sowie Informationskanäle, insb. auch Soziale Medien, über die Informationen aus Wissenschaften die Menschen einer Gesellschaft erreichen (Höttecke & Allchin, 2020).

Allerdings weisen diese Ansätze auch Probleme auf, bzw. lassen weiterhin eine Lücke zu einer Umsetzung in der Schulpraxis frei: bei dem consensus view-Ansatz der Lederman-Gruppe besteht die Gefahr einer Übereinfachung (Matthews, 2012) sowie eines Auswendiglernens von Merksätzen, die kein tiefes Verständnis beinhalten (Duschl & Grandy, 2013). Bei den Ansätzen der „Version 2“ von Duschl & Grandy (2013) fehlt eine fachdidaktische Aufbereitung der Konzepte, mit denen sich die Lernenden auseinandersetzen sollen. Erduran & Dagher (2014b) beschreiben solche Konzepte, jedoch entfernt von der Schulpraxis und ohne konkrete Vorschläge zur Umsetzung im Unterricht. Insgesamt scheint eine Kombination von allgemeinen fachdidaktischen Ansätzen mit unterrichtspraktischen Umsetzungsmöglichkeiten im Bereich NOS bisher zu selten.

Mit dem Ansatz der „Perspektiven auf Naturwissenschaften“ (PAN) möchten wir dazu beitragen, diese Lücke zu schließen.

Hierzu wählen wir zunächst Konzepte aus,

- a) die exemplarisch, bzw. charakteristisch für naturwissenschaftliches Forschen und daraus resultierende Ergebnisse sind;
- b) die sowohl als allgemeines Konzept verstehbar als auch - in einer übersetzten Form - in praktischen eigenem Tun umsetzbar sind;
- c) die zu der als Ziel angestrebten Kompetenzförderung nötig und hilfreich sind und damit für Gegenwart und Zukunftsgestaltung der Jugendlichen relevant sind¹.

Die ausgewählten Konzepte arbeiten wir fachlich und fachdidaktisch auf, sodass eine Informationsbasis für Lernende entsteht. Sie dienen als Grundlage für einen darauf aufbauenden Kompetenzerwerb zu naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung. Hierzu kombinieren wir die Konzepte mit konkreten und anwendbaren Gestaltungsprinzipien für Unterricht, die wir an Beispiel-Lernarrangements erproben.

Die „Perspektiven“, unter denen die auszuwählenden Konzepte strukturiert werden, sind die logisch-

¹ Zu diesen Kriterien vergleiche die Kriterien von Lederman & Lederman (2019, S. 2) und Klafkis (2007, S. 270ff) didaktische Analyse.

methodologische, die historische, die soziologische und die ethisch-philosophische Perspektive (Heysel & Bertoldi, 2021). Die Wahl dieser Perspektiven erfolgte so, dass unter einer möglichst kleinen Zahl an Perspektiven ein möglichst umfassender Blick auf multiple Aspekte von Naturwissenschaft möglich wird. Diese Perspektiven greifen dabei Konzepte auf, die basierend auf einer Analyse fachdidaktischen Literatur die Kriterien a bis c erfüllen.

Im ersten Zyklus des hier vorgestellten Projekts wurden folgende Konzepte berücksichtigt: ‚Wissenschaft als Funktionssystem einer Gesellschaft‘, das methodische Konzept der ‚hypothetisch-deduktiven Nachprüfung‘ von Popper (1935), das ‚Zwei-Phasen-Modell‘ wissenschaftlicher Entwicklung von Kuhn (1970), ‚Modelle in Naturwissenschaften‘, ‚naturwissenschaftliche Simulationen‘, ‚Peer Review als Methode wissenschaftlicher Qualitätssicherung‘. Der Ein- oder Ausschluss von Konzepten ist Teil der Entwicklung sodass diese Aufzählung nicht abschließend zu verstehen ist.

3. Konzept der EduChallenge allgemein

Zur methodischen Gestaltung eines Lernarrangements nutzen wir den inhaltsunabhängigen Ansatz der „EduChallenge“, den wir entwickeln und erproben. Hier stellen wir zunächst Deeper Learning (Sliwka, 2018; Sliwka & Klopsch, 2022), die dem „EduChallenge“-Konzept zugrunde liegende Lerntheorie, sowie die Idee einer „EduChallenge“ im Allgemeinen vor und gehen dann auf das vorliegende Beispiel der „EduChallenge: Perspektiven auf Naturwissenschaften“ ein.

3.1. Deeper Learning als pädagogische Basis einer EduChallenge

Deeper Learning ist eine „Pädagogik des digitalen Zeitalters“ (Sliwka & Klopsch, 2022) und zielt darauf, Lernende auf die Lebenswelt des 21. Jahrhunderts vorzubereiten (Fullan, Quinn, & McEachean, 2017; Mehta & Fine, 2019). Im Vordergrund steht dabei ein erfahrungsorientiertes, ganzheitliches Lernen mit Tiefgang, in dem Wissen – als Rohstoff der digitalisierten Wissensgesellschaft – zu Können transformiert wird (Sliwka & Klopsch, 2022). Hierzu verbindet das für den hiesigen Kulturraum angepasste Modell von Deeper Learning ein transmissives und ein konstruktivistisches Lernverständnis und bringt diese zu einer „produktiven Synthese“ (Sliwka & Klopsch, 2022, S. 36). Deeper Learning wird im Unterricht durch drei Phasen strukturiert, „die Wissen mit Handeln verknüpfen und schließlich zu authentischen Leistungen führen“ (Beigel, Klopsch, & Sliwka, 2022, S. 14).

Den Einstieg in eine Deeper Learning-Sequenz bildet die Phase der Instruktion und Aneignung (Beigel, Runge, & Sliwka, 2021; Sliwka, 2018; Sliwka & Klopsch, 2022). Diese erste Phase umfasst „lehrerorganisierte und lehrergesteuerte Instruktion

zur Aneignung von fachlichen (Schlüssel-) Konzepten und zentralen Wissensbeständen“ (Beigel et al., 2022). Bei den Lernenden soll zugleich Interesse geweckt und ein solides Wissensfundament errichtet werden. Darauf baut mit der Phase der „ko-konstruktiv und ko-kreativ vertiefenden Auseinandersetzung“ (Sliwka & Klopsch, 2022) das Herzstück der Deeper Learning-Sequenz auf. Dabei arbeiten die Schüler:innen kreativ und problemlösend mit dem vorab erworbenen Wissen an oftmals selbst gewählten Vorhaben und kreieren dabei authentische Lernleistungen. Auf Basis des in der ersten Phase erworbenen Wissens werden in dieser Phase Kompetenzen der 21st Century Skills aufgebaut. Die vertiefende Arbeit erfolgt meist in kleinen Teams, die dazu angeregt werden, eigene Entscheidungen zu treffen. Lernpfade können dabei vielfältig gestaltet und je nach Entwicklungsstand selbst organisiert werden. Abschließend steht eine Phase, in der eine authentischen Leistung erbracht und gezeigt wird (Beigel et al., 2022; Sliwka & Klopsch, 2022). Durch diese Phasen werden die Lernenden bei der Aneignung von tiefgreifendem Fachwissen (Mastery) und dem kreativen handlungsorientierten Umgang damit (Creativity) in ihrer Identitätsentwicklung (Identity) unterstützt (Beigel et al., 2022; Mehta & Fine, 2019; Sliwka & Klopsch, 2022). Dabei sollen die Lernenden einerseits strukturiert ihr Lernziel verfolgen und sich andererseits frei kreativ entfalten können. Diese beiden in einem Spannungsverhältnis stehenden Ziele werden beim Co-Design einer Sequenz ausbalanciert. Im Zentrum steht dabei die Frage, wieviel Freiraum und Struktur die Schüler:innen entsprechend ihrer Lernvoraussetzungen für die Deeper Learning-Sequenz benötigen, sodass sie ihren eigenen Lernweg gestalten können (Crosslin, 2021). Die Lernenden müssen sich also einen eigenen Lernpfad aus den Angeboten der von den Lehrkräften bereitgestellten Lernumgebung schaffen. Es bedarf folglich eines gerüstartig strukturierenden Lerndesigns, um die ko-konstruktive und ko-kreative Phase zu modellieren. Dieses Gerüst soll den Lernenden Orientierung bieten, ohne sie in Kreativität, Antrieb oder Interessen zu limitieren und dazu beitragen, dass sie bedeutungsvolles Lernen erleben können. Das kann durch die Integration von methodisch-didaktischen Gestaltungsprinzipien aus verschiedenen Ansätzen, wie etwa Problembasiertes, Designbasiertes oder Forschend-erkundendes Lernen gelingen. In diese Gestaltungsvielfalt lässt sich die Idee der EduChallenge einordnen.

3.2. Aufbau einer EduChallenge

Mit dem Konzept der „EduChallenge“ möchten wir eine Blaupause für ein Lernarrangement schaffen, das für multiple Unterrichtssituationen und Kontexte in vielen Fächern übertragbar ist. Gemeinsam ist diesen Unterrichtssituationen, dass darin motivierend kreative Problemlöseprozesse angeregt und die Kompetenzen des 4K-Modells, also Kommunikation, Kooperation, Kreativität und kritisches Denken (vgl.

Sliwka & Klopsch, 2022, S. 73), gefördert werden sollen. Hierzu greifen wir die Idee einer „Challenge“ auf, die Jugendlichen aus ihrer Lebenswirklichkeit und Sozialen Medien oft bekannt ist, und übertragen diese als „EduChallenge“ in den Bildungskontext². Neben dem motivierenden Charakter einer Challenge, bieten sich Herausforderungen (engl. „challenge“) als roter Faden eines Lernarrangements zur Kompetenzförderung geradezu a priori an: unter Verwendung eines „funktional-pragmatischen Kompetenzbegriffs“ werden Kompetenzen als „grundsätzliche Fähigkeit zur Bewältigung von Herausforderungen“ aufgefasst (Jung, 2010, S. 13f). Die Beziehung zwischen Kompetenz und Herausforderung ist hier eine doppelte: einerseits werden Kompetenzen als Performanz in der Bewältigung von Herausforderungen sichtbar, andererseits werden sie gerade in der Bewältigung von Herausforderungen gebildet (ebd., S. 21). Eine Herausforderung / Challenge kann daher als genuine Lernsituation zur Kompetenzförderung betrachtet werden. Hierbei ist allerdings zu beachten, dass „[h]erausfordernde Situationen [...] nur dann kompetenzentwicklungsförderlich [sind], wenn aus ihnen der Wille nach einer positiven Bewältigung im Sinne einer angestrebten Überwindung der ursächlichen Herausforderung erwächst“ (ebd., S.14). Es gilt also eine „EduChallenge“ so zu gestalten, dass die Lernenden die Herausforderung als authentisch und sinnstiftend erleben, sodass eine innere Motivation entsteht die Challenge bewältigen zu wollen.

Dieser Anspruch besteht insbesondere an die erste der vier Phasen einer „EduChallenge“ (vgl. Abb. 1), die Stellung der Challenge. Hierzu eignet sich das Auswählen eines möglichst authentischen Lernanlass. Die „Challenge“ sollte so gestellt sein, dass sie durch ein präsentierbares authentisches Produkt gelöst werden kann. Ist das Ziel klar und motivierend, kann diese Motivation auch für den Lernprozess genutzt werden.

Die folgenden drei Phasen der „EduChallenge“ folgen analog zu den Phasen des Deeper Learning. Die Deeper Learning-Phase der Instruktion und Aneignung stellt in der „EduChallenge“ eine Basis zur Bewältigung der Herausforderung dar. Demgemäß sollten die im Rahmen der EduChallenge eingeführten zentralen Konzepte aus der Challenge heraus zu motivieren und sowohl notwendig zur Lösung der Challenge als auch hinreichend hierzu sein (sofern eine darüberhinausgehende eigenständige Erarbeitung weiterer Inhalte nicht ebenfalls Teil der EduChallenge ist). Diese Konzepte können von der Lehrkraft eingeführt werden oder (wie in unserem Beispiel) durch eine digitale „Informationsbasis“ (hybride Lernumgebung), die zentrale, zur Bewältigung der Challenge nötige Konzepte und Inhalte durch Medien zur Verfügung stellt. Die Inhalte

sind hierbei idealerweise auf verschiedene Leistungsniveaus differenziert und durch multiple Repräsentationsformen dargeboten, um den Lernenden individuell optimale Lernwege zu ermöglichen.

Die Deeper Learning-Phase der Ko-Konstruktion ist in der „EduChallenge“ der zentrale Schritt zur Bewältigung der Challenge. Die Lernenden arbeiten hier als Kleingruppe kollaborativ an einer kreativen Problemlösung, mit der sie die Challenge lösen. In diesem Prozess erstellen sie ein Produkt, das die Challenge meistert. Bereits beim Betrachten eines ersten Prototyps des Lernprodukts kann ein formatives Feedback der Lehrkraft oder Peer-Feedback erfolgen, welches die Lernenden in der weiteren Ausarbeitung unterstützt und Fehler korrigiert. Worin das Lernprodukt besteht, hängt ganz von der gestellten Challenge ab. Das Lernprodukt kann verschiedenste kreative Formen annehmen. Es kann ein „handfestes“ Produkt sein wie etwa ein im 3D-Drucker hergestellter Prototyp, aber auch die grafische Darstellung einer Strategie oder ein Text wie z.B. ein Bericht sind denkbar. Folgende Punkte sind solchen möglichen Lernprodukten jedoch gemeinsam: (i) Sie lösen die gestellte EduChallenge. (ii) Die Erarbeitung ist eine lösbare, aber nicht zu einfache Herausforderung. (iii) Das Produkt ist in dem jeweiligen Kontext authentisch.

Dieses authentische Lernprodukt wird abschließend in der Lerngruppe, der Schule oder einer weiteren Öffentlichkeit präsentiert. Dies entspricht der Deeper Learning-Phase der authentischen Leistung. Eine gelungene Problemlösung sollte in einem möglichst authentischen Rahmen Wertschätzung erfahren und es sollte ein lernförderliches Feedback erfolgen. Idealerweise spannt sich in der Präsentation und dem Feedback ein Bogen zurück zur Stellung der Challenge.

3.3. Die „EduChallenge: Perspektiven auf Naturwissenschaften“ als Beispiel zur „EduChallenge“ und den „Perspektiven“

Um die beiden allgemeinen Konzepte der „Perspektiven auf Naturwissenschaften“ (inhaltlich) und der „EduChallenge“ (methodisch) zu erproben und weiterzuentwickeln, haben wir als Beispiel dazu ein Lernarrangement entwickelt, das methodisch eine „EduChallenge“ ist und inhaltlich auf eine Förderung des Konzeptverständnisses zu Konzepten im Rahmen der „Perspektiven auf Naturwissenschaften“ abzielt. Dieses Lernarrangement trägt im ersten Entwicklungszyklus den Titel „EduChallenge: Perspektiven auf Naturwissenschaften“ (kurz: „EduChallenge: PAN“). Es wurde für einen Einsatz im Physikunterricht der Einführungsphase der Oberstufe mit einem Umfang von 10 Schulstunden konzipiert und fügt sich in das für diese Stufe curricular vorgegebene Inhaltsfeld der klassischen Mechanik ein.

² Es gibt bereits verschiedene „Entrepreneurial Challenges“ auf der Seite [Youth Start](http://www.youthstart.eu/de/challenges/) (<http://www.youthstart.eu/de/challenges/>) in dem Kontext von Entrepreneurship Education (Bijedić, Ebbers, &

Halbfas, 2019). Weitergehende Challenges im (allgemeinen) Bildungsbereich sind den Autor:innen nicht bekannt.

Ziele des Lernarrangements in diesem ersten Zyklus waren distal die Förderung eines Verständnisses naturwissenschaftlicher Forschung und Kompetenzen im Bereich Erkenntnisgewinnung sowie allgemein die Förderung von kollaborativen, problem-lösenden und kreativen Kompetenzen. Proximal wurde eine Konzepterweiterung zu den sechs in Abschnitt 2 genannten Konzepten angestrebt.

Der grundlegende Aufbau dieses Beispiels einer „EduChallenge“ entspricht dem oben skizzierten und aus den Deeper Learning-Phasen abgeleiteten Phasen einer „EduChallenge“. Hier skizzieren wir den Planungsentwurf zum ersten Erprobungszyklus (vgl. Abb. 1).

3.3.1. Stellung der Challenge

Die Herausforderung der EduChallenge: PAN wurde folgendermaßen formuliert: „Erforsche und modelliere eine Wurfbewegung in einer Sportart deiner Wahl und veröffentliche die Ergebnisse deiner Forschung.“ Um diese Challenge authentisch zu stellen, wurde ein Video in einer Forschungsgruppe der Universität Bonn aufgenommen. Dieses zeigt Parallelen zwischen der tatsächlichen cutting-edge Forschung der Universität und dem von den Schüler:innen erforderlichen Vorgehen auf, greift die Relevanz von Forschung und der Auseinandersetzung damit auf und mündet in der genannten Challenge.

3.3.2. Laborbuch & Informationsbasis

Um für die Aneignungsphase eine ausgewogene Balance zwischen notwendiger Anleitung und eigenverantwortlich, leistungsdifferenzierter Selbststeuerung durch die Lernenden zu finden, wird für das hybride Lernarrangement ein analoges „Laborbuch“ (Heft aus Papier) und eine digitale „Informationsbasis“ (Website) kombiniert.³

Das Laborbuch leitet einerseits die Aneignung von Inhalten an. Dies stellt ein „Scaffolding“ dar, um den Lernenden eine Unterstützung im Prozess ihrer zunehmenden Selbststeuerung zu geben. Durch QR-Codes an den entsprechenden Stellen des Laborbuchs werden die Lernenden jeweils an die entsprechenden

Stellen der Informationsbasis geleitet, wo Medien verschiedener Repräsentationsformen (Erklärvideos, Abbildungen, Text, interaktive H5P-Aufgaben) eine Erarbeitung der Inhalte und Konzepte sowie kurze Verständniskontrollen zu den dargebotenen Inhalten ermöglichen. Andererseits dient das Laborbuch der Dokumentation des Arbeitsprozesses und der Ergebnissicherung. Im Laborbuch notierte Ergebnisse können anschließend jeweils mit einer Beispiellösung verglichen werden.

3.3.3. Arbeit in Forschungsgruppen

Bereits die Aneignungsphase mit Laborbuch und Informationsbasis erfolgt in Dreiergruppen, die dem Kontext entsprechend als „Forschungsgruppen“ bezeichnet werden. Auch die auf den erarbeiteten Inhalten aufbauende ko-konstruktive Arbeitsphase, erfolgt in den gleichen Forschungsgruppen. Darin führen die Jugendlichen eine Wurfbewegung real aus und filmen diese. Außerdem erstellen sie eine numerische Simulation einer Wurfbewegung mit dem Modell des schiefen Wurfs (Annahmen: reibungsfrei, Punktmasse) was in einem Video dieser Simulation resultiert. Die Videos der realen und der simulierten Bewegung werden überlagert und verglichen. Hierauf aufbauend wird das Verhältnis von Realität, Modell und Simulation diskutiert und die Güte der eigenen Simulation bewertet. Zur Ergebnissicherung und praktischen Erfahrung des Konzepts des Peer-Review-Verfahrens wird abschließend in jeder Gruppe ein wissenschaftlicher Artikel verfasst. Alle Teilnehmenden begutachten einen fremden Artikel und geben eine Rückmeldung dazu. Der eigene Artikel wird innerhalb der eigenen Gruppe überarbeitet.

3.3.4. „Veröffentlichung“ der Ergebnisse

Die finalen Artikel werden auf einer (im ersten Zyklus passwortgeschützten) Website „veröffentlicht“. Es wird Raum für Feedback durch die Lehrkraft (bzw. das Team der Universität) gegeben.



Abb.1: Phasen einer EduChallenge allgemein und die Umsetzung in dem vorliegenden Beispiel-Lernarrangement

³ Link zum Laborbuch (pdf) im ersten Zyklus: <https://uni-bonn.sciebo.de/s/MSI0n9550ujjAIV> | Link zur

Informationsbasis im ersten Zyklus: <https://didaktik.physik.uni-bonn.de/educhallenge-pan/>

4. Formative Evaluation des ersten Zyklus der EduChallenge: PAN

Die skizzierte Konzeption der EduChallenge wurde im November und Dezember 2021 in zwei Kursen (zusammen N=31 Lernende, zwei Lehrkräfte) an Gymnasien in Bornheim und Köln (beides NRW) erprobt und sowohl summativ als auch formativ evaluiert. Da der Gesamtfokus der Evaluation des ersten Prototyps auf der formativen Evaluation lag, werden nur deren Ergebnisse hier zusammengefasst. Weitere Ergebnisse finden sich in den am Projekt beteiligten Masterarbeiten von Rätz (2022), Munz (2022) und Woeste (2022). Die formative Evaluation diente der Forschungsfrage, wie die Intervention entsprechend ihrer Ziele möglichst lernförderlich und effizient weiterentwickelt werden kann. Hierzu wurde ein mixed-method Ansatz verfolgt, der eine Analyse der summativen Ergebnisse, schriftliches Feedback aller teilnehmenden Schüler:innen in einem Posttest, Gruppeninterviews mit den Schüler:innen sowie Einzelinterviews mit den beteiligten Lehrkräften umfasste. Alle Interviewaufzeichnungen wurden transkribiert. Die Transkripte der Lehrkräfteinterviews wurden zusammengefasst. Alle anderen Freitextdaten wurden mittel inhaltlich-strukturierender qualitativer Inhaltsanalyse nach Kuckartz (2018) mit jeweils eigenen, induktiv am Material erarbeiteten Kategoriensystemen ausgewertet.

Es zeigte sich, dass sich abgesehen von einer Ausnahme (s.u.) die Ergebnisse der verschiedenen Datenerhebungsmethoden zur formativen Evaluation komplementär ergänzten oder kongruent deckten. Daher werden hier die zentralsten Ergebnisse über die Erhebungsmethoden hinweg zusammengefasst:

4.1. Gesamtkonzeption der EduChallenge

Der konzeptionelle Aufbau des EduChallenge-Konzepts mit authentischer Challenge-Stellung am Anfang sowie der Kombination aus hybriden Input- und ko-kreativen Arbeitsphasen wurde sowohl in den Interviews mit den Lehrkräften als auch in Schülerinterviews positiv hervorgehoben. Auch die Unterrichtsbeobachtung bestätigt die Durchführbarkeit des Konzepts mit intensiver Schüleraktivierung.

4.2. Challenge-Video zum Einstieg und Motivation

Der einzige Punkt, zu dem verschiedene Datenerhebungsmethoden zu einem divergenten Ergebnis führten, betraf die Auswirkung des Einstiegsvideos auf die Motivation der Lernenden: Während das Challenge-Einstiegsvideo von den Lehrkräften als sehr motivationsförderlich beschrieben wurde, konnte diese Einschätzung durch die Unterrichtsbeobachtung und Interviews mit den Lernenden nicht bestätigt werden. Lernende schätzten das Video mit Bezug auf ihre Motivation neutral ein. Insgesamt deuteten verschiedene Faktoren auf ein hohes Motivationsniveau der Lernenden in der „EduChallenge“ hin. Es muss hierbei jedoch berücksichtigt werden, dass mit der bisherigen Evaluation nicht differenziert werden kann, ob die Motivation der Lernenden durch das „EduChallenge“-Konzept selber oder die für die

Jugendlichen außergewöhnliche Situation eines universitären Kooperationsprojekts im Regelunterricht oder ein anderes Element wie den für die meisten Lernenden noch neuen Einsatz von iPads gefördert wurde. Dies näher zu untersuchen ist ein Forschungsdesiderat des nächsten Erprobungs- und Evaluationszyklus.

4.3. Hybride Lernumgebung

Unterrichtsbeobachtung, Interviews mit Lernenden und den Lehrkräften stimmten darin überein, dass die Kombination aus analogem Laborbuch zur Anleitung und Ergebnissicherung und digitaler Informationsbasis praktikabel und lernförderlich eingesetzt werden konnte.

4.4. Umfang und Zeit

Die Unterrichtsbeobachtung und alle Interviews stimmten darin überein, dass die Zeit für die Fülle an Konzepten und die umfangreiche eigene Arbeit zu knapp bemessen war. Hierzu erfolgt daher im nächsten Zyklus eine Überarbeitung: inhaltlich wird sich die Challenge im zweiten Zyklus auf die Konzepte Modelle, Simulation, Peer Review fokussieren. Um diesen Fokus zu berücksichtigen, wird auch der Titel der EduChallenge im zweiten Zyklus angepasst (zu „EduChallenge: ModellBildung“).

4.5. Numerische Simulation

Das Prinzip der numerischen Simulation mit Python in der App Carnets für iPads wurde von den Lernenden entsprechend der Planung umgesetzt, wobei jedoch eine Reihe von Problemen auftrat, bei denen die Unterstützung mehrerer gleichzeitig anwesender Projekt-Mitarbeitenden nötig war. Außerdem gab es große Unterschiede in der Bearbeitung der Aufgabe zwischen Jugendlichen mit und ohne vorausgegangener Programmiererfahrung. Bei der Überlagerung von Simulations- und Realvideo zu der Wurfbewegung in iMovie (Grundlage des Vergleichs von Modell und Beobachtung) kam es zu deutlichen technischen Problemen. Zu diesen Punkten erfolgt eine grundlegende Überarbeitung für den nächsten Zyklus.

4.6. Arbeitsprodukt, Peer Review, Feedback

Die Erstellung eines wissenschaftlichen Artikels als authentisches Arbeitsprodukt sowie der Peer Review-Prozess zwischen den Arbeitsgruppen wurden sowohl von Lernenden als auch von den Lehrkräften als lernförderlich eingeschätzt. Von den Lernenden wurde jedoch teils angemerkt, dass das Peer-Feedback der Mitschüler:innen oft nicht so hilfreich war wie Feedback durch die Lehrkraft. Auch eine Analyse der Arbeitsergebnisse bestätigt, dass ein Feedback der Lehrkraft ergänzend zu dem Peer Review-Feedback der Mitschüler:innen die Qualität der Lernprodukte und des Lernprozesses fördern kann. Um im Kontext des Publikationsprozesses zu bleiben, könnte die Lehrkraft die Rolle einer universitären Schreibberatung einnehmen, die dem eigentlichen Peer Feedback-Prozess vorgelagert ist, und/oder die einer Journal-

Herausgeberin, die ebenfalls auf textliche Probleme hinweist und Vorschläge macht.

4.7. Weitere Unterstützung von Lehrkräften

Weitergehend haben die Lehrkräfte den Wunsch nach Begleitmaterialien für Lehrkräfte und einem Vorschlag für einen Benotungsleitfaden für die in der „EduChallenge“ erbrachten Schülerleistungen geäußert. Auch dies soll im zweiten Zyklus ergänzt werden.

5. Fazit und Ausblick

In diesem Beitrag wurde der aktuelle Arbeitsstand der allgemeinen Konzepte der „Perspektiven auf Naturwissenschaften“ und der „EduChallenge“ sowie das daraus entwickelte konkrete Beispiel-Lernarrangement der „EduChallenge: Perspektiven auf Naturwissenschaften“ skizziert. Dies wurde Ende 2021 in einem ersten Prototyp an zwei Schulen erprobt und evaluiert. Die formativen Ergebnisse zeigen sowohl die prinzipielle Durchführbarkeit des Konzepts, wie auch Entwicklungsmöglichkeiten des Prototyps.

Auf diesen Ergebnissen aufbauend entwickeln wir die zugrunde liegenden Gestaltungsansätze und das konkrete Beispiel-Lernarrangement weiter. Für Herbst 2022 ist ein zweiter Erprobungs- und Evaluationszyklus geplant. Schulen, die Interesse an einer Teilnahme haben, sind herzlich eingeladen sich unter der o.g. Mailadresse des Erstautors zu melden.

6. Literatur

- Barab, S. (2005). Design-Based Research. A Methodological Toolkit for the Learning Scientist. In R. K. Sawyer (Ed.), *The Cambridge Handbook of the Learning Sciences*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Beigel, J., Klopsch, B., & Sliwka, A. (2022, noch in Arbeit). Deeper Learning-Sequenzen designen - Ein Workbook. Weinheim und Basel: Beltz.
- Beigel, J., Runge, C., & Sliwka, A. (2021). Deeper Learning. Eine Chance für zeitgemäßes Lernen im Präsenz- und Distanzlernen. *Schule Leiten*, (24), 4–7. <https://www.friedrich-verlag.de/schulleitung/unterricht-schulentwicklung/deeper-learning-9065>
- Bijedić, T., Ebbers, I., & Halbfas, B. (Eds.). (2019). *Entrepreneurship Education. Begriff - Theorie - Verständnis*. https://doi.org/10.1007/978-3-658-27327-9_1
- Billion-Kramer, T. (2021). Nature of Science. Lernen über das Wesen der Naturwissenschaften. In *essentials*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-658-33397-3>
- Crosslin, M. (2021). Conceptualising and Designing Self-Mapped Learning Pathways courses to encourage Learner Agency and Equity. In S. Hase & L. M. Blaschke (Eds.), *Unleashing the Power of Learner Agency* (S. 67–76). <https://edtechbooks.org/up>
- Dagher, Z. R., & Erduran, S. (2016). Reconceptualizing the Nature of Science for Science Education: Why Does it Matter? *Science and Education*, 25(1–2), 147–164.
- Duschl, R. A., & Grandy, R. (2013). Two Views About Explicitly Teaching Nature of Science. *Science and Education*, 22(9), 2109–2139. <https://doi.org/10.1007/s11191-012-9539-4>
- Erduran, S., & Dagher, Z. R. (2014a). Family Resemblance Approach to Characterizing Science. In *Reconceptualizing the Nature of Science for Science Education*. https://doi.org/10.1007/978-94-017-9057-4_2
- Erduran, S., & Dagher, Z. R. (2014b). Reconceptualizing the nature of science for science education: Scientific knowledge, practices and other family categories. <https://www.springer.com/de/book/9789401790567>
- Euler, D., & Sloane, P. F. E. (2014). *Design-Based Research* (D. Euler & P. F. E. Sloane, Eds.). Stuttgart: Franz Steiner Verlag.
- Fullan, M., Quinn, J., & McEachan, J. (2017). *Deep Learning. Engage the World Change the World*. Thousand Oaks, California: Sage Publishing.
- Heering, P., & Kremer, K. (2018). Nature of Science. In D. Krüger, I. Parchmann, & H. Schecker (Eds.), *Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 105–119). Berlin: Springer.
- Heysel, J., & Bertoldi, F. (2021). Expliziter Unterricht zu naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung: “Perspektiven auf Naturwissenschaften” als Brücke zur Schulpraxis. In S. Habig (Ed.), *Naturwissenschaftlicher Unterricht und Lehrerbildung im Umbruch?* (S. 681–684). https://www.gdcp-ev.de/wp-content/tb2021/TB2021_681_Heysel.pdf
- Höttecke, D., & Allchin, D. (2020). Reconceptualizing nature-of-science education in the age of social media. *Science Education*, 4(104), 1–26. <https://doi.org/10.1002/sce.21575>

- Höttecke, D., & Hopf, M. (2018). Schülervorstellungen zur Natur der Naturwissenschaften. In H. Schecker, T. Wilhelm, M. Hopf, & R. Duit (Eds.), *Schülervorstellungen und Physikunterricht* (S. 271–287). Berlin: Springer.
- Höttecke, D., & Schecker, H. (2021). Unterrichtskonzeptionen für Nature of Science (NOS). In T. Wilhelm, H. Schecker, & M. Hopf (Eds.), *Unterrichtskonzeptionen für den Physikunterricht* (S. 401–433). <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-662-63053-2>
- Irzik, G., & Nola, R. (2011). A Family Resemblance Approach to the Nature of Science for Science Education. *Science and Education*, 20(7), 591–607.
- Jung, E. (2010). *Kompetenzerwerb. Grundlagen, Didaktik, Überprüfbarkeit*. München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag.
- Klafki, W. (2007). *Neue Studien zur Bildungstheorie und Didaktik. Zeitgemäße Allgemeinbildung und kritisch-konstruktive Didaktik*. (6th ed.). Weinheim Basel: Beltz.
- Kuckartz, U. (2018). *Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung* (4th ed.). Weinheim Basel: Beltz Juventa.
- Kuhn, T. S. (1970). *The Structure of Scientific Revolutions* (2nd ed., Vol. 2). Chicago, London: University of Chicago Press.
- Kultusministerkonferenz (KMK). *Bildungsstandards im Fach Physik für die Allgemeine Hochschulreife* (2020). https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2020/2020_06_18-BildungsstandardsAHR_Physik.pdf
- Lederman, N. G., & Lederman, J. S. (2019). Teaching and learning nature of scientific knowledge: Is it Déjà vu all over again? *Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research*, 1(1), 1–9. <https://doi.org/10.1186/s43031-019-0002-0>
- Matthews, M. R. (2012). Changing the focus: From nature of science (NOS) to features of science (FOS). In M. S. Khine (Ed.), *Advances in Nature of Science Research: Concepts and Methodologies* (S. 3–26). Dordrecht: Springer.
- Mehta, J., & Fine, S. (2019). *In Search of Deeper Learning. The Quest to Remake the American High School*. Cambridge: Harvard University Press.
- Munz, V. (2022). *Die soziologische Perspektive auf die Natur der Naturwissenschaften – der Schulgarten als Analogie zu dem System Wissenschaft* (Bonn). <https://didaktik.physik.uni-bonn.de/educhallenge/>
- Popper, K. R. (1935). *Logik der Forschung. Zur Erkenntnistheorie der modernen Naturwissenschaften*. Wien: Springer.
- Rätz, J. (2022). *Modellierung und Simulation als naturwissenschaftliche Arbeitsweisen der Erkenntnisgewinnung im Unterricht* (Bonn). <https://didaktik.physik.uni-bonn.de/educhallenge/>
- Schulministerium NRW (2014). *Kernlehrplan für die Sekundarstufe II Gymnasium/Gesamtschule in Nordrhein-Westfalen. Physik*. https://www.schulentwicklung.nrw.de/lehrplaene/lehrplan/160/KLP_GOST_Physik.pdf
- Sliwka, A. (2018). *Pädagogik der Jugendphase*. Weinheim Basel: Beltz.
- Sliwka, A., & Klopsch, B. (2022). *Deeper Learning in der Schule. Pädagogik des digitalen Zeitalters*. Weinheim und Basel: Beltz.
- Woeste, I. (2022). *Das Peer-Review-Verfahren als wissenschaftliche Qualitätssicherung im Unterricht* (Bonn). <https://didaktik.physik.uni-bonn.de/educhallenge/>
- Zemplén, G. Á. (2009). Putting sociology first-reconsidering the role of the social in “nature of science” education. *Science and Education*, 18(5), 525–559.

Danksagung & Förderung

Wir danken herzlich den beiden Lehrerinnen, die mit uns bei diesem Projekt kooperiert haben! Sie haben damit die Erprobung erst ermöglicht und viele wertvolle Hinweise beigetragen. Auch allen Schüler:innen, die teilgenommen haben, gilt unser Dank.

Wir danken ebenso der Deutsche Telekom Stiftung, die das Kooperationsprojekt „EduChallenge“ der Universitäten Bonn und Heidelberg fördert.

Jan Heysel dankt außerdem der Stiftung der Deutschen Wirtschaft (sdw), die seine Promotion durch ein Promotionsstipendium unterstützt.

The Influence of "The Radiation Around Us" on Student Conceptual Understanding and Interest

Maximilian Jeidler, Markus Wintersteller, Michael M Hull

Austrian Educational Competence Centre, Division of Physics, University of Vienna, Porzellangasse 4/2/2, Vienna, Vienna, Austria/1090
michael.malvern.hull@univie.ac.at

Abstract

The MS thesis of the first author focuses on a special method of teaching called "Hypothesis–Experiment Class" (HEC), developed in Japan by Kiyonobu Itakura. In this method, the teacher is provided with a "Classbook" with which to conduct the lesson. In HEC, students are asked a question and choose between several possible answers. The number of votes for each answer choice is recorded on the blackboard. Individual learners are asked to explain why they chose one of the answer options. Afterwards, all learners have the opportunity to change their choice. Finally, an experiment decides which answer was the correct one. This process is repeated in a cycle with new questions and experiments. HEC has three goals (Itakura, 2019, p. 19-23): 1. make sure each and every student gains the ability to use the central theory or concept. 2. structure the class so that most students report that they like both science and these science classes. 3. make all necessary preparations so that any teacher sufficiently passionate about education, not just special veteran teachers, will be able to teach this type of class. In my work, I will focus on the first and second goals for the Classbook "The Radiation Around Us" (TRAU), which deals with where ionizing radiation can be found in what amounts in our everyday life. The third goal of HEC is discussed in the accompanying paper first-authored by Markus Wintersteller.

1. Introduction

The MS theses of the first and second authors concern assessment of a Japanese instructional module on radioactivity; in particular, the first author aims to see how effective this module is when used with Austrian school children. The module ("The Radiation Around Us", abbreviated "TRAU") is an excerpt from a larger module created by Yamamoto in 2011 titled "Radiation and Sievert" (Yamamoto, 2011). Although some studies were conducted during the creation and revision of Radiation and Sievert, they were primarily unpublished and anecdotal in nature. Likewise regarding TRAU, there is a paucity of data regarding whether the curricular goals are being met, and this is a gap that our study sets out to fill. As we will discuss more in the Methodology section, we draw upon the pretest / post-test paradigm of physics education research (PER) to compare learning outcomes of students who learn with TRAU to those of students who don't. This study is relevant, as it can inform future curricular decisions in Austrian schools (for example, in the most extreme case, wide-spread adoption of TRAU).

Radiation and Sievert (and, by extension, TRAU) are examples of Hypothesis–Experiment Class (HEC), an educational approach developed by Kiyonobu Itakura that is well known throughout Japan. As the name suggests, the carrying out of experiments and the

building of hypotheses (informed by the outcomes of those experiments) play a central role in HEC. The writings of Itakura about HEC have recently been translated into English and compiled in a book that is commercially available. According to this book, HEC concerns itself with learners developing "mental recognition", also referred to as "investigated perception" (Itakura, 2019, p. 4), which "requires the perceiver to conduct some action with intent to confirm something about the object" (Itakura, 2019, p. 3). HEC defines "experiment" from this theoretical stance as being a special form of observation that involves a specific intention to investigate (Itakura, 2019, p. 4). In the HEC sense of the word, merely moving physical apparatus around does not suffice to qualify as an "experiment": the person performing the action must have the intention to find something out. Similarly, merely replicating a natural phenomenon (for example, to demonstrate something in the textbook) is not "conducting an experiment" in the HEC sense of the word (2019, p. 10f). "Hypothesis" in Hypothesis–Experiment Class refers to a "more-or-less general theory or principle" (Itakura, 2019, p. 9). It differs from a simple expectation, which refers only to a single event (Itakura, 2019, p. 9). In HEC, learning is conceptualized as a cyclical process in which experimental results inform the development of hypotheses that then produce expectations about the outcome of the subsequent experiment (Itakura, 2019, p.

9). Itakura described how the HEC conceptualization of learning stands in sharp contrast to approaches in which teachers present students with experimental facts and show how a theory can be derived via an inductive process (Itakura, 2019, p. 10). Imposing a theory upon students like this, Itakura argues, often only results in the theories being rejected by students (Itakura, 2019, p. 11).

Consistent with these definitions, when students conduct an “experiment” in HEC, they should maintain intention behind their investigating. To strengthen this intent, students should make a concrete prediction and specify their “expectation” before the experiment is conducted. In so doing, by the end of the Classbook, students should develop the scientifically accepted theory with which they can then correctly expect the results of the last experiment (Itakura, 2019, p. 12f).

Moreover, HEC emphasizes science as a social process (2019, p. 13). A theory becomes meaningful only when it has been accepted by society, which requires the accumulation of sufficient evidence for the theory to be accepted by each hypothetical individual (Itakura, 2019, p.14). Ideally, students should build their own understanding of a theory as they discuss with each other to reconcile experimental results they have collected with their everyday experiences and naïve ideas that they may bring with them into the classroom (Itakura, 2019, p. 16-17). In the school context, the social aspect of science is highlighted by having Classbooks utilize a whole class discussion format as expectations about experiments are discussed and the experiments are carried out. The concrete procedure is as follows:

First, learners are asked a “Question” or posed a “Problem”, generally regarding an experiment that will be conducted. Learners tentatively commit to an “Expectation” of what the outcome of that experiment will be by choosing one possible answer from several options provided to them (multiple choice). The teacher takes a tally of the expectations by having students raise their hands. The teacher then calls on individual learners to explain why they have chosen a particular answer. At the end of this discussion, the teacher invites the learners to change their answer, based upon what had been said in the discussion. Finally, an experiment decides objectively which answer option was the correct one. The result is recorded by the students and the next question is asked. These questions are contained in the Classbook, as are explanations that, generally, learners take turns reading out loud. In this process, teachers are not arbiters of knowledge, but rather facilitators of this cyclical process (Itakura, 2019, p. 25ff). We wish to emphasize how this process is consistent with the background theory behind HEC discussed above. Theories are not imposed upon students by the teacher; rather, hypotheses are developed by the student in a social manner as they make sense of experimental results.

The experiments in turn are only conducted if there is a real intention to confirm or refute expectations.

HEC places 3 specific goals on each Classbook:

Goal 1: "Make sure each and every student gains the ability to use the central theory or concept" (Itakura, 2019, p. 20). HEC practitioners generally check this by confirming that more than 90% of the students correctly predict the answer to the last problem in the Classbook. In addition, it is advised to give a test on the material covered one to two weeks after completing the Classbook (Itakura, 2019, p. 20). Problems in the Classbook are carefully chosen and arranged such that this goal can be accomplished. At the same time, HEC urges teachers to refrain from testing students on things not directly discussed in the Classbook.

Goal 2: "Structure the class so that most students report that they like both science and these science classes" (Itakura, 2019, p. 21). The explicit goal is that over 50% of learners report that they "liked" or "really liked" science and the Classbook and that virtually no one reports that they "disliked" the Classbook. To ascertain this, HEC practitioners generally ask students directly whether they enjoyed their learning by having students answer a one-question survey administered immediately after the Classbook has ended (Itakura, 2019, p. 21). This question is referred to as the “tanodo” (Japanese for “degree of fun”) survey. Participants choose a selection from a five-point scale, with 1 being "it was very enjoyable" and 5 being "it was very boring".

Goal 3: "Make all necessary preparations so that any teacher sufficiently passionate about education, not just special veteran teachers, will be able to teach this type of class" (Itakura, 2019, p. 22). In short, this means that HEC lessons should be easy to carry out with the help of the Classbook by any teacher, regardless of that teacher's extent of teaching experience.

Itakura claimed that all 3 goals are realistic, describing a study in which 150 school classes and over 20 teachers participated (Itakura, 2019, p. 23). Unfortunately, he did not provide a citation to a published work. Similarly, although he claimed that "almost all classes run with the Classbooks developed ... have demonstrated good reproducibility of class performance, independent of teachers and students" (Itakura, 2019, p. 25), no citation was provided to support this claim.

1.1. Traditional instruction about radioactivity and student views on the topic

Our study aims to assess the effectiveness of TRAU by comparing learning gains of students who learn with TRAU to a control group of students who do not learn with TRAU. Although the notion of a “control group” is problematic in that instruction can vary greatly from class to class within the non-TRAU learners, we can nevertheless describe what typical instruction about radioactivity entails. In 2006, Eijkelhof described "the usual approach" being “to start with the structure of the atom and the nucleus,

followed by concepts such as half-life, activity, nuclear fission and fusion. Towards the end of the series of lessons, some applications are usually mentioned, such as carbon dating, irradiation, and the nuclear reactor. Safety issues are dealt with only superficially" (Eijkelhof, 2006, p. 273). If one looks at various Austrian textbooks intended for the 8th grade (when students learn about radioactivity for the first time in their K-12 education), one sees great accord with Eijkelhof's statement, even today. In addition, Austrian textbooks often begin the chapter on radioactivity with historical contexts (see Mašin & Grois, 2020; Barmeier, 2009; Breyer et al., 2011; Apolin, 2018). According to the national curriculum, students are to accomplish the following, either in 12th grade or in 8th grade:

- a) Gain insights into changes in the atomic nucleus as the cause of "radioactivity" (properties of alpha, beta and gamma rays);
- b) Recognize radioactive decay as a constantly occurring process;
- c) Understand the basic processes of energy conversion in the sun, stars, and nuclear reactions (nuclear fusion, nuclear fission).

Unfortunately, traditional instruction about radioactivity seems to do little to improve student understanding about the topic. Slovic found that the public has strong beliefs about the risks associated with radioactivity that differ from the views of experts, for example, by being generally more negative (Slovic, 1996, p. 1). Regarding these ideas, Eijkelhof wrote that "the public has a lot of knowledge and beliefs about radiation risks which in the expert's view may be wrong and inconsistent, but which are not so perceived by the audience" (2006, p. 277). Both Slovic and Eijkelhof called for radioactivity education to be improved; in particular, Eijkelhof argued that "... most students in Europe are not in school to prepare themselves for future studies in the physical sciences, but to be educated for life in modern society" (Eijkelhof, 2006, p. 273). There is a need for better education regarding radioactivity that is suitable for any student, regardless of the student's subsequent career choices.

TRAU is very different from the usual path described above. Nuclear decay, which is usually at the beginning of the textbook chapter on radioactivity, plays a subordinate role in the Classbook. In general, technical terms are used rather sparingly (hence the choice of the word "Radiation" in the title instead of "Radioactivity") and are often only roughly explained. The focus is on the fact that radioactivity is a natural, constantly occurring phenomenon, a fact that we see as necessary knowledge for students who are to be "educated for life in modern society" (Eijkelhof, 2006, p. 273). In so doing, the Classbook primarily addresses the second point in the Austrian curriculum. The first and third points, however, are discussed only marginally. The implication of this is that we

must recognize that use of TRAU by itself cannot suffice to "solve the problem" of learning about radioactivity in Austria. Teachers wishing to use the Classbook and satisfy the national curriculum will need to add the missing topics either before or after using TRAU. With this limitation in mind, we begin our study of how effective the Classbook can be to help Austrian students "recognize radioactive decay as a constantly occurring process" that is all around them.

2. Research Design and Methodology

Our research discussed in this paper aims to fill a gap in published literature regarding the effectiveness of TRAU by looking at interest and learning gains of Austrian students who use the Classbook. In so doing, we investigate the extent to which the first and second goals of HEC are met. In comparison with pupils who are not taught with TRAU, we will investigate whether pupils who learn with TRAU exhibit a significantly greater gain in conceptual understanding. In addition, we will investigate whether students who learn with TRAU enjoy the radioactivity instruction more than students who learn without the Classbook. We predict that pupils who learn with TRAU will better develop an understanding of radioactivity as a natural, constantly occurring phenomenon. We also predict that pupils will enjoy learning with the Classbook.

So far, we have collected most of the data from students learning with TRAU as well as pretest data from the non-TRAU learners (the "control group"). We used TRAU with six cohorts of students in the 8th grade (when they first learn about radioactivity in school). Four of these cohorts were from a single Gymnasium and the remaining two cohorts were from a single Mittelschule. Four of these six cohorts have already completed all questionnaires. The control group is comprised of an additional six cohorts of 8th grade students from two additional Gymnasien.

Because TRAU does not discuss all topics required by the national curriculum, teachers who used TRAU were asked to begin their instruction with the Classbook and to then supplement with instruction on the other topics listed in the national curriculum at their own discretion. In the control groups, no particular instruction was given; the entirety of the instruction about radioactivity was at the teacher's discretion.

We utilize a variety of multiple choice surveys to address our research questions. To assess increase in understanding about radioactivity, we prepared a conceptual survey with items taken from the questionnaire developed by Holzinger in her MS thesis (2022). This survey addresses various topics pertaining to radioactivity, including topics that TRAU directly discusses as well as topics that are not discussed by TRAU at all. Students take this conceptual survey as a pretest before learning about radioactivity and as a post-test within a two-week interval after instruction about radioactivity has ended. In Figure 1 below are two example items from the conceptual

survey for which we expected a relatively large increase in the experimental group.

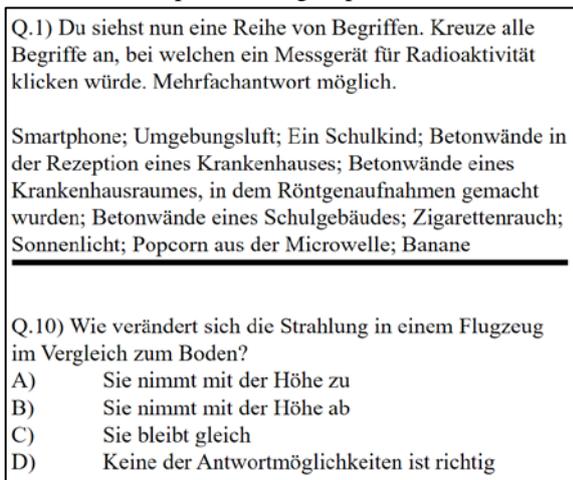


Fig. 1: Two items from the conceptual survey for which we expected students learning with TRAU to significantly outperform students in the control group.

To assess the HEC goal that learners come to enjoy both science and the Classbook, we examine also the self-concept and interest of learners. For interest, we utilize relevant items from the IPN interest study (Hoffmann et al., 1998). We administer these items at the same time as the conceptual survey just discussed. In addition, with the experimental groups, we administered the interest and self-concept survey also immediately after completing learning with TRAU. This was done to determine more precisely what effect TRAU had on interest and self-concept, as opposed to the rest of the lessons on radioactivity that followed TRAU. All items on interest and self-concept are multiple choice, with a 5-point Likert scale. In addition, we also included the “tanodo” question used in HEC (see above) in this post-TRAU questionnaire and on the post-test.

Students complete all questionnaires online while sitting in the classroom by following a link provided to them by their teacher. Students enter both a class code and a person code to protect their anonymity while still enabling us to compare pre and post-test scores between the TRAU and control groups.

As the post-test data from all control groups has not yet been collected, we are limited in what claims we can make in this paper. Nevertheless, we are at a point where we can talk about learning gains for the students who did learn with TRAU. We analyse our data using classical test theory. In particular, we calculate mean values and standard deviations for each item. Regarding the conceptual survey, we awarded no more than one point for each survey item. On some items, several answer selections are considered correct and one point is awarded if the respondent chooses any of those selections. With other items, respondents must select all of the correct answers to receive one point; otherwise, their response is scored as zero points. In Q.1 of the conceptual survey (see

above), for example, respondents receive one point only if all answer options are ticked. To see which answer options were preferentially ticked before and after instruction, we examine also a frequency graph for each selection.

3. Results

To date, 76 students from the experimental group have completed the pretest, 69 the intermediate test that immediately followed instruction with TRAU, and 72 the post-test questionnaires. The numbers vary because some pupils were absent from class when a given questionnaire was administered. So far, 113 pupils from the control group have completed the pretest questionnaire and no one has completed the post-test questionnaire (recall that the intermediate test is only taken by students who learn with TRAU). Therefore, it is not yet possible to compare learning gains between the two groups. Nevertheless, we can discuss learning gains of the students who learned with TRAU, and we can also compare pretest scores between the two groups. The conceptual survey contains 10 items that are scored for 1 point each, totaling 10 points. The mean score achieved by students in the experimental group was 3.4 on the pretest and 5.0 on the post-test. Fig. 2 shows the mean values of points achieved per question.

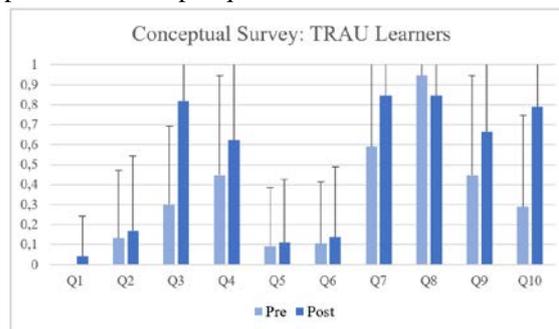


Fig. 2: Pretest and post-test results of the conceptual survey for the experimental group. Error bars are standard deviation. $N = 76$ on the pretest and 72 on the post-test.

In general, there was an increase in correct answers on all items except Q.8, with the largest increases being on Q.3 and Q.10. We had expected a large increase on Q.1, as TRAU focuses directly upon the content of this question. Examination of Figure 2 indicates that our expectations were not met. Part of the reason for the particularly low score on Q.1 is that no points were awarded unless students selected every one of the ten objects in the list as being something that would make a radioactivity detector click. We can investigate this item further by comparing frequencies of object selections on the pretest and post-test. In the pretest, an average of 3.5 objects were selected. This number increased modestly on the post-test 5.5 (out of 10). The overview of the percentage

of participants who selected each object can be found in Figure 3 below.

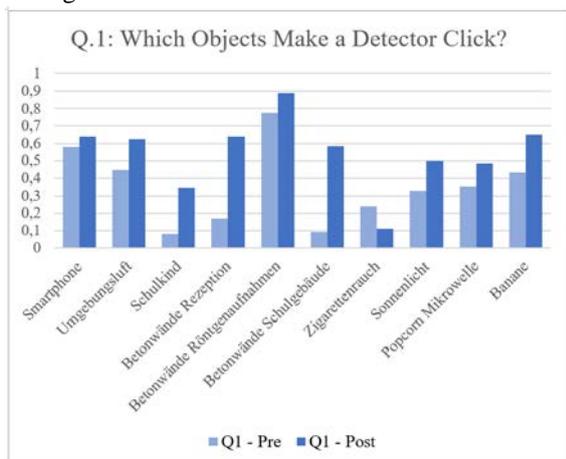


Fig. 3: Pretest and post-test results for Q.1 of the conceptual survey for the experimental group. The correct answer is to select all 10 objects.

On the pretest and post-test, respondents were asked to indicate their emotion regarding radioactivity. Figure 4 shows the relative proportion of participants who chose the respective answer options.

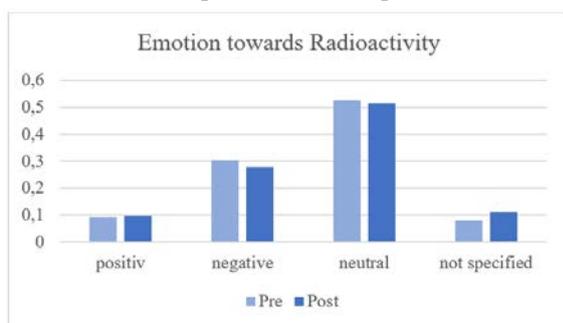


Fig. 4: Respondent self-reports of their emotion towards radioactivity. The y-axis indicates percentage of respondents.

On the pretest, intermediate test immediately after TRAU, and post-test, respondents were asked questions about their self-concept and interest. The results are in Figures 5 and 6, respectively. Finally, we administered the HEC "tanodo" question both on the intermediate test (to ask about the Classbook) and at the end of all instruction about radioactivity (to ask about learning the topic of radioactivity overall). The mean score on the intermediate test was 1.6, and the mean score on the post-test was even closer to 1, at 1.5 (recall that the item is five-point Likert scale, with 1 being "it was very enjoyable").

As mentioned above, only pretest questionnaires have been completed by the control group so far. The results are equivalent to those from the pretest of the experimental group. The average score on the conceptual survey was 3.9 in the control group, a little higher than the average of the experimental group, but within the standard deviation. Figure 7

compares the points achieved on the pretest for each question and for both groups.

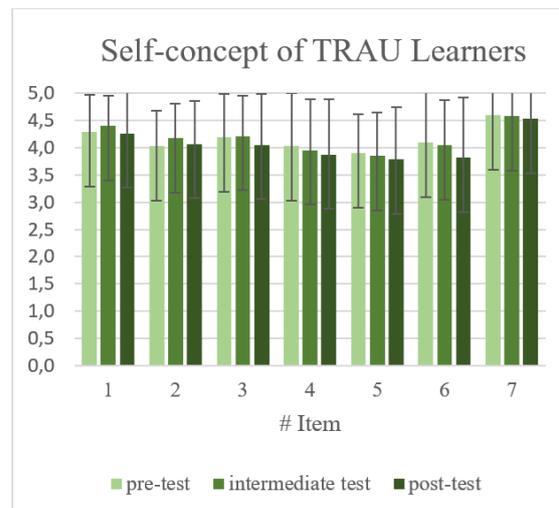


Fig. 5: Respondent answers to the IPN survey items pertaining to self-concept. Selection of "5" indicates "very good" and "1" indicates "very bad".

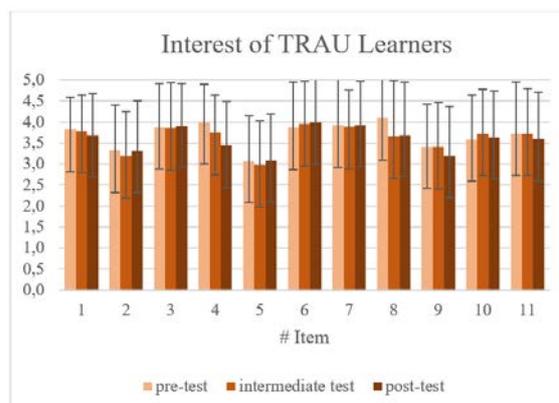


Fig. 6: Respondent answers to the relevant IPN survey items pertaining to interest. Selection of "5" indicates "very high interest" and "1" indicates "very low interest".

As can be seen, scores were comparable for all items except for Q.1, as no students in the experimental group answered this item correctly on the pretest. Pretest responses to emotion towards radioactivity, self-concept, and interest of the control group were also comparable with the TRAU group. Specifically, although emotion in the control group was slightly less positive (see Figure 8, below), interest and self-concept were somewhat higher.

4. Discussion

As we have not yet collected post-test data from the control group, it is not possible for us to fully assess the effectiveness of TRAU. However, from the data of the students who learned with TRAU, we can gain some insight even at this point in time.

As expected, the mean number of points achieved on the conceptual survey pretest was small, and this

number increased on the post-test. In particular, the large increase in Q.10, which is discussed explicitly in TRAU, matches our expectations. It is likely that this increase is the result of using TRAU and that a similar gain will not be found in the control group. Question 3, on the other hand, which probes awareness of types of ionising radiation, likely saw a large increase in correct responses as a result of instruction that took place after TRAU, since this is a topic only briefly discussed in the Classbook. We anticipate similar growth on this item in the control group.

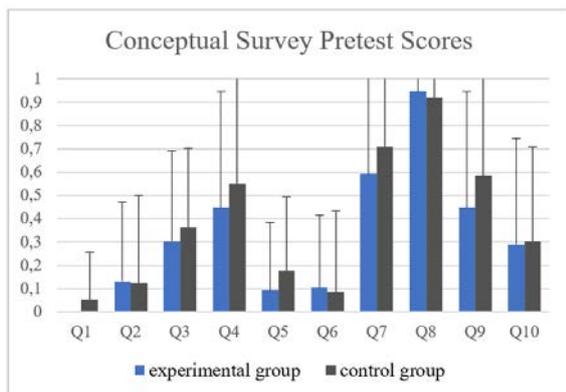


Fig. 7: Comparison of points achieved per question between experimental (blue) and control group (grey) on the pretest.

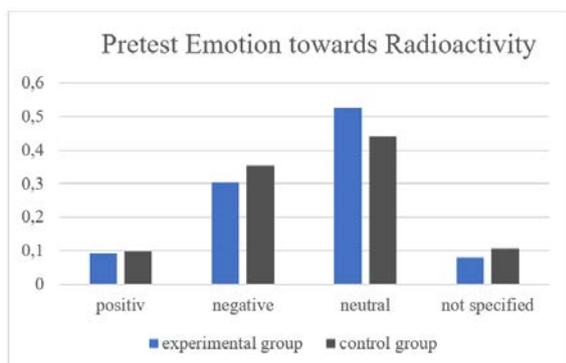


Fig. 8: Comparison of emotion towards radioactivity between experimental (blue) and control group (grey) on the pretest.

The very small increase in correct responses to Q.1 was surprising. Looking at the frequency of objects selected (Figure 3), we see that each object was ticked more often on the post-test than on the pre-test, except for "cigarette smoke", which is never mentioned in the Classbook. After TRAU, respondents were particularly more likely to say that a concrete wall is radioactive (the exception is walls of a room in which X-rays are taken; as so many students selected this object already on the pretest, there was no gain seen on the post-test). Concrete walls are explicitly discussed in one of the "Problems" of TRAU, so we expect to not see this increase in selection frequency in the control group. The answer

option "a schoolchild" also experienced a notable increase. Actually, we expected a much greater increase, as the final "Problem" of the Classbook asks students if they think that they themselves are radioactive. According to the HEC goals, the Classbook up until that point should prepare students so that almost all students correctly can hypothesize that they are radioactive. The subsequent pages of the Classbook which tell students that, indeed, they are radioactive, are meant to give students a sense of satisfaction in the theory they have developed.

Regarding emotion, we had expected there to be more selections of "negative" than "positive", and this is confirmed in Figures 4 and 8. We were surprised, however, that the most common response was "neutral" instead of "negative". We see in Figure 4 a small decrease of negative emotions. Had more students started TRAU with negative emotions, we might have observed a greater improvement in emotion. According to Lijnse et al. (1990, as cited in Henriksen, 1996, p. 195), media plays a major role in how a person's basic attitude towards radioactivity develops. One reason why most of the students were neutral towards the topic could be that they had generally not learned much about radioactivity from the media or elsewhere. All participants are probably too young to recall the media coverage of the Fukushima accident, let alone any incident that happened before that.

It was also surprising that the students reported such high interest and self-concept on the pretest. The values are so high that any improvement that may have resulted from instruction with TRAU are masked by this ceiling effect. Although we cannot claim that interest and self-concept did or did not increase, we can say that they did not decrease, either as a result of the Classbook or of the instruction that followed the Classbook. Students in the experimental groups also explicitly stated that they enjoyed the lessons on radioactivity on the "tanodo" item, both immediately after TRAU and at the end of all instruction on radioactivity had taken place. One possibility is that students enjoyed the instruction that took place after TRAU just as much as they enjoyed TRAU. Another possibility is that students enjoyed TRAU so much that, when asked after additional lessons on radioactivity, their impressions from TRAU dominated their response to the "tanodo" item. We will be able to see which of these two interpretations is more likely by analyzing the responses of students in the control group to the "tanodo" question on the post-test. Subsequently, the lessons of the individual teachers should also be roughly analyzed, especially to see what the "control group" entails.

5. Conclusion

Although our study is still in the data-collection stage, what we have accumulated so far suggests that

the goals of HEC can be partially achieved with TRAU in Austrian schools.

As far as HEC's first goal is concerned, the results we have obtained are sobering. It is encouraging that many students who learn with TRAU improve their understanding on Q.10. However, until we have compared with data collected from the control group, we cannot say for certain how much this increase can be attributed to the Classbook itself. The results for Q.1 suggest that the first goal of HEC is not obtained with this Classbook. It is true that many students came to recognize concrete walls as emitting ionizing radiation. However, within two weeks after completing TRAU, only about one third of students said that a school child would make a radioactivity detector click. The first goal of HEC specifies that almost all learners should correctly expect the result of the last Problem in the Classbook and that they should do well on an exam given within two weeks after the Classbook has concluded (2019, p. 29). Although this goal of HEC is not met with TRAU, the Classbook may nevertheless be superior to traditional instruction on radioactivity in Austria. To determine this, comparison with data from the control group is necessary.

In contrast to the first goal, the results we have presented indicate that the second goal of HEC is attained with TRAU. Students reported that they greatly enjoyed the Classbook on the "tanodo" item, and interest and self-concept remained high after instruction with TRAU. Comparison with data from the control group can reveal whether the Classbook has an advantage in these regards compared to the usual way of teaching radioactivity.

In comparing TRAU instruction with the control group, it is important to bear in mind that the "usual way" of teaching about radioactivity varies from teacher to teacher. Future studies should compare TRAU with what, specifically, takes place in the "usual" instruction of the teachers in the control group of our study to see what in particular is effective and what should be improved.

6. Literature

- [1] Holzinger, E. (2022). The Public's Knowledge on Radioactivity in Austria Affected by the Time Passed After Graduation and the Type of School Attended. (masters thesis, Universität Wien).
- [2] Itakura, K. (2019). Hypothesis-Experiment Class (Kasetsu). 京都大学学術出版会. ISBN: 9784814002108
- [3] Hoffmann, L., Häußler, P. & Lehrke, M. (1998). Die IPN-Interessenstudie Physik.
- [4] Slovic, P. (1996). Perception of Risk from Radiation. *Radiation Protection Dosimetry*, 68(3), 165–180. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.rpd.a031860>
- [5] Eijkelhof, H. (1996). Radiation Risk and Science Education. *Radiation Protection Dosimetry*, 68(3), 273–278. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.rpd.a031878>
- [6] Henriksen, E. (1996). Laypeople's Understanding of Radioactivity and Radiation. *Radiation Protection Dosimetry*, 68(3), 191–196. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.rpd.a031863>
- [7] (Lijnse, P. L., Eijkelhof, H. M. C., Klaassen, C. W. J. M. & Scholte, R. L. J. (1990). Pupils' and mass-media ideas about radioactivity. *International Journal of Science Education*, 12(1), 67–78. <https://doi.org/10.1080/0950069900120106>)
- [8] Mašin, C. & Grois, G. (2020). Physik verstehen. öbv.
- [9] Barmeier, M. (2009). Prisma Physik. 4. Klett-Cotta.
- [10] Breyer, G. Reichel, E., Zunzer, S. (2021). Physik 4. öbv.
- [11] Apolin, M. (2018). big bang 4. öbv
- [12] Bundesministerium für Bildung Wissenschaft und Forschung (2022, Mai 1). Lehrplan der AHS. BGBl. Nr. 88/1985 idF. BGBl. II Nr. 411/2021
- [13] Bundesministerium für Bildung Wissenschaft und Forschung (2022, Mai 1). Lehrplan der Mittelschule. BGBl. II Nr. 185/2012 idF. BGBl. II Nr. 379/2020

Das Rastertunnelmikroskop – Konzeption eines Virtual-Reality-Experiments

Jan Simon*, Aaron Reith*, Johannes Lhotzky*, Klaus Wendt*

*Institut für Physik, Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Staudingerweg 7, 55128 Mainz

lhotzky@uni-mainz.de

Kurzfassung

Virtual-Reality-Experimente (VRE) stellen realistische 3D-Simulationen naturwissenschaftlicher Versuche dar. Dabei werden vorrangig Experimente umgesetzt, von denen Gefahrenpotentiale ausgehen oder deren Anschaffung für die Schule zu teuer ist. VRE ermöglichen den Schüler:innen zudem eine direkte Partizipation durch ihre digitale Verfügbarkeit, wo diese sonst nicht oder nur eingeschränkt möglich wäre. Das Rastertunnelmikroskop (RTM) kann über den Tunneleffekt die Oberflächenstruktur von leitenden Materialien, z. B. von Graphit oder Gold, auf atomarer Ebene visualisieren. Um die aufgenommenen Kristallstrukturen zu interpretieren, kann das Orbitalmodell verwendet werden. Somit bietet das RTM eine einzigartige Möglichkeit, sowohl physikalische Phänomene im Quantenbereich als auch Modelle zu deren Beschreibung zu thematisieren und experimentell zu begleiten. Aktuell wird das RTM in der Schule – wenn überhaupt – nur theoretisch behandelt. Gründe dafür sind neben dem hohen Anschaffungspreis die zeitaufwendige Durchführung und die Fehleranfälligkeit aufgrund von äußeren Einflüssen. Somit eröffnet die Realisierung des RTM als virtuelles Versuchslabor ein innovatives Experimentierumfeld, in dem sich Lernende eigenständig mit dieser hochmodernen Thematik beschäftigen und die Quantenwelt im Bereich der Atome entdecken können. Der Beitrag stellt die Konzeption des RTM als VRE vor.

1. Einführung und Motivation

Die an der Johannes Gutenberg-Universität (JGU) Mainz entwickelten Virtual-Reality-Experimente (VRE) stellen realistische 3D-Simulationen naturwissenschaftlicher Versuche für den Einsatz zum eigenständigen Experimentieren im Schul- und Hochschulbereich dar. Dabei werden gleichermaßen historische wie auch moderne Schlüsselexperimente umgesetzt, die einen bedeutenden Stellenwert in der Entwicklung der Wissenschaft, in der Vermittlung oder in der Anwendung einnehmen, die aber nicht als Realexperiment verfügbar sind. Gründe hierfür können etwa in spezifischen Gefahrenpotentialen, im experimentellen Aufwand oder im Preis liegen. VRE fördern dabei ganz explizit die experimentellen Möglichkeiten in der Ausbildung in Schule, Hochschule und Erwachsenenbildung. Zudem schaffen sie durch ihre digitale Verfügbarkeit eine große Vielfalt im Einsatz. Direkte Partizipation der Lernenden in allen Lehr-Lern-Situationen vom angeleiteten bis zum freien Experimentieren oder sogar als Hausaufgabe bzw. im Flipped Classroom wird möglich.

Das Rastertunnelmikroskop (RTM) ist ein wesentliches Instrumentarium der modernen Festkörperphysik, das Einblicke in die Nanowelt vermitteln kann und dazu grundlegende quantenmechanische Phänomene verwendet. Es kann über Nutzung des Tunneleffekts die Oberflächenstruktur leitender Materialien bis zur atomaren Dimension visualisieren. Als typisches Beispiel werden Graphit oder Gold untersucht. Auf Grund seiner hohen Bedeutung für Wissenschaft und Anwendung im Bereich der Nanowelt und der faszinierenden darin enthaltenen Physik ist es ein

hochspannendes und sehr lohnendes Experimentierobjekt, um Phänomene im Quantenbereich als auch Modelle zu deren Beschreibung zu thematisieren und experimentell zu erarbeiten. Eine detaillierte Anregung für eine didaktische Begleitung, speziell ausgelegt für die Hochschullehre, findet sich z. B. in Penner et al. (2015). In der Schule wird das RTM – wenn überhaupt – fast ausschließlich theoretisch behandelt. Aber auch hier finden sich einige Unterrichts Anregungen im Bereich der Erkundung der Nanowelt in Physik und Chemie (Bappert et al., 2010, Guggisberger, 2002, Fiedler, 2008). Aufgrund des hohen Anschaffungspreises eines Demonstrationsgeräts, der kniffligen und zeitaufwendigen Experimentdurchführung und der hohen Störanfälligkeit aufgrund bereits kleinster ungünstiger Einflüsse beim Experimentieren durch Schwingungen oder Temperaturschwankungen findet hier jedoch kein experimenteller Unterricht statt.

Somit eröffnet die Realisierung des RTM als virtuelles Versuchslabor ein innovatives Experimentierumfeld, in dem sich Lernende eigenständig mit der hochmodernen Thematik beschäftigen und die Phänomene im Bereich der Atome und die speziellen Quanteneigenschaften entdecken können.

2. Theoretische Grundlagen

Die Funktionsweise des RTM beruht auf dem Tunneleffekt. Dieses Phänomen basiert darauf, dass Objekte der Quantenwelt eine Potentialbarriere mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit auch dann überwinden können, wenn ihre Energie dazu „eigentlich“ nicht ausreicht. In diesem Fall sind die Quantenpartikel die

Elektronen, die die Barriere zwischen der Messspitze und der zu untersuchenden Oberfläche überwinden. Die Ursache für das „Tunneln“ findet sich in den quantenmechanischen Welleneigenschaften jedes Partikels, die die klassische Physik nicht erklären kann. Eine ausführliche mathematische Beschreibung des Tunneleffekts in einer Dimension findet sich z. B. in Demtröder (2014).

Im RTM wird der Tunnelstrom zwischen der Messspitze und der leitenden Oberfläche des Targetmaterials als Messgröße aufgenommen, der je nach Oberflächenprofil der Probe schwankt. Bei einer „idealen“ Spitze sind diese Schwankungen proportional zu der lokalen Elektronendichte der Kristallstruktur an der Oberfläche, die damit zweidimensional mit unterschiedlicher Auflösung über größere oder kleinere Flächen abgerastert werden kann. Hierzu wird der Tunnelstrom über eine Regelung konstant gehalten und bei lateraler Abrasterung der Oberfläche die dazu notwendige vertikale Verschiebung der Messspitze aufgezeichnet. Um die entstandenen Aufnahmen korrekt interpretieren zu können, ist eine theoretische Betrachtung der zu erwartenden Strukturen und ihrer Manifestation in der Elektronendichte unerlässlich, was qualitativ bereits im einfachen Orbitalmodell recht gut gelingt. Dazu sollen die beiden Kristallstrukturen der Probenmaterialien Gold und Graphit betrachtet und dabei sowohl laterale Dimensionen auf der Oberfläche als auch die elektronische Struktur verdeutlicht werden.

2.1. Kristallstruktur von Gold

Die Elektronenkonfiguration von Gold mit der Ordnungszahl 79 ist $[\text{Xe}] 4f^{14} 5d^{10} 6s^1$, es besitzt also äußere Schalen ein vollbesetztes d- und f-Orbital, während das kugelförmige s-Orbital einfach besetzt ist. Dies ist die energetisch günstigste Konfiguration, aufgrund derer Gold in einer einfachen kubisch-flächenzentrierten (fcc) Kristallstruktur kristallisiert. Diese dichteste mögliche Kugelpackung ist die Anordnung von kugelförmigen Atomen mit kleinstmöglichen Zwischenräumen. Wird Gold an unterschiedlichen Achsen geschnitten, entstehen dabei verschiedene Oberflächenstrukturen. Abbildung 1 zeigt die Oberflächenstruktur einer sogenannten Gold (111)-Probe in einem Kugelmodell.

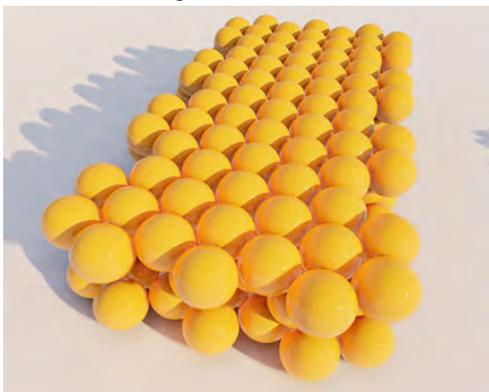


Abb.1: Atome in Gold bei einer (111) Anordnung

Für das fcc-Gitter ist aus der Literatur ein Gitterparameter von $a = 0,41 \text{ nm}$ bekannt, aus dem sich für das fcc-Gitter die Bindungslänge zu

$$l = \frac{\sqrt{2}}{2} a = 0,29 \text{ nm}$$

bestimmen läßt. Die Auflösung dieser Struktur im RTM erweist sich aufgrund vielfältiger Gitterfehler und des geringen Kontrasts als schwierig.

2.2. Kristallstruktur von Graphit

Kohlenstoff ist ein Element der vierten Hauptgruppe und hat die Ordnungszahl 6. Nach dem Orbitalmodell besetzen zwei Elektronen fest gebunden das 1s-Orbital, die anderen vier Elektronen sind Valenzelektronen. Zwei Elektronen sind im 2s-Orbital angeordnet, die beiden übrigen Elektronen verteilen sich auf zwei Orbitale der drei p-Orbitale p_x , p_y , p_z . Das s-Orbital und die p-Orbitale können in unterschiedlicher Weise miteinander „hybridisieren“, d. h. zu gemeinsamen Niveaus verschmelzen, was zu verschiedenen Darstellungsformen von Kohlenstoff und zu unterschiedlichen Bindungsformen führt. In reinem Kohlenstoff finden sich dabei kovalente Bindungen von jeweils zwei Elektronen der benachbarten Atome, die weder ionischen noch metallischen Charakter haben. Die vollständige sp^3 -Hybridisierung findet sich in Diamant als ein Gitter mit symmetrischer hochstabiler Tetraederform mit starken σ -Bindungen.

Nimmt eines der p-Orbitale an der Hybridisierung nicht teil, entsteht über die sp^2 -Hybridisierung eine Ausrichtung der σ -Bindungen in einer Ebene mit 120° -Winkeln zwischen den Orbitalen, zu denen das verbliebene p-Orbital senkrecht steht und eine deutlich schwächer π -Bindung eingeht (Gross et al., 2014). Dies führt zur Struktur von Graphit mit einzelnen monoatomaren Lagen aus regelmäßigen sechseckigen Ringen mit einem Durchmesser von $d = 0,288 \text{ nm}$, sodass sich eine Bindungslänge in der Schicht von $l = 0,142 \text{ nm}$ ergibt. Über schwache π -Bindungen werden die Lagen in einer sog. ABA-Stapelung übereinander mit einer Bindungslänge von $l = 0,335 \text{ nm}$ angeordnet. Jeweils die zweite Ebene ist gegen die erste Ebene um den Radius des Sechsecks versetzt; die dritte Ebene ist wiederum identisch mit der ersten Ebene. Alle Ebenen können leicht gegeneinander verschoben werden.

Die Anordnung ist in Abbildung 2 stark vereinfacht in einem Kugelmodell visualisiert. Die weiß dargestellten Kohlenstoffatome besitzen einen direkten Nachbarn in der darunterliegenden Schicht, die schwarz gefärbten Atome nicht. Das senkrecht auf der Oberfläche stehende p_z -Orbital ist daher entweder nach unten (weiß, wenn das Atom einen direkten Nachbarn in der zweiten Ebene hat) bzw. nach oben gerichtet (schwarz, wenn der Nachbar fehlt). Die Ausrichtung des p-Orbitals in einem Sechsering wechselt sich somit ab und die Elektronendichte variiert stark. Diese Struktur lässt sich sehr gut im RTM visualisieren. Für Graphit muss die Darstellung im

Kugelmodell hingegen mit Bedacht verwendet werden, da hier die Orbitalstruktur komplett vernachlässigt und nur über Farbe dargestellt wird. Zudem muss der große Abstand der Lagen künstlich erzeugt werden.

3. Entwicklung des VRE zum RTM

Als konzeptioneller Ausgangspunkt eines jeden Virtual-Reality-Experiments (VRE) dient ganz bewusst das entsprechende Realexperiment.

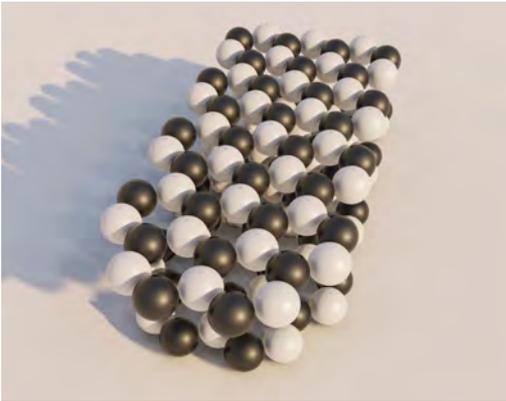


Abb.2: Stark vereinfachte Visualisierung der Atomstruktur in Graphit als schwarze und weiße Kugeln

Das ausführliche „reale“ Experimentieren daran ist eine essenzielle Voraussetzung zur Entwicklung eines VRE, damit es die realen Bedingungen möglichst detailgetreu und wirklichkeitsnah widerspiegeln kann. Hierzu erfolgen zudem eine ausführliche Evaluierung und eine didaktische Reflexion des Realexperiments, wobei alle Aspekte des Versuchs (Vorbereitung, Aufbau, Versuchsdurchführung und Auswertung) betrachtet und in ihrer Bedeutung analysiert werden. Mögliche Fehlerquellen, Limitierungen und Verbesserungsmöglichkeiten werden unter didaktischen Gesichtspunkten bewertet, um sie bei dem VRE möglichst realitätsnah sowie lehrreich um- und einzusetzen.

Aber nicht nur das Experiment selbst und seine Durchführung sind essenziell für eine sinnvolle Umsetzung eines VRE, sondern auch die Aneignung der theoretischen Grundlagen in der Vorbereitung und die Auswertung der aufgenommenen Daten nach Versuchsabschluss sind ausschlaggebend für den Erfolg. Mit der Berücksichtigung dieser Aspekte geht die Konzeption des VRE damit weit über eine einfache Simulation hinaus, weshalb auch der Ausgestaltung des virtuellen Experimentierraums als ansprechender Umgebung rund um das Experiment Bedeutung zukommt.

3.1. Das Realexperiment des RTM

Im konkreten Experiment am Rastertunnelmikroskop werden mithilfe einer selbst erstellten Messspitze die unterschiedlichen atomaren Strukturen der Oberflächen von Gold und Graphit aufgenommen und visuell ausgegeben. Als Ausgangspunkt des VRE wurde sich dazu für das kommerziell erhältliche „Compact

STM“ Rastertunnelmikroskop des Lehrmittelherstellers „Phywe“ entschieden, das auf einem analytischen Instrument aus der Forschung basiert. Das Realexperiment besteht aus der kompakten Anordnung des Rastertunnelmikroskopaufbaus auf einer etwa 20 cm x 20 cm x 3 cm großen Marmorplatte, die auf Schwingungsdämpfern ruht und mit einer Glasabdeckung mit integrierter Lupe ausgestattet ist. Zur Erstellung der Abtastspitze werden als Werkzeuge und Materialien eine Flachzange, ein Seitenschneider, eine Pinzette und Platin-Iridium-Draht bereitgestellt. Zudem werden ein Laptop mit der Ansteuersoftware, der Probenhalter und die zu untersuchenden Proben benötigt; in diesem Fall Graphit- bzw. Goldfolien, die auf Probenhalter aufgeklebt sind.

Nachdem das Gerät in Betrieb genommen und die vorinstallierte Messsoftware „measure nano“ in den Messmodus gebracht wurde, wird als ein wesentlicher Punkt der Experimentiertätigkeit die Messspitze hergestellt. Dazu werden die Schneiden des Seitenschneiders sowie die Flachzange und die Pinzette mit Ethanol gereinigt, um Verschmutzungen zu entfernen und damit die Qualität der Spitze und ihre Funktion zur Messwertaufnahme zu verbessern. Im nächsten Schritt wird der Draht mit der Flachzange festgehalten und knapp oberhalb der Flachzange die Messspitze mit dem Seitenschneider abgeschnitten. Dabei wird nicht wirklich geschnitten, sondern ein Drahtstück mit einer schnellen Bewegung des Seitenschneiders unter möglichst spitzem Winkel und unter Zug abgerissen, wodurch eine optimale Spitzenform erreicht werden kann, was leider nicht immer gelingt. Die Spitze wird anschließend vorsichtig in den Spitzenhalter eingesetzt, so dass sie ca. 1–2 mm hinausragt, und entsprechend in das RTM eingepasst. Nachfolgend wird die Probe vorbereitet.

Im Gegensatz zur Goldprobe wird die Graphitprobe vor der Messwertaufnahme vorbehandelt und von Oxidlagen gereinigt. Damit soll eine möglichst glatte, wenig verunreinigte Oberfläche erhalten werden, damit die Atomstruktur von Graphit vermessen werden kann. Dazu wird ein Stück handelsüblicher Klebefilm auf die Probenoberfläche geklebt, festgedrückt und wieder abgerissen, wobei die Verunreinigungen mitgenommen werden. Die Probe wird dann mithilfe der Pinzette auf den Probenhalter aufgebracht, der in die vorgegebene Führungsschiene eingelegt wird. Damit ist das RTM für die Messung vorbereitet.

Zuerst wird die Probe grob an die Spitze angenähert, indem der Probenhalter mit der Hand möglichst nah an die Messspitze herangeführt wird, wobei unbedingt vermieden werden muss, dass diese berührt wird, da dies die Spitze zerstören würde. Zudem ist darauf zu achten, dass der Probenhalter so positioniert ist, dass die Spitze auf eine ebene, spiegelnde Fläche der Probe zeigt. Daraufhin wird die Glasabdeckung mit der Lupe auf das RTM gesetzt. Die Lupe wird so ausgerichtet, dass die Spitze des Drahtes sowie die Oberfläche der Probe zu erkennen sind. Die Probe ist gut angenähert, wenn das Spiegelbild der Spitze in

der Probenoberfläche zu sehen ist. Im letzten Schritt wird die Probe mithilfe des Befehls „Approach“ der Messsoftware bis auf wenige Nanometer an die Spitze herangefahren. Dabei zeigen in der Benutzeroberfläche drei Leuchtfelder in rot, gelb und grünen Sondenstatus an, den Abstand zwischen der Spitze und der Probe. Wird eine gelbe Leuchtfeld angezeigt, ist die Spitze zu weit entfernt für eine Messung und eine weitere Annäherung ist nötig. Wird eine rote Leuchtfeld angezeigt, wurde eine direkte Berührung erzeugt, wodurch die Spitze vermutlich zerstört ist, sodass diese ersetzt und die Prozedur neu gestartet werden muss. Ist der grüne Status erreicht, kann die Messung der Struktur einer ausgewählten Fläche über zweidimensionales Abrastern gestartet werden. Hierbei wird der Bereich mit den Befehlen „Full“, „Zoom“ und „Move“ und mit der Parameter eingabe ausgewählt. Es wird in einem Grobbereich von $0,5\ \mu\text{m} \times 0,5\ \mu\text{m}$ („Full“) begonnen, der nachfolgend über eine graphische Auswahl („Zoom“) verkleinert werden kann. Dabei muss auf Stufen und sog. „Terrassen“, d. h. auf hochstehende Bereiche, geachtet werden. Die Topographie der vermessenen Fläche wird dabei für die jeweils durchlaufene horizontale Linie (schwarzer Pfeil) quantitativ in einem zweiten Fenster bzw. qualitativ als Balken am rechten Bildrahmen angegeben, wie in Abbildung 3 gezeigt wird.

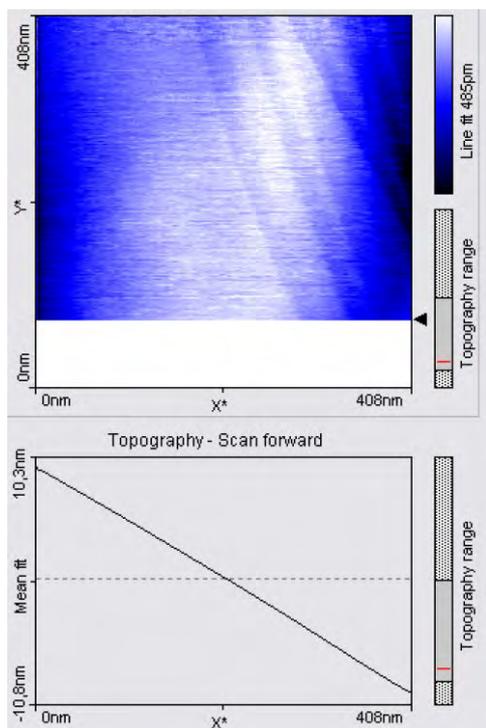


Abb.3: Topographie der aufgezeichneten x-Linie (Pfeil) während der RTM-Aufnahme, Graphit, Auflösung $0,4\ \mu\text{m} \times 0,4\ \mu\text{m}$

In der Aufnahme selbst sind mehrere durch leicht schräg verlaufende Linien begrenzte Bereiche zu erkennen, innerhalb derer der Farbverlauf weitgehend monochrom ist und sich nur langsam ändert. Inner-

halb eines solchen Bereiches kann die Graphitoberfläche bis zu atomarer Skala aufgelöst werden. Die Farbwechsel zeigen Übergänge zwischen zwei Graphitschichten an.

Von besonderer Bedeutung ist die Überprüfung von Qualität und Reinheit der Oberfläche, wie an einem Negativbeispiel einer staubigen Probe in Abbildung 4 gezeigt wird.

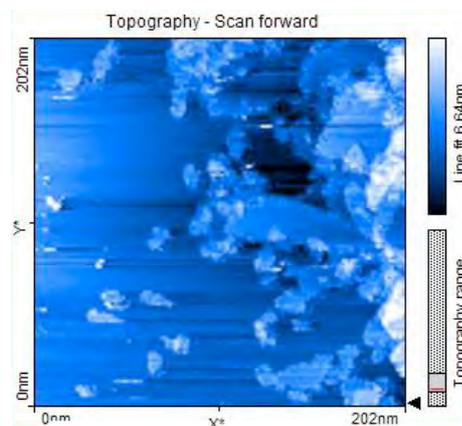


Abb.4: Staub auf einer Graphitoberfläche, RTM-Aufnahme mit Auflösung von $200\ \text{nm} \times 200\ \text{nm}$

Darüber hinaus kann ein eindrucksvolles dreidimensionales Profilbild erstellt werden, wie es in Abbildung 5 zu sehen ist.

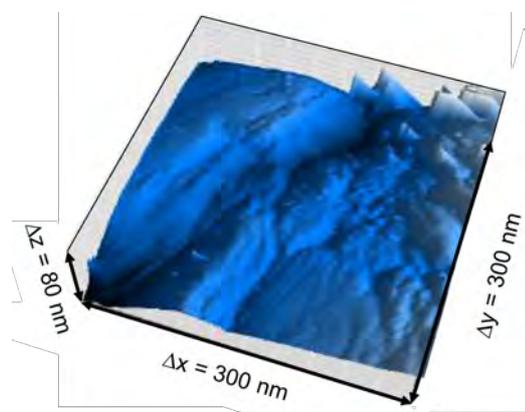


Abb.5: Dreidimensionales Profilbild einer RTM-Aufnahme, Gold mit Auflösung von $300\ \text{nm} \times 300\ \text{nm}$

Der Kreativität der experimentierenden Person stehen damit viele Möglichkeiten der Oberflächenanalyse offen, etwa um Höhenprofile und Strukturen detailliert zu analysieren, interessante Schnitte zu erstellen oder einen ebenen Bereich der Probe auszuwählen. Die Auflösung kann weiter vergrößert werden, um atomare Dimensionen zu erreichen. Hierbei sind die Analyse und die Darstellung eines kleinstmöglichen Bereichs von $1\ \text{nm} \times 1\ \text{nm}$ möglich. Beim Experimentieren ist zudem darauf zu achten, dass die Spitze im Verlauf der Messung durch Unachtsamkeit oder durch eine unebene Messoberfläche beim Abrastern auch nicht schräg oder seitlich in die Strukturen der Probe gerammt wird. Dabei wird die Spitze unwei-

gerlich beschädigt, sodass wiederum eine neue Messspitze hergestellt werden muss. Auch akustische Schwingungen, Vibrationen oder thermische Drifts verschlechtern die Qualität der Bilder und müssen beim Realexperiment vermieden werden.

3.2. Untersuchung von Kristallstrukturen durch das RTM

Bei hochauflösenden Messungen mit dem RTM im Bereich des Atomdurchmessers bzw. des Kristallgitters wird oftmals zuerst eine Graphitprobe untersucht, anhand deren markanter Struktur die Auflösung und die Qualität der Aufnahme überprüft werden. Als weiterer Grund für eine bevorzugte Nutzung von Graphit kommt hinzu, dass dessen Oberfläche leicht gereinigt bzw. präpariert werden kann, wodurch „staubige“ Aufnahmen, wie sie in Abb.4 gezeigt wird, verhindert werden können und störende Schichtübergänge aufgrund der großen Schichtebenenabstände und geradlinigen Kanten zu erkennen und zu interpretieren sind (Niimi et al., 2006).

3.3. Auswertung

Der zentrale Punkt bei Messungen mit dem RTM in atomarer Auflösung ist die Interpretation der aufgenommenen Bilder. Im folgenden Kapitel werden dazu die RTM-Aufnahmen einer Gold- und einer Graphitprobe analysiert.

3.3.1. Graphit

Um die Kristallstruktur einer Graphit-Oberfläche sichtbar zu machen, wird ein monochromatischer Bereich ausgewählt (in dieser Messreihe ist das der Bereich zwischen den Schichtübergängen in der oberen Bildhälfte von Abbildung 3) und die Auflösung sukzessive erhöht. Die in Abbildung 6 dargestellte Aufnahme, worin eine atomare Struktur zu erkennen ist, zeigt die Kristallstruktur von Graphit leicht verkippt in einem 1 nm x 1 nm großen Ausschnitt.

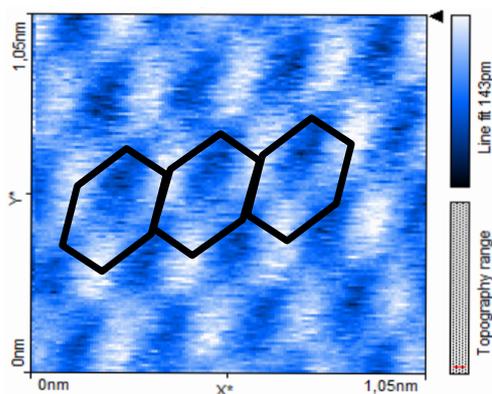


Abb.6: Graphitoberfläche in atomarer Auflösung von 1 nm x 1 nm

Dabei bildet sich eine hexagonale Gitterstruktur aus, wobei jeweils drei Kohlenstoffatome eine hohe Elektronendichte (weiß) und drei Kohlenstoffatome aufgrund des Nachbarn in der darunterliegenden Schicht eine niedrige Elektronendichte (schwarz) zeigen. Zur

Visualisierung sind drei benachbarte Strukturen eingezeichnet. Der Abstand zwischen den einzelnen Maxima und Minima liegt im erwarteten Bereich der Bindungslänge von $l = 0.142$ nm und erscheint dabei aufgrund der Verkippung der Oberfläche geringfügig vergrößert. Aus der topographischen Aufnahme von Abbildung 7 kann zudem die Höhendifferenz zwischen den „Löchern“ (schwarz) und den Maxima (weiß) entnommen werden. Der Wert beträgt in dieser Messung durchschnittlich 0,09 nm in guter Übereinstimmung mit der theoretischen Erwartung von 0,1 nm (Selloni et al., 1985).

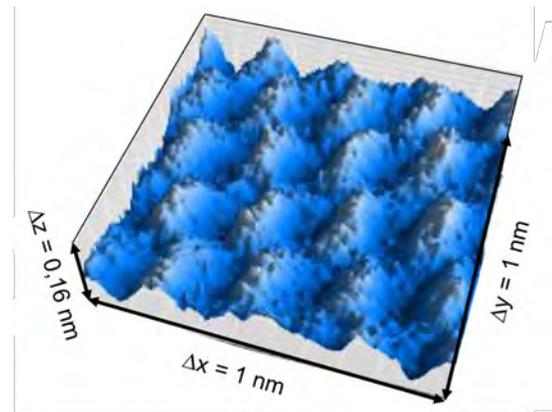


Abb.7: Topografie der Graphitoberfläche in atomarer Auflösung von 1 nm x 1 nm

3.3.2. Gold

Für die Aufnahme einer Gold (111)-Oberfläche wurde zuerst ein großer Bereich von 300 nm x 300 nm aufgenommen, welcher dann sukzessive verkleinert wurde. Die Abbildung zeigt einen interessanten Ausschnitt der Probenoberfläche mit vielfältigen erkennbaren Plateaus und Spalten. Die Höhendifferenz zwischen dem Plateau oben links und der angrenzenden dunklen Spalte beträgt dabei etwa 50 nm. Da die Höhe eines Schichtübergangs in Gold 0,249 nm beträgt, sind somit in der Aufnahme etwa 200 Atomlagen zu sehen. Mit dem verwendeten RTM kann bis auf 10 nm x 10 nm an die unebene Goldoberfläche herangezoomt werden. Dies reicht nicht aus, um die atomare Struktur aufzulösen. Ein Ausschnitt von 30 nm x 30 nm ist topografisch in Abbildung 8 gezeigt. Neben der hier vorgestellten Durchführung und Auswertung nimmt in der schulischen Experimentierumgebung die Kennlernphase des RTM viel Zeit in Anspruch. Diese Phase wird beim didaktisch konzipierten RTM verkürzt (Penner et al., 2015). Dieser Effekt wird bei der Anwendung des VRE verstärkt. Komplikationen des Realexperiments werden vollständig umgangen. Somit ist der gesamte Prozess deutlich weniger zeitintensiv und die Handhabung für Lernende maßgeblich intuitiver.

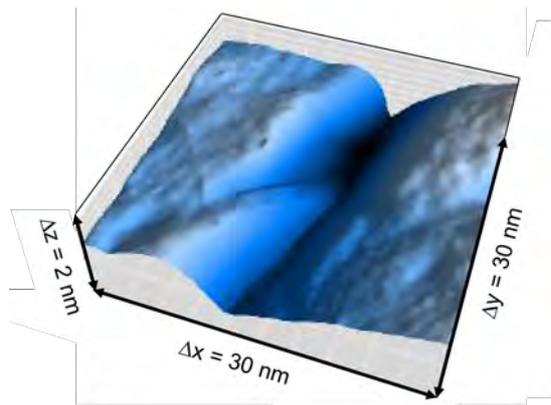


Abb.8: RTM-Aufnahme einer Gold (111)-Probe, Scangröße 30 nm x 30 nm

4. Konzeption des virtuellen Raumes

Im VRE sind der Aufbau und der Ablauf des Experiments nah am Realexperiment angelehnt (s. Abb.9). Zur Messwertaufnahme wird im VRE ein Tablet simuliert, welches über Bluetooth mit dem virtuellen RTM verbunden ist.

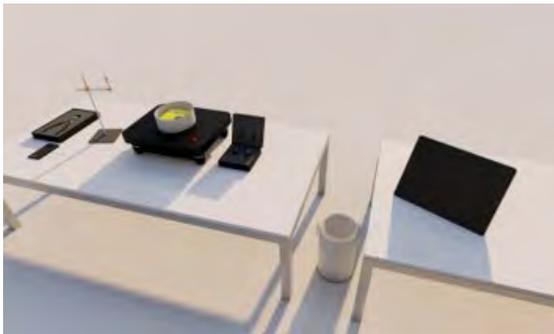


Abb.9: Visualisierung des Aufbaus des RTM als VRE

Einen zentralen Punkt im Realexperiment stellt die Spitzenpräparation dar, weshalb diesem Schritt in der Experimentdurchführung im VRE ebenfalls hohe Aufmerksamkeit gewidmet wird. Das Vorgehen weicht geringfügig vom Realexperiment ab. Im konzipierten VRE wird der Draht, aus dem die Spitze gestaltet wird, in eine Haltevorrichtung eingelegt und dann unter Nutzung des virtuell nachgestellten Seitenschneiders geeignet abgetrennt.

Hierbei entscheidet analog zum Realexperiment die Ausrichtung wie auch die Geschwindigkeit der Bewegung beim Abreißen über die Qualität der erzeugten Spitze (s. Abb.10).

Anschließend wird der Draht zum RTM gezogen und dort in der richtigen Position eingesetzt, wobei didaktisch motivierte Vereinfachungen eingeführt wurden: (1) Das Einsetzen geschieht nicht wie im Realexperiment mit einer Pinzette, sondern erfolgt händisch, (2) die Proben befinden sich jeweils bereits auf einem Probenhalter, (3) auf die Reinigung der Graphitprobe mit Klebeband wurde verzichtet, (4) der ausgewählte Probenhalter springt automatisch an die richtige Stelle im RTM. Für die Annäherung der Probe an die

Spitze wurde im VRE eine Kamera statt einer wie im Realexperiment verwendeten Lupe vorgesehen, die das Bild von Spitze und Probe auf dem Tablet vergrößert dargestellt. Damit kann die gesamte Annäherung über das Tablet gesteuert und kontrolliert werden. Wie im Realexperiment können nachfolgend bei erreichter Messeinstellung, die durch eine grüne Anzeige kenntlich wird, abhängig von der Qualität der selbstgefertigten Spitze gute oder schlechte Bilder aufgenommen werden. Dabei kann zusätzlich eine vorgefertigte optimale Spitze ausgewählt und eingesetzt werden, damit gute Messergebnisse erzielt werden. Die Bedienoberfläche der Messsoftware „measure nano“ wurde im VRE geringfügig modifiziert und von Details, die in der didaktischen Nutzung nicht benötigt werden, befreit. Notwendige Bedienelemente und Eingaben wurden hingegen hervorgehoben und auf Deutsch beschriftet.

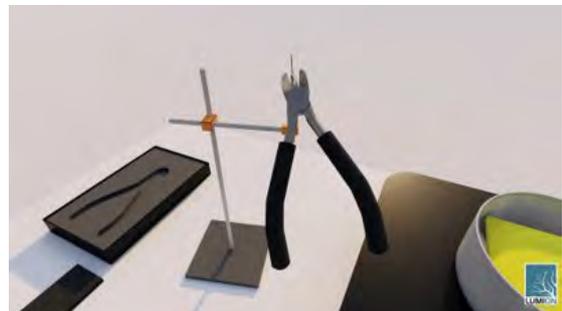


Abb.10: Präparation der Messspitze aus dem Draht mit dem Seitenschneider an der Haltevorrichtung

5. Konzeption der Simulation

Die Computersimulation der Messergebnisse stellt den programmiertechnisch zentralen Aspekt des VRE dar, die künstlich im VRE erzeugten Oberflächen von Graphit oder Gold. Hierzu wurden nicht einfach Realaufnahmen von Oberflächen eingespeichert, die abgerufen werden, sondern numerische Simulationen des Tunnelstroms für jeweils neue hypothetisch erstellte Oberflächen wurden berechnet.

Daraus können realitätsnahe Abbildungen für beliebige Vergrößerungen erzeugt und graphisch präsentiert werden. Besondere Aufmerksamkeit wurde dabei im Rahmen der numerischen Simulation dem Bereich der atomaren Struktur der Graphitoberfläche gewidmet.

Dem theoretischen Modell von Kobayashi und Tsukada (1989) folgend wurde die Messspitze als Wasserstoffmolekül angenommen, wobei bindende und antibindende H_2 -Orbitale berücksichtigt werden. Der Tunnelleitwert, der Kehrwert des Tunnelwiderstandes, wird mit der LCAO-Methode bestimmt; es ergibt sich für die Graphitoberfläche:

$$\frac{dI}{dV} \propto S \pm J$$

mit den Parametern

$$S = 3 + 2 \cos\left(\frac{x_0}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2}y_0\right) \cos\left(\frac{d_x}{4} + \frac{\sqrt{3}}{4}d_y\right) + 2 \cos\left(\frac{x_0}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2}y_0\right) \cos\left(\frac{d_x}{4} - \frac{\sqrt{3}}{4}d_y\right) + 2 \cos(x_0) \cos\left(\frac{d_x}{2}\right),$$

$$J = 2 \cos\left(\frac{d_x}{2}\right) \cos\left(\frac{\sqrt{3}}{6}d_y\right) + \cos\left(\frac{2\sqrt{3}}{3}d_y\right) + 2 \cos\left(\frac{x_0}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2}y_0\right) \cos\left(\frac{d_x}{4} - \frac{\sqrt{3}}{12}d_y\right) + 2 \cos\left(\frac{x_0}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2}y_0\right) \cos\left(\frac{d_x}{4} + \frac{\sqrt{3}}{12}d_y\right) + 2 \cos(x_0) \cos\left(\frac{\sqrt{3}}{6}d_y\right).$$

Dabei stehen + für das bindende und – für das anti-bindende Spitzenorbital. Der Term S entspricht der Summe der Anteile, die jedes Atom individuell beiträgt. Der Term J berücksichtigt die Interferenz zwischen den Beiträgen der beiden Spitzenatome. (x_0, y_0) bezeichnet das Zentrum eines Wasserstoffkerns. (d_x, d_y) beschreibt ausgehend vom ersten Atom die Verschiebung des zweiten Atoms. Mittels dieser Formel wird ein idealisiertes Bild der Graphitkristallstruktur erzeugt, wie in Abbildung 11 dargestellt ist. Wiederum sind analog zu Abbildung 6 drei Sechseckstrukturen hervorgehoben.

Im Realexperiment wird die Oberfläche üblicherweise nicht ideal abgebildet. Abweichungen liegen in einer Verkippung, in der nichtoptimalen Regelung der Messspitze beim Abrastern der Oberfläche mit konstantem Abstand sowie in statistischem Rauschen. Daher wurde die theoretisch erzeugte Oberfläche analog zum Realversuch verrauscht; sie kann zudem verzerrt werden.

Rauschen wurde über die Einbindung der Funktion eines üblichen PID-Reglers in die Simulation gemäß

$$Y(t) = p \cdot E(t) + i \cdot \int_{t-T_1}^t E(\tau) d\tau + d \cdot \frac{dE(t)}{dt}$$

eingebraucht. Die Stellgröße $Y(t)$, also die Höhenänderung der Spitze über der Oberfläche, wird damit vom Fehlersignal $E(t)$ proportional integriert und differenziert beeinflusst, wobei die Parameter p , i und d sowie die Integrationszeit T_1 geeignet gesetzt werden (Pratzer, 2008). Zusammen mit einem simulierten statistischen Rauschen ergibt sich damit ein realistisches Bild der abgerasterten Oberfläche.

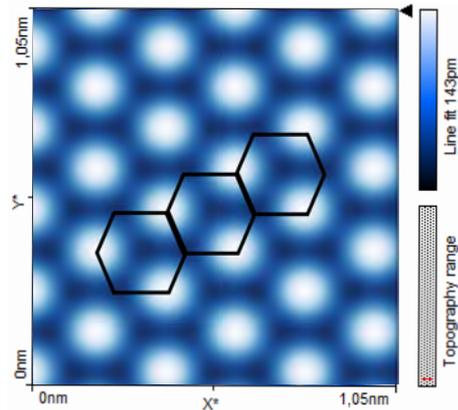


Abb.11: Simulation einer Graphit-Oberfläche mit einem H₂-Molekül als Spitze

Wird nun die Rasterbewegung der Spitze simuliert, tastet diese zeilenweise die Oberfläche ab, misst pro Zeile an mehreren Messpunkten und wendet den PID-Regler an, sodass sich für die Graphitoberfläche das in Abbildung 12 dargestellte Bild ergibt.

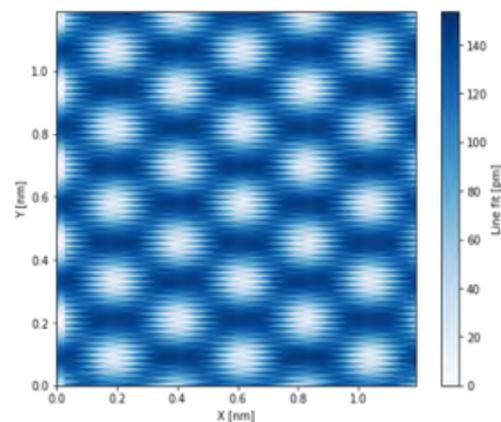


Abb.12: Simulation einer Graphit-Oberfläche unter Verwendung eines PID-Reglers und Rauschens

6. Zusammenfassung und Ausblick

Auf der Basis des Realversuchsaufbaus wurde ein VRE zum Rastertunnelmikroskop erstellt, womit Messungen und Experimente zur Nanowelt innerhalb des schulischen Umfelds möglich werden. Vielfältige didaktische Anregungen dazu können der Literatur entnommen werden. In der Weiterentwicklung des VRE ist die Umsetzung von Gold und anderen Materialien vorgesehen, wozu Theorie und Aufnahmen bereits vorliegen. Interessante Bilder liefert z. B. Wolframsdiselelid, was vom Lehrmittelhersteller Phywe zur Verfügung gestellt wird. Das Anwendungsfeld des RTM als VRE beschränkt sich aktuell auf den primären Bereich der Mikroskopie. Der Bereich der Spektroskopie, der Manipulation von einzelnen Atomen oder der Modifikationen von Oberflächen, der große Visibilität erlangt hat, ist bisher zwar noch ausgegliedert, er soll aber in Zukunft nachgerüstet wer-

den. Die dazu notwendige aufwändige Parametersteuerung ist im Demonstrationsgerät zwar nicht implementiert, sie kann aber in ein spezifisches VRE problemlos eingebaut werden. Die wissenschaftliche Breite und Leistungsfähigkeit des RTM, für dessen Erfindung G. Binnig und H. Rohrer 1986 mit dem Nobelpreis ausgezeichnet wurden, werden darüber hinaus fortwährend weiterentwickelt und mit einer hohen Relevanz in verschiedenen Arbeitsgebieten eingesetzt, was sich über das VRE in die Ausbildung einbringen lässt.

7. Literatur

- Bappert, R., Deurer, T., van der Sand, M., Sigelen, A., (2010). Nano! – Nutzen und Visionen einer neuen Technologie, Technoseum Verlag, Mannheim.
- Demtröder, W. (2016). Experimentalphysik 3: Atome, Moleküle und Festkörper (5. Aufl.). Springer-Lehrbuch. Springer Berlin Heidelberg.
- Fiedler, M., Nano! Nutzen und Visionen einer neuen Technologie, auf <https://www.lehrer-online.de/unterricht/sekundarstufen/naturwissenschaften/chemie/unterrichtseinheit/ue/nano-nutzen-und-visionen-einer-neuen-technologie/>
- Girwidz, R. (2015). Neue Medien und Multimedia. In E. Kircher, R. Girwidz & P. Häußler (Hrsg.), Physikdidaktik (3. Aufl., S. 402–426). Springer.
- Gross, R. & Marx, A. (2014). Festkörperphysik (2. Aufl.). de Gruyter.
- Guggisberg, M., (2002). Nano-World: Portal für Nanowissenschaften. Uni Basel, <https://nanoworld.org/>
- Kobayashi, K. & Tsukada, M. (1989). Effect of Microscopic Tip Electronic State on STM Image of Graphite. *Journal of the Physical Society of Japan*, 58(7), 2238–2241.
- Niimi, Y., Matsu, T., Kambara, H., Tagami, K., Tsukada, M. & Fukuyama, H. (2006). Scanning tunneling microscopy and spectroscopy of the electronic local density of states of graphite surfaces near monoatomic step edges. *Physical Review B*, 73(8), 85421.
- Penner, S., Möst, T., Scheier, P. & Kaleve, A. (2015). Das didaktische Potential der Rastertunnelmikroskopie in der Hochschullehre. *CHEMKON*, 22(1), 15–22.
- Pratzer, M. (2008). Versuch 3: Rastertunnelmikroskop. RWTH Aachen, Aachen.
- Selloni, A., Carnevali, P., Tosatti, E. & Chen, C. D. (1985). Voltage-dependent scanning-tunneling microscopy of a crystal surface: Graphite. *Physical Review B*, 31(4), 2602–2605.

Eine AR-Erweiterung des EPo-Konzepts zu einfachen Stromkreisen

Saskia Rauber*, Jan-Philipp Burde*, Thomas Wilhelm⁺, Martin Hopf^x, Liza Dopatka^o, Verena Spatz^o, Thomas Schubatzky[#], Claudia Haagen-Schützenhöfer[#], Lana Ivanjek[>]

*AG Didaktik der Physik, Eberhard Karls Universität Tübingen, Auf der Morgenstelle 14, 72076 Tübingen;

⁺Institut für Didaktik der Physik, Goethe-Universität Frankfurt, Max-von-Laue-Str. 1, 60438 Frankfurt;

^xÖsterreichisches Kompetenzzentrum für Didaktik der Physik, Universität Wien, Porzellangasse 4, 1090 Wien;

^oInstitut für Physik, Physikdidaktik, Technische Universität Darmstadt, Hochschulstraße 12, 64289 Darmstadt;

[#]Institut für Physik, Physikdidaktik, Karl-Franzens-Universität Graz, Universitätsplatz 5, 8010 Graz;

[>]Didaktik der Physik, TU Dresden, Helmholtzstr. 10, 01069 Dresden;

saskia.rauber@student.uni-tuebingen.de, jan-philipp.burde@uni-tuebingen.de, wilhelm@physik.uni-frankfurt.de, martin.hopf@univie.ac.at, liza.dopatka@physik.tu-darmstadt.de, verena.spatz@physik.tu-darmstadt.de, thomas.schubatzky@uni-graz.at, claudia.haagen@uni-graz.at, lana.ivanjek@tu-dresden.de

Kurzfassung

Augmented Reality (AR) im Physikunterricht hat das Potenzial, die Motivation sowie das konzeptionelle Verständnis der Schülerinnen und Schüler zu fördern. Da Physik bei den meisten Lernenden zu den unbeliebten Schulfächern zählt und besonders in der Elektrizitätslehre viele problematische Schülervorstellungen und Verständnisschwierigkeiten auftreten, kann die Nutzung von AR-Anwendungen in diesem Bereich vorteilhaft sein. Eine Vielzahl der Verständnisschwierigkeiten in der E-Lehre sind auf ein fehlendes qualitatives Spannungskonzept zurückzuführen. Vor diesem Hintergrund wurden zu einer Reihe von Übungsaufgaben der Unterrichtskonzeption „Eine Einführung in die Elektrizitätslehre mit Potential“ (kurz: EPo-Konzept) diverse AR-Modelle von Stromkreisen erstellt. Diese lassen sich unkompliziert mit Hilfe von mobilen Endgeräten über QR-Codes aufrufen und erscheinen anschließend über den Schaltplänen. Da in den AR-Modellen die Spannungsverhältnisse in den Stromkreisen mittels Farbkodierung visualisiert werden, können diese den Schülerinnen und Schülern als Musterlösung dienen. Durch die Darstellung verschiedener Bestandteile des Stromkreises wie Batterie und Lämpchen, kann das AR-Modell den Schülerinnen und Schülern auch dabei helfen, sich zu einem gegebenen Schaltplan einen realen Stromkreis vorzustellen. Im Beitrag wird die AR-Erweiterung des EPo-Konzepts anhand verschiedener 3D-Stromkreismodelle exemplarisch vorgestellt. Außerdem werden ihr Mehrwert sowie ihre Grenzen im Physikunterricht diskutiert.

1. Schülervorstellungen und Verständnisschwierigkeiten in der E-Lehre

Elektrizität und besonders der Begriff des Stroms spielen im Alltag eine große Rolle, sodass viele Schülerinnen und Schüler bereits ein verfestigtes Bild der damit verbundenen Begriffe haben (z. B. „Stromverbrauch“). Häufig sind die aus der Alltagssprache und den Alltagserfahrungen stammenden Schülervorstellungen jedoch aus physikalischer Sicht fehlerhaft, weswegen sie zu Verständnisschwierigkeiten im Physikunterricht führen können (Schecker & Duit, 2018, S. 12).

Weit verbreitet ist z. B. die Stromverbrauchsvorstellung, die auch nach Thematisierung im Unterricht noch häufig als Erklärung herangezogen wird (Shipstone et al., 1988, S. 305; Rhöneck, 1986, S. 10). Des Weiteren hat sich herausgestellt, dass die Batterie von Schülerinnen und Schülern oftmals als konstante Stromquelle angesehen wird, unabhängig davon, an welchen Stromkreis sie angeschlossen ist (Shipstone et al., 1988, S. 307). Dies kann unter anderem daher

rühren, dass sowohl im Alltag als auch im Unterricht vielfach der Begriff der „Stromquelle“ verwendet wird, der die falsche Vorstellung einer konstanten Stromquelle begünstigt. Es sollte im Unterricht also besser der Begriff „Spannungsquelle“ verwendet werden (Wilhelm & Hopf, 2018, S. 122). Zudem besteht das Problem, dass viele Schülerinnen und Schüler nicht richtig zwischen den Begriffen Stromstärke und Spannung unterscheiden können und dazu tendieren, Spannung als eine Eigenschaft der Stromstärke anzusehen und nicht als eigenständige physikalische Größe (Shipstone et al., 1988, S. 307; Rhöneck, 1986, S. 10). Außerdem fällt es vielen Lernenden schwer, den Unterschied zwischen einer Reihen- und Parallelschaltung zu erkennen, weil sie anstatt mit der Spannung oft mit der geometrischen Struktur argumentieren (Duit, 2017, S. 5). Viele Lernende scheitern daran zu erkennen, dass ein Schaltplan nicht die genaue örtliche Anordnung wiedergibt, sondern lediglich vereinfacht die systematische Anordnung der Bauteile widerspiegelt (McDermott & Shaffer,

1992, S. 999). Auf weitere Schwierigkeiten stoßen Schülerinnen und Schüler, wenn sie zu einem gegebenen Schaltbild einen realen Stromkreis aufbauen sollen und umgekehrt (Wilhelm & Hopf, 2018, S. 130).

Insgesamt kristallisiert sich anhand der gerade vorgestellten Schülervorstellungen heraus, dass Verständnisschwierigkeiten durch ein fehlendes qualitatives und eigenständiges Spannungskonzept sowie einen dominierenden Strombegriff begünstigt werden, wie auch Rhöneck darlegt:

Bei vielen Schülern entwickelt sich während des Unterrichts aus einer einfachen Verbrauchsvorstellung eine Vorstellung mit einem übermächtigen Strombegriff, der lokale und sequentielle Argumentationen mit einschließt und nicht durch einen unabhängigen Spannungsbegriff ergänzt wird. (Rhöneck, 1986, S. 13)

Die qualitative Auseinandersetzung mit dem Spannungsbegriff als Differenzgröße kommt jedoch in den meisten Schulbüchern zu kurz (Burde & Wilhelm, 2020, S. 3). Der Fokus in traditionellen Lehransätzen liegt auf dem Stromstärkebegriff, wodurch ein tiefergreifendes Verständnis zwischen den Zusammenhängen der drei Grundgrößen Spannung, Stromstärke und Widerstand eines elektrischen Stromkreises erschwert wird (Rhöneck, 1986, S. 10). Wie die vorherrschenden Schülervorstellungen und daraus resultierenden Verständnisschwierigkeiten dahingegen gezeigt haben, spielt ein qualitatives Verständnis des Spannungsbegriffs eine entscheidende Rolle für ein grundlegendes Verständnis von Stromkreisen und allgemein der E-Lehre.

2. Die grundlegenden Ideen des EPo-Konzepts

Die Unterrichtskonzeption „Eine Einführung in die Elektrizitätslehre mit Potenzial“ (Burde, 2018b; kurz: EPo) wurde mit dem Ziel entwickelt, den Schülerinnen und Schülern im Anfangsunterricht des Schulfachs Physik ein qualitatives, konzeptionelles Verständnis von Stromkreisen zu vermitteln (Burde & Wilhelm, 2020). Dabei liegt der Fokus vor allem auf der Förderung eines qualitativen Spannungskonzepts und der daraus folgenden Bedeutung für den elektrischen Strom. Konkret wird die elektrische Spannung in Analogie zum Luftdruckunterschied als „elektrischer Druckunterschied“ eingeführt. Dieser Ansatz beruht auf dem US-amerikanischen CASTLE-Curriculum (kurz für „Capacitor-Aided System for Teaching and Learning Electricity“) von Steinberg und Wainwright (1993).

Um den Druckunterschied in Schaltplänen zu visualisieren, wird der „elektrische Druck“ mithilfe einer einfachen und intuitiv zugänglichen Farbkodierung anschaulich gemacht (siehe Abb. 1). Das Farbschema basiert auf der alltäglichen Konvention, wie es zum Beispiel bei Wasserhähnen oder Wetterkarten verwendet wird. Denn rot stellt im Alltag oft einen hohen

Wert dar und blau einen niedrigen. Das bedeutet, dass der „hohe elektrische Druck“ rot, der „niedrige elektrische Druck“ blau und der „Normaldruck“ gelb eingefärbt wird (siehe Abb. 1).

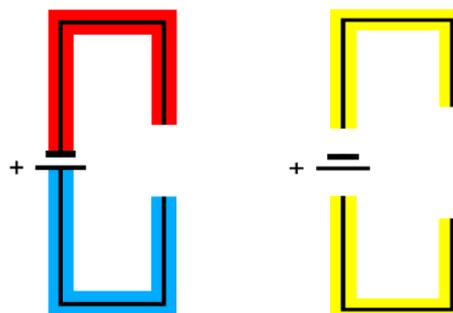


Abb. 1: Farbkodierung des elektrischen Drucks in Schaltplänen. Rot steht für einen „hohen elektrischen Druck“, blau für einen „niedrigen elektrischen Druck“ und gelb für einen „normalen elektrischen Druck“ (Burde, 2018b, S. 7).

Eine empirische Untersuchung mit Schülerinnen und Schülern im Anfangsunterricht hat ergeben, dass ein Unterrichtskonzept auf Basis dieser Ideen zu einem signifikant besseren Verständnis führt ($d = .94$) (Burde, 2018a). Des Weiteren hat sich gezeigt, dass typische Schülervorstellungen weniger stark ausgeprägt sind und vor allem ein besseres Verständnis des Differenzcharakters der elektrischen Spannung erreicht werden konnte (Burde, 2018a).

Insgesamt gibt es im EPo-Konzept viele Übungsaufgaben, die auf der Farbkodierung der unterschiedlichen Potenziale aufbauen (siehe z. B. Burde, 2018b, S. 27). Unterläuft den Lernenden bei der Farbkodierung jedoch ein Fehler, kann die restliche Aufgabe leicht falsch beantwortet werden. Hier kann eine Zwischenlösung, welche die richtige Farbkodierung anzeigt, hilfreich sein, um diesen Fehlern vorzubeugen und autonomes, differenziertes Lernen zu fördern. In Anbetracht dessen und der Tatsache, dass das Fach Physik zu den unbeliebtesten Schulfächern zählt (Muckenfuß, 2006, S. 76), bietet es sich an, das Unterrichtskonzept mit Augmented Reality (kurz: AR) zu erweitern, um das Interesse der Lernenden einzufangen.

3. Chancen von Augmented Reality im Physikunterricht

Unter „Augmented Reality“ (dt. erweiterte Realität) werden alle Anwendungen verstanden, durch welche die reale Umgebung mithilfe von virtuellen Objekten erweitert wird (Milgram & Kishino, 1994, S. 1326). Dies erfolgt zumeist, indem die Kamera eines mobilen Endgeräts auf die zu augmentierende Stelle gerichtet wird und die augmentierten Objekte dann auf dem Bildschirm des Geräts erscheinen. Wird das mobile Endgerät bewegt, bleiben die virtuellen Objekte auf ihrer zugewiesenen Position und die neu gestaltete Umgebung kann aus einem anderen Blickwinkel betrachtet werden (Teichrew & Erb, 2020, S. 2). Somit ist AR von Virtual Reality (VR) abzugrenzen, bei

welcher die beobachtende Person komplett in eine virtuelle Welt eintaucht und mit ihr interagieren kann; das heißt, es gibt in einer VR-Umgebung keine realen Elemente mehr (ebd.).

Indem bei AR (im Gegensatz zu VR) die reale Umgebung mit virtuellen Elementen erweitert wird, können zum Beispiel nicht-beobachtbare Inhalte zusätzlich sichtbar gemacht werden (Wu, Lee, Chang & Liang, 2013). So kann ein Mehrwert einer AR-Erweiterung im Physikunterricht sein, dass Experimente mit zusätzlichen Informationen und Darstellungen überlagert und verknüpft werden können, die nicht sichtbar, aber wichtig für das Verständnis sind. Die Möglichkeit, Modellvorstellungen zu visualisieren, unterstützt die Schülerinnen und Schüler im Denken in Form von Analogien (Kauertz, Löffler & Fischer, 2015, S. 472). Ein weiterer möglicher Mehrwert von AR ist, dass AR-Anwendungen in Form von (gestuften) Lernhilfen zur inneren Differenzierung im Unterricht eingesetzt werden können (ebd.), da zum Beispiel Musterlösungen einer Übungsaufgabe virtuell eingeblendet werden können und es den Lernenden so ermöglicht wird, in ihrem eigenen Tempo zu arbeiten. Auch in Bezug auf das Autonomieerleben können AR-Anwendungen förderlich wirken, da die Lernenden selbst entscheiden können, wann und in welchem Umfang sie die AR-Anwendung nutzen (Spanhel, 2020, S. 65).

Jedoch kann die Implementierung von AR auch negative Aspekte mit sich bringen. Zum Beispiel können Anwendungsprobleme auftauchen, wenn die Anwendungsoberflächen nicht intuitiv gestaltet sind oder bei den Lernenden digitale Kompetenzen fehlen (Schmid et al., 2018, S. 225). In Hinblick auf die Cognitive load theory nach Chandler und Sweller (1991) kann es zudem passieren, dass die Schülerinnen und Schüler mit dem AR-Angebot überfordert sind oder aufgrund von Flüchtigkeit und einer Vielzahl von Darstellungen wichtige Informationen nicht wahrnehmen (Girwidz & Hoyer, 2021, S. 20).

Auch wenn es mittlerweile einige Studien zur Frage gibt, inwiefern AR den Unterricht bereichern kann, ist die Befundlage insgesamt unklar. Dies liegt unter anderem daran, dass die Studien widersprüchliche Ergebnisse aufweisen (vgl. z. B. Radu, 2014; Thees et al., 2020). In einer Meta-Studie analysierte Radu (2014) verschiedene Untersuchungen zu AR, um herauszufinden, inwiefern sich Unterricht mit AR von Unterricht ohne AR unterscheidet. Als Vorteile von AR stellten sich in dieser Meta-Studie vor allem ein erhöhtes konzeptionelles, inhaltliches und räumliches Verständnis, eine vertiefte Speicherung im Langzeitgedächtnis, verbesserte Zusammenarbeit unter den Lernenden sowie eine erhöhte Motivation im Vergleich zu anderen Medien wie Büchern, Videos oder PC-Desktop-Anwendungen heraus (ebd., S. 1534-1536). Als negative Effekte von AR zeigte sich unter anderem die Gefahr, dass die Lernenden sich zu sehr auf die AR-Anwendung konzentrieren und deswegen

andere wichtige Aspekte der Lerneinheit nicht wahrnehmen oder nicht in der Lage sind, Gruppenarbeiten auszuführen (ebd., S. 1356). Auch wenn viele Schülerinnen und Schüler die AR-Anwendungen interessanter finden als andere Anwendungen, fällt ihnen die Bedienung oft schwerer als bei anderen Medien (ebd., S. 1537).

In einer weiteren Studie zu AR im wissenschaftlichen Unterricht verglichen Sotiriou und Bogner (2008) die Lernleistung und Motivation von Schülerinnen und Schülern, welche entweder mit oder ohne AR-Unterrichtskonzept unterrichtet wurden. Ein Ergebnis war, dass das Wissen der Gruppe mit AR-Anwendungen signifikant besser war als das der Kontrollgruppe und die AR-Anwendungen vor allem dabei halfen, Fehlvorstellungen zu korrigieren (ebd., S. 119). Ein weiteres wichtiges Ergebnis bestand darin, dass die Lernenden wegen der innovativen Technik und den Visualisierungen mehr Interesse und Motivation in Bezug auf das Lernthema hatten, was zum Beispiel dadurch deutlich wurde, dass in der Experimentalgruppe doppelt so viele Lernende Fragen stellten als in der Kontrollgruppe (ebd.). Jedoch ist zu betonen, dass die Interessens- und Motivationssteigerung auch oftmals durch den „Neuheitseffekt“ ausgelöst wird und deshalb schnell wieder abnehmen kann (Hillmayr, Reinhold, Ziernwald & Reiss, 2017, S. 19).

Bei der genaueren Betrachtung der Studien zu AR im Physikunterricht fällt auf, dass sich diese überwiegend auf AR-Anwendungen beziehen, welche über Experimente gelegt werden, um zum Beispiel unsichtbare Vorgänge und Zusatzinformationen visualisieren und forschendes Lernen unterstützen zu können (vgl. z. B. Thees et al., 2020; Altmeyer et al., 2020; Kapp et al., 2020). Vergleichbare Studien für AR-Anwendungen, die vorwiegend als Musterlösung dienen, konnten nicht gefunden werden.

Im Ganzen können aufgrund der unterschiedlichen, sich teils widersprechenden Ergebnisse sowie einem Mangel an Untersuchungen speziell für AR als Musterlösung noch keine endgültigen Rückschlüsse für die hier vorgestellte AR-Erweiterung getroffen werden. Es sei hervorgehoben, dass zusätzlich zu den Studienergebnissen zu beachten ist, dass der Lernzuwachs der Schülerinnen und Schüler nicht allein von der AR-Anwendung abhängt, sondern in hohem Maße auch davon, wie die AR-Anwendung gestaltet und didaktisch in den Unterricht eingebettet ist (Wu et al., 2013; Garzón, Kinshuk, Baldiris, Gutiérrez & Pavón, 2020). Dies ist auch dahingehend wichtig, als dass digitale Medien nicht zu ihrem Selbstzweck, sondern didaktisch begründet in den Unterricht integriert werden müssen (Lachner, Scheiter & Stürmer, 2020, S. 69).

4. Die AR-Erweiterung des EPo-Konzepts

Wie beschrieben, zeigen empirische Studien, dass der Einsatz von AR-Anwendungen im Unterricht das Interesse und die Motivation der Schülerinnen und

Schüler steigern kann. Die Idee der AR-Erweiterung des EPo-Konzepts ist es, für die Übungsaufgaben, welche auf Farbkodierung der Schaltpläne basieren, Musterlösungen mittels AR bereitzustellen. Dazu werden die Schaltpläne mithilfe der 3DQR-Software (3DQR GmbH, 2021) um QR-Codes erweitert, die mit einem mobilen Endgerät abgescannt werden können, wodurch die Musterlösungen in Form von 3D-Modellen der Schaltpläne sichtbar werden (siehe Abb. 2).

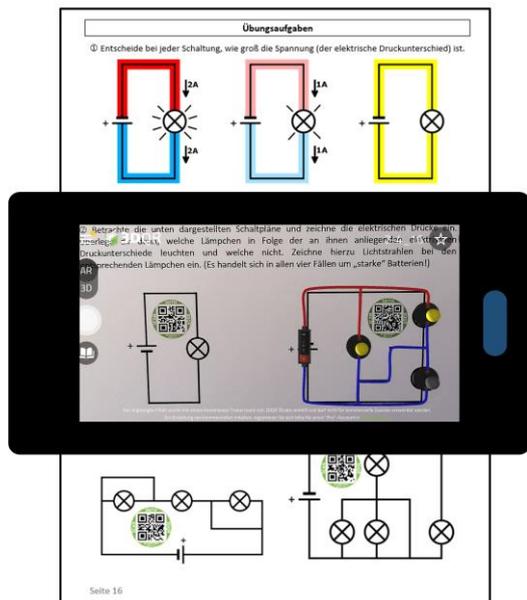


Abb. 2: Visualisierung der AR-Musterlösung mithilfe eines Smartphones, das über die Schaltpläne der Aufgaben gehalten wird.

Für die schulgerechte Entwicklung der 3D-Stromkreismodelle für die AR-Erweiterung wurde folgende Zielstellung definiert: Die 3D-Modelle sollen als leicht zugängliche Musterlösung für Farbkodierungsaufgaben der Schaltpläne dienen. Deshalb soll die Handhabung möglichst einfach und intuitiv sein. Außerdem sollen die Lernenden leicht erkennen können,

dass der 3D-Stromkreis den Aufbau des Schaltplans widerspiegelt, weshalb der 3D-Stromkreis mittels AR auf dem Smartphone nahezu deckungsgleich über der Schaltskizze platziert werden soll. Die Schaltsymbole sollen durch 3D-Darstellungen als entsprechende Bauteile visualisiert werden, um den Lernenden die Verknüpfung zwischen Schaltplan und tatsächlichem Stromkreis zu erleichtern. Für die Erstellung der 3D-Modelle wurde die kostenlose Software Blender genutzt (Blender Foundation, 2002).

Die AR-Musterlösung stellt ferner eine Möglichkeit zur inneren Differenzierung dar. Auch wenn es sich nicht um eine mehrstufige Lösung handelt, bekommen die Lernenden die Möglichkeit, die Aufgaben in ihrem individuellen Tempo zu bearbeiten, da sie nicht mehr auf eine Lösungsabgleichung im Plenum angewiesen sind und die Lösungen permanent zur Verfügung haben. Außerdem kann die AR-Anwendung als Zwischenlösung bei Aufgaben herangezogen werden, bei welchen weiterführende Aufgabenteile auf der Farbkodierung des Schaltplans aufbauen (siehe Abb. 3). Somit können diese Aufgaben auch gut zu Hause bearbeitet werden. Entsprechend der Selbstbestimmungstheorie nach Deci & Ryan (1985) kann durch die AR-Erweiterung so das Kompetenz- und Autonomieerleben der Schülerinnen und Schüler gefördert werden.

Die AR-Erweiterung soll zu einem besseren Verständnis des „elektrischen Druckunterschieds“ bzw. des Spannungsbegriffs beitragen. Hierzu greift die AR-Erweiterung die Farbkodierung des EPo-Konzepts auf, um den in Stromkreisen bzw. Schaltplänen nicht-beobachtbaren „elektrischen Druckunterschied“ bzw. Potenzialunterschied zu visualisieren. Dadurch, dass sich die Lernenden eigenständig mit den in den jeweiligen Stromkreisen herrschenden Potenzialdifferenzen auseinandersetzen können, kann es zu einem besseren Verständnis des Spannungskonzepts kommen. Außerdem können die 3D-Modelle der Stromkreise dabei helfen, ein besseres Verständ-

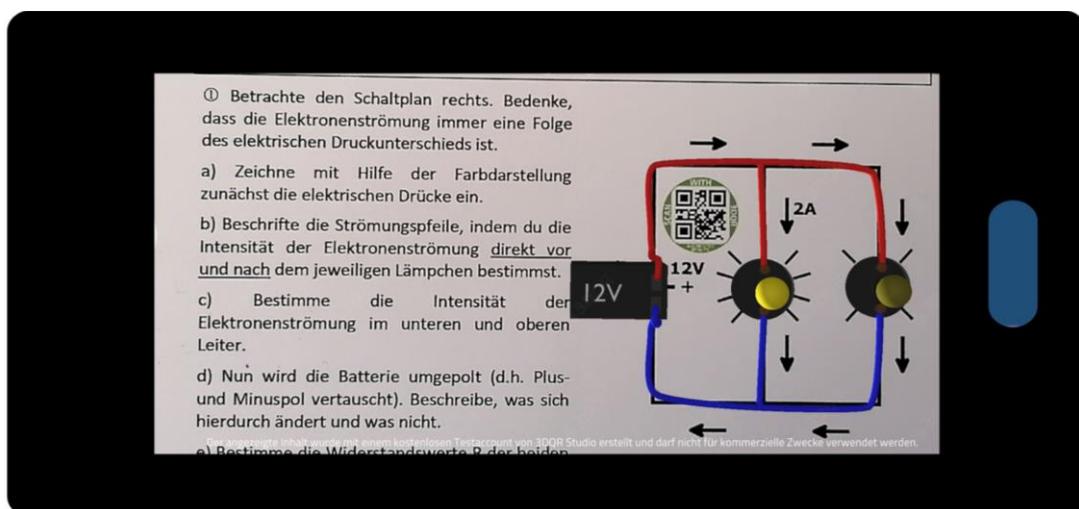


Abb. 3: AR-Erweiterung als Lösung zur Teilaufgabe a) und Grundlage für die auf der Farbkodierung aufbauenden Teilaufgaben b) und c).

nis der Schaltpläne zu erreichen. Indem mittels AR das 3D-Stromkreismodell direkt über den Schaltplan gelegt wird, wird der Zusammenhang zwischen Schaltplan, Schaltsymbolen und den ihnen entsprechenden Bauteilen im Stromkreis visuell verdeutlicht.

Somit sind neben einer Motivations- und Interessenssteigerung folgende Vorteile in Hinblick auf die AR-Erweiterung denkbar: Eine vertiefte Auseinandersetzung mit der Luftdruckanalogie sowie der Bauteile des Stromkreises, ein erhöhtes inhaltliches und räumliches Verständnis in Bezug auf die Stromkreise und entsprechenden Schaltpläne und eine geringere kognitive Belastung, da die 3D-Modelle zeitlich und räumlich mit den Schaltplänen verknüpft sind.

5. Grenzen der AR-Erweiterung

Ein Modell, welches als Anhaltspunkt zur Einordnung eines digitalen Tools dienen kann, ist das SAMR-Modell nach Puentedura (2006). Dieses unterteilt den Einsatz digitaler Medien in vier hierarchisch aufeinander aufbauende Stufen: Substitution (dt. Ersetzung), Augmentation (dt. Erweiterung), Modification (dt. Änderung) und Redefinition (dt. Neudefinition). Substitution bedeutet, dass das digitale Medium das analoge Medium ersetzt, aber keinen funktionalen Mehrwert hat. Eine Stufe darüber beschreibt Augmentation ein digitales Medium, welches das analoge Medium ersetzt und zugleich einen funktionalen Mehrwert hat. Bei der Modification ermöglicht die digitale Anwendung eine bedeutsame Umgestaltung bereits vorhandener Aufgaben und Redefinition erlaubt die Gestaltung einer neuen Aufgabe, welche ohne digitale Medien in dieser Form nicht umzusetzen wäre. Im Folgenden werden die Grenzen der AR-Erweiterung unter Berücksichtigung dieses Modells diskutiert.

Zunächst sei bedacht, dass bei der AR-Erweiterung des EPo-Konzepts lediglich 3D-Modelle als Musterlösung per AR integriert wurden und diese keine weitere Interaktion zulassen. So können zum Beispiel keine Bauteile ausgetauscht oder verschoben werden, um herauszufinden, inwiefern sich dies auf die Größen Spannung, Stromstärke oder Widerstand im Stromkreis auswirken würde. Eine weitere Grenze der AR-Anwendung ist, dass die Musterlösungen in Form farbiger 3D-Modelle von Stromkreisen nur einen geringen Mehrwert im Vergleich zur farbigen 2D-Darstellung z. B. in Schulbüchern bieten. Somit ist die hier vorgestellte AR-Musterlösung der untersten Stufe des SAMR-Modells, der Substitution, zuzuordnen, da es sich lediglich um eine Ersetzung des analogen Mediums in ein digitales Medium handelt, ohne einen funktionalen Mehrwert mit sich zu bringen. Ein funktionaler Mehrwert zeigt sich erst in der Visualisierung des Schaltplans in Form der tatsächlichen dreidimensionalen Stromkreise, welche zu einem besseren Verständnis von Schaltplänen und Schaltsymbolen führen kann. Wird dieser Aspekt mitberücksichtigt, rückt die AR-Erweiterung auf die Stufe der Augmentation. Es stellt sich auch die Frage,

inwiefern die Schülerinnen und Schüler sich mit dem 3D-Modell auseinandersetzen und Vergleiche mit dem Schaltplan anstellen. Da die AR-Erweiterung primär als Musterlösung dient, kann es passieren, dass die Lernenden sich lediglich auf die Farbmarkierung der Kabel konzentrieren und alles andere außer Acht lassen. Des Weiteren könnte hinsichtlich der Lernschwierigkeit, dass viele Schülerinnen und Schüler denken, Schaltpläne seien eine Eins-zu-Eins-Abbildung eines Stromkreises, kritisiert werden, dass die exakte Überlagerung der 3D-Modelle auf den Schaltplänen dieses Denken verstärken kann.

Zudem können technische Schwierigkeiten auftreten, u. a. da jedes 3D-Modell ca. 20 MB benötigt, die zunächst heruntergeladen werden müssen. Eine stabile Internetverbindung – am besten per WLAN – ist also Voraussetzung für die Nutzung der AR-Anwendung. Bei schlechter Internetverbindung erhöht sich die Ladezeit und kann somit für aufkommendes Desinteresse sorgen. Außerdem ist die 3DQR-App nicht mit älteren Smartphone-Modellen kompatibel. In Anbetracht dessen, dass die meisten, aber nicht alle Schülerinnen und Schüler zu Hause ein geeignetes mobiles Endgerät und eine stabile Internetverbindung haben (JIM-Studie, 2020, S. 20; JIM-Studie, 2021, S. 9), sollte beim Einsatz der AR-Erweiterung vonseiten der Lehrkraft sichergestellt werden, allen Lernenden ausreichend Möglichkeiten zur Nutzung der AR-Anwendung zur Verfügung zu stellen. In Hinblick auf technische Grenzen fällt zudem bei genauer Betrachtung der 3D-Modelle durch das Smartphone auf, dass in der App zusätzlich ein Schatten über die Modelle gelegt wird (vgl. z. B. Abb. 2 und 3). Dies ist insofern problematisch, als dass es bei den Lämpchen so scheint, als würden sie von außen beleuchtet werden und nicht von selbst leuchten. Hierbei handelt es sich um eine technische Limitation der 3DQR-App, über die sich Lehrkräfte vor Einsatz des Konzepts im Unterricht genauso bewusst sein sollten, wie über die anderen hier aufgeführten Grenzen der AR-Erweiterung des EPo-Konzepts.

6. Ausblick

Die hier vorgestellte Arbeit stellt einen weiteren Schritt der Erweiterung des EPo-Konzepts um digitale Formate dar (vgl. Burde, Weatherby & Wilhelm, 2022). Insgesamt zeichnet sich ab, dass eine Einordnung der vorgenommenen AR-Erweiterung hinsichtlich ihres Mehrwerts für den Physikunterricht nicht abschließend möglich ist. Bisherige Forschungsergebnisse sind noch zu widersprüchlich und passen nicht direkt zur hier vorgestellten AR-Anwendung. Die heuristische Einordnung der AR-Erweiterung in das SAMR-Modell hat gezeigt, dass die erstellten 3D-Modelle lediglich der Stufe Substitution bzw. Augmentation zuzuordnen sind. Vor dem Hintergrund, dass der Einsatz digitaler Medien im Unterricht mit einem didaktischen Mehrwert einhergehen sollte, kann dies kritisch gesehen werden. Dementsprechend bietet sich eine Untersuchung der Wirksamkeit der

AR-Erweiterung auf die Motivation der Schülerinnen und Schüler sowie ihrem Verständnis von Schaltplänen und Schaltsymbolen an. Interessierte Lehrkräfte können die AR-Erweiterung des EPo-Konzepts kostenfrei von der Internetseite www.einfache-elehre.de herunterladen.

7. Literatur

- Altmeyer, K., Kapp, S., Thees, M., Malone, S., Kuhn, J., & Brünken, R. (2020). The use of augmented reality to foster conceptual knowledge acquisition in STEM laboratory courses—Theoretical background and empirical results. *British Journal of Education Technology*, 51(3), 611-628. <https://doi.org/10.1111/bjet.12900>
- Blender Foundation (2002). Blender (Version 2.93.1) [3D-Grafiksoftware]. Download unter: <https://www.blender.org/download/> (Stand: 3/22)
- Burde, J.-P. (2018a). Konzeption und Evaluation eines Unterrichtskonzepts zu einfachen Stromkreisen auf Basis des Elektronengasmodells. *Studien zum Physik- und Chemielernen, Band 259*, Berlin: Logos-Verlag. <http://doi.org/10.30819/4726>
- Burde, J.-P. (2018b). *Eine Einführung in die Elektrizitätslehre mit Potenzial*. ISBN: 978-3-00-061201-5. Online verfügbar unter: <https://www.einfache-elehre.de/epo.php> (Stand: 3/22)
- Burde, J.-P., Weatherby, T., & Wilhelm, T. (2022). Putting Potential at the Core of Teaching Electric Circuits. *The Physics Teacher* 60, Nr. 5, 2022, S. 340-343 (<https://doi.org/10.1119/5.0046298>)
- Burde, J.-P., & Wilhelm, T. (2020). Teaching electric circuits with a focus on potential differences. *Physical review physics education research*, 16. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.16.020153>
- Chandler, P., & Sweller, J. (1991). Cognitive Load Theory and the Format of Instruction. *Cognition and Instruction*, 8(4), 293-332. https://doi.org/10.1207/s1532690xci0804_2
- Deci, E. L., & Ryan, R. M. (1985). *Intrinsic motivation and self-determination in human behavior*. New York, NY: Plenum.
- Duit, R. (2017). Elektrizitätslehre aus Schülersicht. *NWUP: Elektrische Stromkreise*, 157, 2-7.
- Garzón, J., Kinshuk, Baldiris, S., Gutiérrez, J., & Pavón, J. (2020). How do pedagogical approaches affect the impact of augmented reality on education? A meta-analysis and research synthesis. *Educational Research Review*, 31. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2020.100334>
- Girwidz, R., & Hoyer, C. (2021). Didaktische Aspekte zum Einsatz digitaler Medien – Leitlinien zum Lehren mit Multimedia. In J. Meßinger-Koppelt & J. Maxton-Küchenmeister (Hrsg.), *Naturwissenschaften Digital. Band 1* (S. 6-23). Köln: Buch- und Offsetdruckerei Häuser KG.
- Hillmayr, D., Reinhold, F., Ziernwald, L., & Reiss, K. (2017). *Digitale Medien im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht der Sekundarstufe. Einsatzmöglichkeiten, Umsetzung und Wirksamkeit*. Münster: Waxmann Verlag GmbH.
- Kapp, S., Thees, M., Beil, F., Weatherby, T., Burde, J.-P., Wilhelm, T., & Kuhn, J. (2020). Using augmented reality in an inquiry-based physics laboratory course. In H. C. Lane, S. Zvacek, J. Uhomoihi (Hrsg.), *Computer Supported Education. CSEDU 2020. Communications in Computer and Information Science*, 1473, (S. 177-198). Schweiz: Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-86439-2_10
- Kauertz, A., Löffler, P., & Fischer H. E. (2015). Physikaufgaben. In E. Kircher, R. Girwidz, P. Häußler (Hrsg.), *Physikdidaktik*, (S. 451-476). Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag. https://doi.org/10.1007/978-3-642-41745-0_14
- Lachner, A., Scheiter, K., & Stürmer, K. (2020). Digitalisierung und Lernen mit digitalen Medien als Gegenstand der Lehrerinnen- und Lehrerbildung. In C. Cramer, J. König, M. Rothland, S. Blömeke (Hrsg.), *Handbuch Lehrerinnen- und Lehrerbildung*, (S. 67-74). Bad Heilbrunn: Verlag Julius Klinkhardt.
- McDermott, L. C., & Shaffer, P. S. (1992). Research as a guide for curriculum development: An example from introductory electricity. Part I: Investigation of student understanding. *American Journal of Physics*, 60(11), 994-1013.
- Medienpädagogischer Forschungsverband Südwest (2020). *JIM-Studie 2020. Jugend, Information, Medien*. Online verfügbar unter: <https://www.mpfs.de/studien/jim-studie/2020/> (Stand: 3/22)
- Medienpädagogischer Forschungsverband Südwest (2021). *JIM-Studie 2021. Jugend, Information, Medien*. Online verfügbar unter: <https://www.mpfs.de/studien/jim-studie/2021/> (Stand: 3/22)
- Milgram, P., & Kishino, F. (1994). A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays. *IEICE Transactions on Information and Systems*, 12(12), 1321-1329.
- Muckenfuß, H. (2006). *Lernen im sinnstiftenden Kontext*. Berlin: Cornelsen.
- Puentedura, R. R. (2006). *Transformation, Technology, and Education* [Screencast des Vortrags vom 18.08.2006 des Workshops *Strengthening Your District Trough Technology* der Maine School Superintendents Association]. Online verfügbar unter: <http://hippasus.com/resources/tte/> (Stand: 3/22)
- Radu, I. (2014). Augmented reality in education: A meta-review and cross-media analysis. *Pers*

- Ubiquit Comput* 18, 1533-1543.
<https://doi.org/10.1007/s00779-013-0747-y>
- Rhöneck, C. v. (1986). Vorstellungen vom elektrischen Stromkreis und zu den Begriffen Strom, Spannung und Widerstand. *Naturwissenschaften im Unterricht. Physik/Chemie*, 34(13), 10-14.
- Schecker H., & Duit, R. (2018). Schülervorstellungen und Physiklernen. In H. Schecker, T. Wilhelm, M. Hopf, & r. Duit (Hrsg.), *Schülervorstellungen und Physikunterricht. Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis*, (S. 1-21). Berlin: Springer Spektrum.
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-57270-2>
- Schmid, A. M.; Wetzel, R.; & Brovelli, D. (2018). Augmented Reality in der Lehrerinnen- und Lehrerbildung beim Arbeiten mit Modellen in den Naturwissenschaften. *Beiträge zur Lehrerinnen- und Lehrerbildung*, 36(2), 223-230.
<https://doi.org/10.25656/01:17098>
- Shipstone, D. M., Rhöneck, C. v., Jung, W., Kärrqvist, C., Dupin, J.-J., Johsua S., & Licht, P. (1988). A study of students' understanding of electricity in five European countries. *International Journal of Science Education*, 10(3), 303-316.
<https://doi.org/10.1080/0950069880100306>
- Sotiriou, S., & Bogner, F. X. (2008). Visualizing the Invisible: Augmented Reality as an Innovative Science Education Scheme. *Advanced Science Letters*, 1, 114-122.
<https://doi.org/10.1166/asl.2008.012>
- Spanhel, D. (2020). Selbstgesteuertes Lernen ist Voraussetzung für Medienkompetenz. *bildung+schuledigital: Flipped School – Erste Hilfe dank Digitalisierung*, 1, 64-65.
- Steinberg, M. S., & Wainwright, C. L. (1993): Using models to teach electricity – The CASTLE Project. *The Physics Teacher* 31(6), 353–357.
- Teichrew, A., & Erb, R. (2020). How augmented reality enhances typical classroom experiments: examples from mechanics, electricity and optics. *Physics Education* 55(6), 1-7.
<https://doi.org/10.1088/1361-6552/abb5b9>
- Thees, M., Kapp, S., Strzys, M. P., Beil, F., Lukowicz, P., & Kuhn, J. (2020). Effects of augmented reality on learning and cognitive load in university physics laboratory courses. *Computers in Human Behavior*, 108, 1-11.
<https://doi.org/10.1016/j.chb.2020.106316>
- Wilhelm, T., & Hopf, M. (2018). Schülervorstellungen zum elektrischen Stromkreis. In H. Schecker, T. Wilhelm, M. Hopf, & r. Duit (Hrsg.), *Schülervorstellungen und Physikunterricht. Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis*, (S. 116-138). Berlin: Springer Spektrum. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-57270-2>
- Wu, H., Lee, S. W. Y., Chang, H. Y., & Liang, J. C. (2013). Current status, opportunities and challenges of augmented reality in education. *Computers and Education*, 62, 41–49.3DQR GmbH (2021).
- 3DQR Studio [Software zur Erstellung und Verwaltung von AR-Szenen]. Online verfügbar unter: <https://studio.3dqr.de/#/auth/login> (Stand: 3/22)
- 3DQR GmbH (2021). 3DQR 2.0 [Software für mobile Anwendungen für Android und iOS].

Eye-Tracking-basierte Gestaltung und Evaluation von Mixed Reality Experimentierumgebungen

Dörte Sonntag*, Oliver Bodensiek*

*Abt. Physik und Physikdidaktik, Institut für Fachdidaktik der Naturwissenschaften, TU Braunschweig
doerte.sonntag@tu-braunschweig.de

Kurzfassung

Mixed Reality nimmt eine immer prominentere Rolle als Lerntechnologie in den Naturwissenschaften ein, da sie insbesondere beim Experimentieren unterstützen kann. Durch die direkte Integration von virtuellen Elementen in die reale Experimentierumgebung kann das Verständnis der Lernenden verbessert werden. Basierend auf Eye-Tracking-Daten aus einer realen Experimentierumgebung sowie ergänzenden Interviews wird das Vorgehen der Lernenden untersucht, um eine MR-Experimentierumgebung nutzerorientiert und kriteriengeleitet zu gestalten. Diese soll insbesondere Novizen derart unterstützen, dass sie Problemlösestrategien anwenden, die sonst eher von Experten angewandt werden. Der Erfolg im experimentellen Problemlösen der Probanden in der MR-Umgebung ist dabei signifikant höher als bei Probanden ohne MR und wird von einer geringeren kognitiven Belastung sowie zusätzlich bei den Novizen von signifikanten visuellen Aufmerksamkeitsverschiebungen begleitet. Weiterhin kann gezeigt werden, dass Novizen mit Unterstützung von MR im experimentellen Problemlösen deutlich strukturierter vorgehen und expertenartige Strategien verfolgen.

1. Einleitung

Mixed Reality (MR) integriert virtuelle Elemente in die reale Welt und schafft so Interaktionsmöglichkeiten mit und zwischen den beiden Welten [1]. Es bieten sich insbesondere in den Naturwissenschaften zahlreiche Möglichkeiten beispielsweise Experimentierumgebungen durch virtuelle Informationen anzureichern, sodass Lernende besser unterstützt werden. Dadurch kann unter anderem das konzeptuelle Verständnis erhöht und die kognitive Belastung reduziert werden [2–4].

Aktuelle brillenbasierte MR-Hardware bietet ein integriertes Eye-Tracking, das zur Gestaltung und Evaluation von MR-Experimentierumgebungen sinnvoll genutzt werden kann [5]. Anhand der Analyse von Eye-Tracking-Daten kann nicht nur die Expertise der Lernenden, sondern auch die Gestaltung von Lernumgebungen abgeleitet werden [6]. In der HCI-Forschung kommt die Analyse von Blickdaten häufig zum Einsatz, um die Gestaltung von virtuellen Umgebungen anschließend zu evaluieren [7].

Experimentelles Problemlösen ist von diversen Faktoren abhängig [8–10], bei denen unter anderem das Fachwissen eine wichtige Rolle spielen kann. Je nach Problemlöse-Setting variiert die Zusammensetzung der Faktoren und nicht immer sind alle involviert. Der experimentelle Problemlöseprozess läuft in unterschiedlichen Phasen ab [11–13]. Zunächst wird eine Problemrepräsentation unter Nutzung mentaler Modelle erstellt, in der die Inhalte erkannt und fachlich ausgedrückt werden. Anschließend wird ein Lösungsweg erarbeitet, dieser durchgeführt und abschließend evaluiert und reflektiert. Der Problemlöseprozess

läuft nicht zwangsweise so gradlinig ab, sondern kann auch zwischen den einzelnen Phasen springen. Zwischen Novizen und Experten treten dabei große Unterschiede im Problemlösen auf, da Experten im Gegensatz zu Novizen auf Erfahrungswissen zurückgreifen können und so Informationen effizienter verarbeiten und selektieren können [14–16]. Das schnelle Anknüpfen an vorhandenes Wissen und Abrufen von mentalen Modellen ist nur einer der vielen Vorteile, die Experten gegenüber Novizen aufweisen.

Auch die kognitive Belastung basierend auf der Cognitive Load Theory (CLT) unterscheidet sich zwischen Experten und Novizen häufig stark [17]. Die kognitive Belastung kann über Selbsteinschätzungsbögen gemessen werden [18–20], aber auch beispielsweise durch Eye-Tracking-Daten, die die Messung über einen längeren Zeitraum zulassen, verfolgt werden [21].

2. Studiendesign und Methoden

Im vorliegenden Paper soll eine kriteriengeleitete und benutzerorientierte Gestaltung von Mixed-Reality-Lernumgebungen (MRLE) aufgezeigt und evaluiert werden. Dafür werden insbesondere Eye-Tracking-Daten, Fragebögen und Interviews genutzt. Die MRLE hat das Ziel Novizen beim experimentellen Problemlösen so zu unterstützen, dass sie eher wie Experten vorgehen.

Die Probanden werden zunächst basierend auf einem Fachwissenstest in zwei Gruppen eingeteilt. Die Probanden mit höherer Punktzahl werden hier als Experten bezeichnet und die mit geringer Punktzahl als Novizen. Anschließend wird eine zweigeteilte

experimentelle Problemlöseaufgabe an einem Stromkreis (s. Abb.1) ausgeführt.

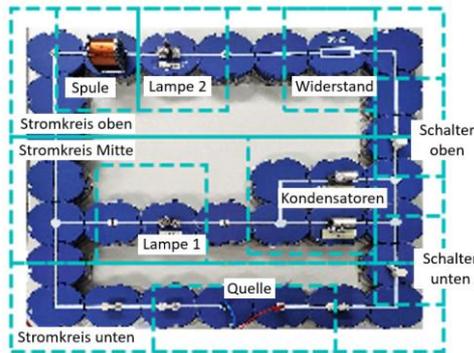


Abb.1: Stromkreis zum experimentellen Problemlösen

Im ersten Teil sollen die Probanden den aufgebauten Stromkreis verstehen und im zweiten Teil mit Hilfe zusätzlicher Bausteine (Spulen, Kondensatoren und Widerstände) so verändern, dass die Zeit zwischen dem Ausgehen der vorderen Lampe und dem Angehen der hinteren Lampe maximiert wird. Diese zwei Phasen basieren auf der Herangehensweise beim experimentellen Problemlösen. Die Probanden erhalten zusätzliche Multimeter, um Messungen der Spannung und Stromstärke durchführen zu können. Während des Experimentierens werden Blickdaten mit einem Pupil-Labs-Eye-Tracker aufgenommen, der sich wie eine Brille trägt und das Experimentieren nicht weiter beeinflusst. Nach jeder Aufgabe wird die kognitive Belastung der Probanden über drei Fragen zur Selbsteinschätzung erhoben [19, 22, 23]. Abschließend werden Interviews mit den Probanden durchgeführt, um das Vorgehen im Experiment noch einmal zu reflektieren, sowie Wünsche für die Gestaltung einer MR-Anwendung zu sammeln.

Basierend auf den Eye-Tracking- und Interviewdaten werden Unterschiede zwischen Experten und Novizen im speziellen experimentellen Problemlösen analysiert, um anschließend mit den gewonnenen Erkenntnissen sowie allgemeinen Designkriterien die MRLE zu erstellen [24].

Um die Gestaltung der MRLE zu evaluieren wird ein zweiter Durchgang mit neuen Probanden durchgeführt, die ebenfalls mit einem Fragebogen zunächst in Experten und Novizen eingeteilt werden und anschließend die zweigeteilte experimentelle

Problemlöseaufgabe mit Unterstützung der MRLE durchführen. Multimeter kommen an dieser Stelle nicht zum Einsatz, da die MR-Brille analoge Funktionen aufweist. Sowohl die Selbsteinschätzung zur kognitiven Belastung als auch die abschließenden Interviews werden analog durchgeführt. Es ergeben sich vier voneinander unabhängige Gruppen: Experten ohne MR, Novizen ohne MR, Experten mit MR und Novizen mit MR zur Evaluation der Anwendung basierend auf den Blick-, Fragebogen- und Interviewdaten.

3. Beschreibung der Stichprobe

Insgesamt haben N=89 Probanden an der Studie teilgenommen. 19 Probanden haben ohne MR experimentiert und 70 Probanden mit MR. Die genauere Aufteilung in die vier unabhängigen Gruppen ist der Tabelle 1 zu entnehmen. Die Experten unterscheiden sich von den Novizen in beiden Bedingungen signifikant im Fachwissen (s. Tab.1) und der Modellvorstellung (nicht MR: $p < .001$, $d = 1.99$, MR: $p < .011$, $d = 1.67$) mit starkem Effekt nach Cohen¹. Ein weitere Analyse bestätigt, dass sich die Novizen ohne MR nicht signifikant von den Novizen mit MR unterscheiden (Fachwissen: $p = .42$, $d = .07$, Modellvorstellung: $p = .34$, $d = .16$), gleiches gilt für die Experten mit und ohne MR (Fachwissen: $p = .17$, $d = .37$, Modellvorstellung: $p = .24$, $d = .27$). Daher können die zwei Gruppen der Experten mit und ohne MR und auch die zwei Gruppen der Novizen mit und ohne MR für die Evaluation der Gestaltung der MRLE miteinander verglichen werden.

		N	μ	σ^2	p	d
Ohne MR	Exp.	9	49.6 %	2.9 %	<.001	2.89
	Nov.	10	13.3 %	0.4%		
Mit MR	Exp.	25	43.7 %	2.4 %	<.001	2.88
	Nov.	45	12.9 %	0.5 %		

Tab.1: Einteilung der Probanden basierend auf dem Fachwissenstest. μ entspricht dem Mittelwert, σ^2 der Varianz, p der Signifikanz und d der Effektstärke nach Cohen.

4. Gestaltung der MRLE

4.1. Analyse der Blick- und Interviewdaten ohne MR

Zur Analyse der Unterschiede zwischen Experten und Novizen ohne MR, die als Grundlage für die Gestaltungsentscheidungen genutzt werden, wurden

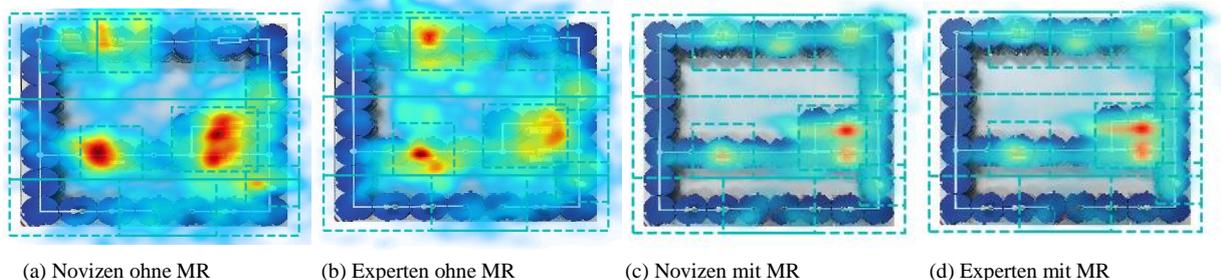


Abb.2: Heatmaps der ersten Phase „Überblick verschaffen“. Die Spule befindet sich ohne MR links und mit MR auf Grund der Messvorrichtung rechts oben im Stromkreis. Alle weiteren Elemente sind identisch angeordnet.

zunächst die Eye-Tracking-Daten genauer untersucht. In Abb.2 sind die Heatmaps der Novizen und Experten ohne MR für die erste Phase des Überblickverschaffens abgebildet. Dafür wurden die Blickdaten eines jeden Probanden über die Zeit gewichtet und anschließend über die Novizen bzw. Experten gemittelt. Während die Novizen stark auf den mittleren Stromkreis und die Kondensatoren fixiert sind, behalten die Experten eher einen globaleren Blick auf den Stromkreis. Insgesamt fallen bei den Experten mehr Blicke zwischen die Leiter, da diese häufiger zwischen Elementen wechseln, während Novizen länger einzelne Elemente fixieren.

Zur statistischen Analyse der Blickhäufigkeiten für die erste Aufgabe des Überblickverschaffens, wurden Areas of Interest (AOIs) definiert. Für jedes wichtige Element des Stromkreises (Spule, Widerstand, Kondensator) wird ein AOI definiert sowie zusätzliche größere AOIs wie oberer, mittlere und unterer Stromkreis (vgl. Abb.1). Basierend auf den AOIs können statistische Analysen durchgeführt werden, indem die Blickpunkte pro AOI jedes einzelnen Probanden gewichtet, über die Zeit aufsummiert und anschließend über alle Experten oder Novizen gemittelt werden. Eine MANOVA [25]ⁱⁱ zeigt statistisch signifikante Unterschiede zwischen der Gruppe der Experten und Novizen für die AOIs als kombinierte abhängige Variablen: $F(8,10)=3.028$, $p=.05$, partielles $\eta^2=.71$, Wilks $\Lambda=.29$. Im Post-hoc Gruppenvergleich treten signifikante Unterschiede zwischen Experten und Novizen an den Kondensatoren, der Spule und dem mittleren Stromkreis auf (vgl. Tab.2). Die Blickhäufigkeiten im oberen Stromkreis weisen eine Tendenz zur Signifikanz auf.

	M.d.Q.	df ₁	df ₂	F	p	part. η^2
Kondensatoren	.035	1	17	4.46	.05	.208
Spule	.008	1	17	6.41	.02	.274
Sk Mitte	.029	1	17	3.94	.06	.188
Sk oben	.022	1	17	2.43	.14	.125

Tab.2: Vergleich der Experten und Novizen ohne MR. MdQ steht für das Mittel der Quadrate und df₁ und df₂ sind die Freiheitsgrade der F-Statistik.

Zusätzlich wurden Blickpfade basierend auf den AOIs analysiert. Dazu wird die individuelle Blickfolge eines jeden Probanden erstellt und anschließend auf Ähnlichkeiten und wiederkehrende Muster innerhalb der Gruppen analysiert. Experten verfolgen signifikant häufiger mit starkem Effekt nach Cohen den Stromkreis entlang der Leiter ($p=.04$, $d=.85$) und haben dadurch eher einen globalen Blick auf das gesamte Experiment, während Novizen häufiger lokal an einzelnen Elementen verweilen. Weitere Analysen zeigen bei den Experten vermehrt eine Zerlegung des Stromkreises in zwei Teile.

Die Blickanalysen werden durch die Interviews gestützt. 88.9 % der Experten geben an, den Stromkreis

in zwei Funktionseinheiten zerlegt zu haben, bei den Novizen hingegen nur 25 %. 62.5 % der Novizen geben an die Funktionsweise des Kondensators nicht verstanden zu haben und sogar 87.5 % der Novizen haben die Funktionsweise der Spule nicht verstanden.

4.2. Folgerungen für die Gestaltung der MRLE

Basierend auf den Analysen der Blick- und Interviewdaten wurden Gestaltungselemente für die MRLE abgeleitet. Da die Novizen dazu neigen an den Kondensatoren lange zu verweilen, da sie die Funktionsweise basierend auf den Interviews nicht verstehen, wurde eine Ladestandanzeige integriert. Ein gelber Balken zeigt den Ladvorgang an, ähnlich einem Batteriesymbol (vgl. Abb.3). Um zusätzlich den globalen Blick auf den Stromkreis zu stärken, wird der Stromfluss durch Punkte entlang der Leiter visualisiert. Das soll auch das wiederkehrende Blickmuster der Experten entlang der Leiter imitieren. Es werden nur die Punkte in Gelb angezeigt, die sich gerade bewegen, also nur über den Leitern mit Stromfluss. Die Leiter ohne Stromfluss, abhängig von der Schalterstellung werden in einem hellen grau angezeigt (vgl. Abb.3). Da die Aufmerksamkeit der Experten an der Spule im Vergleich zu den Novizen erhöht ist, wird das Magnetfeld bei eingeschaltetem Stromfluss angezeigt. Optional werden Diagramme vom zeitlichen Spannungsverlauf oder wahlweise Stromstärkeverlauf angezeigt, um das Verständnis weiter zu stärken. Auch der Potentialverlauf kann farbige entlang der Leiter visualisiert werden. Für die zweite Aufgabe, die Veränderung des Stromkreises, wird eine Stoppuhr integriert, mit der der Fortschritt sichtbar gemacht wird. Alle Visualisierungen können optional im Menü aktiviert oder deaktiviert werden. Die MRLE ist über WLAN mit dem Stromkreis verbunden und entsprechend passen sich die Visualisierungen in MR an die aktuellen Spannungswerte im realen Experiment an [26].

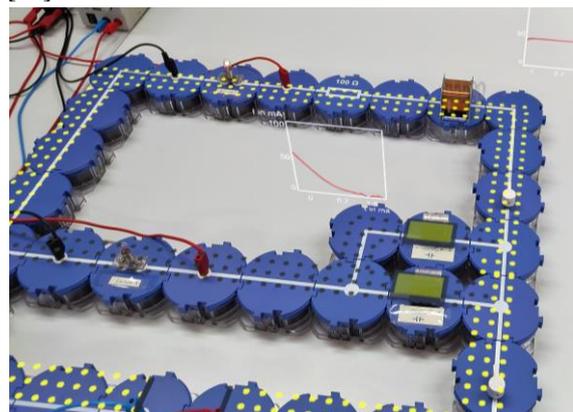


Abb.3: Mixed-Reality-Experimentierumgebung: Die Kondensatoren sind bereits geladen, daher fließt im mittleren Zweig kein Strom mehr.

5. Evaluation der MRLE

Der folgende Abschnitt konzentriert sich insbesondere auf die beiden Gruppen der Novizen mit und ohne MR, da die MRLE mit dem Ziel gestaltet wurde,

die Novizen im Problemlösen bestmöglich zu unterstützen.

5.1. Problemlöseerfolg

Der Problemlöseerfolg wird an dem von den Probanden mit den zusätzlichen Bausteinen veränderten Stromkreis gemessen. Je mehr Bauteile (Spule, Kondensator, Widerstand) in optimaler Weise verändert wurden, desto mehr Punkte gibt es, wobei pro Bauteil maximal ein Punkt vergeben wird. Der Problemlöseerfolg der Novizen mit MR ist signifikant höher als der Problemlöseerfolg der Novizen ohne MR mit starkem Effekt ($p=.005$, $d=1.48$), die Anwendung scheint die Probanden also erfolgreich zu unterstützen (vgl. Abb.4). Interessanterweise verbessern sich auch die Experten mit MR signifikant im Vergleich mit den Experten ohne MR ($p=.03$, $d=.96$).

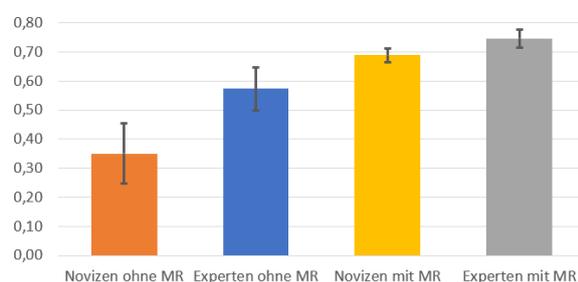


Abb.4: Problemlöseerfolg im Gruppenvergleich. Die Fehlerbalken geben den Standardfehler an.

5.2. Kognitive Belastung

Unter Nutzung der MRLE reduziert sich die kognitive Belastung der Novizen, beim Überblickverschaffen mit starker Tendenz zur Signifikanz ($p=.08$, $d=.46$) und in der zweiten Aufgabe, dem Optimieren des Stromkreises, signifikant mit starkem Effekt nach Cohen ($p=.01$, $d=.80$).

5.3. Analyse der Blick- und Interviewdaten mit MR

Während für die statistische Analyse der Blicke alle Probanden mit MR einbezogen werden, werden bei den Interviewanalysen nur jeweils 10 Novizen mit MR und 10 Experten mit MR berücksichtigt, die zufällig aus allen Probanden ausgewählt wurden.

Insgesamt tritt eine ausgewogenere Verteilung der Blickhäufigkeiten der Novizen mit MR in der ersten Aufgabe auf, die der Blickverteilung der Experten stark ähnelt (vgl. Abb.2c, 2d). Es treten vermehrt Blicke entlang der Leiter auf. Der statistische Vergleich der Blickhäufigkeiten der Novizen mit und ohne MR, zeigt mit MR eine signifikante Abnahme der Blicke auf den Kondensator und eine signifikante Zunahme der Blicke auf die Spule (vgl. Tab.3). Die Blickhäufigkeiten der Novizen mit MR haben sich dementsprechend den Blickhäufigkeiten der Experten ohne MR angenähert.

Analysen der Blickpfade zeigen zusätzlich eine deutliche Zunahme der Blicke entlang der Leiter. Weiterhin geben alle Novizen mit MR in den Interviews an, den Stromfluss zum Überblickverschaffen genutzt zu

haben. Die Funktionsweisen von Spule, Kondensator und Widerstand im Stromkreis können alle Novizen grundlegend erklären.

	MD	SEM	p
Kondensatoren	-.11	.04	.05*
Spule	.03	.01	.02*
Sk Mitte	-.18	.04	.001**
Lampe unten	-.08	.02	.01*
Lampe oben	-.09	.02	.002**

Tab.3: Vergleich der Blickhäufigkeiten der Novizen ohne und mit MR. MD bezeichnet die Mittelwertdifferenz und SEM den Standardfehler.

6. Diskussion und Ausblick

Die Gestaltung von MRLE basierend auf Eye-Tracking-Daten und Interviews stellt eine neue nutzerorientierte und kriteriengeleitete Herangehensweise dar. Der Lernende wird von Anfang an in den Fokus der Entwicklung genommen und kann so bereits in den Gestaltungsprozess von MRLE mit einbezogen werden. Insgesamt zeigt sich eine deutliche Verbesserung der Novizen und teilweise auch der Experten unter Nutzung der MRLE. Der erhöhte Problemlöseerfolg der Novizen geht mit einer reduzierten kognitiven Belastung und einer Verschiebung der visuellen Aufmerksamkeiten einher. Die Nutzung der MRLE führt bei den Novizen zu einem ausgeglicheneren und globaleren Blick auf den Stromkreis. Zusätzlich kann in den Interviews ein erhöhtes Verständnis bei den Novizen, die in der MRLE experimentiert haben, nachgewiesen werden. Diese Ergebnisse zeigen, dass das Nutzen von MRLE in Lehr-Lernkontexten vielversprechend ist, insbesondere im Bezug zu experimentbezogenen Lehr-Lernumgebungen. MRLE sollten allerdings nicht nur in Bezug auf den Lernerfolg, sondern auch im Hinblick auf Designentscheidung und Visualisierungen mit Hilfe von Eye-Tracking evaluiert werden. Die gewonnenen Ergebnisse können die Weiterentwicklung von nutzerorientierten Lernumgebungen mit Mixed Reality vorantreiben.

Zukünftige Forschung wird zeigen, ob sich eine Aufmerksamkeitsverschiebung bei den Novizen direkt auf den Problemlöseerfolg auswirkt. Die Nutzung von unterschiedlichen Arten der Blickführung in MRLE eröffnet zudem zahlreiche Möglichkeiten für innovative und vielversprechende Forschung.

7. Literatur

- [1] SPEICHER, Maximilian ; HALL, Brian D. ; NEBELING, Michael: What is Mixed Reality? In: BREWSTER, Stephen; FITZPATRICK, Geraldine; COX, Anna; KOSTAKOS, Vassilis (Hrsg.): *Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. New York, NY, USA : ACM, 05022019, S. 1–15
- [2] STRZYS, M. P. ; KAPP, S. ; THEES, M. ; KUHN, J. ; LUKOWICZ, P. ; KNIERIM, P. ; SCHMIDT, A.: *Augmenting the thermal flux experiment* :

- A mixed reality approach with the HoloLens.*
In: *The Physics Teacher* 55 (2017), Nr. 6, S. 376–377
- [3] SONNTAG, Dörte ; ALBUQUERQUE, Georgia ; MAGNOR, Marcus ; BODENSIEK, Oliver: *Hybrid learning environments by data-driven augmented reality.* In: *Procedia Manufacturing* 31 (2019), S. 32–37
- [4] GARZÓN, Juan ; PAVÓN, Juan ; BALDIRIS, Silvia: *Systematic review and meta-analysis of augmented reality in educational settings.* In: *Virtual Reality* 23 (2019), Nr. 4, S. 447–459
- [5] UNGUREANU, Dorin ; BOGO, Federica ; GALLIANI, Silvano ; SAMA, Pooja ; DUAN, Xin ; MEEKHOF, Casey ; STÜHMER, Jan ; CASHMAN, Thomas J. ; TEKIN, Bugra ; SCHÖNBERGER, Johannes L. ; OLSZTA, Pawel ; POLLEFEYS, Marc: *HoloLens 2 Research Mode as a Tool for Computer Vision Research.* 25.08.2020
- [6] JARODZKA, Halszka ; HOLMQVIST, Kenneth ; GRUBER, Hans: *Eye tracking in Educational Science: Theoretical frameworks and research agendas.* In: *Journal of Eye Movement Research* 10 (2017), Nr. 1
- [7] POOLE, Alex ; BALL, Linden J.: *Eye Tracking in HCI and Usability Research.* In: GHAOUL, Claude (Hrsg.): *Encyclopedia of Human Computer Interaction* : IGI Global, 2006, S. 211–219
- [8] ADAMS, Wendy K. ; WIEMAN, Carl E.: *Analyzing the many skills involved in solving complex physics problems.* In: *American Journal of Physics* 83 (2015), Nr. 5, S. 459–467
- [9] BRANDENBURGER, Martina: *Was beeinflusst den Erfolg beim Problemlösen in der Physik? : Eine Untersuchung mit Studierenden.* Dissertation : Logos Verlag Berlin GmbH, 2016 (Studien zum Physik- und Chemielernen 218)
- [10] FRIEGE, Gunnar ; LIND, Gunter: *Allgemeine und fachspezifische Problemlösekompetenz.* In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 9 (2003), Nr. 1, S. 63–74
- [11] PÓLYA, George: *How to solve it : A new aspect of mathematical method.* Princeton, N.J : Princeton University Press, 1945
- [12] HAMMANN, Marcus ; PHAN, Thi Thanh Ho ; BAYRHUBER, Horst: *Experimentieren als Problemlösen: Lässt sich das SDDS-Modell nutzen, um unterschiedliche Dimensionen beim Experimentieren zu messen?* In: *Zeitschrift für Erziehungswissenschaften* (2007), Nr. 8
- [13] FRIEGE, Gunnar: *Wissen und Problemlösen: eine empirische Untersuchung des wissenszentrierten Problemlösens im Gebiet der Elektrizitätslehre auf der Grundlage des ...* : Logos Verlag Berlin GmbH, 2001
- [14] ROSENGRANT, David ; THOMSON, Colin ; MZOUGH, Taha ; SABELLA, Mel ; HENDERSON, Charles ; SINGH, Chandralekha: *Comparing Experts and Novices in Solving Electrical Circuit Problems with the Help of Eye-Tracking.* In: *AIP*, 2009 (AIP Conference Proceedings), S. 249–252
- [15] CHI, Michelene T. H. ; FELTOVICH, Paul J. ; GLASER, Robert: *Categorization and Representation of Physics Problems by Experts and Novices**. In: *Cognitive Science* 5 (1981), Nr. 2, S. 121–152
- [16] LARKIN, J. ; MCDERMOTT, J. ; SIMON, D. P. ; SIMON, H. A.: *Expert and novice performance in solving physics problems.* In: *Science* 208 (1980), Nr. 4450, S. 1335–1342
- [17] SWELLER, John: *Implications of Cognitive Load Theory for Multimedia Learning.* In: MAYER, Richard (Hrsg.): *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning.* Cambridge : Cambridge University Press, 2005, S. 19–30
- [18] LEPPINK, Jimmie ; PAAS, Fred ; VAN DER VLEUTEN, Cees P. M. ; VAN GOG, Tamara ; VAN MERRIËNBOER, Jeroen J. G.: *Development of an instrument for measuring different types of cognitive load.* In: *Behavior research methods* 45 (2013), Nr. 4, S. 1058–1072
- [19] JAEGER, Dennis: *Kognitive Belastung und aufgabenspezifische sowie personenspezifische Einflussfaktoren beim Lösen von Physikaufgaben.* Berlin : Logos Verlag, 2019 (Studien zum Physik- und Chemielernen 276)
- [20] PAAS, Fred G.W.C. ; VAN MERRIËNBOER, Jeroen J. G.: *Instructional control of cognitive load in the training of complex cognitive tasks.* In: *Educational psychology review* 6 (1994), Nr. 4
- [21] ZAGERMANN, Johannes ; PFEIL, Ulrike ; REITERER, Harald: *Measuring Cognitive Load using Eye Tracking Technology in Visual Computing.* In: SEDLMAYER, Michael ; ISENBERG, Petra ; ISENBERG, Tobias ; MAHYAR, Narges ; LAM, Heidi (Hrsg.): *Proceedings of the Beyond Time and Errors on Novel Evaluation Methods for Visualization - BELIV '16.* New York, New York, USA : ACM Press, 2016, S. 78–85
- [22] LEPPINK, Jimmie ; PAAS, Fred ; VAN DER VLEUTEN, Cees P. M. ; VAN GOG, Tamara ; VAN MERRIËNBOER, Jeroen J. G.: *Development of an instrument for measuring different types of cognitive load.* In: *Behavior research methods* 45 (2013), Nr. 4, S. 1058–1072
- [23] LEPPINK, Jimmie ; PAAS, Fred ; VAN GOG, Tamara ; VAN DER VLEUTEN, Cees P. M. ; VAN MERRIËNBOER, Jeroen J.G.: *Effects of pairs of problems and examples on task performance*

- and different types of cognitive load*. In: *Learning and Instruction* 30 (2014), S. 32–42
- [24] SONNTAG, Dörte ; BODENSIEK, Oliver: Eye-Tracking-Based Design of Mixed Reality Learning Environments in STEM. In: GÓMEZ CHOVA, Luis; LÓPEZ MARTÍNEZ, Agustín; CANDEL TORRES, Ignacio (Hrsg.): *INTED2021 Proceedings* : IATED, 2021 (INTED Proceedings), S. 9519–9524
- [25] FRENCH, Aaron ; MACEDO, Marcelo ; POULSEN, John ; WATERSON, Tyler ; YU, Angela: *Multivariate Analysis of Variance* (MANOVA). Berlin/Heidelberg : Springer-Verlag, 2008
- [26] SONNTAG, Dörte ; ALBUQUERQUE, Georgia ; MAGNOR, Marcus ; BODENSIEK, Oliver: *Hybrid learning environments by data-driven augmented reality*. In: *Procedia Manufacturing* 31 (2019), S. 32–37

Danksagung

TU4Teachers II wird im Rahmen der gemeinsamen „Qualitätsoffensive Lehrerbildung“ von Bund und Ländern aus Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gefördert.

ⁱ Die Effektstärke d ist hier die Effektstärke nach Cohen. Dabei bedeutet $d > .20$ ein kleiner Effekt, $d > .50$ ein mittlerer Effekt und $d > .80$ ein starker Effekt.

ⁱⁱ Die Voraussetzungen zur Durchführung der MANOVA wurden überprüft und sind hinreichend erfüllt.

Für alles eine App

Ein Buch mit Ideen für Physik mit dem Smartphone

Thomas Wilhelm*, Jochen Kuhn⁺

* Goethe-Universität Frankfurt am Main, Institut für Didaktik der Physik, Max von-Laue-Str. 1,
60438 Frankfurt am Main

⁺ Ludwig-Maximilians-Universität München, Lehrstuhl für Didaktik der Physik, Theresienstr. 37,
80333 München

wilhelm@physik.uni-frankfurt.de, jochen.kuhn@lmu.de

Kurzfassung

Welche Apps eignen sich, um Smartphones oder Tablets für physikalische Untersuchungen und Betrachtungen zu nutzen? Diese Frage stellen sich physikalisch Interessierte genauso wie Lehrkräfte. In dem Beitrag wird das Praxisbuch „Für alles eine App. Ideen für Physik mit dem Smartphone“ vorgestellt. Das Buch gibt einen schnellen und umfassenden Überblick über geeignete Apps und stellt anhand vieler Praxisbeispiele dar, wie man Smartphone und Tablet physikalisch nutzen kann.

Das Buch geht auf unterschiedlichste Anwendungen ein: Sie reichen von vorgefertigten Simulationen über physikalische Spiele bis hin zu Augmented Reality-Anwendungen. Zudem werden Apps vorgestellt, mit denen Messdaten mit den internen Sensoren oder externen Zusatzgeräten erfasst, von einer Datenbank abgerufen oder durch die Verwendung der Foto- und Videokamera gewonnen werden. In jedem einzelnen Kapitel wird eine andere App kurz und überblicksweise vorgestellt und deren Verwendbarkeit für physikalische Untersuchungen in Schule und/oder Hochschule und/oder zur eigenen Information oder Unterhaltung an einem Beispiel erläutert. Zunächst gibt es eine App-Kurzbeschreibung, dann folgt die Beschreibung eines physikalischen Anwendungsbeispiels. Die Kapitel sind nach klassischen Themenbereichen der Physik geordnet.

1. Die Idee eines Praxisbuches

Mobile Endgeräte wie Smartphone oder Tablet können als kleine, transportable Computer mit zusätzlicher Funktionalität eines Mobiltelefons verstanden werden. Sie sind heute allgegenwärtige Alltagsgeräte und praktisch alle Schülerinnen und Schüler sowie Studierende haben immer eines dabei. Daraus ergeben sich viele neue Möglichkeiten, in Freizeit und Hobby, aber auch in Schule und Universität physikalische Betrachtungen anzustellen.

Das neue Praxisbuch „Für alles eine App. Ideen für Physik mit dem Smartphone“ aus dem Springer-Verlag [1] (siehe Abb. 1) möchte anhand vieler Praxisbeispiele Leserinnen und Leser einen Überblick geben, welche vielfältigen physikalischen Anwendungen mit mobilen Geräten möglich sind, und Anregungen geben, wie man mobile Endgeräte in der physikalischen Lehre einsetzen kann.

In dem Buch stellen 37 Autorinnen und Autoren in 48 Kapiteln jeweils eine andere App kurz vor und erläutern anhand eines Beispiels deren Verwendbarkeit für physikalische Untersuchungen in Schule und/oder Studium und/oder für Anwendungen außerhalb des Bildungsbereichs, z.B. zur eigenen Information oder Unterhaltung mit Physik. Darauf

folgt die Beschreibung eines physikalischen Anwendungsbeispiels. So werden nicht nur verschiedenste Anwendungen der mobilen Geräte, sondern auch viele verschiedene Apps vorgestellt.

In jedem einzelnen Kapitel gibt es zunächst eine kurze Beschreibung der verwendeten App und Informationen zur Technik und Handhabung (Auswahl der Größen, Exportierbarkeit der Daten, Darstellung etc.). Danach folgt die Beschreibung eines konkreten Anwendungsbeispiels. In einem Kasten werden die Grunddaten der App angegeben (App-Name, Anwendungsart, Themenbereich, Plattform, Sensor, Speichermöglichkeit, Exportmöglichkeit, Kosten, Bedienung, Sprache). Darüber hinaus sind die Kapitel des Buches nach den klassischen Fachgebieten der Physik gegliedert, so dass die Leserinnen und Leser die Möglichkeit haben, einzelne Abschnitte nach ihrem jeweiligen Interessengebiet zu lesen.



Abb. 1: Titelbild des neuen Buches

2. Konkrete Inhalte des Buches

In der Physik spielen zwei Anwendungsbereiche eine wichtige Rolle: verschiedene Arten von Simulationen und verschiedene Arten von Messwerterfassung. Das meiste lässt sich auch ohne Smartphone oder Tablet mit anderen bekannten Geräten umsetzen. Das Neue ist, dass die tragbaren Geräte diese Funktionen alle zusammen bieten und dass bei jungen Menschen ein hoher Grad an Vertrautheit im Umgang mit den Geräten besteht.

2.1. Simulationen

Eine Simulation ist eine Berechnung aufgrund gewisser Vorgaben. Die berechneten Werte können dann sehr unterschiedlich mit Zahlen, mit Diagrammen, mit Bildern oder mit Animationen dargestellt werden. Es gibt z.B. einfache, vorgefertigte Simulationen, bei denen man nur einzelne Parameter ändern kann. Mehr Möglichkeiten bieten dagegen sogenannte Simulationsbaukästen, bei denen man sich zuerst die Situation erstellt, die dann anschließend als Simulation genutzt wird. Simulationen, bei denen man ständig etwas variiert, erscheinen auch als Spiel. Bei Augmented Reality werden in das Bild der realen Welt virtuelle Objekte eingeblendet, die entweder simuliert werden oder eine Darstellung realer Messwerte sind. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die Simulationen, die in diesem Buch vorgestellt werden.

Kapitel	Thema	Name der App	Anwendungsart
2	Strahlenoptik	Ray Optics	Simulationsbaukasten
4	Farbmischung	RGB Color Mixer	Simulation
5	Sinnesphysiologie	Color Uncovered, Sound Uncovered	interaktives Buch
24	Zweites Newtonsches Gesetz	Kraftstoß	Simulation
25	Zweites Newtonsches Gesetz	Motion Track	Spiel
28	Strömungen	WindTunnel	Simulationsbaukasten
29	Ideales Gas	Particle Physics Simulator	Simulationsbaukasten
33	Luftfeuchtigkeit	Richtig lüften	Berechnung
36	Stromkreise	iCircuit	Simulationsbaukasten
39	Potenziale und Felder	GeoGebra 3D Grafikrechner	AR-Visualisierung
44	Bahnkurven, Sonnenstand	Sun Locator Lite	AR-Visualisierung
46	Gravitation	Trapped in Gravity	Spiel
48	Minkowski-Diagramme	GeoGebra	Simulationsbaukasten

Tab. 1: Simulationen

2.2. Messwerterfassung

Smartphones oder Tablets sind standardmäßig mit Mikrofon, GPS-Empfänger, Gyroskopsensor sowie mit Sensoren für Beschleunigung, Magnetfeldstärke und Helligkeitsstärke ausgestattet und seltener auch mit Sensoren für Temperatur, Druck und Luftfeuchtigkeit. Somit können naturwissenschaftliche Messungen oder Experimente orts- und zeitunabhängig durchgeführt werden. Außerdem können durch die intuitive Bedienbarkeit der Apps unübersichtliche Versuchsapparaturen ersetzt werden. Tabelle 2 gibt einen Überblick über die Kapitel des Buches, die Messwerte mit internen Sensoren erfassen.

Kapitel	Messgröße	Verwendeter Sensor	Name der App
6	Beleuchtungsstärke	Umgebungslichtsensor	Andro-Sensor
7	Beleuchtungsstärke	Umgebungslichtsensor	Physics Toolbox Light Sensor
11	Schall	Mikrofon	Audio Kit
12	Oszilloskop	Mikrofon	Oscilloskop
13	Frequenz, Schallpegel	Mikrofon	Spectrum View Plus
14	Messen und Dokumentieren	Mikrofon	Science Journal
15	Längenmessung	mehrere	Smart Measure
16	Beschleunigung	Beschleunigungssensor	Sensor Kinetics
17	Beschleunigung	Beschleunigungssensor	SPARKvue
18	Beschleunigung	Beschleunigungssensor	AccelVisu
19	Beschleunigung, Winkelgeschwindigkeit	Beschleunigungssensor	NCSU MyTech
26	Rotation	Beschleunigungssensor	Phyphox
27	Energieumwandlungen	GPS	adidas Running
30	Höhenmessung	Drucksensor	Genauem Höhenmesser kostenlos
31	Druck bzw. Masse	Drucksensor	
33	Luftfeuchtigkeit	Luftfeuchtigkeitssensor	Richtig lüften
38	Magnetfelder	Magnetfeldsensor	Teslameter 11th
41	Elektromagnetische Wellen		Network Signal Info

Tab. 2: Messen nur mit internen Sensoren

Für manche Messung bedarf es jedoch externer Zusatzgeräte, die man mit einem 3D-Drucker erstellen kann oder kaufen muss. Zudem kann man die Geräte auch mit den vielfältigen externen Sensoren verschiedener Lehrmittelfirmen verbinden und dadurch das experimentelle Repertoire bei Bedarf stark erweitern. Entsprechende Beispiele aus dem Buch werden in Tabelle 3 angegeben.

Kapitel	Thema	verwendetes Zusatzgerät	Name der App
3	Maxilupe	3D-Ausdruck und Glaskügelchen	Kamera
9	Spektroskopie	3D-Ausdruck	Light-Spectra
32	Druck	externe Sensoren	Cassy App
35	Wärmebildkamera	Wärmebildkamera Flir One	Flir One
37	Stromstärken	3D-Ausdruck	Phyphox

Tab. 3: Messen mit Zusatzgeräten

Eine weitere Möglichkeit, Messwerte oder qualitative Darstellungen mit dem mobilen Endgerät zu erhalten, liefert die Foto- bzw. Videokamera. Tabelle 4 zeigt, welche Anwendungen dazu in diesem Buch vorgestellt werden. Ein bereits seit Jahrzehnten etabliertes Verfahren ist insbesondere die Videoanalyse von Bewegungen, die eine digital-gestützte Erfassung und Visualisierung von Messwerten ermöglicht.

Kapitel	Anwendung	Name der App
8	Polarisation	Kamera
10	Pulsmessung durch Farbanalyse	Cardiio
20	Stroboskopbilder	Motion Shot
21	Videoanalyse	Video Analysis
22	Videoanalyse	Viana
23	Videoanalyse	NewtonDV
47	radioaktive Messung	RadioactivityCounter

Tab. 4: Verwendung von Foto- und Videokamera

Letztlich ist es auch möglich, über das Internet Messwerte von Datenbanken abzurufen. Einen Überblick über einige vorgestellte Anwendungen gibt Tabelle 5.

Kapitel	Abgerufene Daten	Name der App
34	Flugdaten	Flightradar24
42	Blitze	Blitzortung Gewitter-Monitor
43	Sternkarte	SkEye
45	Position der ISS	ISS Detektor

Tab. 5: Messdaten oder Infos abrufen

3. Literatur

- [1] Wilhelm, T.; Kuhn, J. (Hrsg.): Für alles eine App. Ideen für Physik mit dem Smartphone, Springer-Spektrum, ISBN 978-3-662-63900-9 (gedruckt) und 978-3-662-63901-6 (eBook), 2022, <https://bit.ly/3JB2QG1>

Interaktive Augmentierung eines Lehrfilms – Historische Quellen für den Unterricht digital erschließen

Jürgen Kirstein und Volkhard Nordmeier

Freie Universität Berlin, Didaktik der Physik
juergen.kirstein@physik.fu-berlin.de

Kurzfassung

Lehrfilme sind im Physikunterricht ein Mittel der Anschauung. Sie dokumentieren Experimente und Prozesse der Erkenntnisgewinnung, nutzen aber auch multiple fachsprachliche Ebenen zur Erklärung physikalischer Konzepte. Studien zur Erklärqualität haben gezeigt, dass die passive Rezeption eines Lehrfilms zum Verstehen nicht ausreicht. Verstehen erfordert vielmehr Lernaktivitäten, mit denen Lernende das im Film erklärte Wissen selbstständig verarbeiten können. Unser Ansatz der „Interaktiven Rekonstruktion“ basiert auf der Idee, für die Konstruktion derartiger Aktivitäten Bildmaterial aus dem Film selbst einzusetzen und so zu bearbeiten, dass Lernende die im Film dargestellten (experimentellen) Handlungen oder auch die Auswertung von Messergebnissen interaktiv nachvollziehen können. Eingebettet in eine an die Dramaturgie des Films angelehnte digitale Lernumgebung, bietet diese Verknüpfung aus erklärenden und aktiven Elementen neue didaktische Gestaltungsmöglichkeiten. Wir erproben dieses Konzept derzeit anhand des Lehrfilms „Time dilation, an experiment with mu-mesons“, der 1963 im Rahmen des US-Bildungsprogramms des Physical Science Study Committee (PSSC) entstand und ein klassisches Experiment zum Nachweis des Phänomens der Zeitdilatation in der speziellen Relativitätstheorie detailliert dokumentiert.

1. Einleitung und Zielsetzung

Das Internet ermöglicht heute den Zugang zu vielfältigen Erklärfilmen, die für den Unterricht aber nur bedingt einsetzbar sind. Ein Beispiel: Zur Erklärung des relativistischen Phänomens der Zeitdilatation wird in einem Video [1] (eines der größten deutschsprachigen Kanäle für Erklärvideos) die folgende Formel gezeigt:

$$t = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Ein Sprecher erklärt dazu: „Damit kann man berechnen, wie lange eine bei dir echte Sekunde auf einem Objekt dauert, an dem man mit der relativen Geschwindigkeit v vorbeifliegt. Und das ganze Ding wird dann Zeitdilatation genannt.“ Einer der 396.239 (!) Nutzer kommentiert das so: „Und woher habt ihr dann die Einheit Sekunde, wenn ich c^2 gegeneinander gekürzt habe? Dann kommt für t ein dimensionsloser Wert heraus. Wie macht ihr daraus dann mathematisch wieder eine Sekunde? Oder überseh ich hier was? v^2 in m^2/s^2 geteilt durch $c^2 = m^2/s^2$ ergibt für mich am Ende: nichts an Einheiten, was übrig bliebe.“ [1]

Abgesehen von diesem etwas kuriosen Beispiel stößt die Erklärung von Phänomenen der Speziellen Relativitätstheorie wie dem der Zeitdilatation auf Schwierigkeiten. Im Gegensatz zu vielen Themen der Oberstufenphysik fehlt vor allem die Möglichkeit

eines experimentellen Zugangs zu deren Verifizierung. Das macht auch die Darstellung des Themas im Portal LEIFIphysik deutlich. Hier wird nach einer rein formalen Ableitung der Formel für die Zeitdilatation (über das bekannte Gedankenexperiment der Lichtuhr), der experimentelle Nachweis ausschließlich in einer (Rechen)Aufgabe zum Experiment von Rossi und Hall berücksichtigt [2]. Dabei bezieht sich die Darstellung auf Daten aus dem (modernerem) Experiment von Frisch und Smith [3], das allerdings fern jeder praktischen Realisierbarkeit im Unterricht ist.

Eine Forschergruppe der Universität Lyon hat dieses Experiment simuliert [4]. In der Simulation wird dargestellt, wie die Lebensdauer atmosphärischer Myonen von der Höhe des Ortes abhängt, an dem die Messung erfolgt. Die multimediale Lernumgebung dazu enthält Komponenten zur Detektion von Myonen, zur experimentellen Methode und zur Auswertung der Daten. Lernende greifen auf diese Komponenten per Menüauswahl zu und haben damit die Möglichkeit eines selbstgesteuerten und auch tieferen Zugangs zum Thema, als das beispielsweise durch Lehrbuchtexte möglich wäre. Diese Simulation veranschaulicht damit theoretische Konzepte und experimentelle Methoden, bietet aber – formatbedingt – keine Anschauung des realen Experiments und seiner Durchführung.

Diese Lücke der experimentellen Anschauung schließt der historische Lehrfilm „Time dilation, an experiment with mu-mesons“, der das Experiment von Frisch & Smith sehr detailliert und anschaulich darstellt ([5], Abb. 1). Dieser Film ist Teil einer Serie von Lehrfilmen und Begleitmaterialien des „Physical Science Study Committee“ (PSSC). Als Folge des sogenannten „Sputnik-Schocks“ beschloss das am Massachusetts Institute of Technology (MIT) gegründete PSSC ab 1957 eine grundlegende Reform zur Verbesserung der naturwissenschaftlichen Bildung im Sekundär- und Tertiärbereich. Die Filme zeigen Experimente zu grundlegenden Konzepten der Physik, die aus praktischen Gründen im Unterricht selbst kaum realisierbar sind, wie zum Beispiel den Millikan-Versuch mit Röntgenionisierung („The Millikan Experiment“, 1959) oder das Zählen von Elementarladungen in einem elektrischen Stromkreis („Counting Electrical Charges In Motion“, 1961).



Abb. 1: Der PSSC-Film [5] über das Experiment von Frisch & Smith (1963) zum Nachweis der Zeitdilatation durch den Zerfall von Myonen startet mit dem Transport des Experimentiermaterials für eine Messung in großer Höhe. Nicht nur hier wird durch den Realitätsbezug der Gegensatz zur Simulation deutlich, sondern besonders auch durch das narrative Konzept des Films. (Screenshot: From *Time Dilation – An Experiment with Mu-Mesons*, copyright 1963 by Education Development Center, Inc. (EDC). Used with permission and with all other rights reserved.)

Alle (englischsprachigen) PSSC-Filme sind inzwischen in digitalisierter Form online verfügbar [6]. Diese klassischen Lehrfilme weisen einen hohen Grad an Didaktisierung auf, erheben einen Anspruch auf Vollständigkeit und Fehlerfreiheit und nutzen Experimente zur induktiven Gewinnung neuer Erkenntnisse. Die Dauer der Lehrfilme bewegt sich im Bereich von 30 Minuten. Erklärfilme sind dagegen in der Regel eher kurz und beziehen sich auf Ausschnitte von Themen, meist ohne konkrete Bezüge zu realen Experimenten. Allen zeitbasierten Formaten gemeinsam ist das Problem, dass Rezipierende Filminhalte aufgrund schneller Darstellungswechsel und hoher Informationsdichte ggf. nicht aufnehmen oder adäquat verarbeiten. Auch

unterschiedliche Voraussetzungen der Lernenden lassen sich nicht berücksichtigen, ebenso wenig wie die Möglichkeit der (inter)aktiven Verarbeitung der im Film dargebotenen Informationen, ein bedeutsamer Faktor für den Lernerfolg [7].

Das in diesem Beitrag vorgestellte Vorhaben will die monolithische Struktur des zeitbasierten Lehrfilms aufbrechen: durch die Zerlegung in kurze instruktionale Filmsequenzen und interaktive Lernelemente, die das Bildmaterial des Films aufgreifen. Zusätzlich wird dafür auch eine Publikation zum Experiment verwendet, die neben zusätzlichem Bildmaterial auch weitere Daten und Detailinformationen umfasst [3]. Das Ausgangsmaterial wird dabei soweit modularisiert, dass sich damit unterschiedliche Lehr-Lernumgebungen flexibel konstruieren lassen. Beispielsweise lässt sich so die narrative Struktur des Films rekonstruieren, jedoch nun angereichert durch filmbasierte Lernaktivitäten. Weiter besteht die Möglichkeit, mit den Modulen kurze Erklärfilme zu gestalten, die Einzelaspekte des Experiments, seiner Auswertung und Ergebnisse thematisieren.

Die aus dem Filmmaterial produzierten Medienelemente bilden die Grundlage für digitale Lernmaterialien, die in Kooperation mit dem QUALiS NRW ergänzend zum „Schlüsselexperiment“ V 23 „Myonenzerfall“ [8] entwickelt und online über die Plattform tet.folio [9] für den Einsatz im digital ergänzten Unterricht bereitgestellt werden.

2. Didaktische Analyse des Ausgangsmaterials

Während die Zeitdilatation für Uhren beispielsweise in schnell fliegenden Überschallflugzeugen zwar messbar, aber sehr klein ist, zeigen ‚Uhren‘, die mit fast Lichtgeschwindigkeit fliegen, einen deutlich größeren Effekt. Als eine solche Uhr wird bei dem im Film gezeigten Experiment die mittlere Lebensdauer von Myonen verwendet. Myonen sind instabile Elementarteilchen, die durch hochenergetische kosmische Strahlung in der oberen Atmosphäre entstehen. Sie besitzen fast Lichtgeschwindigkeit und zerfallen während ihres Fluges zur Erdoberfläche in ein Elektron (Positron) und zwei Neutrinos.

Die Kernidee des im Film „Time dilation, an experiment with mu-mesons“ dargestellten Experiments besteht nun darin, als Uhr die Zerfallsverteilung der Myonen zu verwenden. Für *ruhende* Myonen wird diese Verteilung durch ein Exponentialgesetz beschrieben, aus dem sich eine mittlere Lebensdauer von $\tau = 2,2 \mu\text{s}$ ergibt. Mit einer Messung der Zeit zwischen der Entstehung und dem Zerfall *bewegter* Myonen lässt sich eine um den Faktor $(1-[v/c]^2)^{1/2}$ längere Lebensdauer τ' nachweisen. Die erste Messung erfolgt dazu in großer Höhe auf dem Mt. Washington (1910 m). Danach wird die Messung der Myonenrate in einem Labor auf Meeresspiegelniveau wiederholt. Der Vergleich beider Messungen zeigt, dass die Zerfallsverteilung der von der Erde aus gesehen mit fast

Lichtgeschwindigkeit fliegenden Myonen der Vorhersage der Speziellen Relativitätstheorie entspricht.

Das im Film dargestellte Experiment wurde mit den damals (1963) verfügbaren rein analogen Geräten durchgeführt. Trotz seiner Komplexität wird das Experiment damit für Lernende leichter nachvollziehbar. Bei modernen Experimenten sind viele Schritte von der Datenerfassung bis zur Auswertung durch digitale Elektronik und Software automatisiert und so nicht mehr anschaulich erfahrbar.

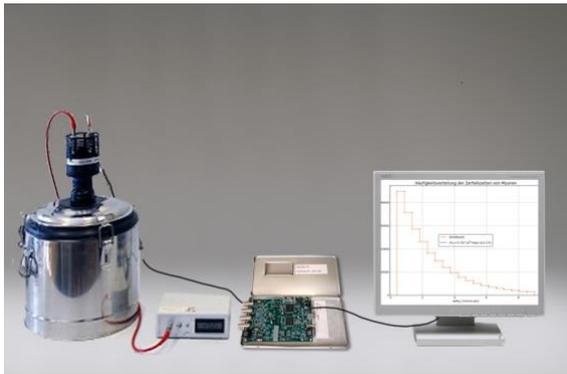


Abb. 2: Das LiDO-Experiment im Format eines IBE. Elektronik und Software automatisieren die Messung der Zerfallsstatistik ruhender Myonen. Am Bildschirm ist die mittlere Lebensdauer direkt ablesbar.

Ein Beispiel dafür sind die Experimente „Cosmic Muon Observer“ (CosMO) und „Liquid Scintillation Muon Decay Observer“ (LiDO) des Schülerlabors „PHYSIK.BEGREIFEN“ des DESY Zeuthen [10], die ergänzend als IBE-Bausteine zur Integration in Lernumgebungen entwickelt werden (Abb. 2). CosMO ermöglicht die Messung der Geschwindigkeit von Myonen aus der Höhenstrahlung, während mit dem Experiment LiDO die mittlere Lebensdauer ruhender Myonen bestimmt werden kann.

Im Film werden hingegen die zur Messung der Zerfallsstatistik notwendigen Schritte – didaktisch sorgfältig mit filmischen Mitteln aufbereitet – vorgeführt. Das Ziel unseres Vorhabens besteht nun darin, diese Schritte durch interaktive Elemente so zu ergänzen, dass ein an den individuellen Wissensstand adaptiertes, aktives Nachvollziehen von Aufbau und Durchführung des komplexen Experiments ermöglicht wird. Die als Ergebnis der Analyse identifizierten Schlüsselszenen des Films bieten dafür erste Anhaltspunkte:

- **Versuchsplan.** Nach einer kurzen Erläuterung des Begriffs der Zeitdilatation gibt der Film eine Übersicht zum weiteren Vorgehen.
- **Nachweis von Myonen.** Der dafür verwendete Detektor wird im Film aus Szintillator und Photomultiplier aufgebaut und erläutert.

- **Lebensdauer und Zerfallsrate.** Die Messung der Zerfallsereignisse erfordert ruhende Myonen im Szintillator. Dazu werden die Myonen über einen entsprechend dimensionierten Eisenblock abgebremst. Im Detail zeigt der Film die Methode der Messung von Zerfallsereignissen mit einem Oszilloskop durch fotografische Registrierung. Ein weiterer an den Bildschirm des Oszilloskops gekoppelter Multiplier wandelt die Zerfallspuls in zählbare Ereignisse um.
- **Messbeispiel und Auswertung.** Mit der fotografischen Registrierung von fünf Zerfallsereignissen wird modellhaft demonstriert, wie daraus die Zerfallsverteilung gewonnen wird.
- **Erste Messung der Zerfallsverteilung.** Diese einstündige Messung der Zerfallsrate im Observatorium auf dem Mt. Washington (1910 m) wird im Zeitraffer dargestellt.
- **Auswertung.** Wie im Beispiel dargestellt, werden hier die fotografisch registrierten 512 Zerfallsereignisse ausgewertet. Das Ergebnis ist eine grafische Darstellung der Verteilung der gemessenen Zerfallszeiten.
- **Nichtrelativistische Hypothese.** Auf Grundlage dieser Verteilung wird die Zerfallsrate bei einer Wiederholung der Messung auf Meeresspiegelniveau bestimmt. Die Berechnung folgt dabei klassischen Bewegungsgesetzen.
- **Zweite Messung auf Meeresspiegelniveau.** Der Film zeigt die vorbereitenden Arbeiten und erläutert Modifikationen der Versuchsanordnung. Die Durchführung der zweiten Messung wird ebenfalls im Zeitraffer dargestellt.
- **Bestimmen des Zeitdilatationsfaktors.** Aus dem Vergleich der Ergebnisse beider Messungen.

Die Anschlussfähigkeit und Vernetzbarkeit des durch interaktive Elemente erworbenen Wissens bezieht sich dabei nicht nur auf das Versuchsergebnis und den theoretischen Hintergrund, sondern auch auf die eingesetzten experimentellen Methoden. Beispiele dafür sind die Funktion des Photomultipliers als Weiterentwicklung der Vakuumphotozelle oder auch der Einsatz des Oszilloskops als Messgerät für sehr kleine Zeiten.

Als weiteres ergänzendes Element ist die interaktive Darstellung der im Film gemessenen Zerfallsverteilung für ein Verständnis des Mess- und Auswerteprozesses von entscheidender Bedeutung. Damit wird die Bestimmung der Lebensdauer von ruhenden Myonen über eine individuelle Auswertung der Filmdaten möglich und so ein Vergleich mit unabhängigen Messungen, etwa mit dem IBE zum LiDO-Experiment (s. Abb. 2).

3. Leitideen der interaktiven Augmentierung

Der hier vorliegende Lehrfilm weist einen hohen Grad an Didaktisierung auf und erhebt den Anspruch auf Vollständigkeit und Fehlerfreiheit. Andererseits ist die Länge eines Films ein bedeutsamer Indikator für das Engagement der Lernenden (Abbruch, Bearbeitung von Aufgaben; vgl. [7]). Die Leitidee der interaktiven Rekonstruktion des Films ist das Bereitstellen von Modulen für eine flexible Gestaltung von Lehr-Lernmaterialien.

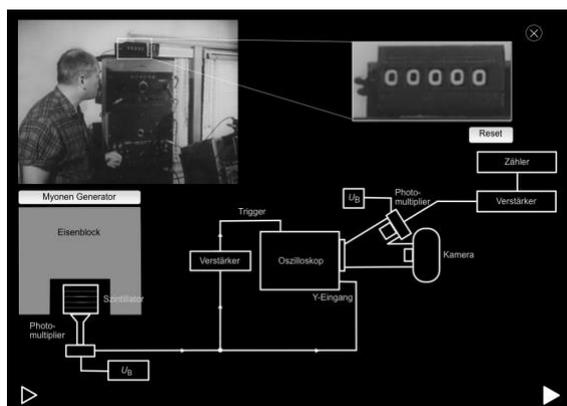


Abb. 3: Das grafische Schema des Versuchsaufbaus aus [3] wird schrittweise zum Ablauf des Films dargestellt. Dreiecke am unteren Bildrand oder das Anklicken von Symbolen in der Grafik steuern den Ablauf. In der dargestellten Szene lässt sich die Funktion der Messanordnung durch Klicken auf die Taste „Myonen-Generator“ individuell nachvollziehen: Das Zählwerk aus dem Film registriert nun den Lichtblitz eines selbst „erzeugten“ Myons. (Screenshot der tet.folio-Einbettung des Films: *From Time Dilatation – An Experiment with Mu-Mesons*, copyright 1963 by Education Development Center, Inc. (EDC). Used with permission and with all other rights reserved.)

In diesen Modulen werden kurze Sequenzen des Films unterbrochen von interaktiven Lernelementen. In diesem Wechsel aus instruktionalen und konstruktiven Sequenzen können sich Lernende so mit den im Film dargestellten Sachverhalten und Handlungsmodellen eigenaktiv auseinandersetzen.

Die Verwendung von Filmbildern zur Gestaltung der interaktiven Lernelemente und die interaktive Verknüpfung verschiedener Codierungsebenen soll dabei die kognitive Belastung (Cognitive Load) verringern und das Bilden mentaler Modelle unterstützen. Beispielsweise zeigt das Anklicken der grafische Symbole im Schema des Versuchsaufbaus die dazu passenden erklärenden Filmausschnitte (s. Abb. 3).

Elemente zur Gestaltung der Module sind neben der Segmentierung und der Wiedergabekontrolle (eigenständige Auswahl relevanter Filmabschnitte, Start-Stopp-Funktion) vor allem auch die Manipulation von (Film-)Bildobjekten und die durch Zeitmarken im Film gesteuerten Hervorhebungen

zum Beispiel durch farbliche Markierungen als Hinweis auf relevante Aspekte.

Die spätere Einbettung der Module in die tet.folio-Umgebung ermöglicht dann eine Erweiterung der didaktischen Gestaltungsmöglichkeiten etwa durch eine Notizfunktion, das Stellen von Fragen an eine/n Expert*in oder den Austausch innerhalb einer Lerngruppe über die integrierte Chat-Funktion [9]. Ebenso sind verschiedene Formen der Selbstevaluation wie Quiz oder Zuordnungsaufgaben oder auch Verweise auf ergänzende Lernmaterialien möglich.

Damit lassen sich dann auch bekannte Kriterien für die Erklärqualität von Erklärvideos anwenden [11]. Unter anderem sind dies eine Anpassung an Vorwissen, Interesse und Alltagsvorstellungen, die Darstellung der Relevanz des Lerninhalts sowie Lernaufgaben, die eine Anschlussfähigkeit des Wissens unterstützen. Durch den Ansatz der Modularisierung und die damit mögliche flexible Gestaltung kognitiv anregender Lernumgebungen bietet die interaktive Rekonstruktion einen deutlichen Mehrwert gegenüber der (rein technischen) Digitalisierung des ursprünglichen Lehrfilms.

4. Realisierung und Ergebnisse

Die Autorenumgebung in tet.folio [9] zeichnet sich dadurch aus, dass auch Werkzeuge („tet.tools“) hochgradig modularisiert sind und damit kontinuierlich – an die Anforderungen der Nutzenden entsprechend – anpassbar sind.

So ermöglicht etwa der „presi.controller“ die Steuerung interaktiver Elemente durch Zeitmarken im Film (Abb. 4).

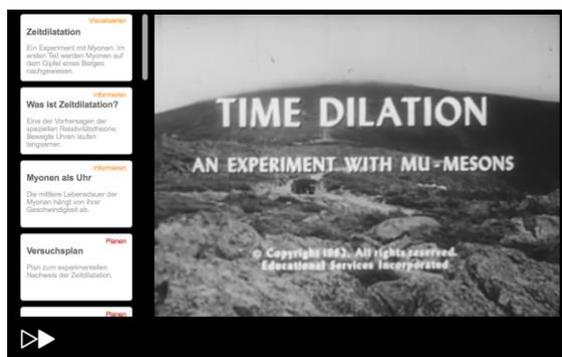


Abb. 4: Die Sequenzierung des Films realisiert über eine Menüleiste zur individuellen Wiedergabesteuerung. (Screenshot der tet.folio-Einbettung des Films: *From Time Dilatation – An Experiment with Mu-Mesons*, copyright 1963 by Education Development Center, Inc. (EDC). Used with permission and with all other rights reserved.)

Über einfache Befehle wie „play film 3:12“ wurde in einem ersten Schritt der vollständige Film entsprechend den Ergebnissen einer Inhaltsanalyse strukturiert und durch die Möglichkeit des Schnellzugriffs auf Schlüsselszenen ergänzt.

Studien zur strukturierten Segmentierung und individuellen Wiedergabesteuerung eines Films zeigen bereits da-durch lernwirksame Effekte im Vergleich zur passiven Rezeption [7].

Die weiteren Schritte zur Ergänzung des Films durch interaktive Lernelemente betreffen dann die Entwicklung von sieben Inhaltsmodulen, die sich an den Schlüsselszenen des Films in ihrer chronologischen Abfolge orientieren (s. Abb. 5):

- **Modul 1 – Orientieren:** In kurzen Instruktionssequenzen aus dem Film wird zunächst der Begriff der Zeitdilatation abstrakt formuliert, dann in Beispielen erläutert und die Planung des Experiments schrittweise vorgestellt. Das Modul bietet damit mögliche Anknüpfungen zum Gedankenexperiment der Lichtuhr oder zum exponentiellen Zerfallsgesetz instabiler Elementarteilchen.

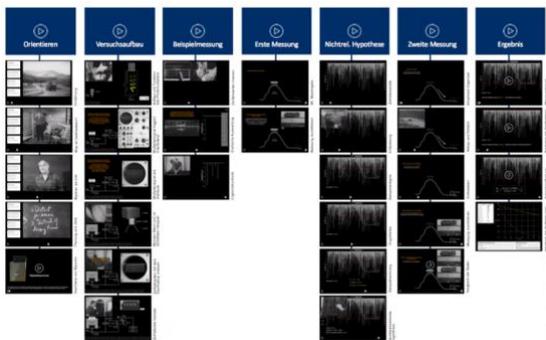


Abb. 5: Grobstruktur des Systems aus sieben Modulen, die Ziel und Aufbau des Experiments, seine Durchführung und Auswertung als Kombination kurzer Filmsequenzen und interaktiven Lernelementen.

- **Modul 2 – Versuchsaufbau:** Der im Film dargestellte diskrete Versuchsaufbau mit rein analogen Geräten wird in diesem Modul ergänzt durch ein grafisches Schema (aus [3]), das so im Film nicht dargestellt wird. Dieses Schema wird in diesem Modul nicht vollständig präsentiert, sondern schrittweise, parallel zu der Erklärung des Aufbaus und der Funktion einzelner Komponenten aufgebaut. Hier sind hinsichtlich einer möglichen Anschlussfähigkeit zwei Komponenten von besonderer Bedeutung: der Photomultiplier und das Oszilloskop.

Zu beiden ermöglichen interaktive Elemente in diesem Modul das individuelle Nachvollziehen grundlegender Funktionen, etwa das Triggern des Oszilloskops über ein Multipliersignal durch einen Lichtblitz im Szintillator (s. Abb. 6 und 7). Weitere Filmsequenzen veranschaulichen dann das Abbremsen der Myonen, das Messen und fotografische Registrieren der Zerfallsdauer sowie das Messen der Myonenrate.

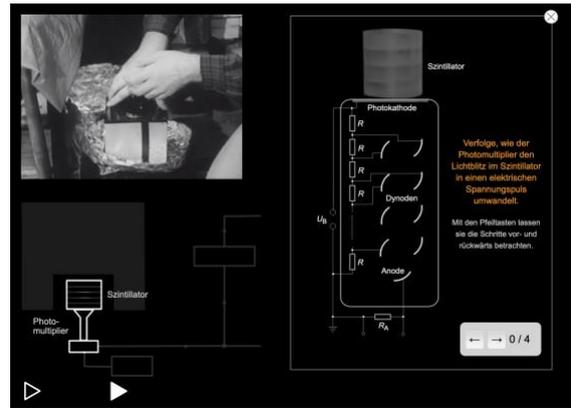


Abb. 6: Ein interaktives Element im Modul 2 veranschaulicht die Funktion des Photomultipliers. (Screenshot der tet.folio-Einbettung des Films: From *Time Dilation – An Experiment with Mu-Mesons*, copyright 1963 by Education Development Center, Inc. (EDC). Used with permission and with all other rights reserved.)



Abb. 7: Der vom Myon ausgelöste Lichtblitz im Szintillator erzeugt im Multiplier einen Spannungsimpuls, der das Oszilloskop triggert. Das lässt sich hier über die Taste "Myonengenerator" interaktiv nachvollziehen. Die erklärende Filmsequenz dazu pausiert solange, bis der Lernende die Aktivität schließt. (Screenshot der tet.folio-Einbettung des Films: From *Time Dilation – An Experiment with Mu-Mesons*, copyright 1963 by Education Development Center, Inc. (EDC). Used with permission and with all other rights reserved.)

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass alle in den hier beschriebenen Modulen integrierte interaktive Lernelemente, wie auch die einzelnen Teilsequenzen des Films, als separate Elemente zur Konstruktion von Lernumgebungen einsetzbar sind. Damit lässt sich die didaktische Gestaltbarkeit von aktivierenden Lernaufgaben nochmals deutlich erweitern.

- **Modul 3 – Beispielmessung:** In diesem für das Verständnis des Experiments und seiner Auswertung zentralen Modul wird anhand einer Beispielmessung für fünf Zerfallsereignisse das Prinzip der statistischen Auswertung demonstriert. Auch in diesem Modul wird der Film durch eine interaktive Sequenz im Kontext

der filmischen Darstellung unterbrochen. Die hierbei selbst erzeugte grafische Darstellung kann der Lernende dann mit dem im weiteren Verlauf des Films dargestellten Ergebnis der Auswertung vergleichen und bei Bedarf wiederholen (s. Abb. 8).

- **Modul 4 – Erste Messung:** Hier erfolgt nun die erste echte Messung der Zerfallsstatistik und der Zerfallsrate. Allerdings nicht im Film, sondern durch die/den Lernenden. Hierzu muss sie/er den im Beispiel demonstrierten Schalter betätigen und damit der Zähl- und Registriervorgang selbst starten (s. Abb. 9).

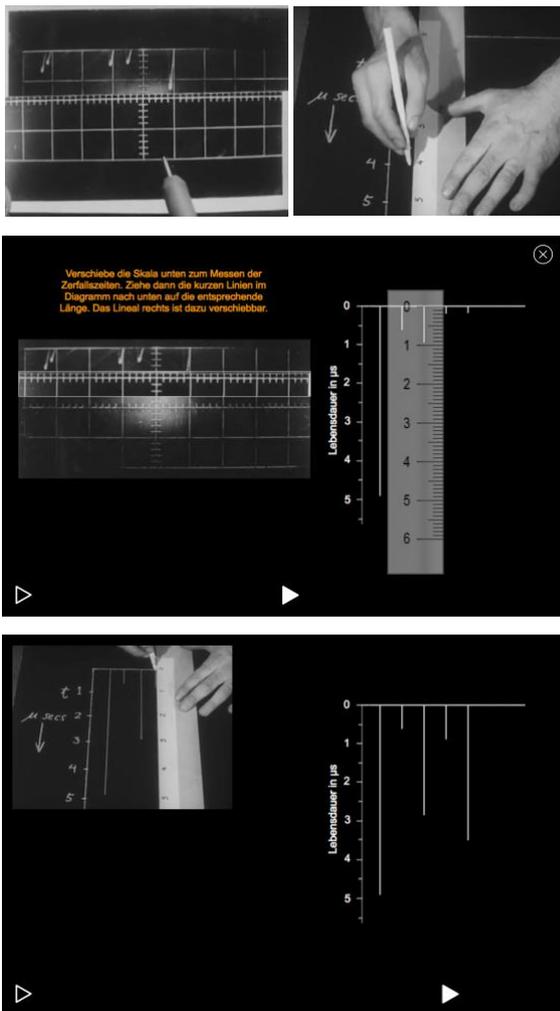


Abb. 8: Beispiel für die Verzahnung interaktiver Elemente mit dem Film. Die Demonstration der Auswertung einer Messung erfolgt im Film. Das interaktive Lernelement (Mitte) ermöglicht das selbstständige Nachvollziehen der vorgeführten Handlung. Unten wird das Ergebnis mit dem Filmbeispiel kontrolliert. (Screenshot der tet.folio-Einbettung des Films: From *Time Dilatation – An Experiment with Mu-Mesons*, copyright 1963 by Education Development Center, Inc. (EDC). Used with permission and with all other rights reserved.)

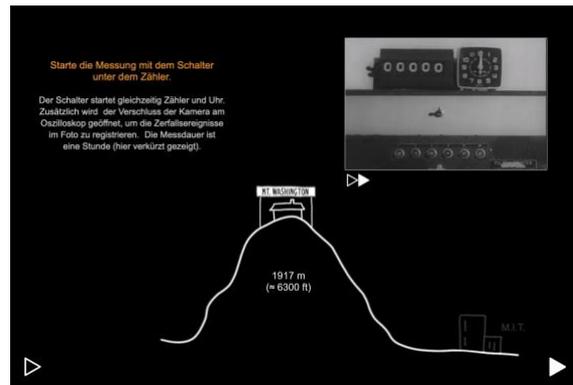


Abb. 9: Das Bestätigen des Schalters im Filmbild startet die erste Messung. (Screenshot der tet.folio-Einbettung des Films: From *Time Dilatation – An Experiment with Mu-Mesons*, copyright 1963 by Education Development Center, Inc. (EDC). Used with permission and with all other rights reserved.)

- **Modul 5 – Auswertung:** Eine kurze Filmsequenz zeigt zunächst das manuelle Erstellen der grafischen Darstellung der Zerfallsstatistik. Diese Grafik dient im Weiteren dann zur Bestimmung der klassisch zu erwartenden Myonenrate auf Meeresspiegelniveau (nichtrelativistische Hypothese). Im Modul kann diese zunächst in einem interaktiven Element (s. Abb. 10) selbst bestimmt werden um das eigene Ergebnis dann wiederum mit dem im Film dargestellten zu vergleichen.

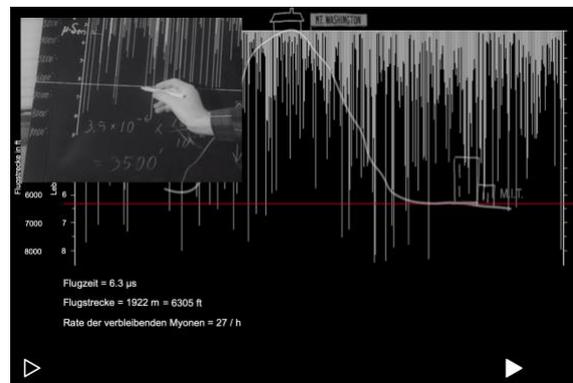


Abb. 10: Kontrolle der mit der interaktiven Zerfallsstatistik (klassisch) ermittelten Zerfallsrate auf Meeresspiegelniveau durch Vergleich mit dem Ergebnis aus dem Film. (Screenshot der tet.folio-Einbettung des Films: From *Time Dilatation – An Experiment with Mu-Mesons*, copyright 1963 by Education Development Center, Inc. (EDC). Used with permission and with all other rights reserved.)

- **Modul 6 – Ergebnis:** Im Film wird nun abschließend aus den zwei gemessenen Zerfallsraten mit Hilfe der Zerfallsstatistik der Faktor der Zeitdilatation $(1-[v/c]^2)^{1/2}$ in einer vereinfachten Darstellung experimentell bestimmt.

Ergebnis: Die 'Uhr' schnell bewegter Myonen geht damit für einen Beobachter auf der Erde um den Faktor $1/9$ langsamer als die ruhender Myonen.

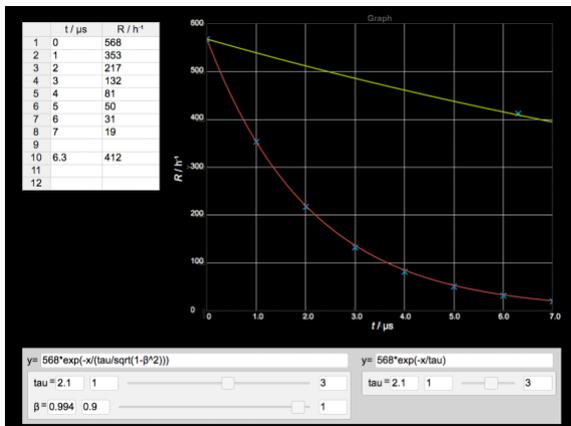


Abb. 11: Interaktive Darstellung der Zerfallskurven aus den der Zerfallsstatistik (Modul 5) entnommenen Messdaten und dem Ergebnis der zweiten Messung (Modul 6).

Dieses Ergebnis lässt sich dann mit dem theoretischen Wert für $v = 0.995c$ vergleichen. Darüber hinaus ermöglicht ein zusätzliches interaktives Element einen Vergleich der aus den Filmdaten ermittelten Zerfallskurven für ruhende und bewegte Myonen (vgl. Abb. 11).

Im Unterschied zur vergleichbaren abstrakten Darstellung aus der Literatur (vgl. Abb. 12, [8]) kann dieses Ergebnis schrittweise selbstständig erarbeitet werden und bietet über den Bezug zum Film eine anschauliche Verknüpfung mit dem hinter der abstrakten Grafik liegenden Experiment.

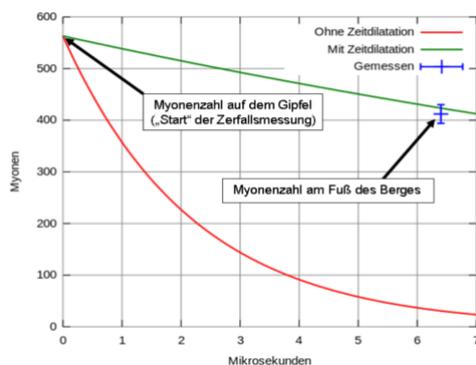


Abb. 12: Darstellung der Zerfallskurven von ruhenden und bewegten Myonen in der Literatur basierend auf den Daten aus dem Experiment von Frisch & Smith [3].

5. Zusammenfassung

Das Beispiel der PSSC-Lehrfilme weist darauf hin, dass es eine große Vielfalt von didaktisch aufbereiteten Darstellungen von unterrichtlich relevanten Experimenten gibt, denen jedoch ein Problem gemeinsam ist: Eine Adaption an das Vorwissen der

Lernenden und die flexible Einbettung in differenzierte Lernumgebungen ist im starren Format des klassischen Lehrfilms nicht möglich. Auch zunächst dann nicht, wenn diese Filme in digitalisierter Form vorliegen.

Allerdings bietet die Digitalisierung durch die Modularisierung und die Gestaltung von mit dem Film visuell verknüpften interaktiven Elemente auch neue Chancen zur Realisierung von Lernumgebungen im Kontext experimenteller Erfahrung, die in vielen Filmen weit über die unterrichtlichen Möglichkeiten hinausgeht.

Hinsichtlich der hier thematisierten Methode des experimentellen Nachweises der Zeitdilatation über die Zerfallsstatistik von Myonen bestehen vielfältige Anschlussmöglichkeiten. Ein Beispiel ist ein Experiment zum Myonenzerfall, das 1975 am CERN mit künstlichen Myonen in einem Speicherring durchgeführt wurde und einen unmittelbaren Vergleich mit den eigenen Ergebnissen erlaubt (vgl. Abb. 13, [12, 13]).

Durch den vergleichsweise geringen (technischen) Aufwand für die Realisierung und Verbreitung der interaktive rekonstruierten Filme und die damit verbundene schnelle Adaptierbarkeit auf die verschiedenen Anforderungen des unterrichtspraktischen Einsatzes, ist dieses Verfahren auf weitere (klassische) Lehrfilme, nicht nur aus der PSSC-Reihe, übertragbar.

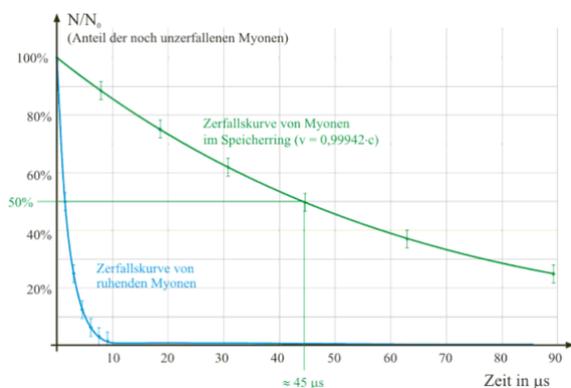


Abb. 13: Vergleich zweier Zerfallskurven für ruhende und bewegte Myonen, die künstlich in einem Speicherring (CERN) erzeugt wurden.

6. Literatur

- [1] SIMPLECLUB: Zeitdilatation - Spezielle Relativitätstheorie 2: <https://youtu.be/nLFJgqfjCA8> (Stand: 5/2022).
- [2] LEIFIPhysik – Experiment von ROSSI und HALL. URL: <https://www.leifiphysik.de/relativitaetstheorie/spezielle-relativitaetstheorie/aufgabe/experiment-von-rossi-und-hall> (Stand: 5/2022).

- [3] Frisch, D.H.; Smith, J.H. (1963): Measurement of the Relativistic Time Dilation Using μ -Mesons. In: Am. J. Phys. 31, 342 (1963), URL: <https://aapt.scitation.org/doi/10.1119/1.1969508> (Stand: 5/2022).
- [4] Barbier, R.; Fleck, S.; Perriès, S. & Ray, C. (2005): Integration of information and communication technologies in special relativity teaching. Eur. J. Phys. 26 (5), S.13-22, URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0143-0807/26/5/S02> (doi.org/10.1088/0143-0807/26/5/S02) (Stand: 5/2022).
- [5] Friedman, J.R. (1963): Time dilation, an experiment with mu-mesons. URL: <https://archive.org/details/TimeDilation>. (Stand: 5/2022).
- [6] PSSC Film Collection. URL: <https://archive.org/search.php?query=subject%3A%22pssc%22>. (Stand: 5/2022).
- [7] Findeisen, S.; Horn, S. & Seifried, J. (2019): Lernen durch Videos – Empirische Befunde zur Gestaltung von Erklärvideos. MedienPädagogik, (Oktober), S. 16–36, URL: doi.org/10.21240/mpaed/00/2019.10.01.X. (Stand: 5/2022).
- [8] QUA-LiS NRW (2022): Schlüsselexperimente Physik in der gymnasialen Oberstufe, V23 - Myonenzerfall. URL: <https://www.schulentwicklung.nrw.de/materialdatenbank/material/view/5249> (Stand: 5/2022).
- [9] Kirstein, J., Nordmeier, V. (2014): tet.folio: Physik lehren und lernen mit einem digitalen Portfolio. In: Praxis der Naturwissenschaften PHYSIK in der Schule 63 (3 / 63), S. 19
- [10] DESY (2020): Liquid Scintillation Muon Decay Observer. URL: https://physik-zeuthen.desy.de/angebote/kosmische_teilchen/experimente/lido/index_ger.html (Stand: 5/2022).
- [11] Kulgemeyer, C. (2019): Qualitätskriterien zur Gestaltung naturwissenschaftlicher Erklärvideos. In: Maurer, C. (Hrsg.), Naturwissenschaftliche Bildung als Grundlage für berufliche und gesellschaftliche Teilhabe. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Kiel 2018, Publisher: Universität Regensburg, pp.285-288.
- [12] LEIFIPhysik – Myonen-Experiment in Cern. URL: <https://www.leifiphysik.de/relativitaetstheorie/spezielle-relativitaetstheorie/versuche/myonen-experiment-cern> (Stand: 5/2022).
- [13] Bailey, J. et al. (1979): Final report on the CERN muon storage ring including the anomalous magnetic moment and the electric dipole moment of the muon, and a direct test of relativistic time dilation. In: Nuclear Physics B, Volume 150, 1979, Pages 1-75, URL: [https://doi.org/10.1016/0550-3213\(79\)90292-X](https://doi.org/10.1016/0550-3213(79)90292-X) (Stand: 5/2022).

Lehrkräftefortbildung zu Augmented Reality-Experimenten im Physikunterricht

Mareike Freese*, Albert Teichrew*, Jan Winkelmann[†], Roger Erb*,
Mark Ullrich[°], Michael Tremmel[°]

*Goethe-Universität Frankfurt, Institut für Didaktik der Physik, [°]Goethe-Universität Frankfurt, Institut für Psychologie, [†]Pädagogische Hochschule Schwäbisch Gmünd, Institut für Naturwissenschaften
freese@physik.uni-frankfurt.de

Kurzfassung

Physikalische Modelle sind als Teil der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung in den Bildungsstandards verankert. Studien zeigen jedoch, dass selbst Lehrkräfte häufig Schwierigkeiten mit abstrakten Modellen haben und diese daher weniger häufig explizit im Unterricht behandelt werden. Das digitale Werkzeug Augmented Reality (AR) ermöglicht, reale Experimente im Physikunterricht in Echtzeit um virtuelle Modellierungen zu erweitern, was die zugrundeliegenden Modelle besser zugänglich macht. In dem QL B-geförderten Projekt „diMEx“ wurde eine Fortbildung entwickelt, durchgeführt und evaluiert, in der Lehrkräfte darin geschult werden, AR-Experimente im eigenen Unterricht einzusetzen und mithilfe der Dynamische Geometrie-Software (DGS) GeoGebra eigenständig zu entwickeln. Abschließend wurde die Implementation gemeinsam reflektiert und die Entwicklung der digitalen und Modellkompetenzen in einem Prä-Post-Design qualitativ und quantitativ untersucht.

1. Theoretischer Hintergrund

1.1. Modelle und Modellkompetenz

Die naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung in der Physik stützt sich neben dem Experimentieren auf das Entwickeln, Anwenden und Ändern von Modellen *von* etwas (Modellobjekt als Repräsentation) und *für* etwas (als Medium oder Werkzeug) [1; 2]. Auch im Schulalltag sind Modelle als Bestandteil des Kompetenzbereichs Erkenntnisgewinnung in den Bildungsstandards verankert [3]. Zur Modellkompetenz gehören neben der Kenntnis über Eigenschaften von Modellen selbst und ihren Alternativen auch der Zweck und das aktive Testen von Modellen [4]. Verschiedene nationale und internationale Studien haben jedoch gezeigt, dass die Modellkompetenz sowohl von Schüler*innen [5] als auch von Lehrkräften [6] häufig verbesserungswürdig ist. So wird teilweise bemängelt, dass der Prozess des Modellierens sowie die Entstehung von Modellen im Unterricht oft nicht explizit zum Gegenstand gemacht werden [7]. Stattdessen würden eher beispielhafte Modelle als solche thematisiert [8-10]. Hierbei ist die Unterscheidung zwischen konstruierter Modellwelt und experimenteller Erfahrungswelt zu berücksichtigen, die nebeneinander existieren. Lernende haben jedoch Schwierigkeiten, diese bewusst zu trennen [7]. Dies führt auch dazu, dass Experimentieren als beliebt und einfach empfunden wird, während die Arbeit mit als abstrakt und schwierig aufgefassten Modellen oft schwerfällt [11]. Damit Lehrkräfte kompetent auf diesen Umstand reagieren können, zeichnet sich ein Bedarf an Fortbildungs-

maßnahmen zum Modellieren und zum zielgerichteten Einsatz von Modellen im Physikunterricht ab.

1.2. Augmented Reality und AR-Experimente

Mit dem digitalen Werkzeug AR können reale Umgebungen in Echtzeit um virtuelle Inhalte erweitert werden. Dabei kommt in der Regel die Kamera eines Mobilgeräts oder eine besondere Brille zum Einsatz. Im Gegensatz zu Virtual Reality (VR) ist jedoch die reale Umgebung, in der man sich befindet, weiterhin auf dem Bildschirm sichtbar. Bewegt man sich mit dem Mobilgerät um das virtuelle 3D-Objekt herum, so bleibt es an seinem zugewiesenen Platz und erscheint ganz natürlich im Raum [12].

AR kommt in vielen Domänen zum Einsatz, z.B. bei Spielen, in der Werbung oder in Navigationsdisplays von E-Autos. Doch auch im Bildungsbereich gewinnt die Technologie an Bedeutung, da sie den Lernerfolg und die Motivation verbessern kann [13]. Speziell im naturwissenschaftlichen Unterricht bieten sogenannte AR-Experimente (siehe Abb. 1) eine neuartige Einsatzmöglichkeit. Hierbei werden bekannte, reale Experimente mit virtuellen Objekten verknüpft, um auf diese Weise Modellierungen in Form von Beobachtungen oder Messwerten greifbarer und leichter verständlich zu machen [14]. Dies dient einem direkten Vergleich des dynamischen Modells mit der Realität im Experiment, wobei die Unterscheidung von Modellwelt und Erfahrungswelt (siehe Abschnitt 1.1) gewährleistet ist: Die Inhalte der Modellwelt sind als virtuelle, über dem Realexperiment eingeblendete Objekte deutlich erkennbar

und auch ohne den AR-Modus im 3D-Modell untersuchbar.

Bei der aktiven Durchführung eines AR-Experiments wird über die zugrundeliegenden Modelle reflektiert und das Modellverständnis wird gefördert, denn besonders schwierige Inhalte und Konzepte werden mithilfe von AR leichter verständlich. Das digitale Werkzeug lenkt die Aufmerksamkeit auf wichtige Aspekte des Phänomens, und relevante Informationen können zur richtigen Zeit am richtigen Ort dynamisch präsentiert werden. Wenn diese Bedingungen erfüllt sind, wird auch der Cognitive Load [15] reduziert. Die Lernenden können quasi physisch in die Konzepte eintauchen (Immersion), indem sie selbst aktiv sind, und auch die Interaktion mit den 3D-Objekten erleichtert den Zugang [16].

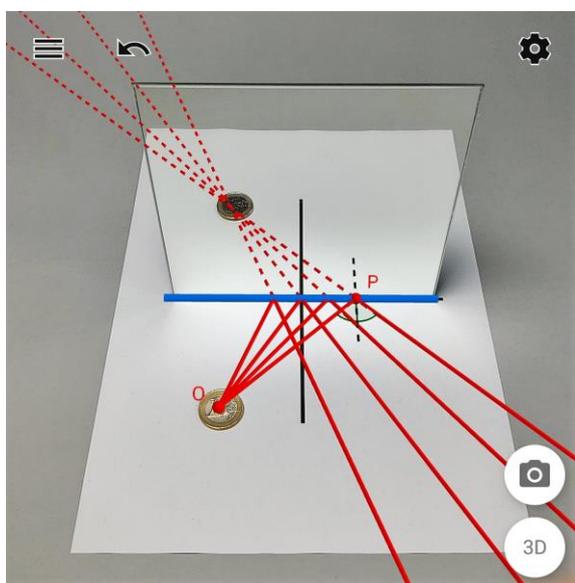


Abb. 1: AR-Experiment zur Bildentstehung am ebenen Spiegel, gesehen durch die Kamera eines Smartphones [14].

Ein AR-Experiment lässt sich auf einfache Weise realisieren, indem mithilfe der DGS GeoGebra (geogebra.org) die virtuellen Objekte und Inhalte im Browser modelliert werden, die später mit der dazugehörigen mobilen App (Smartphone oder Tablet) über das reale Experiment gelegt werden. Es bedarf demnach keiner speziellen Geräte oder besonderer Programmierkenntnisse.

1.3. Digitale Kompetenzen zum Modellieren

In einer zunehmend digitalisierten Welt bedarf es auch im Bildungsbereich neuer Kompetenzen auf dem Gebiet der digitalen Medien und Werkzeuge, welche in den Fokus der Lehrkräfteausbildung und der beruflichen Fort- und Weiterbildung gerückt werden müssen. In den vergangenen Jahren wurden dabei auf verschiedenen Ebenen Kompetenzrahmen und -modelle entwickelt, um die digitalen Kompetenzen zu definieren und zu strukturieren. Explizit wird zum einen das fächerübergreifende TPACK-Modell nach Mishra und Koehler [17] angeführt, welches die Kombinationsformen vom technologi-

schen (TK), pädagogischen/fachdidaktischen (PK/PCK) und dem Fachwissen (CK) beschreibt.

Die EU-Kommission hat für die digitalen Kompetenzen im Bildungsbereich einen gemeinsamen europäischen Kompetenzrahmen für Lehrende (DigCompEdu) erstellt, welcher sich in sechs Bereiche gliedert und damit, neben dem Lehren und Lernen mit digitalen Medien, unter anderem auch die Auswahl geeigneter digitaler Ressourcen abdeckt [18]. Für die naturwissenschaftlichen Fächer im deutschsprachigen Raum wurde mit DiKoLAN ein Rahmen für fachspezifische digitale Basiskompetenzen von Lehramtsstudierenden geschaffen, darunter der Kompetenzbereich „Simulation und Modellierung“ [19].

In diesem Beitrag werden speziell jene digitalen Kompetenzen fokussiert, welche für die Arbeit mit AR-Experimenten notwendig sind. Dabei handelt es sich um die Nutzung der Software und die Bedienung der Hardware, sowie die didaktische Nutzung des digitalen Werkzeugs im Unterricht. Diese digitalen Kompetenzen stehen der in Abschnitt 1.1 beschriebenen Modellkompetenz gegenüber, wobei in der im folgenden Abschnitt beschriebenen Fortbildung die Schnittmenge beider Bereiche geschult werden soll: die notwendigen digitalen Kompetenzen zum Modellieren und zum Einsatz von Modellen zur Erkenntnisgewinnung.

2. Fortbildungskonzept

Der Entwicklung des Fortbildungskonzepts ging eine Bedarfsanalyse voraus, in der im Sommer 2020 Physiklehrkräfte der Sekundarstufe ($n = 81$), vorrangig aus Hessen, zu ihren Einstellungen und der Motivation sowie Vorerfahrungen und Kontextbedingungen bezüglich des Einsatzes digitaler Werkzeuge im Unterricht befragt wurden [20]. Dabei zeigte sich, dass sich die Unterrichtserfahrung der Lehrkräfte meist auf die Nutzung bekannter analoger Anwendungen beschränkt. Besonders in den Bereichen AR und VR (Virtual Reality) sowie bei der Bedienung von Tablets schätzten die Lehrkräfte ihre Kenntnisse als ausbaufähig ein. Zudem wurde in vielen Fällen die technische Infrastruktur an den Schulen bemängelt. Allerdings zeigten die Lehrkräfte eine hohe Bereitschaft, selbsterstellte Materialien im Internet als Open Educational Resources (OER) zur Verfügung zu stellen, auch wenn die meisten damit noch wenig Erfahrung hatten.

Die Struktur der Fortbildung orientiert sich am TPACK-Modell (siehe Abschnitt 1.3) und ist in fünf Sitzungen gegliedert (siehe Abb. 2). In der Auftakt Sitzung werden Grundlagen zu AR vermittelt, eigene Ideen der Lehrkräfte für AR-Experimente in ihrem Unterricht gesammelt und Übungen mit bereits entwickelten Modellen durchgeführt. Daran schließt die dreiteilige Workshop-Phase an, deren inhaltlicher Schwerpunkt auf der Erstellung der 3D-Modelle in GeoGebra liegt. Dazu werden ausführliche Anleitungen und Hilfestellungen in einer Online-Einheit

zur Verfügung gestellt. Zusätzlich werden Inputvorträge zum wissenschaftlichen Hintergrund und zu empirischen Ergebnissen mit (AR-)Experimenten im Physikunterricht angeboten. In der anschließenden, mehrmonatigen Implementationsphase haben die Lehrkräfte Zeit, die in den Workshops entwickelten oder angepassten 3D-Modelle als AR-Experimente in ihrem eigenen Unterricht einzusetzen. Um ihre Erfahrungen festzuhalten, erhalten sie ein Implementationstagebuch mit Leitfragen, welches direkt im Anschluss an die Stunde oder Einheit ausgefüllt werden soll. Diese Phase wird zudem durch Interviews begleitet. In der Reflexionssitzung zum Abschluss berichten die Lehrkräfte von ihren Erfahrungen mit den AR-Experimenten im Unterricht und präsentieren diese in der Gruppe. Sie erhalten dazu Peer-Feedback und eine fachliche und didaktische Einschätzung der Organisator*innen.

Feedbackphasen, insbesondere Peer-Feedback unter Kolleg*innen, haben sich in Studien als besonders wirksam in Lehrkräftefortbildungen herausgestellt, da sie das unterrichtliche Verhalten positiv beeinflussen [21].

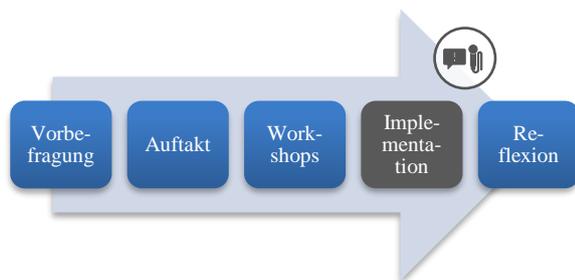


Abb. 2: Fortbildungskonzept.

Eine Pilotierung des Fortbildungskonzeptes erfolgte im Frühjahr und Sommer 2021 in Zusammenarbeit mit der Pädagogischen Hochschule Schwäbisch Gmünd, pandemiebedingt mit einer kleinen Gruppe von $n = 5$ Lehrkräften und den ersten beiden Sitzungen als Videokonferenz. Die Pilotierung führte zu einer Reihe von Anpassungen für die Planung der Hauptstudie. Nachdem die allgemeine Beteiligung in den Videokonferenzen eher gering ausgefallen war, wurde die Hauptstudie mit entsprechendem Hygienekonzept und in externen Räumlichkeiten ausschließlich in Präsenz geplant. Da der Zeitpunkt der Pilotierung einen Unterrichtseinsatz der AR-Experimente aufgrund des Wechsels vom Distanz zum Präsenzunterricht erschwerte, wurde in der Hauptstudie darauf geachtet, dass sich die Implementationsphase besser mit dem Unterrichtsverlauf vereinbaren lässt. Des Weiteren lagen die fünf Sitzungen in Schwäbisch Gmünd sehr nah beieinander über eine Dauer von zwei Monaten. Um den Zeitaufwand der Lehrkräfte zu entzerren, sollte sich die Hauptstudie daher über einen längeren Zeitraum von einem halben Jahr erstrecken. Zuletzt wurden auch die Wochentage und Uhrzeiten angepasst. Die Workshopsitzungen wurden zudem von drei auf zwei Stunden verkürzt. Die Hauptstudie wurde

schließlich von September 2021 bis März 2022 an der Goethe-Universität Frankfurt durchgeführt. Daran nahmen zu Beginn $n = 20$ Lehrkräfte und Lehrkräfte im Vorbereitungsdienst teil, von denen $n = 15$ bis zum Abschluss blieben.

3. Evaluationsdesign

Die Fortbildung wurde in einem Prä-Post-Design mit Mixed-Methods-Ansatz evaluiert und die Lernprodukte der Teilnehmenden in Form ihrer AR-Experimente durch das Projektteam fachlich eingeschätzt.

Das Modellverständnis der Lehrkräfte wurde vor und nach der Fortbildung qualitativ mithilfe offener Fragen zur Natur und Funktion von Modellen [22] und quantitativ mit Vignettentests [23] erhoben. Dabei wurden für die Auswertung (siehe Abschnitt 4.1) zwei Modellkompetenzsysteme [1; 22] als Vorlage verwendet. Ihre Einstellungen und Vorerfahrungen bezüglich digitaler Medien im Unterricht, speziell mit AR und GeoGebra, wurden ebenfalls quantitativ in einem Fragebogen ermittelt [24]. Während der Implementationsphase wurden zusätzlich semistrukturierte Einzelinterviews mit den Teilnehmenden geführt.

Die Kompetenzen der Lehrkräfte bezüglich der in der Reflexionssitzung demonstrierten AR-Experimente und ihrem Unterrichtseinsatz wurden zudem anhand einer Bewertungsmatrix durch das Projektteam eingeschätzt. Die Matrix beinhaltet fünf verschiedene Kompetenzaspekte zu AR-Experimenten mit jeweils drei Niveaustufen. Die Kompetenzaspekte sind dabei am TPACK-Modell orientiert. Der Aspekt digitale Modellierungskompetenz (TK) wird objektiv anhand der Selbstständigkeit des Modellierungsprozesses festgestellt: Hat die Lehrkraft die Plattform GeoGebra genutzt, um für ihren Unterricht passende Modelle (a) zu suchen und in ihr Profil zu übernehmen, hat sie diese vielleicht noch (b) angepasst, oder hat sie (c) ein Modell von Grund auf selbst erstellt.

Die anderen Aspekte wurden hingegen durch vier Expert*innen des Projektteams individuell auf einer Skala von 1 bis 5 beurteilt. Bei 1, 3 und 5 handelt es sich um Zuordnungen zu den drei definierten Niveaustufen, während 2 und 4 Zwischenstufen darstellen, falls nur ein Teil der Merkmale einer Niveaustufe als erfüllt betrachtet wird. Die beurteilten Aspekte sind an den Modellierungsprozess gekoppelt und beziehen sich daher zum Teil auf die Auswahl bestehender Modelle, sofern diese übernommen und ggf. angepasst wurden.

Dabei handelt es sich um

- a) die inhaltliche Gestaltung des Modells (TCK): Die Lehrkraft hat in ihrem 3D-Modell fachlich korrekte Inhalte und nachvollziehbare Zusammenhänge verarbeitet.

- b) die didaktische Gestaltung (TPK 1): Die Lehrkraft hat auf eine optisch ansprechende Nutzeransicht und eine intuitive Bedienung geachtet.
- c) den didaktischen Einsatz des Modells (TPK 2): Die Lehrkraft hat für den Einsatz im Unterricht ein angemessenes Lernziel formuliert.
- d) die digitale Modellkompetenz (TPACK): Sie verbindet alle vorherigen Aspekte und zeigt, dass die Lehrkraft das reale Experiment durch die modellierten Inhalte mit AR deutlich bereichert hat.

Die Bewertungsmatrix in reduzierter Form wurde den Lehrkräften während der Demonstration auch zur Verfügung gestellt, damit sie die AR-Experimente ihrer Kolleg*innen in Form eines Peer-Feedbacks beurteilen können. Die gegenseitige Einschätzung gibt auch Aufschluss über den eigenen Lernfortschritt und das Verständnis von AR-Experimenten.

4. Ergebnisse

Nachfolgend sollen die Ergebnisse skizziert werden, die nach Abschluss der Fortbildung ausgewertet wurden. Dies schließt sowohl Aussagen und Antworten der Lehrkräfte aus den qualitativen Befragungen als auch ihre (teilweise selbsterstellten) Lernprodukte in Form von AR-Experimenten und das Expert*innenrating ein.

4.1. Ergebnisse der qualitativen Befragungen

Bereits im Rahmen der Pilotierung ließ sich eine Verbesserung der digitalen Kompetenzen zum Modellieren bei den teilnehmenden Lehrkräften feststellen, was sich an der Qualität ihrer (teilweise selbst erstellten) AR-Experimente zeigte und was sie auch mit ihren Aussagen in den Interviews bestätigten. Andererseits zeigte sich durch die qualitativen Fragen zu Modellen, dass – trotz des hohen Anteils an praktischem Modellieren – das theoretische Modellverständnis der Lehrkräfte nicht verbessert werden konnte. Dies wurde anhand der offenen Fragen zur Natur und Funktion von Modellen, sowie zum Verständnis von Werkzeugen zur naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung deutlich. Als Konsequenz wurde für die Hauptstudie geplant, einen größeren Fokus auf theoretische Modelle zu legen, damit durch die Beschäftigung mit den realen Experimentiermaterialien nicht der Modellaspekt von AR-Experimenten in den Hintergrund rückt.

In der Reflexionssitzung der Hauptstudie zeigte sich, dass ein Großteil der Teilnehmenden ein AR-Experiment im Unterricht einsetzen konnte, wobei jedoch die meisten auf bereits vorhandene 3D-Modelle zurückgegriffen und nur wenige von Grund auf ein eigenes Modell erstellt haben. Dies wurde größtenteils mit einem höheren Arbeitsaufwand begründet, weshalb sich die Lehrkräfte wünschen, dass die erstellten Materialien (der Teilnehmenden und des Projektteams) in einer sortierten Sammlung gebündelt als OER bereitgestellt werden. Die wach-

sende Sammlung ist auf der AG-Homepage (physikexperimentieren.uni-frankfurt.de) unter dem Menüpunkt „Augmented“ zu finden.

Die Rückmeldungen der Schüler*innen waren laut den Berichten der Lehrkräfte überwiegend positiv, insbesondere in den höheren Jahrgängen. Technische Schwierigkeiten wurden vorwiegend aufgrund der Ausstattung an den Schulen oder älterer Mobilgeräte der Lernenden beklagt.

Des Weiteren zeigte sich, dass sich die verschiedenen Themenbereiche der Physik unterschiedlich gut für die 3D-Modellierung in den AR-Experimenten eignen. Während das Gebiet der Optik großes Potential bietet, sei den Lehrkräften und Schüler*innen beispielsweise in der Mechanik der Mehrwert 3D-modellierter Kraftvektoren in AR gegenüber klassischen Zeichnungen oder Simulationen nicht direkt ersichtlich. Dieser sollte daher für eine Förderung der Modellkompetenz im Unterrichtseinsatz deutlicher herausgearbeitet und auch mit den Lernenden diskutiert werden.

Aus den Antworten der Lehrkräfte auf die offenen Fragen im Prä- und Posttest ergibt sich eine verbesserte Modellkompetenz. Die Anzahl an als korrekt eingeschätzten Antworten zur Natur und Funktion von Modellen erhöhte sich nach Abschluss der Intervention. Insbesondere die vermehrte Nennung von Idealisierungen als ein Aspekt des Modellierens ist vermutlich auch auf den Inputvortrag zu diesem Thema zurückzuführen.

4.2. Beispielhafte Lernprodukte

Die Lehrkräfte erhielten während der Workshop-Phase die Möglichkeit, angeleitet AR-Experimente für den Unterricht vorzubereiten. Dabei erhielten sie detaillierte Schritt-für-Schritt-Anleitungen in einer interaktiven Lerneinheit, welche ihnen von Grund auf die Fähigkeiten zum Erstellen von 3D-Modellen in GeoGebra vermitteln sollten. Dennoch wurde nicht vorausgesetzt, dass alle Teilnehmenden ein vollständig selbsterstelltes AR-Experiment im Unterricht einsetzen. Mit bereits existierenden 3D-Modellen wurde ihnen eine breite Auswahl an Themen bereitgestellt und damit die Möglichkeit gegeben, vorhandene AR-Experimente (ggf. angepasst) zu verwenden. Dies konnten sie von ihrer individuell verfügbaren Zeit und den eigenen Fähigkeiten abhängig machen. Im Folgenden werden zwei AR-Experimente von Lehrkräften vorgestellt. Diese wurden aufgrund ihrer positiven Bewertungen sowohl im Peer- als auch im Expert*innenrating ausgewählt und entstammen zwei verschiedenen Themengebieten der Physik. Zudem unterscheiden sie sich in ihrem Grad an Selbstständigkeit im Modellierprozess.

Abb. 3 und 4 zeigen ein von Grund auf selbsterstelltes AR-Experiment (TK Stufe 5 auf der Skala von 1 bis 5) zur Bestimmung der spezifischen Ladung des Elektrons mit dem Fadenstrahlrohr, das von einer teilnehmenden Lehrkraft allerdings aus unterrichts-

praktischen Gründen bis zur Reflexionssitzung noch nicht eingesetzt werden konnte. Geplant war die Implementation als Demonstrationsexperiment in der Oberstufe.

Die inhaltliche Gestaltung des Modells (TCK) erscheint auf den ersten Blick gut bis sehr gut (im Rating überwiegend Stufe 4 oder 5), denn die relevanten fachlichen Inhalte sind korrekt verarbeitet. Allerdings zeigt sich anhand der algebraischen Befehle, die zur Konstruktion verwendet wurden, dass das Modell nicht physikalisch, sondern nur graphisch modelliert wurde. Damit lässt es sich nur schwer an das reale Experiment anpassen, dessen Gegebenheiten zudem häufig variieren.

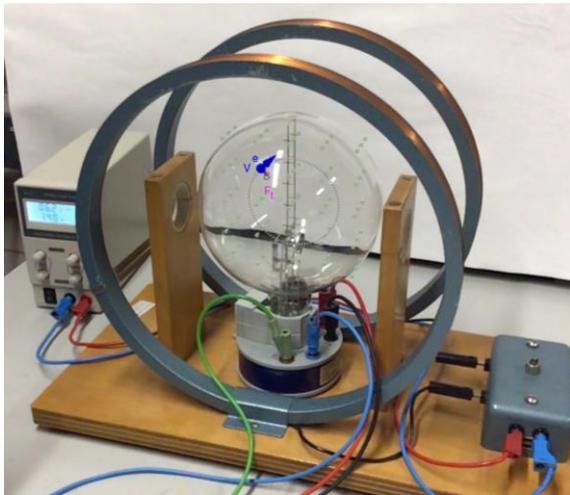


Abb. 3: Selbsterstelltes AR-Experiment einer teilnehmenden Lehrkraft zum Fadenstrahlrohr, gesehen durch die Kamera eines Tablets.

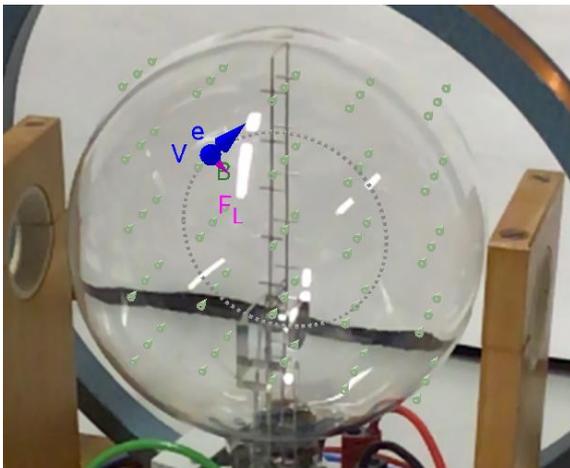


Abb. 4: Detailansicht des AR-Experiments zum Fadenstrahlrohr.

Die didaktische Gestaltung kann ebenfalls größtenteils überzeugen (TPK 1 überwiegend Stufe 4 oder 5). Dabei wird bemängelt, dass einige Beschriftungen nicht gut sichtbar seien (siehe Abb. 4), doch für den Einsatz als Demonstration könne die Verständlichkeit gewährleistet werden. Aufgrund des nicht erfolgten Einsatzes des AR-Experiments wurde die

technologisch-pädagogische Kompetenz der Lehrkraft (TPK 2) in diesem Fall nicht bewertet.

Auch die Bewertung der digitalen Modellkompetenz der Lehrkraft ist überwiegend positiv (TPACK Stufe 4 oder 5). Dafür spricht neben den modellierten Objekten, welche Unsichtbares sichtbar machen, auch die eigene Idee, das reale Experiment am Fadenstrahlrohr zu erweitern. Als klassischer Demonstrationsversuch stößt dieses im Unterricht normalerweise an die Grenze, dass in einer hellen Umgebung der Elektronenstrahl nicht mehr gut sichtbar ist. Dort kann die modellierte Elektronenbahn mit AR eine virtuelle Ergänzung bieten.

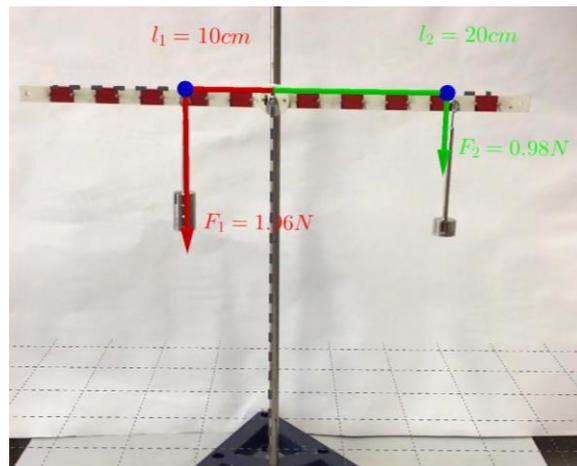


Abb. 5: Angepasstes AR-Experiment einer teilnehmenden Lehrkraft zum Hebelgesetz, gesehen durch die Kamera eines Tablets.

Eine andere Lehrkraft entschied sich, ein bestehendes Modell zum Hebelgesetz (siehe Abb. 5) an die Gegebenheiten in der Schule anzupassen (TK Stufe 3) und dieses im Unterricht in der 9. Klassenstufe als Gruppenarbeit einzusetzen.

Die TCK der Lehrkraft wird hierbei als sehr hoch eingeschätzt (Stufe 5), das Modell ist inhaltlich korrekt und nachvollziehbar (um)gestaltet worden. Auch die didaktische Gestaltung (TPK 1) kann überzeugen. Der didaktische Einsatz (TPK 2) dagegen wird überwiegend im mittleren Bereich (Stufe 2 oder 3) eingeschätzt, da der Mehrwert des AR-Experiments im Unterricht nur implizit vermittelt worden scheint: Die berichteten Lernziele „Verständnisförderung“ und „Anschaulichkeit“ heben nicht den besonderen Charakter eines AR-Experiments hervor. Insgesamt wird die digitale Modellkompetenz (TPACK) der Lehrkraft dennoch überwiegend als gut bis sehr gut eingeschätzt (Stufe 4), da der Unterrichtseinsatz grundsätzlich funktionieren kann.

4.3. Expert*innenrating der AR-Experimente

Die Bewertungsmatrix, die dem Rating zugrunde liegt und im vorherigen Abschnitt 4.2 an zwei AR-Experimenten der Lehrkräfte exemplarisch vorgestellt wurde, dient dem Rating der Kompetenz der Teilnehmenden. Tab. 1 zeigt eine Übersicht über die

Einschätzung der vier Kompetenzaspekte für jedes der neun erstellten und z.T. eingesetzten AR-Experimente. Diese basiert auf dem individuellen Rating durch vier Expert*innen aus der Physikdidaktik. Die beiden ersten AR-Experimente konnten bis zum Abschluss der Fortbildung nicht im Unterricht erprobt werden und es wurde daher die TPK dieser beiden Lehrkräfte nicht bewertet (n.b.).

	TCK	TPK 1	TPK 2	TPACK
Schiefe Ebene	4	2	n.b.	4
Fadenstrahlrohr	5	5	n.b.	4
Fermat'sches Prinzip	4	4	3	4
Hebel 1	5	5	3	4
Hebel 2	5	5	2	4
Hebel 3	5	5	3	4
Leiterschaukel 1	3	5	5	5
Leiterschaukel 2	5	4	4	5
Schatten	5	5	3	4

Tab. 1: Übersicht über die bewerteten Kompetenzaspekte der AR-Experimente der teilnehmenden Lehrkräfte.

Bereits auf den ersten Blick lässt sich ein hoher Anteil an grünen Feldern feststellen, die für das höchste Kompetenzrating (Stufe 4 oder 5) stehen. Besonders in den Kompetenzaspekten TCK und TPK 1, also die fachliche und didaktische Gestaltung der Modelle, fallen die Ergebnisse überwiegend sehr gut aus. Auch wenn nur drei Lehrkräfte ihre Modelle von Grund auf selbst entwickelt haben, wird bei den anderen Lehrkräften die erfolgreiche Suche nach einem passenden bestehenden Modell für ihren Unterricht gewürdigt. Dennoch ist anzumerken, dass der Aspekt TPK 2 (didaktischer Einsatz) den geringsten Anteil an hohen Bewertungen enthält. Dies wird im nachfolgenden Abschnitt 5 diskutiert.

Die Einschätzung der AR-Experimente durch die fachdidaktischen Expert*innen zeigt eine Übereinstimmung mit dem Peer-Feedback, welches die Lehrkräfte einander in der Reflexionssitzung mithilfe des Bewertungsbogens gaben. Insgesamt fielen die durchschnittlichen Punktzahlen dort zwar höher aus als im Expert*innenrating, doch die Platzierungen sind sehr ähnlich. Auch im Peer-Rating finden sich die niedrigsten Bewertungen im Aspekt TPK 2 wieder, welcher in mehreren Fällen von den Lehrkräften gar nicht bewertet wurde. Mögliche Gründe für diesen Umstand werden ebenfalls im Folgenden diskutiert.

5. Diskussion

Bei der Einschätzung der AR-Experimente der Lehrkräfte handelt es sich um ein reines Expert*innenrating, welches nur von den Mitgliedern des Projekts „diMEx“ aus der Physikdidaktik angewendet wurde, die die Fortbildung konzipiert und durchgeführt haben. Daher sei an dieser Stelle angemerkt, dass die Matrix für den Einsatz durch ex-

terne Ratingpersonen einer entsprechenden Schulung bedarf, um die Kriterien für gute AR-Experimente genau zu kennen. Die Übereinstimmung der Ergebnisse im Peer-Feedback mit dem Expert*innenrating deutet auf die Reliabilität der entwickelten Bewertungsmatrix hin. Auch wenn das Expert*innenrating insgesamt kritischer ausfällt, zeichnet sich eine klare Tendenz durch die Platzierungen der einzelnen AR-Experimente ab.

Die Einschätzungen der Kompetenzaspekte zwischen den Expert*innen aus der Physikdidaktik, die das Rating vorgenommen haben, weichen vereinzelt voneinander ab. Dies lässt sich einerseits mit Interdependenzen der Aspekte begründen, da die digitale Modellkompetenz (TPACK) und der didaktische Einsatz (TPK 2) oft voneinander abhängen. Doch auch ohne den tatsächlichen Einsatz des AR-Experiments kann eine digitale Modellkompetenz der Lehrkraft festgestellt werden, da auch die gestalterischen und inhaltlichen Aspekte des Modells eine Rolle spielen. Zuletzt sei angemerkt, dass die bestehenden Modelle, welche einige Lehrkräfte für ihren Unterricht ausgewählt und teilweise angepasst haben, von einem der Experten selbst stammen. Hier ist daher eine besondere Auseinandersetzung mit den inhaltlichen und gestalterischen Aspekten gegeben, welche sich von den anderen Expert*innen im Rating abhebt.

Die insgesamt niedrigeren Einschätzungen der TPK 2 der Lehrkräfte, die ein AR-Experiment im Unterricht eingesetzt haben, bedarf einer kritischen Auseinandersetzung mit dem Inhalt der Fortbildung. Diese war stark auf das Erstellen der 3D-Modelle und die Grundlagen von GeoGebra fokussiert, sodass der eigentliche Unterrichtseinsatz nicht deutlich thematisiert wurde. Auch in den Rückmeldungen der Lehrkräfte äußert sich der Wunsch, sie auf dem Weg zur Implementation stärker zu begleiten. Daher sollte die didaktische Vorbereitung darauf bei zukünftigen Formaten berücksichtigt werden.

Die Lehrkräfte konnten für das Peer-Feedback den Unterrichtseinsatz (TPK 2) nur anhand der kurzen Berichte ihrer Kolleg*innen während der Reflexionssitzung bewerten. Das Implementationstagebuch, welches jeweils direkt nach dem Einsatz des AR-Experiments ausgefüllt wurde, sowie die Aussagen in den Einzelinterviews standen ihnen nicht zur Verfügung. Dies könnte erklären, weshalb in mehreren Fällen der Aspekt TPK 2 nicht bewertet wurde. Zudem konnten sie die Modelle nicht detailliert untersuchen, da die AR-Experimente ihnen zwar live demonstriert wurden, jedoch ohne dabei das 3D-Modell genau zu analysieren. Daher ist für die Lehrkräfte insbesondere der TCK-Aspekt schwieriger zu bewerten, welcher auch die Zusammenhänge der in GeoGebra modellierten Größen einbezieht.

Insgesamt zeigt sich die Wirksamkeit der Fortbildung bezüglich Modellkompetenz und der digitalen Modellierungskompetenz der teilnehmenden Lehr-

kräfte in den qualitativen Aussagen und den Lernprodukten. Auch die individuellen Rückmeldungen der Lehrkräfte in den Interviews und in der Reflexionssitzung waren überwiegend positiv, jedoch wurde der Vorschlag geäußert, die Fortbildungsstruktur zukünftig an die schulischen Verpflichtungen der Lehrkräfte anzupassen. Eine mehrtägige Blockveranstaltung könnte eine Alternative zu den über ein Halbjahr verteilten Workshops darstellen.

6. Ausblick

Ein halbes Jahr nach Abschluss der Fortbildung, nach Beginn des neuen Schuljahrs, sollen im Herbst 2022 die Lehrkräfte im Rahmen einer Follow-up-Untersuchung erneut interviewt werden. Zu diesem Zeitpunkt sollen die Entwicklungen bezüglich des Einsatzes von AR im Unterricht untersucht werden, um die Nachhaltigkeit der Fortbildung zu überprüfen.

Für die Vernetzung aller drei Phasen der Lehrkräftebildung wird an der Goethe-Universität Frankfurt mit dem Schwesterprojekt „WARP-P“ das Konzept der AR-Experimente auf das Lehramtsstudium ausgeweitet. Hierbei werden in einem Elektrizitätslehre-Laborpraktikum für Haupt- und Realschullehramtsstudierende klassische Praktikumsversuche zu AR-Experimenten transformiert. Die Durchführung wird durch summatives Feedback begleitet und die Motivation und Einstellungen der Studierenden werden evaluiert. Langfristig sollen die Erkenntnisse aus der Fortbildung und dem Laborpraktikum dazu genutzt werden, das Erstellen und den Einsatz von AR-Experimenten in Form eines Seminarkonzepts curricular in der ersten Phase der Lehrkräfteausbildung zu verankern.

7. Literatur

- [1] Upmeyer zu Belzen, Annette; Krüger, Dirk (2010): Modellkompetenz im Biologieunterricht. In: *ZfDN*, 16, S. 41–57.
- [2] Mahr, Bernd (2015): Modelle und ihre Befragbarkeit: Grundlagen einer allgemeinen Modelltheorie. In: *Erwägen Wissen Ethik*, 26, 3, S. 329–342.
- [3] KMK (Hrsg.) (2005): Beschlüsse der Kultusministerkonferenz: Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss (Jahrgangsstufe 10). München, Neuwied: Luchterhand. URL: <https://www.kmk.org/themen/qualitaetssicherung-in-schulen/bildungsstandards.html> (Stand 5/2022).
- [4] Krüger, Dirk; Kauertz, Alexander; Upmeyer zu Belzen, Annette (2018): Modelle und das Modellieren in den Naturwissenschaften. In: Krüger, Dirk; Parchmann, Ilka; Schecker, Horst (Hrsg.): *Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung*. Berlin, Heidelberg: Springer, S. 141–157.
- [5] Fruböse, Christian (2010): Der ungeliebte Physikunterricht. Ein Blick in die Fachliteratur und einige Anmerkungen aus der Praxis. In: *MNU*, 63, 7, S. 388–392.
- [6] Gilbert, John K.; Justi, Rosária (2016): *Modeling-based Teaching in Science Education*. Cham: Springer.
- [7] Mikelskis-Seifert, Silke; Thiele, Marco; Wünsch, Thilo (2005): Modellieren - Schlüssel-fähigkeit für physikalische Forschungs- und Lernprozesse. In: *PhyDid A – Physik und Didaktik in Schule und Hochschule*, 1, 4, S. 30–46.
- [8] Gobert, Janice D. et al (2011): Examining the Relationship Between Students' Understanding of the Nature of Models and Conceptual Learning in Biology, Physics, and Chemistry. In: *International Journal of Science Education* 33, 5, S. 653–684.
- [9] Oh, Phil Seok; Oh, Sung Jin (2011): What Teachers of Science Need to Know about Models: An overview. In: *International Journal of Science Education*, 33, 8, S. 1109–1130.
- [10] Rönnebeck, Silke; Bernholt, Sascha; Ropohl, Mathias (2016): Searching for a common ground – A literature review of empirical research on scientific inquiry activities. In: *Studies in Science Education*, 52, 2, S. 161–197.
- [11] Winkelmann, Jan; Freese, Mareike; Strömmer, Tim (2022): Schwierigkeitserzeugende Merkmale im Physikunterricht – Die Perspektive von Schüler*innen. In: *Progress in Science Education*, 5, 2, S. 6–23.
- [12] Carmigniani, Julie; Furht, Borko (2011): *Augmented Reality: An Overview*. In: Furht, Borko (Hrsg.): *Handbook of Augmented Reality*. New York, Dordrecht, Heidelberg, London: Springer, S. 3–46.
- [13] Altinpulluk, Hakan (2019): Determining the trends of using augmented reality in education between 2006–2016. In: *Education and Information Technologies*, 24, S. 1089–1114.
- [14] Teichrew, Albert; Erb, Roger (2020): *Augmented Reality-Experimente mit GeoGebra*. In: *PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*, 1 (2020), S. 361–367.
- [15] Sweller, John; Ayres, Paul; Kalyuga, Slava (2011): *Cognitive Load Theory*. Dordrecht: Springer.
- [16] Radu, Iulian (2014): Augmented reality in education: a meta-review and cross-media analysis. In: *Personal and Ubiquitous Computing*, 18, 6, S. 1533–1543.
- [17] Mishra, Punya; Koehler, Matthew J. (2006): Technological pedagogical content knowledge: A framework for integrating technology in teacher knowledge. In: *Teachers College Record*, 108, 6, S. 1017–1054.
- [18] Redecker, Christine; Punie, Yves (2017): *DigCompEdu: European Framework for the*

Digital Competence of Educators. URL: <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC107466> (Stand 5/2022).

- [19] Becker, Sebastian et al. (2020): DiKoLAN: Digitale Kompetenzen für das Lehramt in den Naturwissenschaften. Arbeitsgruppe Digitale Basiskompetenzen. URL: <https://www.dikolan.de/> (Stand 5/2022).
- [20] Freese, Mareike et al. (2021): Nutzung von und Einstellungen zu Augmented Reality im Physikunterricht. In: Habig, Sebastian (Hrsg.): Naturwissenschaftlicher Unterricht und Lehrerbildung im Umbruch? Jahrestagung der Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik 2020, S. 390–393.
- [21] Lipowsky, Frank (2004): Was macht Fortbildungen für Lehrkräfte erfolgreich? Befunde der Forschung und mögliche Konsequenzen für die Praxis. In: Die deutsche Schule, 96, 4, S. 462–479.
- [22] Windschitl, Mark; Thompson, Jessica (2006): Transcending Simple Forms of School Science Investigation: The Impact of Preservice Instruction on Teachers' Understandings of Model-Based Inquiry. In: American Educational Research Journal, 43, 4, S. 783–835.
- [23] Billion-Kramer; Tim, Lohse-Bossenz, Hendrik; Rehm, Markus (2020): Vignetten zum Modellverständnis – eine Chance für die Lehrerbildung in den naturwissenschaftlichen Fächern. In: Friesen, Marita E. et al. (Hrsg.): Vignettenbasiertes Lernen in der Lehrerbildung – Fachdidaktische und pädagogische Perspektiven. Weinheim: Beltz Juventa, S. 138–152.
- [24] Vogelsang, Christoph; Finger, Alexander; Laumann, Daniel (2019): Vorerfahrungen, Einstellungen und motivationale Orientierungen als mögliche Einflussfaktoren auf den Einsatz digitaler Werkzeuge im naturwissenschaftlichen Unterricht. In: ZfDN, 25, S. 115–129.

Förderung

Das Projekt „diMEx – Digitale Kompetenz beim Modellieren und Experimentieren im Physikunterricht“ wird im Rahmen der gemeinsamen „Qualitätsoffensive Lehrerbildung“ von Bund und Ländern aus Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gefördert.

PUMA : Spannungslabor - Eine AR-Applikation für den Einsatz in der E-Lehre der Sek I

Florian Frank, Christoph Stolzenberger, Thomas Trefzger

Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Lehrstuhl für Physik und ihre Didaktik
florian.frank@uni-wuerzburg.de

Kurzfassung

Mit Hilfe von Augmented-Reality (AR)-Apps können virtuelle Objekte und Texte in Echtzeit in die reale Welt (z.B. auch bei physikalischen Experimenten) eingefügt werden. Unter dem Namen PUMA (PhysikUnterricht Mit Augmentierung) werden am Lehrstuhl für Physik und ihre Didaktik der Universität Würzburg AR-Applikationen für den Einsatz in der schulischen Physiklehre entwickelt. Die AR-App „PUMA : Spannungslabor“ erweitert Experimente zu einfachen Stromkreisen um virtuelle Darstellungen elektrischer Ströme und Potentiale gemäß ausgewählter Analogie-Modelle. Durch die Beobachtung dieser sonst nicht wahrnehmbaren Größen können Schüler*innen selbstständig erforschen, warum und auf welche Weise Elektronen in geschlossenen Stromkreisen fließen und welche physikalischen Gesetzmäßigkeiten bei Reihen- oder Parallelschaltungen gelten. Die App bietet Möglichkeiten für die Bildung und Überprüfung eigener qualitativer Aussagen zum Stromkreis und erlaubt durch Einblendung von Kenn- und Messwerten zusätzlich die Gewinnung halbquantitativer Erkenntnisse. In Lupen-Ansichten verschiedener elektrischer Bauteile können außerdem die Interaktionen der Leitungselektronen mit den Atomrümpfen nach dem Drude-Modell beobachtet werden und ein qualitatives Verständnis für den elektrischen Widerstand gebildet werden. Die Applikation soll dadurch die Entwicklung einer korrekten Modellvorstellung zu elektrischen Stromkreisen entscheidend unterstützen und sowohl das Fortbestehen als auch die Entwicklung fehlerhafter Schülervorstellungen verhindern.

1. Rahmen und Ablauf der Entwicklung

Am Lehrstuhl für Physik und ihre Didaktik der Universität Würzburg wird im Rahmen des vom BMBF geförderten Projekts Connected Teacher Education (kurz: CoTeach) die Konzeption, Entwicklung und Evaluation von Augmented Reality (AR)-Anwendungen für den Einsatz im Unterricht vollzogen. Mittels Tablet-gestützter AR können auf dem Bildschirm virtuelle Objekte über ein Livebild der Realität geblendet werden. Durch Tracking markanter Objekte wie QR-Codes kann dabei auch eine Interaktion der Realität mit den virtuellen Objekten geschaffen werden. Die hier beschriebene App „PUMA : Spannungslabor“ ist Produkt eines Konzeptions- und Entwicklungsprozesses, um im nächsten Schritt die Lernwirksamkeit der Applikation im Rahmen einer Schülerlaborstudie zu evaluieren.

Gemäß eines Design-Based Research (kurz: DBR) Ansatzes [1] wurde das Projekt mit der Definition eines realen Problems der Unterrichtspraxis begonnen, welches durch die Entwicklung einer Intervention angesprochen werden soll. Die jüngere fachdidaktische Forschung hat nach Ende des Unterrichts zur Elektrizitätslehre [2],[3], nach Ende der Sekundarstufe I [4] und zu Beginn des Studiums [5] jeweils auftretende Schülervorstellungen zur Elektrizitätslehre erhoben und kam zu dem Ergebnis, dass an allen genannten Messzeitpunkten verschiedene fehlerhafte Vorstellungen wie etwa die Stromverbrauchsvorstellung

oder die mangelnde Fähigkeit zur Unterscheidung von Stromstärke und Spannung weit verbreitet ist.

Dieses Problem der Unterrichtspraxis wurde unter Zuhilfenahme der Cognitive Load Theory (kurz: CLT, [6]) und der Cognitive Theory of Multimedia Learning (kurz: CTML, [7]) analysiert und ein Lösungsansatz entwickelt. Die Kernaussage der CLT ist, dass Lernende endliche kognitive Kapazitäten haben. Ein Lernprozess, der diese individuelle Kapazität überschreitet, überfordert den Lernenden bzw. die Lernende und behindert deren Lern- und Verstehensprozess in einem solchen Maße, dass der Lerngegenstand nicht korrekt verstanden wird. Die CTML gibt Möglichkeiten an die Hand, die kognitive Last eines Lernprozesses zu verhindern. Eine der Aussagen ist, dass eine große räumliche und zeitliche Trennung der für den Lernprozess nötigen Ressourcen die kognitive Last erhöht, da alle Ressourcen gleichzeitig im Arbeitsgedächtnis gehalten werden müssen. Bei der Gestaltung eines Lernprozesses soll daher darauf geachtet werden, dass eine solche Trennung so gering wie möglich ausfällt.

Bezogen auf das eingangs definierte Problem stellen wir die Vermutung an, dass die für das Verstehen der Elektrizitätslehre wichtigen Ressourcen einerseits das reale Experiment mit seinen Ergebnissen und andererseits das häufig für die Erklärung der Ergebnisse genutzte didaktische Analogie-Modell der Elektrizitäts-

tät (bspw. offener oder geschlossener Wasserkreislauf, Stäbchenmodell oder Elektronengasmodell) ist. Um die räumliche und zeitliche Trennung zwischen diesen Ressourcen zu verringern, nutzen wir daher Augmented Reality, um die für das Verstehen nötigen Modellvorstellungen direkt auf die Experimente zu projizieren.

2. PUMA : Spannungslabor

Hierfür wurde die Applikation „PUMA : Spannungslabor“ entwickelt [8]. Diese ist Teil des Projekts „PUMA – PhysikUnterricht Mit Augmentierung“, in dessen Rahmen am Lehrstuhl für Physik und ihre Didaktik auch zwei weitere Augmented Reality Applikationen für den Einsatz in der schulischen Physiklehre entwickelt werden, „PUMA : Magnetlabor“ [9] und „PUMA : Optiklabor“.

Das Ziel der Entwicklung war die Verbindung des Realexperiments und der zugehörigen Modellvorstellung durch AR bei gleichzeitiger minimaler zusätzlicher Belastung durch den Einsatz für Lehrkräfte und Lernende. Entsprechend wurde als digitales Medium das Tablet gewählt, welches in Klassensätzen mittlerweile an vielen deutschen Schulen vorhanden ist. Die Entwicklung wird sowohl für iOS- als auch für Android-Geräte vollzogen.

Für die Entwicklung wurde die Programmierumgebung Unity unter Zuhilfenahme des Tools Vuforia genutzt. Die entwickelte Applikation musste aus technischen Gründen sehr nahe an ein reales Experimentierset angepasst werden. Wir haben uns für das Experimentierset ELEKTRIK 1 der Firma MEKRUPHY entschieden, welches aus einer überschaubaren Anzahl von Einzelbauteilen besteht. Diese Einzelteile sind allesamt groß genug für das Bestücken mit eigens entworfenen QR-Codes für die Erkennung und Nachverfolgung der Bauteile. Die QR-Codes werden zentral auf die Bauteile aufgebracht.

Einer der zentralen Grundsätze von DBR [10] ist die enge Zusammenarbeit mit praktizierenden Lehrkräften bei der Entwicklung der Intervention. Dem folgend wurden im Zeitraum von August bis Dezember 2021 qualitative Interviews mit insgesamt 14 Lehrkräften geführt, in welchen der jeweilige Entwicklungsstand der Applikation auf Einsatztauglichkeit im Unterricht überprüft wurde. Die Ergebnisse sind dabei nach jedem Interview iterativ in die weitere Entwicklung eingeflossen und die auf den Rückmeldungen basierenden Änderungen wurden in den folgenden Interviews mit evaluiert [11].

3. Funktionalitäten der Applikation

Um die Applikation sinnvoll nutzen zu können, sollte zunächst ein Experiment mit einem QR-Code bestückten Experimentiersatz aufgebaut werden.

Öffnet man dann die App „PUMA : Spannungslabor“, wird ein Hauptmenü angezeigt, in welchem man zwischen einem kurzen Tutorial und dem Start der AR-Applikation wählen kann. Im Betrieb der AR-

Applikation wird zwischen verschiedenen Modi unterschieden. In den Modi sind jeweils verschiedene Konfigurationen der Funktionalitäten der Applikation freigeschaltet, um beispielsweise bei einer reinen qualitativen Betrachtung keine Messwerte anzuzeigen. Diese Bereitstellung überflüssiger Informationen würde nach dem Kohärenz-Prinzip der CTML zu einer unnötigen Steigerung der kognitiven Belastung führen.

Wählt man einen der Modi aus, wird der Augmented Reality-Anteil der Applikation gestartet und man wird aufgefordert, einen Scanvorgang durchzuführen. Die App erkennt dabei die auf den Bauteilen aufgeklebten QR-Codes und umrandet sie grün, wenn sie erfolgreich eingelesen sind. Über den untenstehenden QR-Code kann ein Beispielvideo des Scanvorgangs aufgerufen werden.



Abb. 1: QR-Code zu einem Video des Scanvorgangs

Sind alle für den Aufbau genutzten Bauteile erkannt und eingelesen, kann per Betätigung des Play-Buttons die Visualisierung gestartet werden.

Die Visualisierungen umfassen Darstellungen von vereinfachten, vergrößerten Elektronen, die sich entlang der Leiterbahnen bewegen, und Repräsentationen des elektrischen Potentials. Zusätzlich können Darstellungen der Interaktionen von leitenden, sich bewegenden Elektronen mit den ortsfesten Atomrümpfen auf Teilchenebene nach dem Drude-Modell angezeigt werden und an den Bauteilen (Spannungsquelle, Widerstände, Lampen) können Mess- bzw. Kennwerte der Grundgrößen im elektrischen Stromkreis (Stromstärke, Spannung, Widerstand) dargestellt werden, um die qualitative Darstellung stärker mit der quantitativen Messung verknüpfen zu können.

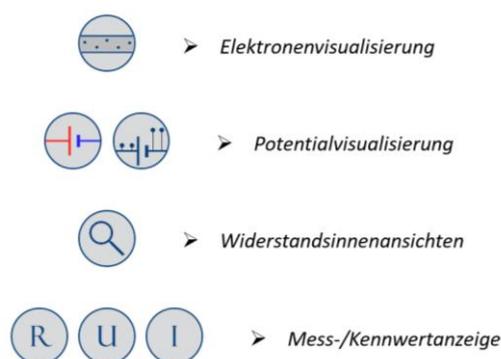


Abb. 2: In der App mögliche Visualisierungen mit zugehörigen Buttons

Die einzelnen Visualisierungen können per Betätigung entsprechender Buttons ein- und ausgeblendet werden, um den Lernenden die Möglichkeit zu geben, sich auf eine Visualisierung konzentrieren zu können.

3.1. Elektronen

Die Elektronen werden in der Applikation als kleine, weiße Kugeln dargestellt, die sich auf den Leiterbahnen befinden. Dabei ist für die Visualisierung unerheblich, ob der Stromkreis geschlossen ist oder ob das entsprechende Leiterstück Teil eines geschlossenen Stromkreises ist. So kann es passieren, dass in den Verästelungen der Parallelslots im unteren Bereich des Experiments auch bei einem geschlossenen Stromkreis einzelne Elektronen unbeweglich sind. Im Unterricht kann dies aufgegriffen werden und dabei thematisiert werden, dass die Elektronen im Leiter unabhängig vom einem Stromfluss vorhanden sind.

Ist das Leiterstück Teil eines geschlossenen Stromkreises, so bewegen sich die virtuellen Elektronen entlang des Leiters, in Richtung des positiven Pols der Spannungsquelle. Die Geschwindigkeit der Elektronen hängt dabei maßgeblich von der Stromstärke durch das Leiterstück ab. Im geschlossenen Stromkreis ist die Dichte der virtuellen Elektronen überall gleich.



Abb. 3: Visualisierung der Elektronen im geschlossenen Stromkreis

Ausgehend von aus den Interviews generiertem Feedback haben wir im Rahmen eines erweiterten Menüs am unteren Bildschirmrand die Möglichkeit hinzugefügt, die optische Darstellung der Elektronen durch Schieberegler zu beeinflussen. Lehrkräfte können vor dem Unterrichtseinsatz damit die Größe der angezeigten Elektronen und die Abstände der Elektronen zueinander selbst wählen. Durch eine geeignete Abstandswahl kann so beispielsweise auch die Nähe zu einer Kettenanalogie erreicht werden.

3.2. Elektrisches Potential

Die Darstellung des elektrischen Potentials ist anhand zweier verschiedener didaktischer Modelle möglich, dem Elektronengasmodell [2] und dem Stäbchenmodell [12].

Im Elektronengasmodell wird die Analogie zwischen dem elektrischen Potential und Druckunterschieden in Gasen gezogen, die Leitungselektronen werden dabei als ideales Gas angesehen. Im offenen Stromkreis

kommt es durch den durch die Spannungsquelle erzeugten Druckunterschied in den angeschlossenen Teilbereichen zu einer Verschiebung der Leitungselektronen. Im geschlossenen Stromkreis gleicht sich diese unterschiedliche Dichte durch einen Elektronenfluss aus.

Zur einfachen Unterscheidung werden Bereiche gleichen elektrischen Drucks gleich eingefärbt. Eine blaue Färbung steht dabei für einen hohen elektrischen Druck, eine rote Färbung für einen niedrigen und eine gelbe Färbung für einen elektrisch neutralen Druck [13]. Durch die Stärke der Sättigung kann zwischen unterschiedlichen hohen elektrischen Drücken differenziert werden.

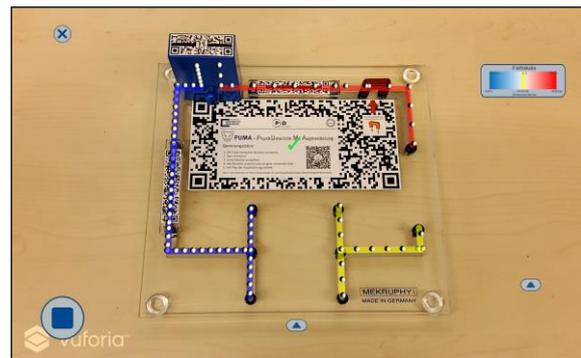


Abb. 4: Unterschiedliche elektrische Drücke und damit Elektronendichten in verschiedenen Bereichen im offenen Stromkreis (nach dem Elektronengasmodell)

Eine aus den Interviews generierte Änderung an der Applikation war die Implementierung des Stäbchenmodells als weiteres didaktisches Modell der Elektrizität. Basierend auf einer Höhenanalogie wird das elektrische Potential durch die vertikale Lage der Leiterbahnen versinnbildlicht [14]. Der Unterschied der Lage zwischen den Leiterbahnen an einem elektrischen Bauteil ist damit ein Maß für den Spannungsabfall.

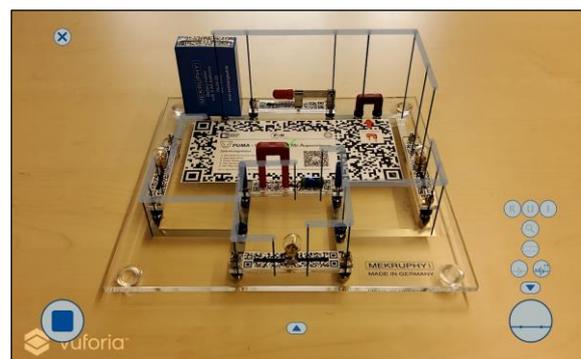


Abb. 5: Höhendarstellung des Potentials

Die Richtung der Darstellung kann selbst bestimmt werden, entweder wird ein hohes elektrisches Potential durch einen hohen oder durch einen tiefen Leiter visualisiert. In Konzept des Stäbchenmodells soll ein hohes elektrisches Potential durch eine hohe räumliche Lage verdeutlicht werden. Nutzt man eine inverse Darstellung (niedrige Lage als hohes Potential), so

kann man die Visualisierung auch nutzen, um den Lernenden ein Marmelbahn- oder Förderband-ähnliches Modell nahezubringen, in welchem die Elektronen „von oben nach unten“ laufen.

3.3. Widerstandsinnenansichten

Um eine qualitative Beobachtung der Interaktion von Leitungselektronen und Stromkreis zu ermöglichen, wurde bei den einbaubaren Bauteilen eine Innenansicht hinzugefügt. Diese per Betätigung eines entsprechenden Lupe-Buttons einblendbare Zusatzoption zeigt, wie die im geschlossenen Stromkreis fließenden Elektronen mit den Atomrümpfen im leitenden Material interagieren und mit diesen stoßen. Sie werden dabei selbst abgelenkt und verlangsamt und regen die Teilchen zu Schwingungen an. Diese Visualisierungen sind eine dreidimensionale Weiterentwicklung der in [2] vorgeschlagenen 2D-Darstellung der Interaktionen zwischen Leitungselektronen und Materie.

In der Applikation kann man beispielsweise die Innenansicht eines Widerstands (leicht erkennbar durch irregulär angeordnete Atomrümpfe) mit der Innenansicht eines Leiterstücks (die Atomrümpfe bieten genug Platz für ungehinderten Durchfluss der Elektronen) vergleichen. In der Innenansicht der Glühlampe wird durch einen Stoß ein Atom zu Schwingungen angeregt, welches zur Aussendung eines Lichtpartikels aus der Innenansicht führt. Mehrere Innenansichten können dabei gleichzeitig angezeigt werden, um einen direkten Vergleich zu ermöglichen. Zur genaueren Betrachtung einzelner Interaktionen können die Innenansichten auch einzeln nochmals vergrößert dargestellt werden.

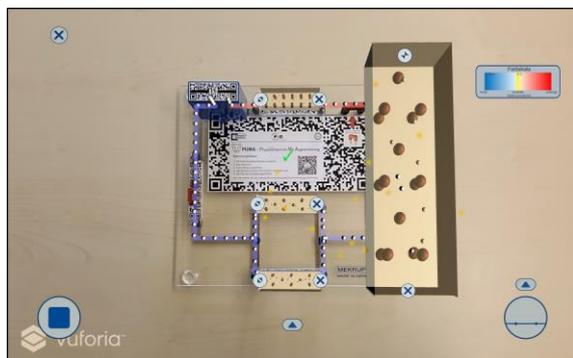


Abb. 6: Darstellung kleiner und großer Innenansichten (oben Leiter, rechts und mittig Lampen, unten Widerstand)

3.4. Anzeige von quantitativen Werten

Um die erworbenen qualitativen Kenntnisse mit einer quantitativen Betrachtung zu verknüpfen, können in der App an den Großbauteilen Lampe, Widerstand, Leiterstück, Schalter und Batterieblock Kennwerte eingeblendet werden. Diese Kennwerte umfassen je nach ausgewählter Darstellung eine Kombination aus Werten zum Spannungsabfall zwischen den Enden des Bauteils, Stromfluss durch das Bauteil und elektrischen Widerstand, den das Bauteil darstellt. Beim Scannen des Aufbaus wird von jedem Bauteil

der primäre Kennwert (elektrischer Widerstand der Verbraucher, Spannungsdifferenz zwischen den Enden des Batterieblocks) eingelesen, die weiteren angezeigten Werte werden aus diesen Anfangswerten für den experimentellen Aufbau berechnet.

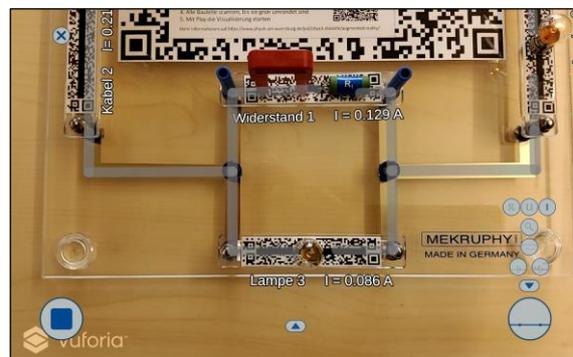


Abb. 7: Anzeige des Stromflusses durch die Bauteile

Einige dieser Kennwerte können, ähnlich einer Simulation, in einem erweiterten Menü am unteren Bildschirmrand durch Schieberegler verändert werden. Dies erlaubt den Lehrkräften, auf einfache Art und Weise beispielsweise die Änderung des Stromflusses bei einer Parallelschaltung zweier Widerstände ohne ein zusätzliches Potentiometer zu zeigen. Es ist hierbei aber wichtig, dass den Lernenden klar kommuniziert wird, dass es sich hier um eine rein virtuelle Änderung der Kennwerte handelt. Diese Funktionalität wurde ursprünglich ausschließlich für die interne Testung implementiert, wurde aber von einzelnen Lehrkräften im Rahmen der Interviews sehr gut aufgenommen und ist daher nun auch für Anwender zugänglich.

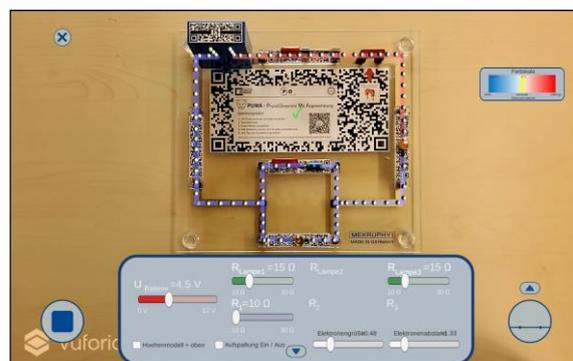


Abb. 8: Erweitertes Menü mit Schiebereglern für die Kennwerte der Bauteile

Um real gemessene Werte anzuzeigen, muss die Applikation per Bluetooth mit einem externen Messgerät verbunden werden. Eine solche Funktion ermöglicht die Nutzung der Applikation und des Experimentier-satzes in Verbindung mit einer externen, regelbaren Spannungsquelle statt des mitgelieferten Batterieblocks. Damit kann die Beobachtung der Innenansichten einer Glühlampe bei langsam steigender Spannung zusätzliche Verknüpfungen zwischen Realität und Modellvorstellung ermöglichen, wenn simultan ein nach und nach stärkeres Leuchten der Glühlampe und eine sich entsprechend steigernde Frequenz der

Stöße zwischen Elektronen und Rumpfen wahrnehmbar sind.

Eine solche Schnittstelle zwischen externem Messgerät und AR-Applikation wird im nächsten Entwicklungsschritt zusammen mit einer reinen Simulationsumgebung implementiert.

4. Bisherige qualitative Forschung

Die Applikation wurde bereits in zwei Schulsituationen eingesetzt, um weitere Hinweise auf die Praxistauglichkeit zu erlangen. Der erste Einsatz wurde im Rahmen eines Lernzirkels einer achten Gymnasialklasse vollzogen, in dem die Lernenden unter Zuhilfenahme der Applikation Inhalte zu Parallelschaltungen erarbeiten sollten. Die Einzelstationen wurden eng von Studierenden der Universität Würzburg betreut. Die Schülerinnen und Schüler nahmen die Applikation ausgesprochen gut an, bezeichneten deren Visualisierungen unter anderem als „besser [verständlich] als das [bisher genutzte] Modell“. In einem Follow-Up Interview beschrieb die Lehrkraft die durch die Applikation erworbenen Kenntnisse als gefestigt und berichtete, dass einzelne Schülerinnen und Schüler im weiteren Unterrichtsverlauf bereits auf Basis der Visualisierung der Modelle in der Applikation argumentierten.

Der zweite Praxiseinsatz fand im Rahmen einer zweistündigen Unterrichtseinheit für eine achte Mittelstufklasse zum selben Thema statt. Die Applikation wurde dabei zur Erarbeitung der Inhalte in Kleingruppen und zur Sicherung der Ergebnisse im Plenum eingesetzt. In einem Follow-Up Interview berichtete die Lehrkraft, dass der Einsatz der Applikation im Rahmen des Unterrichts zusätzliche Schülerinnen und Schüler angesprochen habe. Berichtet wurde von etwa einem Viertel der Klasse, hauptsächlich schwächere Schülerinnen und Schüler, die „nochmal diese Verbindung gebraucht haben“.

5. Ausblick auf quantitative Forschung

Zur Evaluation der Lernförderung durch Augmented Reality wird die entwickelte Applikation in einem Schülerlabor am M!ND-Center der Universität Würzburg in einer Studie nach Pre/Posttest-Design mit einer Kontroll- und mehreren Treatmentgruppen eingesetzt. Innerhalb von vier Stationen zu je 45 Minuten erarbeiten die teilnehmenden Schülerinnen und Schüler anhand eines Forscherheftes in Kleingruppen selbstständig Inhalte der Elektrizitätslehre, namentlich die Konzepte von Stromstärke und Spannung, Ohm'schen und nicht-Ohm'schen Widerständen, Reihenschaltungen und Parallelschaltungen. Teilnehmende Klassen werden in drei Gruppen geteilt, die jeweils in der Erarbeitung der Inhalte mit unterschiedlichen Materialien unterstützt werden. Eine Gruppe arbeitet mit Infotexten und -grafiken, eine weitere mit der AR-Applikation „PUMA : Spannungslabor“, eine dritte mit einer bildschirmgestützten Simulation, die in ihrer Funktionalität mit der AR-Applikation identisch ist.

Im Rahmen der Studie wird der Einfluss des Einsatzes der AR-Applikation auf die Entwicklung des konzeptuellen Wissens und die kognitive Belastung der Lernenden während des Lernprozesses untersucht und gegen den Einsatz einer Simulation oder von Infotexten und -grafiken abgegrenzt. Erhoben wird die Entwicklung des konzeptuellen Wissens, ausgeprägt durch den Lernzuwachs und die Auftretenswahrscheinlichkeit fehlerhafter Schülervorstellungen, durch den Einsatz des Fragebogens 2T-SEC [3] vor und nach der Durchführung des Schülerlabors. Die kognitive Belastung wird mittels der Naive Rating Scale [15] durchführungsbegleitend unmittelbar nach jeder Station erhoben. Als Moderatorvariablen werden vor der Intervention neben den Schulnoten in Mathematik und Physik die Einstellung gegenüber Technik und die Technikbegeisterung und -kompetenz der Schülerinnen und Schüler [16] sowie die Fähigkeit zur Veranschaulichung (als Aspekt des räumlichen Vorstellungsvermögens) [17] erhoben.

6. Zusammenfassung und Verfügbarkeit

Die Augmented Reality-Applikation „PUMA : Spannungslabor“ kann durch ihre hier vorgestellten Funktionalitäten die Vermittlung didaktischer Modelle der Elektrizitätslehre unterstützen. Die Verbindung von Realexperiment und Modellvorstellung ermöglicht es Lernenden, die grundlegenden Inhalte der E-Lehre zu erlernen und dabei bestehende fehlerhafte Vorstellungen zu adressieren und zu beheben. Mit der Applikation sind sowohl qualitative als auch halb-quantitative Experimente möglich.

Die Applikation ist sowohl im Google Play Store (für Android-Geräte) als auch im App Store (für iOS-Geräte) kostenlos verfügbar. Für mehr Informationen über die Applikation verweisen wir auf unsere Website: <https://www.physik.uni-wuerzburg.de/pid/physik-didaktik/augmented-reality/puma-spannungslabor/>

7. Literatur

- [1] Ejersbo, Lisser Rye; Engelhardt, Robin; Frølund, Lisbeth; Hanghøj, Thorkild; Magnusen, Rikke; Misfeldt, Morten (2008): Balancing Product Design and Theoretical Insights. In (Kelly, Anthony; Lesh, Richard; Baek, John (Hrsg.)): Handbook of Design Research Methods in Education - Innovations in Science, Technology, Engineering and Mathematics Learning and Teaching. Routledge, London.
- [2] Burde, Jan-Philipp (2018): Konzeption und Evaluation eines Unterrichtskonzepts zu einfachen Stromkreisen auf Basis des Elektronengasmodells. In: Studien zum Physik- und Chemielernen. Logos-Verlag, Berlin.
- [3] Ivanjek, Lana; Morris, Louisa; Schubatzky, Thomas; Hopf, Martin; Burde, Jan-Philipp; Haagen-Schützenhofer, Claudia; Dopatka, Liza;

- Spatz, Verena; Wilhelm, Thomas (2021): Development of a two-tier instrument on simple electric circuits.
In: Phys. Rev. Phys. Educ. Res. **17**, 020123.
- [4] Müller, Svetlana; Burde, Jan-Philipp; Wilhelm, Thomas (2015): Vergleich von Schülervorstellungen zur Elektrizitätslehre in Hessen und Weißrussland.
In: PhyDidB, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung, 1 (2015).
- [5] Fromme, Bärbel (2018): Fehlvorstellungen von Studienanfängern – Was bleibt vom Physikunterricht der Sekundarstufe I?
In: PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung, 1 (2018), S. 205-215.
- [6] Plass, Jan; Moreno, Roxana; Brünken, Roland (2010): Cognitive Load Theory. Cambridge University Press, New York.
- [7] Mayer, Richard (Hrsg.) (2014): The Cambridge Handbook of Multimedia Learning. Second Edition. Cambridge University Press, New York.
- [8] Stolzenberger, Christoph; Frank, Florian; Trefzger, Thomas (2022): Experiments for students with built-in theory: ‘PUMA: Spannungslabor’ – an augmented reality app for studying electricity.
In: Physics Education, Vol. 57, No. 4, 045024.
- [9] Schwanke, Hagen; Trefzger, Thomas (im Druck): Augmented Reality in Schülerversuchen der Elektrizitätslehre in der Sekundarstufe I.
In (Baum, Michael; Eilerts, Katja; Hornung, Gabriel; Roth, Jürgen; Trefzger, Thomas (Hrsg.)): Die Zukunft des MINT-Lernens : Konzepte für guten Unterricht mit digitalen Methoden. Band 2: Digitale Tools und Methoden im MINT-Unterricht. Springer-Verlag, Berlin.
- [10] Anderson, Terry; Shattuck, Julie (2012): Design-Based Research: A Decade of Progress in Education Research?
In: Educational Researcher, Vol. 41, No. 1. S. 16-25.
- [11] Frank, Florian; Stolzenberger, Christoph; Trefzger, Thomas (2022): Vorstellung einer qualitativen Studie zur Eignung einer AR-Applikation zur Unterstützung der Modellvorstellungsbildung in der E-Lehre.
In (Habig, Sebastian (Hrsg.)): Unsicherheit als Element von naturwissenschaftsbezogenen Bildungsprozessen – Tagungsband der GDGP-Jahrestagung 2021. S. 684 – 687.
- [12] Wilhelm, Thomas; Schecker, Horst; Hopf, Martin (Hrsg.) (2021): Unterrichtskonzeptionen für den Physikunterricht. S. 261 – 268. Springer-Verlag, Berlin.
- [13] Lutz, Wolfgang; Burde, Jan-Philipp; Wilhelm, Thomas; Trefzger, Thomas (2020): Digitale Unterrichtsmaterialien zum Elektronengasmodell.
In: PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung, 1 (2020), S. 333-341.
- [14] Koller, D. (2008): Entwurf und Erprobung eines Unterrichtskonzepts zur Einführung in die Elektrizitätslehre.
Zulassungsarbeit am Lehrstuhl Didaktik der Physik der LMU München. Unterrichtsmaterialien verfügbar unter https://www.didaktik.physik.uni-muenchen.de/archiv/inhalt_materialeinf_elektrizitaet/ [zuletzt aufgerufen: 31.05.2022]
- [15] Klepsch, Melina; Schmitz, Florian; Seufert, Tina (2017): Development and Validation of Two Instruments Measuring Intrinsic, Extraneous, and Germane Cognitive Load.
In: Front. Psychol. 8:1997.
- [16] Karrer, Katja; Glaser, Charlotte; Clemens, Caroline; Bruder, Carmen (2009): Technikaffinität erfassen – der Fragebogen TA-EG.
In (Lichtenstein, Antje; Stöbel, Christian; Clemens, Caroline (Hrsg.)): Der Mensch im Mittelpunkt technischer Systeme. 8. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme (ZMMS Spektrum, Reihe 22, Nr. 29, S. 196 – 201). VDI Verlag GmbH, Düsseldorf.
- [17] Heller, Kurt; Perleth, Christoph (2000): Kognitiver Fähigkeitstest für 4.-12. Klassen, Revision (KFT 4-12+ R). Hogrefe, Göttingen.
URL: <https://www.hogrefe.com/at/shop/kognitiver-faehigkeitstest-fuer-4-bis-12-klassen-revision.html> [zuletzt aufgerufen: 31.05.2022]

Förderung

Die Julius-Maximilians-Universität Würzburg und das Projekt „Connected Teacher Education“ wird im Rahmen der gemeinsamen „Qualitätsoffensive Lehrerbildung“ von Bund und Ländern aus Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gefördert.

PUMA: Web-AR-Techniken als Ergänzung des Physikunterrichts

Stefan Kraus, Thomas Trefzger

Lehrstuhl für Physik und ihre Didaktik, Julius-Maximilians-Universität Würzburg
stefan.kraus@physik.uni-wuerzburg.de

Kurzfassung

Augmented Reality (AR) als Verschmelzung von virtuellen Elementen mit der Realität ist inzwischen bekannt. Doch wieso sollte diese in der Schule Einzug halten? Eine flexible Augmented Reality-Simulation, die nicht starre Vorgänge, sondern die Physik hinter dem Versuch simuliert und dabei noch nicht einmal eine Installation auf dem Endgerät voraussetzt, erscheint hier als ideale Ergänzung zu konventionellen Experimenten. Der Beitrag gibt einen Überblick über die Möglichkeiten des Einsatzes von WebAR und die dahinterstehenden Techniken bis hin zu einem groben Ausblick auf das geplante Forschungsvorhaben.

1. Simulationen haben Grenzen

Reale Experimente haben Vorteile, die sich durch eine Simulation nicht ersetzen lassen: So bietet ein Realexperiment immer eine haptische Komponente, die feinmotorische Fähigkeiten der Experimentierenden fördert und fordert. Zudem können sich die Schülerinnen und Schüler auf den Versuch als solchen konzentrieren, ohne durch Herausforderungen in der Bedienung der Simulationssoftware abgelenkt zu werden. Zudem kann keine Simulation alle Feinheiten der Realität komplett abbilden. Im Realexperiment erleben die Lernenden die Physik, wie sie wirklich ist.

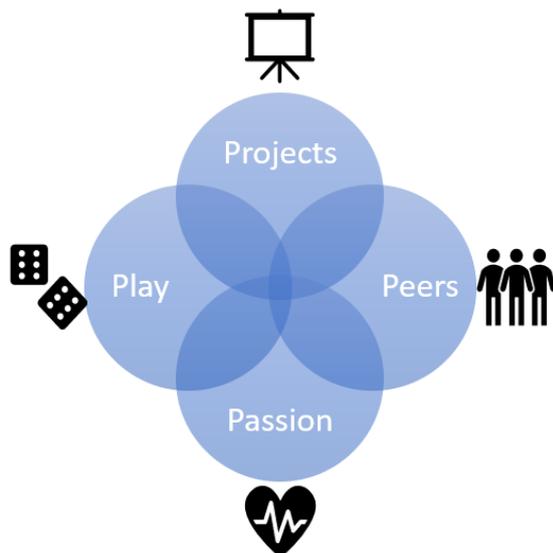


Abb.1: Give P's a chance [1]

Angelehnt an das Modell „Give P's a chance“ von Mitchel Resnick lebt der Physikunterricht von spielerischen Experimenten, Projekten, der Arbeit im Team und den Emotionen, die damit verbunden sind [1]. Es wird viel dafür getan, den Physik-Unterricht in diesen Bereichen zu stärken. Zahlreiche

Experimente sind allerdings dem Präsenzunterricht vorbehalten. Häufig wird teures Equipment benötigt, das den Schülerinnen und Schülern nicht nach Hause mitgegeben werden kann. Auch ist das Material oft nur in begrenztem Maß vorhanden. Dies führt zur Verwendung von Simulationen, die allerdings meist sehr stark auf einen bestimmten Versuch fokussiert sind und kaum Raum für kreatives Experimentieren bieten.

2. Web-AR: AR mit Webtechniken



Abb.2: Web-AR als Kombination von Webtechniken und Augmented Reality

Native AR-Applikationen erfordern die Installation auf einem mobilen Endgerät. Dies ermöglicht der dezidierten Software eine qualitativ hochwertige Nutzererfahrung, jedoch stellt die Installation eine Hürde im Schulalltag da. So haben viele Schülerinnen und Schüler keine Installationsrechte auf ihren Smartphones oder es fehlt schlicht an ausreichendem Speicherplatz. WebAR-Anwendungen hingegen laufen im Browser und werden als normale Website geladen. Eine Installation ist nicht notwendig. Dies vereinfacht den Schuleinsatz wesentlich.

Ein Beispiel kann über den QR-Code auf der nächsten Seite abgerufen werden. Anschließend muss die Kamera auf den „A“-Marker gerichtet werden (optimiert für das Querformat).

3. Die Applikation

Ziel ist die Entwicklung einer WebAR-Anwendung zur Simulation von Optik-Versuchen für den schulischen Physikunterricht. Dabei legen die

Schülerinnen und Schüler mehrere ausgedruckte Marker auf den Tisch, worüber Lichtquellen und Gegenstände wie Linsen und Spiegel eingeblendet werden. Die Anordnung der Marker ist völlig frei wählbar. Der Strahlenverlauf wird physikalisch modelliert und so realistisch wie möglich wiedergegeben. Dabei kommt neben der darstellerischen auch eine haptische Komponente zum Tragen, die das Experimentiererlebnis verstärken soll. Zudem ist es möglich, Parameter der beteiligten Objekte wie die Wellenlänge oder Brennweite während des Versuchs zu ändern und dabei in physikalische Grenzbereiche vorzustoßen.

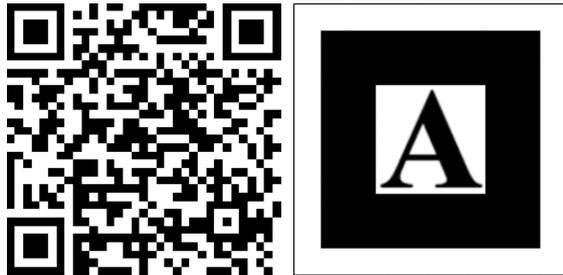


Abb.3: QR-Code und Target für eine statische Grafik-Demonstration der THREE.js-Komponenten

4. Eingesetzte Techniken

Die Entwicklung von Augmented Reality-Anwendungen mittels Web-Techniken erlebt aktuell noch ein Nischendasein, erfreut sich allerdings zunehmender Bedeutung. Die eingesetzten Frameworks bauen auf die WebXR-API auf, die inzwischen von allen gängigen Mobile-Browsern unterstützt wird. Programmiert wird mittels HTML-basierten Bibliotheken wie A-Frame [3] und JavaScript-Bibliotheken wie AR.js [8], das THREE.js [4] zur 3D-Darstellung und JSARToolkit5 [5] zur Umsetzung der Augmentierung einsetzt. Im Hintergrund stehen hier die bekannten Programmierschnittstellen WebGL [6] und WebRTC [7].

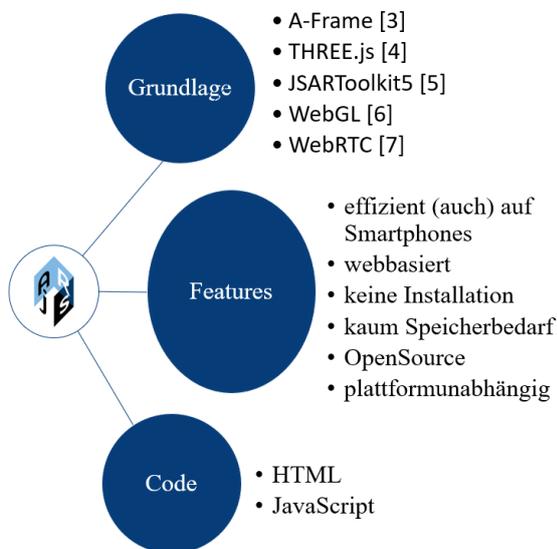


Abb.4: Web-AR-Frameworks, -Features & -Sprachen

Der Einsatz dieser OpenSource-Bibliotheken ermöglicht eine performante Darstellung der augmentierten Inhalte (auch) auf Smartphones innerhalb von Browsern (webbasiert). Dadurch ist keine Installation notwendig, es wird nur wenig Speicher genutzt und die Applikation ist in höchstem Maße plattformunabhängig.

5. Forschungsinteresse

Die Forschungsfragen sind noch nicht abschließend formuliert. Jedoch bietet es sich an, die Praxistauglichkeit von WebAR-Anwendungen, insbesondere den Einsatz auf verschiedensten Plattformen zu testen. Daneben stellen sich auch Fragen zum fachdidaktischen Einsatz einer solchen Applikation:

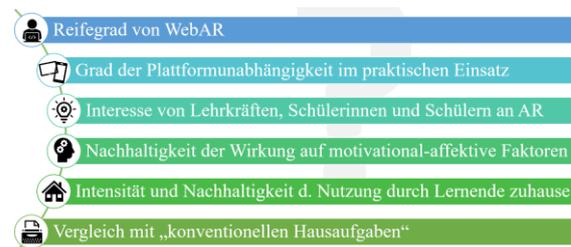


Abb.5: Mögliche Forschungsgebiete

6. Einsatzzweck

Zweck der WebAR-Applikation soll es keinesfalls sein, reale Experimente zu ersetzen. Vielmehr soll sie eine Ergänzung darstellen und dabei ihre Vorteile primär in der Vor- und Nachbereitung, aber auch im Unterricht ausspielen. Sowohl finanziell als auch in der Verfügbarkeit des Versuchs sollen hierdurch in vielfältiger Weise Barrieren abgebaut werden. Experimente, die sonst nur in einem relativ streng vorgegebenen Rahmen im Unterricht stattfinden, werden nun zu den Schülerinnen und Schülern nach Hause gebracht. Gefahren von Realexperimenten auch über die Optik hinaus (z. B. radioaktive Strahlenbelastung) lassen sich durch Simulationen vermeiden. Der eine oder andere Versuch wird somit durchführbar. Da sich Parameter im Gegensatz zum Realexperiment beliebig wählen lassen, können physikalische Grenzbereiche ausgelotet werden und z. B. Brennweiten während des Versuchs verändert werden. Auch sonst schwer umsetzbare Versuche wie eine Luftlinse unter Wasser lässt sich problemlos darstellen. Der Einsatz könnte auch im Unterricht denkbar sein, hier aber nur, wenn sich ein klarer Vorteil gegenüber dem Realexperiment ergibt.

7. Weiteres Vorgehen

Nach der aktuellen Konzeptionsphase soll die erste lauffähige Beta-Version im Herbst 2022 zur Diskussion stehen. Mit dieser soll im Laufe des Schuljahrs eine Prästudie mit Befragungen auf Fortbildungen, Lehrveranstaltungen der Universität und Tagungen durchgeführt werden, die zur Konzeption der Hauptstudie im darauffolgenden

Schuljahr führt. Hier ist ein größer angelegter Einsatz in Schulklassen unter der Nutzung von Online-Auswertungstechniken geplant.

8. Projekt „PUMA“

Diese Arbeit ist Teil des Projekts „PUMA“ (Physikunterricht mit Augmentierung) des Lehrstuhls für Physik und ihre Didaktik an der Universität Würzburg. Hier entstehen weitere Projekte zur Elektrizitätslehre inkl. Magnetismus. Weitere Informationen finden Sie auf unserer Website. [2]

9. Literatur

- [1] Resnick, Mitchel (2014): Give P's a chance: Projects, peers, passion, play, <https://web.media.mit.edu/~mres/papers/constructionism-2014.pdf>
- [2] Website des Projekts „Puma“ am Lehrstuhl für Physik und Ihre Didaktik der Universität Würzburg: <https://www.physik.uni-wuerzburg.de/pid/physik-didaktik/augmented-reality/> (Stand 3/2022)
- [3] Dokumentation des Frameworks A-Frame: <https://aframe.io/docs/1.3.0/introduction/> (Stand 3/2022)
- [4] Dokumentation des Frameworks THREE.js: <https://threejs.org/> (Stand 3/2022)
- [5] Repository des Frameworks jsARToolkit5: <https://github.com/artoolkitx/jsartoolkit5> (Stand 3/2022)
- [6] Mozilla: Dokumentation der JavaScript-Programmierschnittstelle WebGL: https://developer.mozilla.org/de/docs/Web/API/WebGL_API (Stand 3/2022)
- [7] Google Developers: Dokumentation von WebRTC: <https://webrtc.org/getting-started/overview> (Stand 3/2022)
- [8] Etienne, Jerome: Dokumentation der Frameworks AR.js: <https://ar-js-org.github.io/AR.js-Docs/> (Stand 3/2022)

Scientifically Speaking: Kollaboratives Lernen digital unterstützen

Thomas Sean Weatherby*, Thomas Wilhelm*

* Institut für Didaktik der Physik, Goethe-Universität, Max-von-Laue-Straße 1, 60438 Frankfurt am Main
weatherby@physik.uni-frankfurt.de

Kurzfassung

Die individuelle und flüchtige Natur des Schülergesprächs macht es schwierig, dieses in einer ganzen Klasse bei allen erfolgreich zu strukturieren. Da die Lehrkraft nicht bei jeder einzelnen Diskussion anwesend sein kann, um die Lernenden zu den naturwissenschaftlichen Vorstellungen zu führen, wird in diesem Vortrag eine Web-App vorgestellt, die die Lehrkräfte dabei unterstützen soll, Schülergespräche zu einem einfachen und gewinnbringenden Teil des naturwissenschaftlichen Unterrichts zu machen. Aufbauend auf Forschungsergebnissen in der Literatur zu kollaborativem und digitalem Lernen werden die Ideen hinter dem Design und der Verwendung der Software vorgestellt. Die dazugehörige Studie, die gerade in mehreren Schularten in Großbritannien läuft, bettet die Web-App in einen erprobten Lehrplan zu einfachen Stromkreisen ein und vergleicht den Lernerfolg mit und ohne Benutzung der Software.

Abstract

The individual and ephemeral nature of student talk makes it difficult to structure discussions successfully for every learner during whole class teaching phases, as the teacher cannot be present for every single discussion to guide learners towards science ideas. This presentation will introduce a web app to support teachers in making student talk an accessible and engaging part of science lessons. The ideas behind the design and use of the software are presented, building on research findings in the literature on collaborative and digital learning. A study, currently underway in several schools in the UK, embeds the web app in a proven curriculum on simple circuits and compares learner success with and without the use of the software.

1. Einleitung

Eine kollaborative Aufgabe liegt dann vor, wenn eine Lerngruppe mit einem gemeinsamen Ziel arbeitet (Laal & Laal, 2012). Trotz der positiven Auswirkungen des Einsatzes kollaborativer Lehrmethoden auf die Lernergebnisse (Crouch & Mazur, 2001; Jay et al., 2017; Karabulut-Ilgu et al., 2018) ist der Ansatz nicht ohne Schwierigkeiten zu reproduzieren (Ruthven et al., 2017). Die hier vorgestellte Web-App „Talking Circuits“ soll Lehrkräften und Lernenden ein praktisches Werkzeug an die Hand geben, das für den Einsatz in weiterführenden Schulen geeignet ist und auf dem derzeitigen Verständnis für eine effektive kollaborative Aufgabengestaltung aufbaut. Die App wurde von T.S. Weatherby erstellt und ist Free-ware.

Die App geht über die derzeit verfügbaren „Clicker“-Systeme hinaus, da sie die Gesprächsphase direkt unterstützt, indem sie sowohl Fachwissen vermittelt als auch die Lernenden dazu anregt, produktive Gespräche zu führen. Darüber hinaus bietet die App nicht nur eine Methode zur Förderung von Gesprächen im Klassenzimmer, sondern auch das e-Book des EPo-Kurses (Burde, 2018), eine Online-Ansicht mit Visualisierungen im e-Book und die Möglichkeit für Lehrkräfte, Hausaufgaben zu stellen, die innerhalb der App erledigt werden können.

2. Design Prinzipien

Heeg et al. (2020) stellen sieben Merkmale für eine fruchtbare kollaborative Aufgabengestaltung auf, die genutzt werden können, um die Merkmale der aktuellen Technologie zu analysieren und den Bedarf an einem zusätzlichen Werkzeug zur Unterstützung der Lernprozesse hervorzuheben. Die Merkmale sind im Folgenden so aufgeführt, wie sie in Heeg et al. (2020) erscheinen:

- M1: Bewusstmachung der eigenen Vorstellungen
- M2: Eigene Vorstellungen externalisieren
- M3: Vergleichbare Situationsmodelle erstellen
- M4: Aktive Beteiligung für alle sicherstellen
- M5: Allen Lernenden die Möglichkeit bieten, über das konzeptionelle Verständnis der anderen zu reflektieren
- M6: Entscheidungsprozesse integrieren
- M7: Maßnahmen zur Lernkontrolle durch die Lehrkraft ermöglichen

Die Methoden mit dieser App umfasst all diese Punkte im Gegensatz zu Peer-Interaktions-Methoden, die nicht alle Punkte enthalten. Weitere Informationen zu den Design-Unterschieden und der Theorie sind in Weatherby et al. (2022) zu finden.

3. Funktionen der Applikation

Sowohl Lehrende als auch Lernende müssen sich anmelden, um auf die App zugreifen zu können. Nach dem Einloggen sehen beide ein ähnliches Dashboard (siehe Abb. 1).

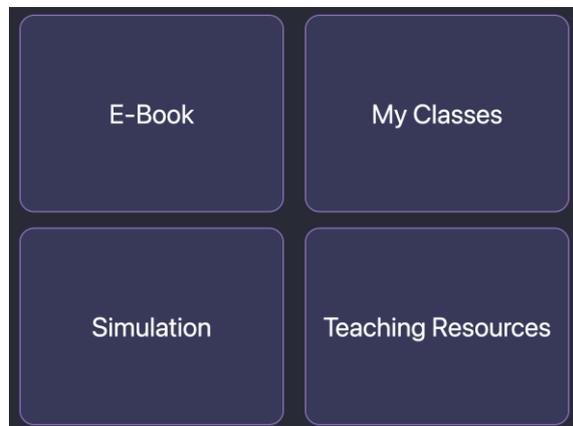


Abb. 1: Dashboard der Lehrkräfte (Screenshot aus der App, eigene Erstellung)

Von diesem Dashboard aus kann der Lehrer durch Auswahl von „My Classes“ eine neue Klasse erstellen. Dabei werden Anmeldedaten (Benutzernamen und Passwörter) für jedes Mitglied der Klasse generiert und als pdf-Datei bereitgestellt, die der Lehrer aufbewahren oder in Streifen schneiden und an die Lernenden verteilen kann, damit sie sich anmelden können.

Die Lehrkraft kann dann Aufgaben stellen, die entweder synchron im Unterricht oder asynchron als Hausaufgaben zu erledigen sind. Die Fragen sind alle nach den Kapiteln des e-Book aufgelistet. Bei gestellten Hausaufgaben sehen alle Lernenden in der Klasse die gestellten Aufgaben sowie eine Deadline unter „My Exercises“. Bei Klassenarbeiten sehen alle angemeldeten Schüler ein Banner, das sie auf die Live-Sitzung hinweist. Sobald sie der Sitzung beigetreten sind, teilen sich die Lernenden in Zweiergruppen ein – oder Dreiergruppen, falls die Gruppengröße ungerade ist. Dazu müssen die Lernenden den eindeutigen Code ihres Partners (bestehend aus Tier-Emojis) auf einem Tastenfeld eingeben. Sobald sie dies getan haben, kann die Lehrkraft die Gruppen bestätigen und die Sitzung beginnt. Einem Gruppenpartner wird die zu beantwortende Frage vorgelegt, entweder als Multiple-Choice-Eingabe oder als Freitext (siehe Abb. 2). Dem zweiten Gruppenpartner wird eine Liste mit Aufgaben vorgelegt (siehe Abb. 3), die er während der Diskussion abhaken muss. Gefragt wird ob, alle Gruppenmitglieder die Möglichkeit hatten, ihre Meinungen zu teilen, ob alle Meinungen begründet waren, ob allen Beiträgen gut zugehört wurde und optional, ob alle Gruppenteilnehmer sich einig sind. Diese Aufgaben beruhen auf den in Abschnitt 1.1 aufgeführten Grundsätzen und „Rules for Exploratory Talk“ von u.a. Mercer et al. (1999). Erst wenn alle drei Aufgaben oben-links angekreuzt sind, kann die Antwort auf dem anderen Gerät abgegeben werden.

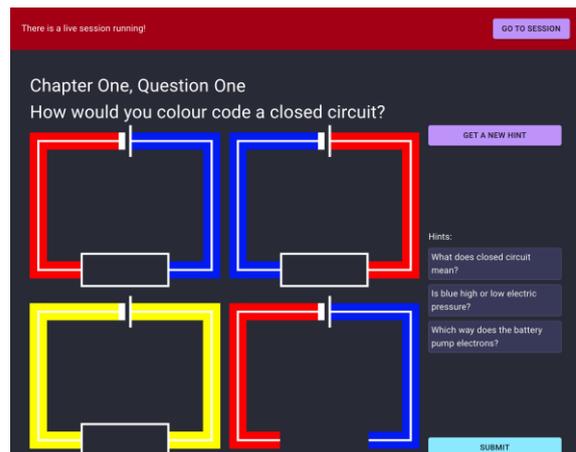


Abb. 2: Antworteingabe für den ersten Gruppenpartner (Screenshot aus der App, eigene Erstellung)

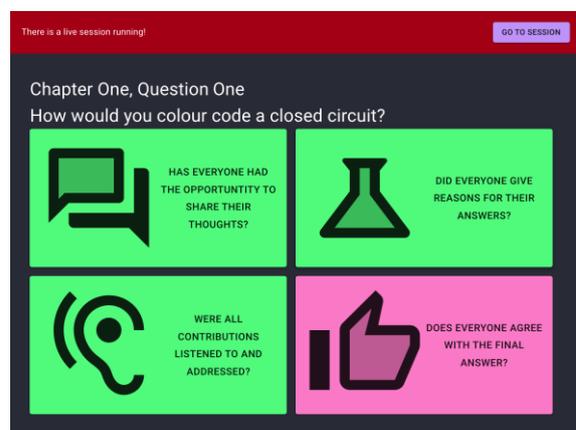


Abb. 3: Diskussionscheckliste für den zweiten Gruppenpartner (Screenshot aus der App, eigene Erstellung)

Die Lernenden können bis zu drei Hinweise von der App aufrufen, um die Frage zu lösen, und danach können sie zusätzliche Hilfe von der Lehrkraft anfordern. Die Lehrkraft erhält neben den Hilfeanfragen auch Prozessdaten, z. B. wie viele Hinweise die Gruppe verwendet hat, welche Antworten die Gruppe eingegeben hat und ob sie die Frage richtig beantwortet hat, wenn es sich um eine Multiple-Choice-Frage handelt. Nach Beendigung der Sitzung können die Antworten dann im Plenum überprüft werden.

Neben dem e-Book und der Möglichkeit, Fragen zu stellen, haben die Lernenden auch Zugang zu einer Simulation im gleichen Format wie im e-Book. Weitere Informationen zur Simulation sind in Weatherby et al. (2019) zu finden.

4. Ausblick und übergreifendes Forschungsvorhaben

Die App wird derzeit in einer Studie mit etwa 20 Klassen der Jahrgangsstufe 8 im Vereinigten Königreich getestet. Im ersten Jahr der Studie wurden die Lernenden traditionell über etwa 10 Unterrichtsstunden nach der Unterrichtsstruktur von Burde & Wilhelm (2020) unterrichtet, wobei sich der Umfang nur einen Teil davon bezieht. Die Interventionsstudie un-

tersuchte das Fachwissen der Lernenden sowie Motivationsaspekte in Bezug auf die Physik und das Sprechen über Wissenschaft. Das Fachwissen wurde mit einer modifizierten Version des Tests von Urban-Woldron & Hopf (2012) und die Motivationsaspekte nach der „Self-Determination Theory“ von Ryan & Deci (1985) gemessen. Im kommenden Schuljahr wird die gleiche Struktur unter Verwendung der App zur Unterstützung der Gesprächsphasen zwischen Lernenden und Lernenden unterrichtet. Zusätzlich zu denselben quantitativen Messungen werden die Gespräche der Lernenden aufgezeichnet und analysiert, um die Effektivität des Materials zu messen und um festzustellen, wie sich ihr Verständnis des Themas im Laufe der Zeit verändert.

5. Literatur

- Burde, J.-P. (2018). Konzeption und Evaluation eines Unterrichtskonzepts zu einfachen Stromkreisen auf Basis des Elektronengasmodells. *Studien Zum Physik- Und Chemielernen*, 259. <https://doi.org/10.30819/4726>
- Burde, J.-P., & Wilhelm, T. (2020). Teaching electric circuits with a focus on potential differences. *Physical Review Physics Education Research*, 16(2), 020153. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEduRes.16.020153>
- Crouch, C. H., & Mazur, E. (2001). Peer Instruction: Ten years of experience and results. *American Journal of Physics*, 69(9), 970–977. <https://doi.org/10.1119/1.1374249>
- Heeg, J., Hundertmark, S., & Schanze, S. (2020). The interplay between individual reflection and collaborative learning—seven essential features for designing fruitful classroom practices that develop students’ individual conceptions. *Chemistry Education Research and Practice*, 21(3), 765–788. <https://doi.org/10.1039/c9rp00175a>
- Jay, T., Willis, B., Thomas, P., Taylor, R., Moore, N., Burnett, C., Merchant, G., & Stevens, A. (2017). *Dialogic Teaching Evaluation report and executive summary Independent evaluators*. https://educationendowmentfoundation.org.uk/public/files/Projects/Evaluation_Reports/Dialogic_Teaching_Evaluation_Report.pdf
- Karabulut-Ilgu, A., Jaramillo Cherez, N., & Jähren, C. T. (2018). A systematic review of research on the flipped learning method in engineering education. *British Journal of Educational Technology*, 49(3), 398–411. <https://doi.org/10.1111/BJET.12548>
- Laal, M., & Laal, M. (2012). Collaborative learning: What is it? *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 31, 491–495. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2011.12.092>
- Mercer, N., Wegerif, R., & Dawes, L. (1999). Children’s talk and the development of reasoning in the classroom. *British Educational Research Journal*, 25(1), 95–111. <https://doi.org/10.1080/0141192990250107>
- Ruthven, K., Mercer, N., Taber, K. S., Guardia, P., Hofmann, R., Ilie, S., Luthman, S., & Riga, F. (2017). *A research-informed dialogic-teaching approach to early secondary school mathematics and science: the pedagogical design and field trial of the epiSTEME intervention*. 32(1), 18–40. <https://doi.org/10.1080/02671522.2015.1129642>
- Ryan, R. M., & Deci, E. L. (1985). *Self-Determination Theory and the Facilitation of Intrinsic Motivation, Social Development, and Well-Being Self-Determination Theory*.
- Urban-Woldron, H., & Hopf, M. (2012). Entwicklung eines Testinstruments zum Verständnis in der Elektrizitätslehre. *Zeitschrift Für Didaktik Der Naturwissenschaften*, 18, 201–227.
- Weatherby, T. S., Wilhelm, T., & Burde, J. (2022). More than a “Clicker”: Scaffolding Learner-Learner Classroom Talk with a Tablet Application. In A. Weinberger, W. Chen, D. Hernández-Leo, & B. Chen (Hrsg.), *Proceedings of the 15th International Conference on Computer-Supported Collaborative Learning - CSCCL 2022* (pp. 344–347). International Society of the Learning Sciences.
- Weatherby, T. S., Wilhelm, T., Burde, J.-P., Beil, F., Kapp, S., & Kuhn, J. (2019). Visualisierungen bei Simulationen von einfachen Stromkreisen. In S. Habig (Hrsg.), *Naturwissenschaftliche Kompetenzen in der Gesellschaft von morgen. Gesellschaft für die Didaktik der Chemie und Physik* (pp. 1007–1010). <https://gdcp-ev.de/?p=3936>

Danksagung

Diese Forschung wurde teilweise durch das British Journal of Educational Technology (BJET) Fellowship finanziert.

Vergleich von Videoanalyse-Apps auf Tablets

Vinit Suri*, Thomas Wilhelm*

* Institut für Didaktik der Physik, Goethe-Universität Frankfurt am Main, Max-von-Laue-Str. 1,
60438 Frankfurt am Main
suri@physik.uni-frankfurt.de; wilhelm@physik.uni-frankfurt.de

Kurzfassung

Die Videoanalyse von Bewegungen ist im Physikunterricht bereits weit verbreitet. Für Schülerinnen und Schüler ist es selbstverständlich, Videoaufnahmen zu nutzen, und sie verfügen über die Möglichkeit, jederzeit und überall digitale Videoclips aufzuzeichnen. So bietet sich im Physikunterricht der Einsatz von Videoanalyse an, um die Alltagswelt der Schülerinnen und Schüler mit dem Mechanikunterricht zu verbinden.

Besonders einfach ist die Videoanalyse auf mobilen Endgeräten. Für diese sogenannte mobile Videoanalyse gibt es bereits einige Videoanalyse-Apps für unterschiedliche Betriebssysteme, die sich in ihrer Bedienung und ihren Möglichkeiten zum Teil erheblich unterscheiden, für die es aber bisher keinen systematischen Vergleich gab. Fünf derzeit auf dem Markt verfügbare Videoanalyse-Apps für Tablets wurden systematisch getestet, kriteriengeleitet verglichen und hinsichtlich des Einsatzes im Physikunterricht bewertet, sodass den Lehrkräften die Entscheidungsfindung für eine geeignete App erleichtert wird. Fünf Apps und die Vergleichsergebnisse werden vorgestellt.

1. Motivation

Die aktuelle Generation von Videoanalyseprogrammen zielt auf die Benutzung von mobilen Endgeräten ab, wie zum Beispiel Tablets. Dass Tablets auch im privaten Gebrauch von Schülerinnen und Schülern weit verbreitet sind, zeigt die JIM-Studie 2021 (mpfs, 2021). Demnach haben bereits 74 % der Jugendlichen in ihren Haushalten Zugriff auf Tablet-PCs (mpfs, 2021, S. 5). Einen eigenen Tablet-PC besitzen 43 % aller Jugendlichen (mpfs, 2021, S. 7).

Doch nicht das Tablet an sich, sondern die Videoanalyse-Software ist entscheidend. Damit können Schülerinnen und Schüler selbstständig „einen selbst ausgewählten Bewegungsvorgang per Video aufnehmen“ (Kuhn, 2015, S. 4) und auswerten, wobei die speziell entwickelten Apps neben der Videoaufnahme auch die Analyse, Auswertung und Visualisierung der relevanten physikalischen Größen ermöglichen (Becker, Gößling, Thees, Klein, & Kuhn, 2020, S. 24). Obwohl sich derzeit einige Videoanalyse-Apps für unterschiedliche Betriebssysteme auf dem Markt befinden, offenbart ein Blick in die Fachliteratur, dass keine aktuelle Zusammen- und Gegenüberstellung der Apps vorliegt.

Um eine Grundlage für eine Entscheidungsfindung für eine dieser Apps zu schaffen, wurden fünf auf dem Markt verfügbare Videoanalyse-Apps für Tablets beschrieben, getestet, kriteriengeleitet verglichen und hinsichtlich ihres Einsatzes im Physikunterricht bewertet (Suri, 2021).

2. Videoanalyse

2.1. Vergleich der herkömmlichen und mobilen Videoanalyse

Laut Wilhelm und Gemici (2017, S. 158) werden im herkömmlichen Schulunterricht alltagsferne, eindimensionale Bewegungen betrachtet, die zu einem verminderten physikalischen Verständnis führen. Deshalb empfehlen Wilhelm und Diehl (2020, S. 7), dass eine qualitative Einführung kinematischer Größen an beliebigen zweidimensionalen Bewegungen mithilfe einer Videoanalyse erfolgen sollte, um den vektoriellen Charakter der Größen zu betonen.

Dabei unterscheidet man zwischen herkömmlicher und mobiler Videoanalyse, die sich im grundlegenden Ablauf, d. h. der Videoaufnahme und die anschließende Auswertung mithilfe von Software, nicht unterscheiden. Während bei der herkömmlichen Videoanalyse die Bewegung mithilfe einer Digitalkamera aufgenommen wird und an einem Computer analysiert und ausgewertet wird, ermöglicht die mobile Videoanalyse die Aufnahme, Analyse und Auswertung an einem einzigen Gerät.

Der Vorteil der mobilen Videoanalyse zeigt sich darin, dass es zu keiner zeitlichen und räumlichen Trennung zwischen Aufnahme und Analyse kommt und demnach der Lernprozess nicht unterbrochen wird (Suleder, 2010, S. 42). Die getrennte Aufnahme und anschließende Untersuchung können zu technischen Schwierigkeiten in der Übertragung oder bei der Konvertierung führen. Nicht zu unterschätzen sind außerdem die zeitlichen Einschränkungen im regulären Physikunterricht.

Aufgrund der Möglichkeit, Aufnahme und Auswertung an einem Gerät in einer App zu kombinieren, eignet sich die mobile Videoanalyse hervorragend, um die zeitlichen und technischen Einschränkungen zu überwinden, da kein aufwendiger Versuchsaufbau benötigt wird und aufgrund der „*Mobilität des Mediums*“ (Becker, Gößling, Thees, Klein, & Kuhn, 2020, S. 24) alltagsnahe Bewegungen in schülernahen Umgebungen aufgenommen werden können. Weiterhin sind Tablets und Smartphones inzwischen mit qualitativ hochwertigen Kameras ausgestattet, sodass Hochgeschwindigkeitsvideos mit bis zu 120 Bildern pro Sekunde erfasst und damit komplexe Bewegungen aufgenommen werden können (Becker, Klein, Kuhn, & Wilhelm, 2018, S. 46).

Damit kann sich der Einsatz der mobilen Videoanalyse bei Schülerinnen und Schülern motivationsfördernd auswirken und zum „*selbstständige[n] und entdeckende[n]*“ Lernen (Suleder, 2010, S. 29) anregen. Außerdem kann sich der Einsatz der mobilen Videoanalyse als lernförderlich erweisen, wenn die zu analysierende Bewegung mithilfe verschiedener Repräsentationsformen veranschaulicht und damit vereinfacht dargestellt wird (Suleder, 2010, S. 5).

2.2. Repräsentationsformen in Videoanalyseprogrammen

Videoanalyse-Apps haben Möglichkeiten zur „*Erfassung und Visualisierung der zeitabhängigen Positions- und Geschwindigkeitsdaten in unterschiedlichen Repräsentationsformen*“ (Becker, Gößling, Thees, Klein, & Kuhn, 2020, S. 24).

2.2.1. Diagramme

Diagramme sind eine wichtige Darstellungsform für Messdaten, deren Interpretation im Unterricht gelernt werden muss. Wenn das Diagramm in der mobilen Videoanalyse synchron zum Bewegungsablauf dargestellt wird, ist die Voraussetzung gegeben, dass die Bewegung mit der „*abstrakten grafischen Darstellung*“ des Diagramms (Wilhelm, 2009, S.1) verknüpft werden kann. So können insbesondere die Zusammenhänge kinematischer und dynamischer Größen erkannt und damit die zeitlichen Verläufe von Ort, Geschwindigkeit, Beschleunigung und dadurch Energie, Kraft und Impuls wiedergegeben werden (Suleder, 2010, S. 37). Daher unterstützen Diagramme, vor allem Graphen von (Fit-)Funktionen, den Aufbau des physikalischen Verständnisses.

2.2.2. Dynamisch ikonische Repräsentationen

Damit ein Unterrichtserfolg durch den Einsatz der mobilen Videoanalyse vorliegt, sollten Videoanalyse-Apps „*Einblendungen relevanter Größen in Form ikonischer Repräsentationen direkt im Videobild*“ (Suleder, 2020, S. 5) anzeigen können. Heuer (1996, S. 12) versteht unter dem Begriff „*dynamisch ikonische Repräsentationen*“ eine bildhafte Darstellung von physikalischen Größen, die sich im Verlauf des Experiments in ihrer Lage, Form oder Größe verändern. Diese Repräsentationen können in Form von Säulen, Flächen oder Pfeilen vorkommen und damit

funktionale Zusammenhänge und zeitliche Verläufe von Größen visualisieren. Insbesondere Pfeile stellen den vektoriellen Charakter von Bewegungsgrößen dar und sind erkenntnisfördernd, wenn sie sich entsprechend der Bewegung ändern. Folglich können diese Einblendungen als Hinführung zur Diagramminterpretation eingesetzt werden.

2.2.3. Streifenbilder und Streifenbilder

Ein Serienbild ist eine räumliche Anordnung von kompletten Einzelbildern einer Videoaufnahme. Der zeitliche Abstand zwischen den Einzelbildern ist konstant (Suleder, 2010, S. 36). Serienbilder erhalten sämtliche Informationen, die ein Video beinhaltet, beispielsweise können Ortsveränderungen bei bekannter Zeitdifferenz ermittelt werden. Serienbilder sind für den Unterrichtseinsatz geeignet, da sie für Arbeitsblätter bei entsprechender Auflösung geeignet sind und die Schülerinnen und Schüler eine Auswertung „per Hand“ durchführen können.

Besonders relevant ist der Spezialfall des Streifenbildes. Das ist ein einziges Bild, das aus vielen Einzelbildern des Videos zusammenmontiert wird, indem jeweils der horizontale oder vertikale Bildstreifen genommen wurde, in dem sich das betrachtete Objekt befindet. Damit ist ein solches Streifenbild eine Vorstufe eines t - x - bzw. t - y -Diagramms.

2.2.4. Stroboskopbilder

Einige Videoanalyse-Programme sind in der Lage, Stroboskopbilder zu erzeugen. Stroboskopbilder stellen den Verlauf der Bewegung in einem einzigen Bild dar und repräsentieren laut Suleder eine „*Vorstufe zur Diagramminterpretation der Bahnkurve[n]*“ (Suleder, 2010, S. 35), sodass qualitative und quantitative Untersuchungen durchgeführt werden können. Andere Videoanalyse-Programme können zumindest ein Zeit-Orts-Marken für das Objekt in ein Videobild einzeichnen. Ist das bewegte Objekt eine kleine Kugel, ergeben Stroboskopbilder und Bilder mit Zeit-Orts-Marken sehr ähnliche Ergebnisse, nicht aber bei ausgedehnten Objekten.

3. Kriteriengeleiteter Vergleich

Die hier vorgestellten Videoanalyse-Apps ermöglichen Nutzerinnen und Nutzern die Aufnahme sowie Auswertung von Bewegungen an einem Gerät. Weiterhin können Videos abgespeichert und aus der eigenen Fotogalerie importiert werden. Die Apps unterscheiden sich in ihren Auswertungstools sowie in den Möglichkeiten der Videoskalierung und der Darstellung der Messergebnisse. Daher wurde ein kriteriengeleiteter Vergleich zwischen den Apps durchgeführt, um die Apps zu bewerten. Zu insgesamt sieben Kategorien wurden jeweils etliche Kriterien erstellt und jede App bezüglich jeden Kriteriums bewertet.

3.1. Preis und Verfügbarkeit

Es werden die drei iOS-Apps Video Physics (zusammen mit Graphical Analysis), Viana und NewtonDV verglichen (siehe Tab. 1), die in Apples

App Store zum Download bereitstehen und auf dem iPad Pro 2020 (11 Zoll, 2. Generation) getestet wurden. Die Apps Video Physics und Graphical Analysis von Vernier werden gemeinsam betrachtet, da sie sich in ihren Funktionen ergänzen. Anschließend werden die Android-Apps eXperilyser und VidAnalysis vorgestellt, die im Google Playstore zum Download verfügbar sind und auf dem Samsung Galaxy Tab 3 (SM-T820, 2018) genutzt wurden.

Video Physics ist die Videoanalyse-App und Graphical Analysis ist eine App zur Auswertung der Messergebnisse, die mit der unternehmenseigenen App Video Physics kompatibel ist. Allerdings kann auch Graphical Analysis mit externen Messdaten genutzt werden.

Video Physics kostet 5,49 €, während Graphical Analysis kostenlos zum Download zur Verfügung steht (siehe Tab. 1). Auch die App NewtonDV ist kostenpflichtig zu einem Preis von 4,99 €. Die iOS-App Viana ist kostenlos und wurde von der Freien Universität Berlin entwickelt. eXperilyser kostet 7,99 € als Jahreslizenz. Für eine Dauerlizenz bezahlt man 19,90 €. VidAnalysis ist kostenlos im Android Playstore erhältlich.

	Video Physics und Graphical Analysis	Viana	Newton DV	eXperilyser	VidAnalysis
Verfügbarkeit (Geräte)	iOS (iPhone / iPad) Graphical Analysis auch für Android	iOS (iPad)	iOS (iPad)	Android und Windows	Android (Tablet)
	0,75	0,5	0,5	1	0,5
Preis	5,49 €	kostenlos	4,99 €	7,99 € (Jahr), 19,99 € (Dauer)	kostenlos; 1,19 €
	0,75	1	0,75	0,25	1

Tab. 1: Vergleich von Preis und Verfügbarkeit

3.2. Bedienung

Die Apps Viana und NewtonDV sind am übersichtlichsten, da alle Reiter gut erkennbar sind und die Reihenfolge sinnvoll gewählt ist, sodass man durch die Messwertaufnahme und -auswertung in der richtigen Reihenfolge geleitet wird (siehe Tab. 2). Dadurch sind diese Apps intuitiv in der Bedienung. Die App eXperilyser verfügt über viele Funktionen; die Benutzeroberfläche ist wie Video Physics unübersichtlich. VidAnalysis verfügt nicht über viele Funktionen und ist daher sehr einfach gehalten.

	Video Physics	Viana	Newton DV	eXperilyser	VidAnalysis
Übersichtliche und intuitive Benutzeroberfläche	etwas unübersichtlich, aber Graphical Analysis sehr übersichtlich	sehr gut, logischer Reihenfolge der Reiter	sehr gut, logischer Reihenfolge der Reiter	sehr viele Funktionen, unübersichtlich	durchgeleitet, einfach
	0,75	1	1	0,75	0,75
Tutorials, Hilfen	Online, englisch	in der App	nein	online und YouTube	unter Reiter Hilfe
	0,25	1	0	0,75	1

Tab. 2: Vergleich der Bedienung

3.3. Videoskalierung

Viana ermöglicht es, den Anfang und das Ende des Videoausschnitts, der analysiert werden soll, selbstständig festzulegen (siehe Tab. 3). In NewtonDV kann lediglich das Ende des Videos festgelegt werden. Alle anderen Videos ermöglichen dies nicht.

Bis auf eXperilyser kann in allen Apps der Koordinatenursprung frei gewählt werden. In den iOS-Apps können die Koordinatenachsen auch gedreht werden.

In Viana wird die Längenskalierung mit zwei Fadenkreuzen und einer Lupe am besten unterstützt. NewtonDV und eXperilyser besitzen je eine Lupe zur Festlegung einer bekannten Referenzlänge. In Video Physics gibt es hierfür eine weiße Linie mit anpassbaren Enden. Am schlechtesten wird die Längenskalierung in VidAnalysis unterstützt.

Viana bietet umfassende Möglichkeiten zur Skalierung der Videos. So ist es nur in Viana möglich, die Framerate und die Shutter-Zeit (Verschlusszeit) einzustellen. Dies bietet einen großen Vorteil gegenüber den anderen Videoanalyse-Apps. Eine längere Shutter-Zeit führt zwar zu einem höheren Lichteinfall, aber evtl. zu Bewegungsunschärfe. Kurze Shutter-Zeiten bei hohen Empfindlichkeiten führen auch bei schnellen Bewegungen zu scharfen Einzelbildern.

Für die anderen Apps, die diese Funktion nicht besitzen, kann ein durch die App Yamera aufgenommenes Video verwendet werden, sodass optimale Aufnahmen vorliegen (Hengel, Wilhelm & Kuhn, 2020, S. 252). Im folgenden Bildschirmfoto (siehe Abb. 1) sind die Benutzeroberflächen von Video Physics und Viana im Split Screen Modus mit der optimalen Aufnahme sichtbar, so dass die Kugel immer scharf ist.

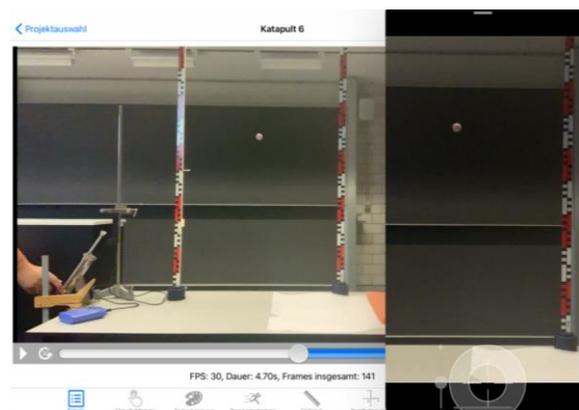


Abb. 1: Bildschirmfoto von Viana (links) und Video Physics (rechts) mit einer Videoaufnahme mit kurzer Shutter-Zeit

	Video Physics	Viana	Newton DV	eXperilyser	VidAnalysis
Framerate einstellbar (bei Videoaufnahme)	nein	ja (30 fps, 60 fps, 120 fps)	nein	nein	nein
	0	1	0	0	0
Shutter-Zeit einstellbar	nein	ja	nein	nein	nein
	0	1	0	0	0
Helligkeit einstellbar (bei Videoaufnahme)	nur Geräte-Taschenlampe	ja	nur Geräte-Taschenlampe	nein	nur Geräte-Taschenlampe
	0,25	1	0,25	0	0,25
Zeitnullpunkt und Zeitpunkt wählbar	nein	ja	nur Zeitnullpunkt	nein	nein
	0	1	0,5	0	0
Koordinatensprung frei wählbar	ja	ja	ja	nein	ja
	1	1	1	0	1
Koordinatenachsen frei positionierbar	ja	ja	nein	nein	nein
	0,75	1	1	0	0
unterstützte Längenskalierung	ja (Linie mit anpassbaren Enden)	ja (zwei Fadenkreuze und Lupen)	ja (Lupe)	ja (Lupe)	ja (nur Kreuze)
	0,75	1	0,75	0,75	0,5

Tab. 3: Vergleich der Videoskalierung

3.4. Datenerfassung

Die Apps NewtonDV und VidAnalysis unterstützen nur die manuelle Objektverfolgung (siehe Tab. 4). Die anderen Apps unterstützen dagegen die automatische Objektverfolgung. Bis auf eXperilyser besitzen Viana und Video Physics zusätzlich die Möglichkeit der manuellen Objektverfolgung. Daher können in diesen beiden Apps automatisch markierte Punkte nachträglich korrigiert werden.

	Video Physics	Viana	Newton DV	eXperilyser	VidAnalysis
manuelle Objekterfassung	ja	ja	ja	nein	ja
	1	1	1	0	0,5
automatische Objekterfassung	ja	ja	nein	ja	nein
	1	1	0	0,5	1
Korrektur markierter Punkte	ja	ja	nein	nein	-
	1	1	0	0	0
mehrere Objekte gleichzeitig erfassbar	nein	ja	nein	nein	nein
	0	1	0	0	0
Objektspur anzeigen	ja	ja	nein	ja	nein
	1	1	0	0,5	0
Videoframes auslassen	ja	nein	ja	nein	nein
	1	0	1	0	0
Markierungshilfen	ja	ja	ja	nein	nein
	0,75	1	0,5	0	0

Tab. 4: Vergleich der Datenerfassung

Viana ist derzeit die einzige App, die zwei Objekte gleichzeitig tracken kann. Dabei besitzt Viana die besten Markierungshilfen für die manuelle Objektverfolgung (Fadenkreuz und Lupe). Video Physics besitzt eine kreisförmige Markierungshilfe, wobei der Durchmesser an die Größe des Objekts ange-

passt werden kann. In NewtonDV gibt es eine Lupe. VidAnalysis und eXperilyser besitzen keine derartigen Markierungshilfen.

Weiterhin können in NewtonDV und Video Physics einzelne Videoframes übersprungen werden, die in der anschließenden Auswertung ausgelassen werden.

3.5. Datendarstellung

Alle Apps können die aufgenommenen Messwerte in beschrifteten Graphen darstellen (siehe Tab. 5). Eine Legende wird ebenfalls gestellt. Die besten Graphen bietet Graphical Analysis. Diese App hat neben NewtonDV die Möglichkeit, frei zu entscheiden, welche Größe auf welcher Achse aufgetragen wird. Somit können unterschiedliche Zusammenhänge betrachtet werden, z. B. auch ein v-a-Diagramm und nicht nur Zeitdiagramme.

NewtonDV ist die einzige App, die Streifenbilder (siehe Abb. 2) und echte Stroboskopbilder (siehe Abb. 3) erzeugen kann. Gleichzeitig bietet auch nur NewtonDV die Möglichkeit, Geschwindigkeits- und Beschleunigungspfeile einzublenden, die ebenfalls in den Streifenbildern und Stroboskopbildern zu sehen sind (siehe Abb. 3). Video Physics und Viana können zumindest Zeit-Orts-Marken für das Objekt in ein Videobild einzeichnen, was einem Stroboskopbild ähnelt (siehe Abb. 4).

Bis auf eXperilyser bieten die restlichen Apps eine tabellarische Darstellung der Messwerte an. In Viana funktioniert dies nur in Form eines CSV-Exports in Excel.

	Video Physics und Graphical Analysis	Viana	Newton DV	eXperilyser	VidAnalysis
Diagramme (Graph)	ja (mit Graphical Analysis sehr gut)	ja	ja	ja	ja
	1+1	1	1	0,5	1
Beschriftung/Legende	vorhanden	vorhanden	vorhanden	vorhanden	vorhanden
	1	1	1	1	1
Zuordnung von Größen	nur mit Graphical Analysis	nein	ja	nein	nein
	1	0	1	0	0
Achsenkalierung möglich	nur mit Graphical Analysis	nein	nein	nein	nein
	1	0	0	0	0
Streifenbilder	nein	nein	ja	nein	nein
	0	0	1	0	0
Stroboskopbilder oder Zeit-Ort-Marken	Marken	Marken	Stroboskopbild	nein	nein
	1	1	1	0	0
Pfeile	nein	nein	ja	nein	nein
	0	0	1	0	0
Tabelle	nur in Graphical Analysis	nein (nur in Excel)	ja (übersichtlich)	nein	ja (unübersichtlich)
	1	0,75	1	0	0,75

Tab. 5: Vergleich der Datendarstellung

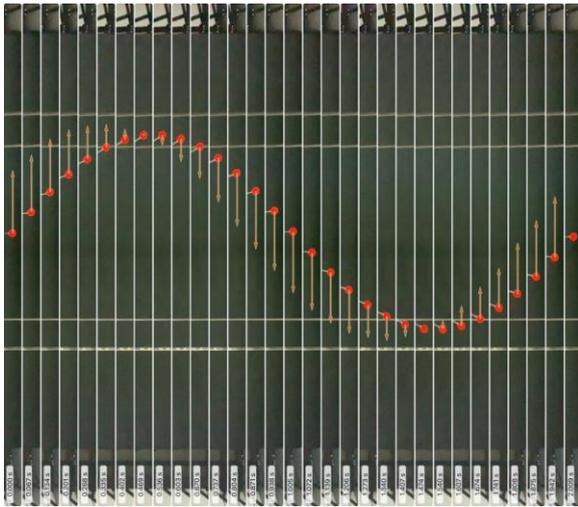


Abb. 2: Streifenbild mit eingeblendeten Geschwindigkeitspfeilen in NewtonDV bei einem Fadenpendel zur Untersuchung harmonischer Schwingungen

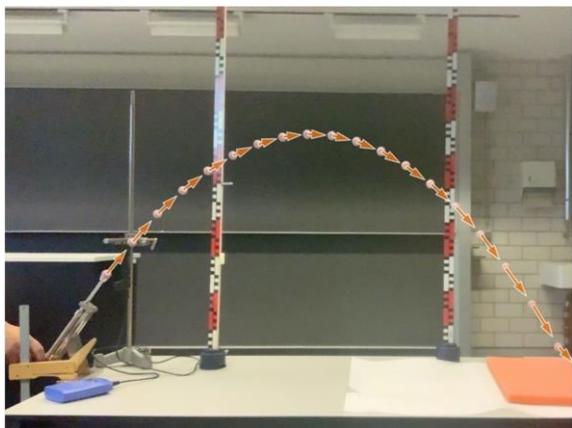


Abb. 3: Schiefer Wurf im Labor: Stroboskopbild mit eingeblendeten Geschwindigkeitspfeilen in NewtonDV

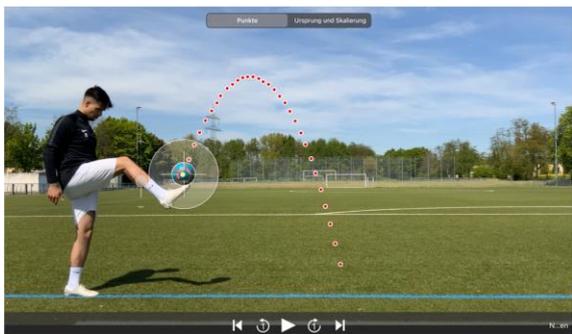


Abb. 4: Schiefer Wurf im Alltag: Ortsmarken in Video Physics

3.6. Datenauswertung

Zur Datenauswertung (siehe Tab. 6) können nur in eXperilyser Längen und Winkel aus dem Videomaterial bestimmt werden.

NewtonDV ist die einzige App, in der Graphen von linearen, quadratischen, und (gedämpften) trigonometrischen Funktionen zum Vergleich eingeblendet werden können. Durch Anpassen der Parameter

kann so selbst eine passende Fitfunktion an die Messwerte gefunden werden kann.

Graphical Analysis bietet die umfassendsten mathematischen Hilfsmittel und Darstellungsmöglichkeiten. So kann diese App eine sehr gut angenäherte Fitfunktion selbst errechnen. Ebenfalls können Integrale bestimmt (siehe Abb. 5) und die Graphen farblich dargestellt werden.

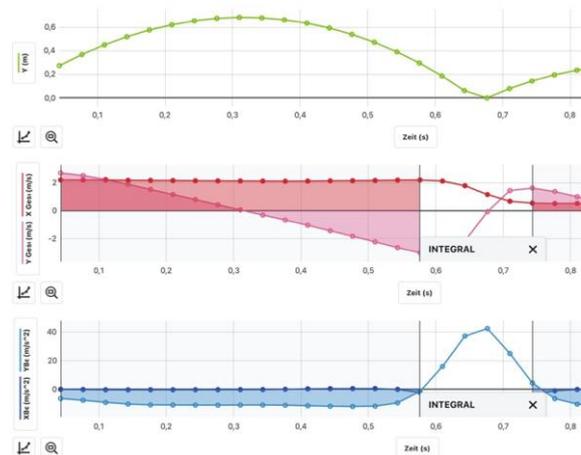


Abb. 5: Zum schiefen Wurf aus Abb. 3 werden in Graphical Analysis dargestellt: Ort-Zeit-Diagramm in x-Richtung, Geschwindigkeit-Zeit- und Beschleunigung-Zeit-Diagramm in x- und y-Richtung und farblich markierte Intervalle über die Funktion „Integral darstellen“

	Video Physics und Graphical Analysis	Viana	Newton DV	eXperilyser	VidAnalysis
Längen und Winkel messbar	nein 0	nein 0	nein 0	ja 1	nein 0
Funktionsgleichung darstellbar	nein 0	nein 0	Ja, bestimmte Arten 1	nein 0	nein 0
berechnete Fitlinie im Diagramm	nur in Graphical Analysis 1	nein 0	nein 0	nein 0	nein 0

Tab. 6: Vergleich der Datenauswertung

3.7. Datensicherung und Import/Export

Alle Apps verfügen über eine automatische Datensicherung. Ebenfalls können in allen Apps Videos aus der geräteeigenen Galerie importiert werden. Der Export als CSV-Datei wird bis auf eXperilyser von allen Apps unterstützt. Weitere Infos finden sich in Tab. 7.

	Video Physics und Graphical Analysis	Viana	Newton DV	eXperilyser	VidAnalysis
Datensicherung	automatisch	automatisch	automatisch	automatisch	automatisch
	1	1	1	1	1
Beispielvideos vorhanden	ja	ja	ja	ja	ja (Homepage)
	1	0,75	0,75	0,25	0,25
Qualität und Quantität der Beispielvideos	4 hervorragende Aufnahmen, davon 3 Alltagsbewegungen	2 hochwertige Aufnahmen von Schwingungen	5 Aufnahmen mit mäßiger Qualität	nur Aufnahme der Kreisbewegung nutzbar	2 Aufnahmen mit schlechter Qualität
	1	0,75	0,5	0,25	0
Datenimport möglich	ja	ja	ja	ja (eingeschränkt)	ja
	1	1	1	0,5	1
Kompatibel externe Videos	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut
	1	1	1	1	1
Export als CSV-Datei	nur in Graphical Analysis möglich	ja	ja	nein	ja (eingeschränkt)
	1	1	1	0	0,5
Export der Daten in andere Apps	ja (Graphical Analysis, Excel)	ja (Excel, GeoGebra)	ja (Excel)	nein	ja (gnuplot-Datei)
	0,75	1	0,75	0	0,25
interne Speicher-möglichkeiten	ja (Video), Diagramme, Tabelle mittels Graphical Analysis	ja (Video)	ja (Video, Tabellen, Graphen, Stroboskop-, Serienbilder)	ja (Diagramm)	nein
	1	0,75	1	0,25	0

Tab. 7: Vergleich der Datensicherung und Import/Export

4. Tabellarische Übersicht der subjektiven Bewertung der Videoanalyse-Apps

Jede App wurde bezüglich jeden Kriteriums bewertet und für jedes Kriterium wurden Punkte vergeben. So ergibt sich für jede der sieben Kategorien als Summe ein Punktwert (siehe Tab. 81). Erreichbar sind 2 Punkte für Preis und Verfügbarkeit, 2 Punkte für die Bedienung, 7 Punkte für die Videoskalierung, 7 Punkte für die Datenerfassung, 8 Punkte für die Datendarstellung, 3 Punkte für die Datenauswertung, und 8 Punkte für die Datensicherung und Export/Import. So sind insgesamt 48,5 Punkte erreichbar.

Außerdem wird eine Gewichtung der Kategorien angegeben, die sich nach der Relevanz für den Einsatz im Physikunterricht richtet. Gemäß dieser Gewichtung wird eine Gesamtpunktzahl berechnet (und aufgerundet). Die Kategorie Bedienung ist zweifach gewichtet, da eine intuitive und einfach zu bedienende App für den Unterrichtseinsatz unerlässlich ist. Mit einer derartigen App können Schülerinnen und Schüler einfacher selbstständig arbeiten und die Einarbeitungszeit fällt kürzer aus. Die Kategorien

Datendarstellung und Datenauswertung sind ebenfalls zweifach gewichtet, weil sie den Wissenserwerb der Schülerinnen und Schüler aufgrund der didaktischen Vorteile wesentlich prägen. Die Datenerfassung ist 1,5-fach gewertet, da die Apps mindestens eine Art der Objektverfolgung besitzen und diese durch weitere Optionen verbessert werden kann. Die Videoskalierung ist nur einfach gewertet, da die Videoaufnahme im besten Fall in der App möglich sein sollte, aber eine externe Aufnahme oft vorteilhafter ist, da nicht alle Apps Einstellungsmöglichkeiten besitzen. Genauso ist die Kategorie Preis und Verfügbarkeit einfach gewertet, da alle Videoanalyse-Apps relativ günstig oder kostenlos sind. Die Kategorie Datensicherung und Export/Import ist am geringsten gewichtet, da die Daten auf unterschiedlichen Wegen gesichert werden können.

App	Video Physics und Graphical Analysis	Viana	NewtonDV	eXperilyser	VidAnalysis
Kategorie (Gewichtung)					
Preis & Verfügbarkeit (0,5-fach)	1,5	1,5	1,25	1,25	1,5
Bedienung (2-fach)	1	2	1	1,5	1,75
Videoskalierung (1-fach)	2,75	7	3,5	0,75	1,75
Datenerfassung (1,5-fach)	5,75	6	2,5	1	1,5
Datendarstellung (2-fach)	7	3,75	7	1,5	2,75
Datenauswertung (2-fach)	1	0	1	1	0
Datensicherung & Export/Import (0,5-fach)	7,75	7,25	7	3,25	4
erreichte Punktzahl	34	31,9	29,4	12,5	15,8

Tab. 8: Übersicht zur erreichten Punktzahl der Videoanalyse-Apps in jeder Kategorie nach dem kriteriengeleiteten Vergleich

5. Diskussion und Handlungsempfehlungen

Abschließend werden die Ergebnisse des Vergleichs der Videoanalyse-Apps auf Tablets für den Physikunterricht betrachtet und ihnen Anwendungssituationen im Physikunterricht zugeordnet. Obwohl man mithilfe von Tabelle 1 zu einem schnellen Urteil kommen kann, muss beachtet werden, dass es sich hierbei um einen subjektiven Gesamtwert handelt. Daher sollte berücksichtigt werden, dass sich die Ergebnisse an der selbst bestimmten Gewichtung richten, weshalb ein anderer Endstand bei anderer Gewichtung resultieren kann.

Die Videoanalyse-App VidAnalysis ist für den Unterrichtseinsatz nicht zu empfehlen, da sie vor allem Schwächen bezüglich der Genauigkeit der Skalierung und der Objektmarkierung offenbart, die die Datenauswertung ebenfalls negativ beeinflussen. Obwohl eXperilyser eine geringere Punktzahl im Vergleich zu VidAnalysis erhält, zeigt sie im An-

wendungsbereich „Live-Analyse“ ihre Stärke und damit ihr Potenzial.

In Bezug auf den Preis ist Viana als kostenlose Videoanalyse-App sehr gut für den unterrichtlichen Einsatz geeignet. So kann sie problemlos auf alle Geräte installiert werden und besticht vor allem durch die Möglichkeiten der Objektverfolgung und Videoskalierung. Wünschenswert wäre eine Funktion zur graphischen Auswertung, wie zum Beispiel die Einblendung berechneter Fitfunktionen, sodass eine optimale Objektverfolgung, Datendarstellung und -auswertung durchgeführt werden kann.

NewtonDV und Video Physics besitzen keine Funktion bezüglich der Einstellungen der Videoaufnahme. Daher wird als Alternative auf die kostenlose Kamera-App Yamera verwiesen und ihr Einsatz empfohlen.

Vor allem für die Betrachtung zweidimensionaler Bewegung ist NewtonDV ein ausgezeichnetes Tool. So kann der Bewegungsverlauf mithilfe der Stroboskopbilder, Streifenbilder und Geschwindigkeits- und Beschleunigungspfeile qualitativ gut beschrieben werden. Es ist mittels NewtonDV möglich, Bewegungen zu charakterisieren und Arbeitsblätter für Schulklassen vorzubereiten, da die Bilder als Grafik in die Fotogalerie exportiert werden können. Obwohl NewtonDV keine automatische Objektverfolgung anbietet und eine genaue graphische Auswertung nicht möglich ist, kann an dieser Stelle eine klare Handlungsempfehlung ausgesprochen werden, da diese Einblendungsmöglichkeiten aufgrund ihres didaktischen Gehaltes den Wert von NewtonDV betonen.

Wenn die qualitative Beschreibung von Bewegungen nicht ausreichend ist und eine mathematische Auswertung gewünscht ist, ist Video Physics in Kombination mit Graphical Analysis unverzichtbar. Die Kombination mit Graphical Analysis ermöglicht eine übersichtliche Darstellung der Daten in Form von Graphen, mit denen noch weitergearbeitet werden kann. Insbesondere können weitere Größen, beispielsweise Ableitungen aus erfassten Größen, berechnet und graphisch dargestellt werden. Dabei sollte beachtet werden, dass man die Schrittweite nicht einstellen kann und die erfassten Messwerte Fehler beinhalten, die von den Nutzenden nicht beeinflusst werden können. Verniers Apps können in der Oberstufenmechanik besonders gewinnbringend eingesetzt werden, wenn bereits Ableitungen im Mathematik-Unterricht behandelt wurden und somit direkte Anwendungen gezeigt werden können.

6. Fazit

Es zeigt sich, dass sich durch den Einsatz der mobilen Videoanalyse mittels Videoanalyse-Apps auf Tablets viele neue Möglichkeiten im Physikunterricht ergeben. Es kann angenommen werden, dass der Einsatz von Videoanalyse-Apps gewinnbringende Elemente beinhaltet, durch die physikalische

Lernprozesse unterstützt sowie Interesse und Motivation gesteigert werden können.

Allerdings muss bedacht werden, dass ein Einsatz der mobilen Videoanalyse von der Verfügbarkeit der dafür erforderlichen Geräte abhängt. Außerdem sollte auf die Verwendung eines Stativs, eine angemessene Beleuchtung, ein ausreichender Kontrast sowie das Mitfilmen einer Referenzlänge und damit auf die Abhängigkeit des Endresultats von der Aufnahmequalität hingewiesen werden.

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die Vor- und Nachteile verschiedener Videoanalyse-Apps auf Tablets für den Physikunterricht zu bestimmen. Aus dem kriteriengeleiteten Vergleich und der anschließenden Bewertung stellte sich heraus, dass die iOS-Apps hervorragende Ergebnisse lieferten.

Es muss jedoch angemerkt werden, dass die vorliegende Gegenüberstellung der momentan auf dem Markt verfügbaren Videoanalyse-Apps nur zeitlich begrenzt relevant ist. In Anbetracht der fortschreitenden Digitalisierung und der Vorteile der mobilen Videoanalyse werden in Zukunft weitere und vermutlich bessere Videoanalyse-Apps veröffentlicht werden. Diesbezüglich kann der im Zuge dieser Arbeit aufgestellte Kriterienkatalog genutzt werden, um neue Videoanalyse-Apps zu bewerten und zu vergleichen. Der ausführliche Kriterienkatalog findet sich bei Suri (2021).

Jede Videoanalyse-App hat Schwächen und kann noch verbessert werden. Eine optimale App gibt es derzeit nicht. Was jedoch einer App fehlt, wird von einer anderen angeboten, weshalb eine Kombination von Videoanalyse-Apps, insbesondere die Kombination von NewtonDV und Video Physics sowie Graphical Analysis, als vorteilhaft und gewinnbringend eingeschätzt werden kann.

7. Literatur

- Becker, S.; Klein, P.; Kuhn, J.; Wilhelm, T. (2018): Smarte Physik – Viana analysiert Bewegungen – In: Physik in unserer Zeit 49, Nr. 1, S. 46 – 47.
- Becker, S.; Gößling, A.; Thees, M.; Klein, P.; Kuhn, J. (2020): Mobile Videoanalyse im Mechanikunterricht – In: Plus Lucis, Nr. 1, S. 24 – 31, https://www.pluslucis.org/ZeitschriftenArchiv/2020-1_PL.pdf (Stand 6/2022)
- Kuhn, J. (2015): Experimentieren mit Smartphones und Tablets – In: Naturwissenschaften im Unterricht Physik 145, S. 4 – 8
- Medienpädagogischer Forschungsverband Südwest (mpfs). (2021): JIM 2021 – Jugend, Information, (Multi-) Media Basisstudie zum Medienumgang 12- bis 19-Jähriger in Deutschland, https://www.mpfs.de/fileadmin/files/Studien/JIM/2017/JIM_2017.pdf (Stand 6/2022)
- Suleder, M. (2010): Videoanalyse und Physikunterricht. Aulis Verlag, Hallbergmoos.

- Suri, V. (2021): Vergleich von VideoanalyseApps auf Tablets für den Physikunterricht, Staats-examensarbeit Universität Frankfurt, <http://www.thomas-wilhelm.net/arbeiten/Videoanalyseapps.pdf>
- Wilhelm, T. (2009): Videoanalyse mit unterschiedlichen Darstellungsformen – In: Höttecke, D. (Hrsg.): Chemie- und Physikdidaktik für die Lehramtsausbildung, Jahrestag der GDCP in Schwäbisch Gmünd, Reihe: Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Band 29, Lit-Verlag, Münster.
- Wilhelm, T.; Gemici, B. (2017): Beschleunigungsverständnis in der Oberstufe – In: PhyDid-Didaktik der Physik – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung, Dresden, S. 153 – 166, <http://phydid.physik.fu-berlin.de/index.php/phydid-b/article/view/751/903> (Stand 6/2022).
- Wilhelm, T.; Diehl, S. (2020): Oberstufenmechanik konsequent mit Videoanalyse – In: Plus Lucis, Nr. 1, S. 7 – 11, https://www.pluslucis.org/ZeitschriftenArchiv/2020-1_PL.pdf (Stand 6/2022).

VRE Physik im digitalen Labor

Johannes F. Lhotzky*, William Lindlahr⁺, Klaus Wendt*

*Institut für Physik, Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Staudingerweg 7, 55128 Mainz

⁺Fachhochschule Südwestfalen, Medienpädagogik
lhotzky@uni-mainz.de

Kurzfassung

Der Physikunterricht lebt von seinen Experimenten und von der aktiven Auseinandersetzung mit physikalischen Phänomenen und Untersuchungsgegenständen. Es gibt aber Versuche, die aus verschiedensten Gründen nicht oder nur erschwert im Unterricht durchgeführt werden können. Als Gründe zu nennen sind hohe Gefahrenquellen, die von bspw. radioaktiven Stoffen, Lasern oder Hochspannung ausgehen, Kosten oder Aufwand. Eine Möglichkeit, dennoch experimentieren zu können, bieten die an der Johannes Gutenberg-Universität entwickelten Virtual-Reality-Experimente (VRE), die in einer digitalen, aber authentischen Welt reale Physik abbilden. Innerhalb der VRE können Experimente mit allen dazugehörigen Apparaturen und Geräten benutzt und bedient werden. Der Funktionsumfang der Software sieht u. a. vor, Spannungen und Ströme einzustellen, Messbereiche an Multimetern zu variieren oder Timer und Zählvorrichtungen zu betätigen – wie im Realexperiment. Durch die plattformübergreifende Kompatibilität der Software ist es neben Smartphones, Tablets und Computern möglich, die virtuellen Versuche auf interaktiven Bildschirmen oder Whiteboards zu betreiben. Im folgenden Beitrag werden konkrete Realisierungen am Beispiel des Cs-Ba-Generators und der Röntgenspektroskopie präsentiert.

1. Was sind Virtual-Reality-Experimente?

Virtual-Reality-Experimente (VRE) simulieren ausgewählte physikalische Versuche, die aufgrund von Gefahren oder wegen ihres Aufwands im Schulunterricht nicht (mehr) real durchgeführt werden, in einer dreidimensionalen, realitätsnahen und inhaltlich korrekten Darstellung. Die Software ist für umfangreiche, einfache und intuitive Interaktionsmöglichkeiten sowie für den Einsatz digitaler Unterrichtsmedien, wie interaktive Whiteboards und Tablets, optimiert. Mit diesem Ansatz wird das Experiment als zentrales Element der naturwissenschaftlichen Forschung und Bildung über digitale Medien zugänglich, auch wenn die reale Durchführung nicht möglich oder zulässig ist (Lindlahr, 2014; Lindlahr & Wendt, 2016; Lindlahr, 2022).

2. Einsatzszenarien von VRE

Der Einsatz digitaler Medien im Unterricht ist deutlich angestiegen. Gerade durch den pandemiebegründeten Fernunterricht oder auch für neue methodische Ansätze wie etwa Flipped Classroom werden qualitativ hochwertige digitale Anwendungen benötigt (Becker & Nerdel, 2017), um den Schülerinnen und Schülern eine authentische, ansprechende und zudem physikalisch korrekte Lernumgebung bereitzustellen. Das Konzept und die Umsetzung der VRE haben es sich zum Ziel gemacht, Lernen im digitalen Raum zu ermöglichen.

Das Ersetzen eines vorhandenen, einsatzfähigen Realexperiments wird hierbei nicht bezweckt; VRE

bieten hingegen eine Erweiterung des methodischen Werkzeugkastens von Lehrkräften und schaffen experimentelle Lerngelegenheiten, die andernfalls aufgrund von Kosten, Gefahren und Komplexität nicht zugänglich wären. Durch ihre breite und unbegrenzte Verfügbarkeit stellen VRE ein vom Aufwand her niederschwelliges Angebot dar, um komplexer Physik im experimentellen Unterricht authentisch zu begegnen.

3. Steuerung und Interaktionsmöglichkeiten

Um eine breite Partizipationsmöglichkeit der Lernenden zu ermöglichen, sieht das Konzept der VRE vor, eine möglichst breite Palette von digitalen Endgeräten und Eingabemöglichkeiten zu unterstützen. Dazu wurde neben einer intuitiven Touch-Gestensteuerung als realitätsnaher Interaktionsmöglichkeit auch die klassische Eingabe mittels Tastatur und Maus implementiert. Durch Adaption von Auflösung und Performance werden auch ältere und weniger rechenstarke Systeme unterstützt. Die Software wird damit auf allen, bereits im Bildungsbereich verfügbaren Geräten unterstützt. Mithilfe einer zusätzlich einblendbaren „Palette“ können alle Funktionselemente zudem konventionell, zuverlässig und präzise bedient werden. Diese breite Interaktionsmöglichkeit erleichtert die Handhabung für weniger medienkompetente oder motorisch eingeschränkte Personen.

4. Die verfügbaren Experimente in der Übersicht

Nachfolgend werden die in der aktuellen Version der

VRE 2.0 App verfügbaren Experimente vorgestellt und ihre Durchführung beschrieben.

4.1. Röntgenspektroskopie und -beugung

Das Virtual-Reality-Experiment (VRE) zur Röntgenspektroskopie und Röntgenbeugung erschafft eine Lernumgebung zum Umgang mit Röntgenstrahlung sowie zu dem Prinzip der Spektroskopie mit der praktischen Anwendung der Röntgenbeugung. Das Röntgengerät demonstriert zwei materialwissenschaftliche Anwendungen: Röntgenphotonenspektroskopie zur Identifizierung (unbekannter) chemischer Elemente in einer Probe und Röntgenbeugung zur Analyse von (unbekannten) Kristallstrukturen.

Hierbei bezieht sich der Begriff „Röntgenphotonenspektroskopie“ (XPS) auf die Analyse der Röntgenstrahlintensität einer Röntgenquelle als Funktion der Energie oder der Wellenlänge der Röntgenstrahlung. Die Röntgenstrahlen wurden 1895 von Wilhelm Conrad Röntgen zufällig entdeckt; berühmt wurde die Durchleuchtung der Hand seiner Frau. Er verwendete einen evakuierten Glaskolben, in dem von einer negativ geladenen Kathode ein Elektronenstrahl zu einer positiv geladenen metallischen Anode geführt wird. Dort werden die Elektronen beim Auftreffen stark abgebremst, was zur Erzeugung der Strahlung führt: Röntgenstrahlen stellen einen hochenergetischen Abschnitt des Spektrums elektromagnetischer Wellen (Photonen) mit Wellenlängen zwischen 10 nm und 0,01 nm dar; Photonenenergien liegen zwischen 100 eV und 250 keV (im Vergleich zu 1–3 eV für das Spektrum von sichtbarem Licht). Die Strahlung wird heutzutage neben der bildgebenden Diagnostik und der Strahlentherapie in der Medizin auch umfassend in der Materialanalyse, der Sicherheitstechnik und der Sprengstoffsuche verwendet.

Aufgrund der begründeten Einstufung von Röntgenstrahlen als gefährlicher Strahlung sind beim Einsatz des Realexperiments in der Lehre spezielle Schulungen und konkrete Vorkehrungen für den sicheren Umgang mit Röntgengeräten notwendig. Das VRE simuliert ein Röntgengerät, das alle Sicherheitsvorschriften einhält und eine sichere Bedienung des Gerätes ermöglicht, was auch ein mögliches späteres Experimentieren an einem Realexperiment vereinfacht. Der Aufbau besteht aus einer strahlendichten Einhausung, die in zwei getrennte Kammern unterteilt ist. Das linke Abteil enthält den Sockel für eine von vier möglichen Röntgenröhren mit unterschiedlichem Kathodenmaterial; die davon weitgehend abgetrennte rechte Kammer beherbergt ein Kristall-Diffraktometer für spektroskopische und strukturelle Analysen. Beide Kammern sind durch einen Kanal mit einer größenverstellbaren Blende in der Trennwand verbunden, aus der ein gebündelter Strahl in die Analysatorkammer einfällt. Dort treffen die Röntgenstrahlen auf einen Analysatorkristall auf dem zentralen Drehteller eines senkrecht angeordneten Zwei-Kreis Goniometers.

Bei Drehung des Kristalls um den Winkel θ wird der zweite Arm mit dem Detektor für die Röntgenstrahl-

ung um genau den doppelten Winkel 2θ verfahren. Damit wird sichergestellt, dass die notwendige Bragg-Bedingung der Röntgenstreuung $n\lambda = 2d\sin(\theta)$ immer eingehalten wird.

Die verschiedenen Röntgenröhren werden mittels eines Auszugs auf der linken Gehäuseseite ausgetauscht (s. Abb.1), unterschiedliche Analysatorkristalle werden durch eine Bleiglas-Schiebetür auf der Vorderseite des Geräts installiert.



Abb.1: VRE Röntgenversuch beim Austausch einer Röhre zur Spektroskopie

Am Funktionsgerät selbst können unterschiedliche Betriebsspannungen der Röhre bis zu 30 keV und Anodenströme bis zu 1 mA eingestellt werden. Die Darstellung des jeweiligen Spektrums erfolgt direkt auf einem nebenstehenden Computermonitor (s. Abb.2), der die Zählrate am Röntgendetektor als Funktion der Winkeleinstellung als Graph ausgibt. Die Daten können zudem exportiert und in ein beliebiges Auswertungsprogramm zur rechnerischen Auswertung übertragen werden.

Das gemessene Röntgenspektrum einer Röntgenröhre besteht aus zwei charakteristischen Beiträgen: Je

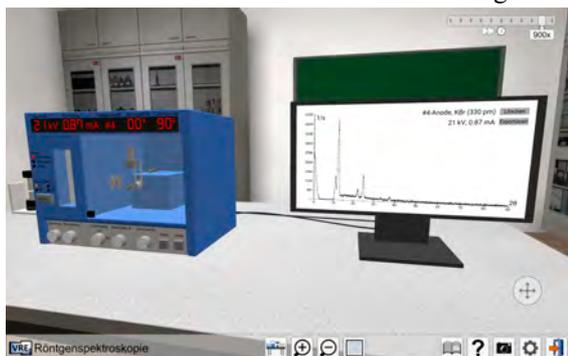


Abb.2: Spektrum eines unbekanntes Anodenmaterials

nach Kathodenmaterial treten einige wenige scharfe Spektrallinien bei charakteristischen Energien auf, die mit dem kontinuierlichen Untergrund des Bremsstrahlungsspektrums überlagert sind. Die scharfen Spektrallinien sind spezifisch für das Anodenmaterial der Röntgenröhre, das durch einen Elektronenstoß zur Röntgenemission angeregt wird. Sie ermöglichen die Bestimmung des Anodenmaterials. Aus dem gemessenen Winkel bekannter charakteristischer Linien kann nachfolgend die Gitterkonstante des Analysatorkristalls ermittelt werden.

4.2. Rutherford'sches Streuexperiment

1911 verfasste der neuseeländische Physiker Ernest Rutherford seine Entdeckungen zur Struktur von Teilchen. Seine Erkenntnisse beruhen dabei auf dem von Hans Geiger, Ernest Marsden und Ernest Rutherford 1909 durchgeführten Versuch.

Dieser nutzt eine radioaktive Probe, die einen gebündelten Strahl von Alpha-Teilchen abgibt, der auf eine dünne Goldfolie trifft. Der Strahler sitzt in einer Abschirmung, damit die emittierten Teilchen sich nahezu parallel bewegen. Strahler und Folie befinden sich in einem evakuierten runden Vakuumgefäß, so dass die Zählrate der an der Folie gestreuten Teilchen winkelabhängig gemessen werden kann (s. Abb.3).



Abb.3: Aufbau des historischen Rutherford Experiments

Als Detektor wurden bei diesem Versuch ein Leuchtschirm und ein Mikroskop verwendet, womit kurze Lichtblitze beim Auftreffen eines Alpha-Teilchens in einem engen Bereich als Funktion des Winkels beobachtet werden (s. Abb.4). Lichtblitze werden auch bei größeren Ablenkwinkeln detektiert. Dies führte zur Postulierung des kleinen positiv geladenen Atomkerns und wird heute quantitativ durch den Rutherford'schen Wirkungsquerschnitt beschrieben.

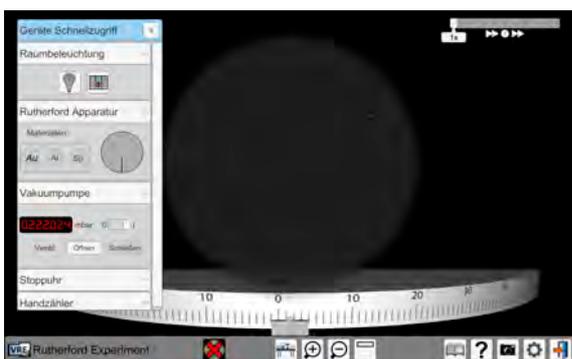
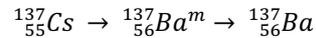


Abb.4: Aufblitzen der Alpha-Teilchen

4.3. Cs-Ba-Isotopengenerator

Mit dem Experiment des Cäsium-Barium-137m-Isotopengenerators lässt sich der Zerfall einer radioaktiven Quelle quantitativ verfolgen und die Halbwertszeit des Isotops Barium-137 (Ba-137) bestimmen (Pijnajian, 1967). Im Isotopengenerator befindet sich langlebiges Cäsium-137 (Cs-137) in gebundener

Form. Die Halbwertszeit des Isotops liegt bei ca. 30 Jahren. Über einen β -Zerfall zerfällt es in Barium-137. Bei dem radioaktiven Zerfall zerfallen ca. 5% der Cäsiumkerne direkt in den stabilen Grundzustand des Ba-137, während die anderen 95% in den metastabilen Zustand des Isomers Ba-137m übergehen.



Dieser metastabile Zustand Ba-137m ist damit ein radioaktives Nuklid mit einer Halbwertszeit von 2,551 Minuten, welches sich über einen γ -Zerfall mit einer Energie von 662 keV in den Grundzustand Ba-137 umwandelt. Barium wird mittels einer Elutionslösung aus dem Isotopengenerator ausgespült. Die erhaltene Lösung wird in einer Petrischale aufgefangen (s. Abb. 5), die enthaltene Aktivität wird mittels eines Geiger-Müller-Zählrohrs an einem Impulszähler nachgewiesen und die Zeitabhängigkeit wird untersucht.



Abb.5: Elutionsvorgang des Cs-Ba-Generators

Dabei ergibt sich eine experimentelle Bestimmung der Halbwertszeit des Ba-137m: (s. Abb.6).

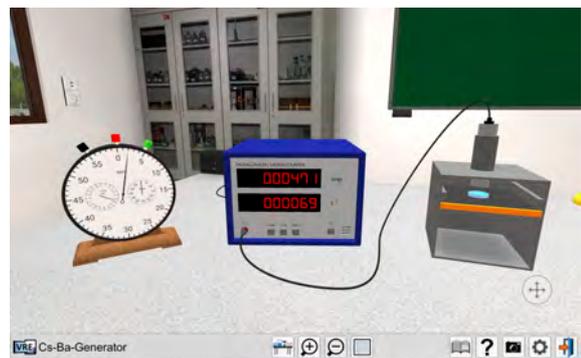


Abb.6: Bestimmung der Halbwertszeit des Ba 137m im virtuellen Labor

Bei diesem Experiment wurde Wert auf die Sicherheitsvorkehrungen im Umgang mit offenen radioaktiven Quellen gelegt. Hierzu muss die Nutzerin bzw. der Nutzer in der virtuellen Welt einen Kittel und Handschuhe anlegen. Ebenso sind das saubere Arbeiten und das Verlassen des (virtuellen) Arbeitsplatzes von Bedeutung. Im Anschluss an das Experiment wird der Nutzerin bzw. dem Nutzer eine Auswertung angezeigt, die speziell auf diese Aspekte eingeht.

5. Weiterentwicklungen und Ausblick

Aufgrund der breiten Verfügbarkeit der Anwendung, die über einen konkreten lehrkraftgesteuerten Einsatz hinausgeht, ist es notwendig, die Benutzerinnen und Benutzer in der Anwendung anzuleiten und Unterstützungen bereitzustellen. Der Ansprechpartner „Atomi“ führt dazu zukünftig durch die Anwendung und steht für Hilfestellungen parat (s. Abb.7). Speziell erteilt er ein Einführungstutorial, das die grundlegenden Interaktionsmöglichkeiten innerhalb der Anwendung aufgreift und diese dem Nutzer bzw. der Nutzerin spielerisch näherbringt.

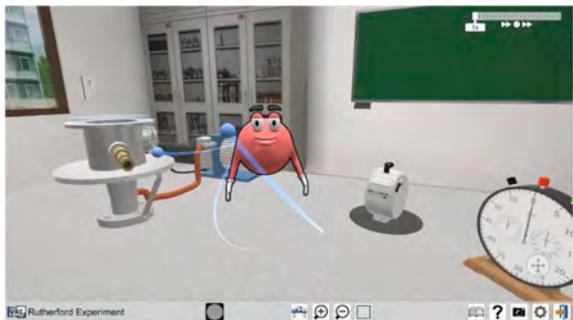


Abb.7: „Atomi“ im Einsatz des Rutherford Experiments

6. Verfügbarkeit

Die VRE App 2.0 ist bereits heute über alle gängigen Plattformen verfügbar. Hierbei werden Microsoft Windows, Apple MacOS sowie die mobilen Plattformen iOS bzw. iPadOS und Android unterstützt. Ebenso kann eine APK-Datei von der Homepage <https://www.vre.uni-mainz.de> heruntergeladen werden.

7. Literatur

- Becker, S. & Nerdel, C. (2017). Gelingensbedingungen für die Implementation digitaler Werkzeuge im Unterricht. In J. Meßinger-Koppelt, S. Schanze & J. Groß (Hrsg.). Lernprozesse mit digitalen Werkzeugen unterstützen – Perspektiven aus der Didaktik naturwissenschaftlicher Fächer (S. 36–55). Hamburg: Joachim Herz Stiftung Verlag.
- Lindlahr, W. (2014). Virtual-Reality-Experimente für Interaktive Tafeln und Tablets. In Joachim-Herz-Stiftung (Hrsg.). Digitale Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht. Hamburg.
- Lindlahr, W. & Wendt, K. (2016). Virtual-Reality-Experimente. Experimentieren mit realitätsnahen Simulationen. In NiU Physik 27(2016)151, S. 26–28.
- Lindlahr, W. (2022, in Vorb.). Virtual-Reality-Experimente. Entwicklung und Evaluation eines Konzepts für den forschend-entwickelnden Physikunterricht mit digitalen Medien.
- Kuhn, J., Ropohl, M. & Groß, J. (2017). Fachdiaktische Mehrwerte durch Einführung digitaler Werkzeuge. In J. Meßinger-Koppelt, S. Schanze & J. Groß (Hrsg.). Lernprozesse mit digitalen

Werkzeugen unterstützen – Perspektiven aus der Didaktik naturwissenschaftlicher Fächer (S. 11–28). Hamburg: Joachim Herz Stiftung Verlag.

Pinajian, J. J. (1967). A Cesium-137 – Barium-137m Isotope Generator. In Journal of Chemical Education, S. 212–213.

DigiPhysLab: Digital Physics Laboratory Work for Distance Learning

Simon Z. Lahme¹, Pascal Klein¹, Antti Lehtinen², Andreas Müller³, Pekka Pirinen², Ana Sušac⁴
and Bruno Tomrlin⁴

¹ University of Göttingen, Germany; ² University of Jyväskylä, Finland;

³ University of Geneva, Switzerland; ⁴ University of Zagreb, Croatia

simon.lahme@uni-goettingen.de

Abstract

Pursuing a broad range of learning objectives, effective physics laboratory courses need conducive-to-learning, motivating, and engaging experimental tasks. The Covid-19 pandemic has further increased the demand for quality experimental tasks which can also be used in online learning scenarios. The EU-funded DigiPhysLab-project meets this need by developing a set of 15 competence-centred experimental tasks which can be implemented by instructors effortlessly in their own lab courses, independent of whether they are held on-campus or in distance learning. For this, the project utilizes the broad availability of digital technologies like smartphones which allow an inexpensive data collection and analysis also outside a traditional laboratory. The developed tasks are characterized by a framework for design principles of experimental tasks derived from literature. In this conference proceedings, the general rationale and outline of the DigiPhysLab-project are described and exemplified by an experiment that is already developed, i.e., the Slamming Door experiment.

1. Introduction: The DigiPhysLab-project

Usually, physics teaching at undergraduate level has three different components: lectures introduce the physical concepts and theories, tutorials provide opportunities to deepen the knowledge of the lecture by solving physical problems, involving mostly various mathematical approaches, and in the laboratory courses students can conduct their own experiments which typically accompany the content of the lecture. During the Covid-19 pandemic, university learning and teaching needed to be implemented virtually in distance learning scenarios rather quickly (Klein et al., 2021). While lectures and tutorials could quite easily be realized for example as web conferences (Klein et al., 2021), transforming a lab course into a distance learning setting was much more difficult. Common challenges were for example related to the communication between instructors and students, the limited choice of equipment available at home, the production of supportive but also easily usable instructions, or students' grading (Hut et al., 2020). Several approaches for distance learning lab courses were tried out, with ambiguous success. Bauer et al. (2021) for example indicate that experiments conducted at home can support learning objectives with a reduced complexity while hybrid labs using simulations and virtually held group discussions with peers and instructors can deepen the knowledge about simulations but neglect the acquisition of elaborated experimental competencies.

Overall, these experiences and findings reveal that further work needs to be done to develop experimental tasks suitable for lab courses in distance learning scenarios. The DigiPhysLab-project (Developing digital physics laboratory work for distance

learning, 2021 - 2023) follows this goal. In a cooperation between the Universities of Göttingen in Germany, Jyväskylä in Finland, and Zagreb in Croatia, and co-funded by the Erasmus+ programme of the European Union since March 2021, we are developing and evaluating 15 competence-centred experimental tasks which can be used in distance learning scenarios as well as in on-campus lab courses. We make use of the broad availability of digital technologies like smartphones or data analysis tools which enable hands-on data collection and analysis even outside the university laboratory. Additionally, we develop a framework for design principles of experimental tasks which allows a characterization of the developed tasks and can also function as a basis for the development of further new tasks.

In this contribution, we present the outline of the DigiPhysLab-project. In section 2, based on the current state of research, we argue why our project is relevant not only for teaching and learning under pandemic circumstances but follows a general approach to increase the effectiveness of physics lab courses at European universities beyond pandemic times. In section 3, we demonstrate the workflow of the DigiPhysLab-project with the example experiment Slamming Door, which has already been developed and evaluated in our project. Finally, in section 4, we give an outlook on the further progress of our project until its end in February 2023.

2. Motivation of the project based on the state of research about the effectiveness of lab courses

With lab courses as an integral part of physics studies, specific learning objectives are intended to be reached. As described in section 2.1, traditional lab

courses do not reach the desired goals and the intended effectiveness, with multiple causes discussed in section 2.2. Since these observations emerged over the past decades, several approaches for improving lab have been tried which we outline in section 2.3. From this, we derive in section 2.4 the demand for further development which motivates the work of the DigiPhysLab-project.

2.1 Learning objectives and effectiveness of labs

In the past, a lot of effort has been put into identifying and listing the learning objectives of physics laboratory courses. Some of these approaches were more normative, others more empirical. Normative lists of learning objectives can be taken, for example, from the policy statement of the American Association for Physics Teachers (1997), which was updated in 2014 (American Association for Physics Teachers, 2014), or the study goals formulated by the Konferenz für Fachbereiche Physik in Germany (2010). On the other hand, empirical work has been done for example by Welzel et al. (1998; English version Sere et al., 1998), who conducted a Delphi survey among science teachers in schools and universities in six different European countries, as well as by Nagel et al. (2018), who let German lab instructors rate a list of learning objectives, in turn based on the findings of a survey among faculty at the University of Colorado Boulder (Zwickl et al., 2013). These references, which are just a selection of lists for known learning objectives, already portrays a huge variety of learning objectives for labs, for example linking theory to practice, acquiring experimental skills, developing collaborative learning skills, getting to know the ground-laying principles of experiments, or fostering students' interests and motivation.

The sheer abundance of goals already suggests that lab courses cannot easily reach all learning objectives as desired. Research has shown that there is a significant discrepancy between learning objectives and outcomes of physics lab courses which characterizes their ineffectiveness. Holmes et al. (2017) have shown that participating in a physics lab has no impact on the understanding of the physical content (measured by the success in the final exam), independent of the university, the lab instructor, the thematic field, or the exam task type (algebraic, calculus-based, or concept-based). As investigated by Teichmann et al. (2022), students do not internally follow expertise-like views and attitudes regarding lab work and experimental physics even though they have quite appropriate knowledge from the point of view of experts. Rehfeldt (2017) has shown that from students' perceptions physics lab courses mainly have medium quality as they do not support the acquisition of experimental, communicative, collaborative, or assessment competence appropriately and especially do not meet students' interests.

2.2 Causes for the ineffectiveness of lab courses

The ineffectiveness of traditional labs defined as the gap between the learning objectives and the actual

achievements of labs is caused by various reasons. Some are instructional since traditional experimental tasks are quite cookbook-styled impeding students' engagement. Holmes and Wiemann (2018) state:

“[A]ll the decision making [...] is done for the students in advance. [...] [S]tudents are told what value they should get for a particular measurement or given the equation to predict that value; they are told what data to collect and how to collect them [...]. Although the students are going through the motions of physics experimentation, their brains are not engaged in the process [...]. That mental effort is made by instructors beforehand when they design the experiment.” (pp. 40f.)

This statement matches the findings by Haller (1999, p. 99), who measured the percentage of time for different students' activities in a typical (German) physics lab: While students spent much time manipulating the setup (37% of the time) and collecting data (35,7%), which are quite non-engaging actions, working with formulas (0,6%) or talking to peers and instructors (7,6%) play a minor role during a typical lab day even though these activities could be considered as meaningful for students' learning processes.

Further reasons for the ineffectiveness of labs are learner-related, for example facing the lack of motivating and interest-enhancing elements in labs (Rehfeldt, 2017), or content-related due to inherent difficulties like dealing with multiple representations during data collection and data analysis (Ainsworth, 2006; Scheid et al., 2019). Moreover, the Covid-19 pandemic had a huge impact on university teaching and learning especially in lab courses. For example, the shift to distance learning led to the less conducive-to-learning use of second-hand data (Klein et al., 2021) or to a shift from developing lab skills towards reinforcing physics concepts (Werth et al., 2021) which is generally spoken less beneficial for acquiring critical thinking skills and appropriate views about experimentation (Walsh et al., 2022).

2.3 Approaches for improving lab courses

Accompanying the research about the (in-)effectiveness of lab courses, several approaches were and are still followed to improve lab courses and to increase their outcome on students' learning. One approach tries to develop addressee-specific lab courses which meet the specific perspectives, desires, and prior knowledge of the students who participate in the lab course. Related work has been done for example by Theyßen (1999) and Klug (2017) for medicine students, by Neumann (2004) for physics students and by Andersen (2020) for teacher training students. Another approach aims to improve the students' preparation in advance of the lab day mainly by implementing multimedia elements in the instructions or newly developed learning environments (Zastrow, 2001; Nagel, 2009; Kreiten, 2012; Fricke, 2018). Furthermore, there are several competence-centred approaches based on the principle of cognitive apprenticeship (Bauer & Sacher, 2018; Bauer et al.,

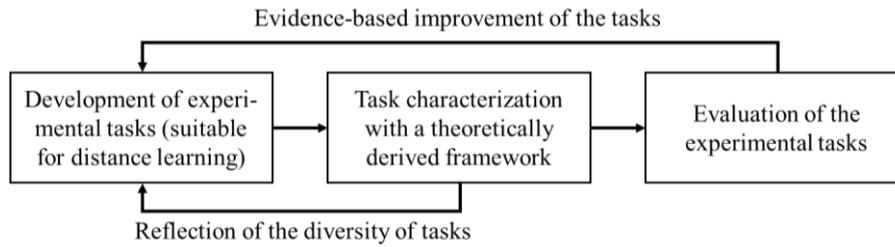


Fig. 1: Workflow of the DigiPhysLab-project.

2020) or hypotheses- and phenomenon-initiated open inquiry (Holmes & Wieman, 2018; Etkina, 2015; Kontro et al., 2018; Teichmann et al., 2022).

A rather new approach that arose with the broad emergence of new digital technologies is the use of digital tools like smartphones, tablets, augmented and virtual reality environments, computers with interactive screen experiments, or artificial simulations for data collection and analysis. Experimenting with mobile devices (e.g., video analysis) can reduce the extraneous cognitive load and therefore support the conceptual understanding since information is coherently represented in space and time, dynamically linked, and usable by the learner in one's own pace and order (Becker et al., 2020). Otherwise, digital technologies like smartphones can increase students' motivation and interest due to the use of an everyday object linking physics to everyday life (Hochberg, 2016) or with virtual reality environments due to the principles of engagement and immersion known from game design (Pirker, 2017). Therefore, digital technologies allow inexpensive, conducive to understanding, and motivating data collection and analysis which provide new opportunities for competence-centred, effective physics lab courses.

2.4 Necessity for further development and research

The approaches already pursued reveal that the use of digital technologies can be seen as a promising opportunity to innovate physics lab courses as they are not only conducive to understanding, motivating, and engaging, but also rather inexpensive and broadly available. Thus, they can be utilized for effective, fruitful labs under pandemic circumstances and beyond for contemporary physics education flexible in terms of space and time. To support instructors all around Europe to implement corresponding experimental tasks in their lab courses successfully, carefully tested experimental tasks of high quality need to be developed. The DigiPhysLab-project follows exactly this goal with a specific workflow described in section 3.

3. Workflow and initial findings of the project

The DigiPhysLab-project develops new experimental tasks, characterizes them with a theoretically derived framework, and evaluates them. The findings enable an evidence-based improvement of the tasks and the use of the framework secures a diversity of the tasks to be developed. In the following subsections, we describe each step of this specific workflow (cf. Fig. 1) in general and exemplify all

steps based on the already developed experiment Slamming Door.

3.1 Experimental tasks – the experiment Slamming Door as an illustrative example

As the focus of the DigiPhysLab-project is the development of high-quality, digital experimental tasks which can be used for distance learning as well as for on-campus learning scenarios, we understand our work not (only) as generating new experimental ideas conductible for example with a smartphone, but also as the development of out-written task instructions for students and instructors who should be able to implement our tasks easily in their studies or lab courses. Therefore, our tasks are conceptualized as standalone experimental tasks that are independent of a specific lab concept. The set of our 15 tasks to be developed addresses a broad range of typical topics from introductory physics lectures which are commonly attended by physics bachelor and physics teacher training students in their first four semesters. Our tasks typically enable a data collection and/or data analysis using digital technologies like smartphones or computers with data analysis software. These technologies allow a contemporary and precise collection and analysis of greater data sets even without using specific measurement devices like in traditional labs. Besides that, our experimental tasks require mainly household items or objects borrowable from physics faculties to facilitate the conduction of our experiments also in distance learning scenarios at the students' homes.

One of the experimental tasks already developed is the experiment Slamming Door. The idea is based on Klein et al. (2017). In this experimental task, the students should replicate a part of the study described in this paper by investigating (for their specific door) which frictional model(s) describe(s) the effects of the slamming door most simply but precisely. As described by Klein et al. (2017), one can expect a nested model containing dry friction $D \sim \omega^0$, Stokes friction $S \sim \omega^1$ and/or Newtonian friction $N \sim \omega^2$. Solving the differential equation

$$a + b\omega + c\omega^2 = -I\dot{\omega} \quad \{1\}$$

for the frictional torque with parameters a , b , and c leads to the general solution

$$\omega_{DSN}(t) = \frac{2\omega_0 c + b - \gamma \tan\left(\frac{\gamma t}{2I}\right)}{2c \left[1 + \frac{(2\omega_0 c + b) \tan\left(\frac{\gamma t}{2I}\right)}{\gamma} \right]} - \frac{b}{2c} \quad \{2\}$$

for the angular velocity ω with $\gamma = \sqrt{4ac - b^2}$. By setting various combinations of a , b , c equal to zero,

seven possible nested models can be derived. Students can now attach a smartphone to the face of their door and measure the angular velocity directly with the gyroscope sensor or indirectly over the centripetal acceleration with the acceleration sensor of their smartphone. For this, the application phyphox (Staacks et al., 2018) can be utilized. Example data can be seen in Fig. 2 where the orange box marks the section where the door is closing after an initial impact at around the time $t = 2$ s. By fitting the seven theoretically possible models and taking account of the two “fitting criteria” (high R^2 and realistic order of magnitude of the fit parameters; Klein et al., 2017), students can identify which model describes the friction of their door best. The analysis of the example data with the help of the applications Origin (or SciDaVis) using initial guesses and intervals for the fit parameters based on the findings of the paper can be seen in Tab. 1. One can recognize that the combination of dry friction D and Newtonian friction N has the highest R^2 while adding Stokes friction S to the model does not improve the explanatory quality of the model as the R^2 remains the same and the related fit parameter b is set as nearly zero. This is in accordance with the original paper which assumes that the door hinges cause the dry friction, and the Newtonian friction is generated by the air drag at the door face.

For this experimental task, we developed instructions for students and instructors. The students’ version consists of four parts:

1. Introduction and preparational tasks (1 page) that should be distributed to the students before the lab work.
2. The actual experimental task (1 page) consisting of a small motivation, a list of experimental materials and addressed experimental skills, the task itself, and information regarding the assessment. The task itself is quite roughly sketched, so the students have the chance for open inquiry. The document should first be distributed to the students when the lab work starts.
3. Instructions (3 pages) for how to use the applications phyphox and SciDAVis in case the students are not familiar with them.
4. Key questions (1/2 page) that guide the students through their work. The questions are just a scaffold for the experimental process as they do not provide any suggestions for the experiment but initiate a reflection on one’s own approach.

	a (D)	Δa	b (S)	Δb	c (N)	Δc	ω_0	$\Delta \omega_0$	R^2
D	0,03988	8,23E-05	:=0	-	:=0	-	0,36779	2,91E-04	0,99352
S	:=0	-	0,16282	2,43E-04	:=0	-	0,38839	2,49E-04	0,99696
N	:=0	-	:=0	-	0,61788	0,00294	0,40702	9,42E-04	0,97326
DS	0,01581	1,94E-04	0,09892	7,93E-04	:=0	-	0,38085	1,41E-04	0,9994
DN	0,0273	7,63E-05	:=0	-	0,20251	0,00119	0,38246	1,14E-04	0,99966
SN	:=0	-	0,16282	2,43E-04	2,17E-17	≈ 0	0,38839	2,49E-04	0,99696
DSN	0,0273	7,63E-05	1,92E-25	≈ 0	0,20252	0,0012	0,38246	1,14E-04	0,99966

Tab. 1: Fit parameters for the seven different frictional models describing the rotary motion of the slamming door. The DN-model (dry & Newtonian friction) is most precisely (highest R^2) while adding Stokes friction (S) to the DSN-model does not improve the explanatory quality of the model.

The instructors’ version provides some further tips and tricks as well as to-be-expected results for each phase of the experimental process. Additionally, this document provides some suggestions regarding the assessment and potential modifications of the task. Both versions can be found on our project website (<https://www.jyu.fi/digiphyslab>).

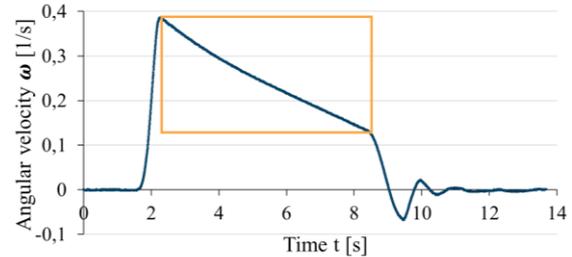


Fig. 2: Angular velocity of the slamming door over the time. The part marked with the yellow box describes the actual movement of the door after it was slammed until the door interferes with the door frame.

3.2 Framework for design principles

To keep track of the characteristics of our developed tasks, provide a certain diversity, and to provide an overview of our tasks for potential users, we develop a theoretical framework for design principles of experimental tasks. It allows a characterization of the developed tasks and can also function as a basis for designing new tasks (in our project and beyond for all lab instructors). The framework is derived from a literature review and the reflection of existing lab courses at our home universities. It integrates literature from several perspectives, for example, the to-be-acquired experimental (Millar, 2009; Welzel et al., 1998) and digital competencies (Thoms et al., 2021) or the use of digital technologies in physics labs (Chen et al., 2012; Trinh-Ba, 2016). The initial version of the framework (see an extract in Fig. 3) consists of five dimensions which are specified by several categories:

1. The dimension general outline/circumstances gives an overview of what the experimental tasks look like, e.g., providing information about the topic, the target group, or the necessary equipment for the experiment.
2. The dimension learning objectives provides different kinds of learning goals which can be linked to the experimental task, e.g., linking theory to practice, acquiring experimental skills, or digital competency.

3. The dimension task design focuses on the characteristics of the actual task, e.g., the degree of open inquiry, the recommended organizational form, or the logical function of the activity.
4. The dimension focused experimental activities consists of a list of potential activities students run through during the experimental process.
5. The dimension delivery/implementation contains aspects of how lab instructors could integrate the task in their lab course, e.g., by addressing the delivery of the instructions, the (logical) integration in the lab course, or the students' assessment.

Each category comes with a vocabulary list that can be used to characterize the experimental tasks with a more standardized wording. Fig. 3 shows the characterization for the Slamming Door experiment. The final framework will be published separately soon.

3.3 Evaluation of the tasks

Besides the development of our experimental tasks and their characterization with the help of the framework, we also pilot and evaluate our tasks. Through this, we can revise and improve the task documents as well as secure that our tasks can be implemented

in the university teaching. Some of these tasks are piloted on-campus to allow a precise observation of the students' interaction with the task documents and their experimental process. Other tasks are piloted in distance learning settings to evaluate the usability of our experimental tasks also in the intended learning environment. Each task is evaluated at least once, some tasks will also be tested in a small- (<5 students) or medium-scale (~10-15 students) evaluation in our three contributing universities. For the evaluation we use, depending on the group size and the status of the pilots, a self-developed questionnaire and/or guideline-structured group interviews. Both evaluation instruments will be published after an already planned revision.

The experiment Slamming door described above has so far been piloted with 14 teacher training students in their second to third master semester at the University of Göttingen as part of a school practical lab course (Didaktikpraktikum). The students were divided into groups of two to three (5 groups in total) and got an obligatory task (reading the paper and installing the software) as well as an optional task (familiarizing with phyphox & SciDAVis) in advance.

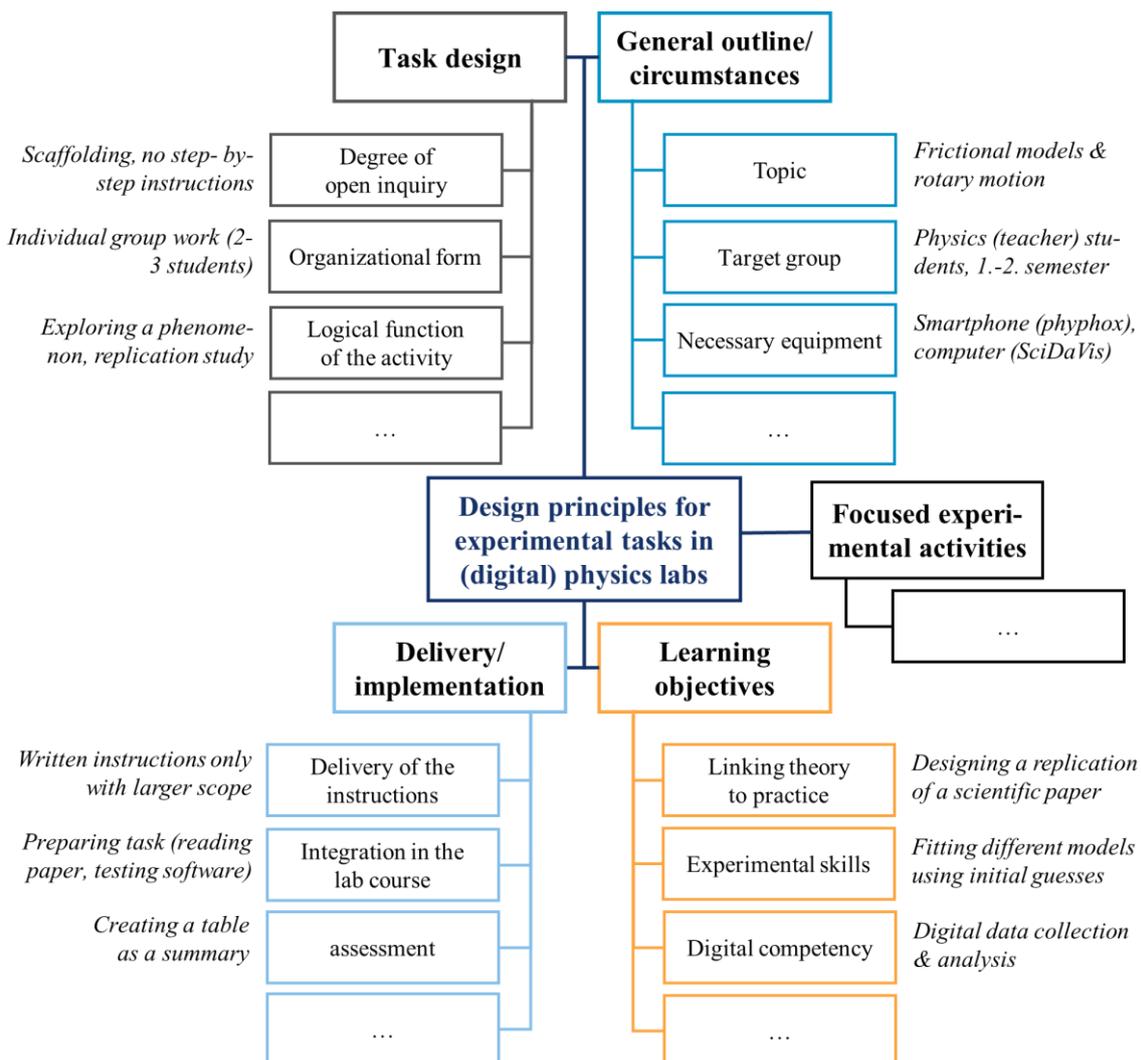


Fig. 3: Framework of design principles for experimental tasks in (digital) physics labs and its use for task characterization exemplified for the experiment Slamming door.

During the lab day of two hours, the students conducted the experiments mainly self-sufficiently while three instructors were available in case of any questions or difficulties. The observations and final students' documentation revealed that students had obstacles with an appropriate data analysis and the use of given criteria for choosing a suitable frictional model. Therefore, the task complexity was sufficient even for master students whereby many obstacles would not have occurred if students had read the paper and the task instructions more carefully.

In the group interviews conducted directly after the lab work, students evaluated positively that the experiment was interesting, the use of smartphones motivating, and thereby the phenomenon easily accessible. They perceived the instructions as clearly written and understandable with a good structure and layout. Some students mentioned that the use of the smartphones and the data analysis tool SciDAVis reduced their reservations regarding the use of digital technologies in the future, also during their upcoming work as physics teachers. While some students liked the given freedom of choice and the opportunity to formulate one's own hypothesis, other students would have preferred even less guidance or conversely a debug list to finish the work more smoothly and quickly. Negatively evaluated was the tasks' focus on data analysis which was described as too long and too tough and that the digital data collection and analysis would increase the extent and complexity of the experiment more than the advocated manual data collection and analysis.

Here, students revealed several misconceptions which explain the ambivalent perception of experimental tasks: On the one hand, students did not recognize the data analysis as part of the experimental process which would already end with the data collection from the students' point of view. On the other hand, students refused the fact that the desired decision for a precise frictional model could hardly be done without big and precise data sets which are only provided and can only be handled with digital technologies. These misconceptions were addressed during a reflection session after the lab session.

3.4 Task revision

Based on our observations and evaluation data, we modified all documents for our experimental tasks available on the project website. In particular, the instructors' version benefits from the pilot runs as we can provide specific suggestions and advice on how to deal with or even avoid obstacles that might occur during the implementation of our tasks in university teaching. The pilot runs also led to improved instructions for students: For example, typing errors were eliminated, some expressions in the task description and learning objectives were specified, and the already mentioned guiding questions were added.

4. Summary and outlook

To conclude, the DigiPhysLab-project follows the aim to develop and evaluate competence-centred,

digital experimental tasks which can be conducted in distance learning and on-campus learning settings and which are mapped to a framework for design principles of experimental tasks for a precise task characterization. In the following steps of the project, we will finalize and evaluate the framework, develop further experimental tasks for other subject areas like magnetism or optics, characterize them with the help of the framework, and evaluate them with our evaluation instruments (partially to be improved) in our three home universities. All documents (task instructions for students and instructors, framework, overview of the tasks based on the framework, guide to use tasks and framework, ...) will be published as open educational resources in four languages (English, German, Finnish, and Croatian) on our project website (<https://www.jyu.fi/digiphyslab>) until the end of our project. By this, we hope that our work can support instructors at universities (and schools) all around Europe to provide high-quality experimental tasks using modern digital technologies for the learning processes of their students.

5. References

- Ainsworth, S. (2006). DeFT: A conceptual framework for learning with multiple representations. *Learning and Instruction*, 16(3), 183–198. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2006.03.001>
- American Association of Physics Teachers (1997). Goals of the Introductory Physics laboratory. *The Physics Teacher*, 35(9), 546–548. <https://doi.org/10.1119/1.2344803>
- American Association of Physics Teachers (2014). *AAPT Recommendations for the Undergraduate Physics Laboratory Curriculum: Report prepared by a Subcommittee of the AAPT Committee on Laboratories. Endorsed by the AAPT Executive Board.* <https://www.aapt.org/Resources/upload/LabGuidelinesDocumentEBendorsednov10.pdf>
- Andersen, J. (2020). *Entwicklung und Evaluierung eines spezifischen Anfängerpraktikums für Lehramtsstudierende im Fach Physik* [Doctoral dissertation, Christian-Albrechts-Universität Kiel]. MACAU. https://macau.uni-kiel.de/receive/macau_mods_00001409
- Bauer, A., & Sacher, M. (2018). Kompetenzorientierte, universitäre Laborpraktika - Das Paderborner Physik Praktikum (3P). *PhyDid B - Didaktik Der Physik - Beiträge Zur DPG-Frühjahrstagung - Würzburg 2018*, 65-72. <http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/876>
- Bauer, A. B., Reinhold, P., & Sacher, M. D. (2020). Bewertungsmodell zur experimentellen Performanz (Physik-)Studierender. In S. Habig (Ed.), *Naturwissenschaftliche Kompetenzen in der Gesellschaft von morgen. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Wien 2019* (pp. 106–114). [388](https://www.gdcp-</p>
</div>
<div data-bbox=)

- ev.de/wp-content/tb2020/TB2020_106_Bauer.pdf
- Bauer, A. B., Sacher, M. D., Habig, S., & Fechner, S. (2021). Laborpraktika auf Distanz: Ansätze in den Naturwissenschaften. In I. Neiske, J. Osthusenrich, N. Schaper, U. Trier, & N. Vöing (Eds.), *Hochschule auf Abstand: Ein multiperspektivischer Zugang zur digitalen Lehre* (pp. 155–168). Bielefeld: transcript.
- Becker, S., Klein, P., Gößling, A., & Kuhn, J. (2020). Using mobile devices to enhance inquiry-based learning processes. *Learning and Instruction*, 69, Article 101350. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2020.101350>
- Chen, S., Lo, H.-C., Lin, J.-W., Liang, J.-C., Chang, H.-Y., Hwang, F.-K., Chiou, G.-L., Wu, Y.-T., Lee, S. W.-Y., Wu, H.-K., Wang, C.-Y., & Tsai, C.-C. (2012). Development and implications of technology in reform-based physics laboratories. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 8(2), Article 020113. <https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.8.020113>
- Etkina, E. (2015). Millikan award lecture: Students of physics - Listeners, observers or collaborative participants in physics scientific practices? *American Journal of Physics*, 83(8), 669-679. <https://doi.org/10.1119/1.4923432>
- Fricke, A. (2017). *Interaktive Skripte im Physikalischen Praktikum: Entwicklung und Evaluation von Hypermedien für die Nebenfachausbildung*. Berlin: Logos.
- Haller, K. (1999). *Über den Zusammenhang von Handlungen und Zielen: Eine empirische Untersuchung zu Lernprozessen im physikalischen Praktikum*. Berlin: Logos.
- Hochberg, K. (2016). *iMechanics: Smartphones als Experimentiermittel im Physikunterricht der Sekundarstufe II. Wirkung auf Lernerfolg, Motivation und Neugier in der Mechanik* [Doctoral dissertation, Technische Universität Kaiserslautern]. KLUEDO. https://kluedo.uni-kl.de/frontdoor/deliver/index/docId/4445/file/_160331_Diss_genehmigt.pdf
- Holmes, N. G., Olsen, J., Thomas, J. L., & Wieman, C. E. (2017). Value added or misattributed? A multi-institution study on the educational benefit of labs for reinforcing physics content. *Physical Review Physics Education Research*, 13(1), Article 010129. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.13.010129>
- Holmes, N. G., & Wieman, C. E. (2018). Introductory physics labs: We can do better. *Physics Today*, 71(1), 38–45. <https://doi.org/10.1063/PT.3.3816>
- Hut, R. W., Pols, C. F. J., & Verschuur, D. J. (2020). Teaching a hands-on course during corona lockdown: from problems to opportunities. *Physics Education*, 55(6), Article 065022. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/abb06a>
- Klein, P., Dahlkemper, M. N., Geyer, M.-A., Küchemann, S., Ivanjek, L., Jeličić, K., & Sušac, A. (2021). Evaluation der Online-Lehre Physik während COVID-19: Ergebnisse einer Studierenden- und Lehrendenbefragung. In S. Habig (Ed.), *Naturwissenschaftlicher Unterricht und Lehrerbildung im Umbruch? Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Online-Jahrestagung 2020* (pp. 121–124). https://www.gdcp-ev.de/wp-content/tb2021/TB2021_121_Klein.pdf
- Klein, P., Müller, A., Gröber, S., Molz, A., & Kuhn, J. (2017). Rotational and frictional dynamics of the slamming of a door. *American Journal of Physics*, 85(1), 30–37. <https://doi.org/10.1119/1.4964134>
- Klug, T. (2017). *Wirkung kontextorientierter physikalischer Praktikumsversuche auf Lernprozesse von Studierenden der Medizin*. Berlin: Logos.
- Konferenz der Fachbereiche Physik (2010). *Zur Konzeption von Bachelor- und Master-Studiengängen in der Physik: Handreichung der Konferenz der Fachbereiche Physik (KFP)*. Berlin. https://www.kfp-physik.de/dokument/KFP_Handreihung_Konzeption-Studiengaenge-Physik-101108.pdf
- Kontro, I., Heino, O., Hendolin, I., & Galambosi, S. (2018). Modernisation of the intermediate physics laboratory. *European Journal of Physics*, 39(2), Article 25702. <https://doi.org/10.1088/1361-6404/aa9364>
- Kreiten, M. (2012). *Chancen und Potenziale web-basierter Aufgaben im physikalischen Praktikum* [Doctoral dissertation, Universität zu Köln]. Kölner UniversitätsPublikationsServer. <https://kups.uni-koeln.de/4719/>
- Millar, R. (2009). *Analyzing practical activities to assess and improve effectiveness: The Practical Activity Analysis Inventory (PAAI)*. Centre for Innovation and Research in Science Education, University of York, York. <https://www.rsc.org/cpd/teachers/content/filerepository/frg/pdf/ResearchbyMillar.pdf>
- Nagel, C. (2009). *eLearning im physikalischen Anfängerpraktikum*. Berlin: Logos.
- Nagel, C., Scholz, R., & Weber, K.-A. (2018). Umfrage zu den Lehr/Lernzielen in physikalischen Praktika. *PhyDid B - Didaktik Der Physik - Beiträge Zur DPG-Frühjahrstagung - Würzburg 2018*, 79–109. <http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/829/974>
- Neumann, K. (2004). *Didaktische Rekonstruktion eines physikalischen Praktikums für Physiker*. Berlin: Logos.
- Pirker, J. (2017). *Immersive and Engaging Forms of Virtual Learning: New and improved approaches towards engaging and immersive digital learning* [Doctoral dissertation, Technische Universität

- Graz]. TUGraz DIGITAL Library. <https://diglib.tugraz.at/immersive-and-engaging-forms-of-virtual-learning-2017>
- Pols, F. (2020). A Physics Lab Course in Times of COVID-19. *Electronic Journal for Research in Science & Mathematics Education*, 24(2), 172–178. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1261593.pdf>
- Rehfeldt, D. (2017). *Erfassung der Lehrqualität naturwissenschaftlicher Experimentalpraktika*. Berlin: Logos.
- Scheid, J., Müller, A., Hettmannsperger, R., & Schnotz, W. (2019). Improving learners' representational coherence ability with experiment-related representational activity tasks. *Physical Review Physics Education Research*, 15(1), Article 010142. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.15.010142>
- Séré, M.-G., Leach, J., Niedderer, H., Psillos, D., Tiberghien, A., & Vicentini, M. (1998). *Improving Science Education: issues and research on innovative empirical and computer-based approaches to labwork in Europe. Final Report "Labwork in Science Education"*. https://cordis.europa.eu/docs/projects/files/SOE/SOE2952001/70777171-6_en.pdf
- Staacks, S., Hütz, S., Heinke, H., & Stampfer, C. (2018). Advanced tools for smartphone-based experiments: phyphox. *Physics Education*, 53(4), Article 045009. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/aac05e>
- Teichmann, E., Lewandowski, H. J., & Alemani, M. (2022). Investigating students' views of experimental physics in German laboratory classes. *Physical Review Physics Education Research*, 18(1), Article 010135. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.18.010135>
- Theyßen, H. (1999). *Ein Physikpraktikum für Studierende der Medizin: Darstellung der Entwicklung und Evaluation eines adressatenspezifischen Praktikums nach dem Modell der Didaktischen Rekonstruktion*. Berlin: Logos.
- Thoms, L.-J., Meier, M., Huwer, J., Thyssen, C., Kotzebue, L. von, Becker, S., Kremser, E., Finger, A., & Bruckermann, T. (2021). DiKoLAN - A Framework to Identify and Classify Digital Competencies for Teaching in Science Education and to Restructure Pre-Service Teacher Training. In E. Langran & L. Archambault (Eds.), *Society for Information Technology & Teacher Education International Conference* (pp. 1652–1657). <https://www.learntechlib.org/primary/p/219329/>
- Trinh-Bá, T. (2016). *Development of a course on integrating ICT into inquiry-based science education* [Doctoral dissertation, Vrije Universiteit Amsterdam]. RESEARCH PORTAL Vrije Universiteit Amsterdam. <https://research.vu.nl/en/publications/development-of-a-course-on-integrating-ict-into-inquiry-based-sci>
- Walsh, C., Lewandowski, H. J., & Holmes, N. G. (2022). Skills-focused lab instruction improves critical thinking skills and experimentation views for all students. *Physical Review Physics Education Research*, 18(1), Article 010128. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.18.010128>
- Welzel, M., Haller, K., Bandiera, M., Hammelev, D., Koumaras, P., Niedderer, H., Paulsen, A., Robinault, K., & Aufschneider, S. von (1998). Ziele, die Lehrende mit dem Experimentieren in der naturwissenschaftlichen Ausbildung verbinden - Ergebnisse einer europäischen Umfrage -. *Zeitschrift Für Didaktik Der Naturwissenschaften*, 4(1), 29–44. <https://www.researchgate.net/publication/241698001>
- Werth, A., Hoehn, J. R., Oliver, K., Fox, M. F. J., & Lewandowski, H. J. (2021). *Rapid Transition to Remote Instruction of Physics Labs During Spring 2020: Instructor Perspectives*. <https://arxiv.org/abs/2112.12253>
- Zastrow, M. U. (2001). *Interaktive Experimentieranleitungen: Entwicklung und Evaluation eines Konzeptes zur Vorbereitung auf das Experimentieren mit Messgeräten im physikalischen Praktikum*. Berlin: Logos.
- Zwickl, B. M., Finkelstein, N., & Lewandowski, H. J. (2013). The process of transforming an advanced lab course: Goals, curriculum, and assessments. *American Journal of Physics*, 81(1), 63–70. <https://doi.org/10.1119/1.4768890>

Author contributions¹

Pascal Klein: conceptualization (equal), funding acquisition (supporting), supervision (equal), writing – review & editing (equal). **Simon Z. Lahme:** conceptualization (equal), investigation, resources, visualization, writing – original draft, writing – review & editing (equal). **Antti Lehtinen:** conceptualization (equal), funding acquisition (lead), project administration, supervision (equal), writing – review & editing (equal). **Andreas Müller:** writing – review & editing (equal). **Pekka Pirinen:** conceptualization (equal), writing – review & editing (equal). **Ana Sušac:** conceptualization (equal), funding acquisition (supporting), supervision (equal), writing – review & editing (equal). **Bruno Tomrlin:** conceptualization (equal), writing – review & editing (equal).

¹ According to CREDIT (CRediT Contributor Roles Taxonomy), <https://credit.niso.org/>

Funding

We are grateful for the financial support by the Erasmus+ program of the European Union (G.A.-No.: 2020-1-FI01-KA226-HE-092531).

Mit Arduino und Spielzeugeisenbahn zur Relativitätstheorie

- Analogieexperimente zur Zeitdilatation und Längenkontraktion -

Jörg Schneider, Holger Cartarius

AG Fachdidaktik der Physik und Astronomie, Friedrich-Schiller-Universität Jena, 07743 Jena
joerg.schneider.1@uni-jena.de

Kurzfassung

Die Relativitätstheorie ist eine der zentralen Säulen der modernen Physik und findet sich als solche auch im Physikunterricht wieder. Demgegenüber lassen sich an den Schulen jedoch keine oder nur sehr wenige konkrete Experimente zu diesem wichtigen Thema finden. Einen möglichen Ausweg soll hier das Schüler/innenlabor Physik der Friedrich-Schiller-Universität Jena bieten. Zu diesem Zweck sollen neue Experimente und Lerneinheiten rund um die Relativitätstheorie entwickelt werden. In diesem Artikel soll zum Themengebiet der speziellen Relativitätstheorie ein Aufbau vorgestellt werden, der es ermöglicht, durch mikrocontrollergestützte Analogieexperimente die Phänomene der Zeitdilatation und der Längenkontraktion zu verdeutlichen und zu untersuchen.

1. Einleitung

Die spezielle Relativitätstheorie ist als Thema in den gymnasialen Bildungsplänen fast aller deutschen Bundesländer zu finden. Demgegenüber steht jedoch die Problematik, dass es kaum Experimente zu speziell-relativistischen Effekten gibt, welche im Rahmen von Unterricht oder eines Schüler/innenlabors durchführbar sind. Der Grund hierfür ist, dass, um jene Effekte messbar machen zu können, Körper auf Geschwindigkeiten nahe der Lichtgeschwindigkeit beschleunigt werden müssen, was aber nur mit technisch und finanziell (zu) großem Aufwand zu erreichen ist. Mögliche Auswege aus dieser Problematik bilden beispielsweise Analogieexperimente [1] oder computerbasierte Simulationen und Visualisierungen [2,3].

In diesem Artikel soll als Lösung eine Art Hybrid aus Analogieexperiment und Simulation vorgestellt werden [4]. Grundlage bildet hierbei die Mikrocontroller-Plattform Arduino [5]. Mit dieser können Effekte der speziellen Relativitätstheorie unter der Annahme einer deutlich auf ein wahrnehmbares Maß reduzierten Lichtgeschwindigkeit simuliert werden. Verbunden ist das Ganze mit einem „echten“ und greifbaren Versuchsaufbau, der die (teilweise händische) Aufnahme und Auswertung von Messwerten ermöglicht.

Wir gehen dabei wie folgt vor: In Kapitel 2 fassen wir kurz die behandelten physikalischen Grundlagen zusammen, während in Kapitel 3 der verwendete Versuchsaufbau näher beschrieben und erklärt wird, wie er als (analog-)experimentelle Erfahrung zur Relativitätstheorie herangezogen werden kann. Ein Ausblick auf die nächsten Schritte wird in Kapitel 4 gegeben.

2. Benötigte Grundlagen aus der speziellen Relativitätstheorie

Bevor im nächsten Punkt der konkrete Aufbau und seine Anwendungsmöglichkeiten vorgestellt werden, sollen hier zunächst die damit behandelbaren speziell relativistischen Phänomene der Zeitdilatation und der Längenkontraktion kurz in Erinnerung gerufen werden.

2.1. Die Zeitdilatation

Das Phänomen der Zeitdilatation besagt, dass in einem relativ zum ruhenden Beobachter bewegten Bezugssystem Uhren und physikalische Prozesse langsamer ablaufen.

Betrachtet wird ein solcher Prozess, der im ruhenden Zustand die Zeitdauer T_0 benötigt. Findet der gleiche physikalische Prozess in einem Bezugssystem statt, welches sich gleichförmig mit der Geschwindigkeit v bewegt, so benötigt dieser aus Sicht des ruhenden Beobachters eine längere Zeitdauer T_v , mit [6]

$$T_v = \frac{T_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad \{1\}$$

Dabei ist c die Lichtgeschwindigkeit. Besitzt z.B. ein radioaktives Isotop im Ruhezustand eine Halbwertszeit von $T_0 = 10$ s, so würde diese auf $T_v \approx 32$ s steigen, wenn sich das Isotop mit einer Geschwindigkeit von $v = 0,95 c$ bewegt.

Die Zeitdilatation hat somit auch zur Folge, dass aus Sicht des ruhenden Beobachters die Zeit für einen bewegten Beobachter langsamer vergeht. Ist also im Ruhesystem die Eigenzeit t_0 vergangen, so ist im bewegten Bezugssystem lediglich die Eigenzeit t_v vergangen mit

$$t_v = t_0 \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad \{2\}$$

2.2. Die Längenkontraktion

Als zweites hier betrachtetes Phänomen ist die Längenkontraktion zu nennen. Diese besagt, dass bewegte Körper für den ruhenden Beobachter in Bewegungsrichtung verkürzt erscheinen. Es gilt [6]

$$l_v = l_0 \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad \{3\}$$

Dabei ist l_0 die Länge des Körpers in Bewegungsrichtung im ruhenden Zustand und l_v im Zustand der Bewegung mit der Geschwindigkeit v .

3. Die relativistische Spielzeugeisenbahn

Der Aufbau, den wir nun genauer vorstellen möchten, besteht aus einer einfachen und kostengünstigen Kombination von Spielzeugeisenbahn und Mikrocontrollern sowie wenigen weiteren elektronischen Bauteilen. Mit diesem lassen sich auf anschaulichem, aber simplen Weg Aspekte der Zeitdilatation und Längenkontraktion im (Analogie-)Experiment untersuchen.

3.1. Aufbau und Funktion

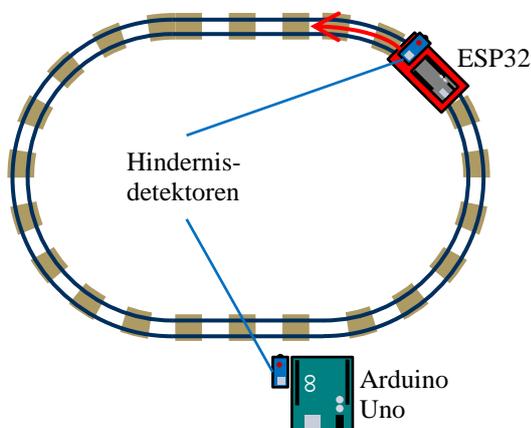


Abb. 1: Schematischer Aufbau der relativistischen Spielzeugeisenbahn

Der Aufbau ist in Abbildung 1 dargestellt. Grundlage bildet eine Spielzeug- bzw. Modelleisenbahn (Spurweite H0) bestehend aus einem geschlossenem Gleisoval und einer Lokomotive mit Anhänger (rot). Das Gleis hat eine Ruhelänge von $l_0 = 3,1$ m. Es wird an eine stufenlos einstellbare Gleichspannungsquelle (max. 12 V) angeschlossen, wodurch die Lokomotive mit Energie versorgt wird. Durch Variation der Spannung lässt sich deren Geschwindigkeit regulieren.

Als Beobachter bzw. Uhren fungieren zwei Mikrocontroller: Ein Arduino Uno als ruhender und ein

ESP32 als bewegter Beobachter auf dem Anhänger. Beide sind mit Hindernisdetektoren verbunden, welche eine Funktion ähnlich derer von Lichtschranken erfüllen. Passieren beide Hindernisdetektoren einander, so wird in beiden Mikrocontrollern ein Signal ausgelöst und der Zeitpunkt registriert, wodurch die Rundenzeit bestimmt werden kann. Mit der bekannten Rundenlänge l_0 lassen sich damit die Geschwindigkeit v berechnen und damit wiederum die nach den Gleichungen {1} bzw. {2} relativistisch korrigierten Zeiten. Die Lichtgeschwindigkeit wird hierbei mit $c = 0,8$ m/s angenommen, was bedeutet, dass bei einer maximal anlegbaren Spannung von 12 V der Zug eine maximale Geschwindigkeit von etwa $v = 0,95 c$ erreichen kann.

Die Ausgabe der (relativistisch korrigierten) Messwerte erfolgt im Falle des Arduino Uno, welcher via USB an einen PC angeschlossen und mit Energie versorgt wird, über den seriellen Monitor der Arduino-Betriebssoftware. Für den ESP32 dagegen erfolgt die Energieversorgung über Batterie. Außerdem ist in diesem ein Bluetooth-Modul eingebaut, welches eine kabellose Verbindung zu Smartphone oder Tablet ermöglicht. Zum Auslesen der Messwerte kann z.B. die App „Serial Bluetooth Terminal“ [7] genutzt werden.

3.2. Versuche

Im Folgenden sollen zwei Versuche vorgestellt werden, welche mit dem Aufbau durchgeführt werden können.

3.2.1. Über die Zeitdilatation zur Längenkontraktion

Die wohl einfachste Messung, welche sich mit dem Versuch durchführen lässt, ist die der Rundenzeiten. Diese können für verschiedene angelegte Spannungen und somit verschiedene Geschwindigkeiten v aufgenommen werden. Die Rundenzeiten t_0 aus Sicht des ruhenden Beobachters können entweder automatisch mit Hilfe des Arduino Uno erfolgen oder alternativ per Hand mit Stoppuhren durch die Schülerinnen und Schüler. (Letzteres ist vorzuziehen, um eine aktivere Teilnahme am Versuch zu erhalten.) Die Messung der Zeit t_v durch den bewegten Beobachter erfolgt in allen Fällen automatisiert durch den ESP32-Mikrocontroller. Einige Beispielmesswerte sind in Tabelle 1 (Spalten 2 und 3) dargestellt.

l_0 in m	t_0 in s	t_v in s	v in m/s	v/c	l_v in m
3,1	32,0	31,8	0,10	0,12	3,08
3,1	9,7	8,9	0,32	0,40	2,84
3,1	5,8	4,4	0,53	0,67	2,35
3,1	4,1	1,4	0,76	0,95	1,06

Tab. 1: Messwerte zur Untersuchung von Zeitdilatation und Längenkontraktion

Es lässt sich bereits klar beobachten, dass die bewegte Uhr langsamer läuft, und zwar um so langsamer, je höher die Geschwindigkeit ist. An dieser Stelle würde es sich z.B. auch anbieten, näher auf das Zwillingparadoxon einzugehen, was aber nicht Ziel dieses Artikels ist.

Als nächster Schritt lautet nun die Aufgabe, anhand der Zeitmesswerte diejenige Länge l_v zu bestimmen, die das aus Sicht des Zuges bewegte Gleis hat. Dazu wird auf klassischem Weg die Geschwindigkeit des Zuges

$$v = \frac{l_0}{t_0} \quad \{4\}$$

berechnet (Tab. 1, Spalten 4 und 5). Diese ist gemäß dem Relativitätsprinzip wiederum gleich der Geschwindigkeit, die das Gleis aus Sicht des Zuges hat. Demnach lässt sich schlussendlich die Länge

$$l_v = v \cdot t_v \quad \{5\}$$

berechnen (Tab. 1, Spalte 6). Auch hier wird klar erkennbar, dass das aus Sicht des Zuges bewegte Gleis verkürzt erscheint, und zwar um so kürzer, je höher die Geschwindigkeit ist.

Die Längenkontraktion kann auf diesem Wege also experimentell zugänglich gemacht werden. Unter der zusätzlichen Voraussetzung, dass die Gleichung {2} zur Zeitdilatation bereits bekannt ist, kann darüber hinaus als Abschluss über den Weg der Gleichungen {4} und {5} die Längenkontraktion in ihrer allgemeinen Form {3} hergeleitet werden.

3.2.2. Halbwertszeit schneller Teilchen

Ein häufig genanntes Anwendungsbeispiel der Zeitdilatation ist die verlängerte Lebenszeit instabiler Teilchen, welche sich mit Geschwindigkeiten nahe der des Lichts bewegen. Konkret seien hier die Bewegung von Myonen in der Erdatmosphäre oder anderer Elementarteilchen in Teilchenbeschleunigern genannt.

Während es bezahl- und realisierbare Aufbauten zur Detektion atmosphärischer Myonen gibt [8,9], sind Teilchenbeschleuniger für das Schüler/innenlabor keine realistische Option. Stattdessen lässt sich mit dem hier beschriebenen Aufbau ein Analogieexperiment durchführen. Hierbei stellen Schiene und Spannungsquelle den Beschleuniger dar, der Zug die beschleunigten Teilchen und der ruhende Arduino Uno einen Teilchendetektor. Alternativ kann man den Versuch auch so interpretieren, dass auf dem Zug eine gewisse Menge eines radioaktiven Isotops mit entsprechend hohen Geschwindigkeiten transportiert wird und durch den Arduino Uno nach jeder Runde die Anzahl der radioaktiven Kerne bestimmt wird. Der ESP32 hat in diesem Versuch keine aktive Rolle.

Der Vorgang des radioaktiven Zerfalls kann hier nur simuliert werden. Vereinfacht wird dazu von einer Startanzahl von 1000 radioaktiven Kernen mit einer Ruhehalbwertszeit von $T_0 = 10$ s ausgegangen. Wie

in Punkt 2.1 erwähnt, kann aus der durch den Arduino gemessenen Rundenzeit Δt die mittlere Geschwindigkeit v und damit nach Gleichung {1} die erhöhte Halbwertszeit T_v berechnet werden. Die Wahrscheinlichkeit p , mit der ein einzelner Kern nach einer Runde noch nicht zerfallen ist, lässt sich gemäß dem exponentiellen Zerfallsgesetz berechnen aus

$$p = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{\Delta t}{T_v}} \quad \{6\}$$

Für jeden verbliebenen Kern wird nach jeder Runde separat und zufällig bestimmt, ob er zerfallen ist oder nicht. Der Arduino gibt entsprechend die restliche Anzahl N radioaktiver Kerne zusammen mit der insgesamt vergangenen Zeit t aus. Die sich aus diesen Messwerten ergebenden Zerfallskurven können durch die Schülerinnen und Schüler z.B. in Form von $N(t)$ -Diagrammen ausgewertet werden.

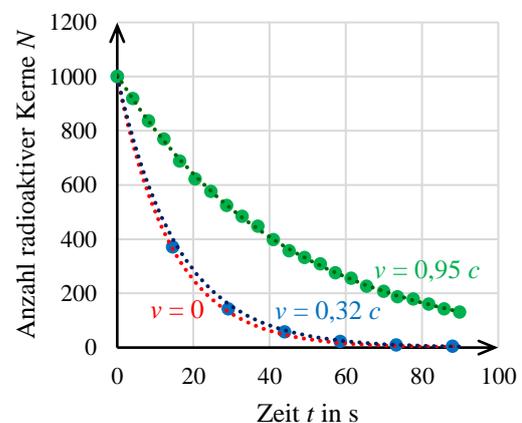


Abb. 2: Simulierte Zerfallskurven für zwei verschiedene Geschwindigkeiten $v > 0$ (grün, blau) sowie idealisierte Zerfallskurve für $v = 0$ (rot) eines radioaktiven Isotops mit einer Ruhehalbwertszeit von 10 s.

In Abbildung 2 sind für zwei verschiedene Geschwindigkeiten von $v = 0,32 c$ (blau) und $v = 0,95 c$ (grün) diese Zerfallskurven dargestellt. Als Orientierung ist zudem der ideale Kurvenverlauf für den Ruhezustand $v = 0$ (rot) eingezeichnet. Die Vergrößerung der Halbwertszeit ist vor allem für $v = 0,95 c$ deutlich zu erkennen. Aus den Regressionskurven der simulierten Zerfallsreihen lassen sich die Werte $T_v = 11,0$ s bzw. $T_v = 31,5$ s bestimmen, welche in guter Näherung mit den nach Gleichung {1} zu erwartenden Werten (10,6 s bzw. 32,0 s) übereinstimmen.

4. Zusammenfassung und Ausblick

Wir haben in diesem Artikel einen einfachen und kostengünstigen Aufbau vorgestellt, durch den sich mit der Zeitdilatation und der Längenkontraktion zwei zentrale Phänomene der speziellen Relativitätstheorie in einer Mischung aus Simulation und Analogieexperiment darstellen und untersuchen lassen.

In den nächsten Schritten soll der Aufbau noch weiter optimiert werden. So sollen mit Hilfe von 3D-Druck Halterungen für die Mikrocontroller und Hindernisdetektoren erstellt werden. Außerdem müssen noch konkrete Begleitmaterialien wie Versuchsanleitungen und Arbeitsblätter entwickelt werden. Dabei soll auch die Möglichkeit des Einsatzes von Tablets bei der Bearbeitung der Versuche berücksichtigt werden. Schlussendlich gilt es Aufbau und Materialien im Schüler/innenlabor zu testen, zu evaluieren und entsprechend weiterzuentwickeln.

Darüber hinaus sollen noch weitere Analogieexperimente und zugehörige Lerneinheiten rund um die spezielle Relativitätstheorie erarbeitet werden. Hierbei seien konkret die Themen der Relativität der Gleichzeitigkeit, der Geschwindigkeitsaddition und der relativistischen Dynamik (Stichwort „Massenzunahme“) genannt.

5. Literatur

- [1] Kaur, Tejinder; Blair, David; Moschilla, John; Stannard, Warren; Zadnik, Marjan (2017): Teaching Einsteinian physics at schools: Part 1, models and analogies for relativity. Physics Education, Bd. 52, Nr. 6
<https://doi.org/10.1088/1361-6552/aa83e4>
(Stand: 06/2022)
- [2] Kraus, Ute; Borchers, Marc (2005): Fast licht-schnell durch die Stadt: Visualisierung relativistischer Effekte. Physik in unserer Zeit, Bd. 36, Nr. 2, S. 64–69
<https://doi.org/10.1002/piuz.200501066>
(Stand: 06/2022)
- [3] Kraus, Ute; Zahn Corvin: Tempolimit Lichtgeschwindigkeit
<https://www.tempolimit-lichtgeschwindigkeit.de/> (Stand: 06/2022)
- [4] Schneider, Jörg; Cartarius, Holger (2020): Experimente und Lerneinheiten zur modernen Physik im Schülerlabor - Untersuchung der Zeitdilatation mit einer relativistischen Uhr. PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung 2020, S. 423 – 427
<http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/1073> (stand: 06/2022)
- [5] Arduino-Homepage
<https://www.arduino.cc/> (Stand: 06/2022)
- [6] Boblest, Sebastian; Müller, Thomas; Wunner, Günter: Spezielle und Allgemeine Relativitätstheorie – Grundlagen, Anwendungen in Astrophysik und Kosmologie sowie relativistische Visualisierung. Springer Spektrum. Berlin, Heidelberg. 2016
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-47767-0>
(Stand: 06/2022)
- [7] Kai Morich's Android Apps - Serial Bluetooth Terminal
<http://www.kai-morich.de/android/>
(Stand: 06/2022)
- [8] Singh, Pratap; Hedgeland, Holly (2015): Special relativity in the school laboratory: a simple apparatus for cosmic-ray muon detection. Physics Education, Bd. 50, Nr. 3, S. 317–323
<https://doi.org/10.1088/0031-9120/50/3/317>
(Stand: 06/2022)
- [9] MuonPi
<https://muonpi.org/> (Stand: 06/2022)

Naturwissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen in (physikalischen) Praktika

Andreas Vorholzer*, Julia Ortmann[†], Nicole Graulich[°]

*School of Social Sciences and Technology, Technische Universität München, [†]Institut für Didaktik der Physik, Justus-Liebig-Universität Gießen, [°]Institut für Didaktik der Chemie, Justus-Liebig-Universität Gießen
andreas.vorholzer@tum.de, julia.ortmann@didaktik.physik.uni-giessen.de,
nicole.graulich@didaktik.chemie.uni-giessen.de

Kurzfassung

Laborpraktika sind ein integraler Bestandteil naturwissenschaftlicher Studiengänge und sollen einen Beitrag zu einer Reihe unterschiedlicher Ziele des Studiums leisten. Die vorgestellte Studie geht der Frage nach, welche Ziele aus Sicht von Lehrenden und Studierenden dabei besonders relevant sind und inwiefern sich die Relevanzeinschätzung zwischen den Fächern Biologie, Chemie und Physik sowie zwischen Anfänger- und Fortgeschrittenenpraktika unterscheidet. Hierfür wurden N = 86 Praktikumsbetreuende und N = 399 Studierende mit einem Online-Fragebogen befragt. Unsere Analysen zeigen u. a., dass der Aufbau naturwissenschaftlicher Denk- und Arbeitsweisen sowie der Aufbau experimenteller Fertigkeiten fächerübergreifend als relevanteste Ziele eingeschätzt werden. Unterschiede zwischen den Fächern zeigen sich hingegen, wenn die Relevanz einzelner Teilaspekte des naturwissenschaftlichen Denkens und Arbeitens betrachtet wird. Im Beitrag werden diese und weitere Ergebnisse diskutiert und Implikationen für Lehre und Forschung im Kontext naturwissenschaftlicher Praktika abgeleitet.

1. Einleitung

Laborpraktika bieten Studierenden die Gelegenheit selbst praktisch-experimentell zu Arbeiten und sind ein integraler Bestandteil naturwissenschaftlicher Studiengänge (Reid & Shah, 2007; Terkowsky et al., 2020). Die Bedeutung von Laborpraktika liegt unter anderem darin begründet, dass praktisch-experimentelles Arbeiten ein wesentliches Element der Naturwissenschaften selbst darstellt. Darüber hinaus wird häufig angenommen, dass Laborpraktika einen Beitrag zur Erreichung einer Reihe unterschiedlicher Ziele des Studiums leisten. Zu diesen Zielen gehören unter anderem der Aufbau experimenteller Fertigkeiten, die Förderung des Verständnisses von Phänomenen und Zusammenhänge oder die Entwicklung von Fähigkeiten des naturwissenschaftlichen Denkens und Arbeitens (z. B. Nagel et al., 2018; Reid & Shah, 2007; Teichmann et al., 2022; Welzel et al., 1998).

In diesem Beitrag gehen wir der Frage nach, welche Ziele aus Sicht von Praktikumsbetreuenden und Studierenden in naturwissenschaftlichen Praktika an deutschen Hochschulen besonders relevant sind. Dabei nehmen wir insbesondere Ziele aus dem Bereich der naturwissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweisen (NDAW) genauer in den Blick.

2. Zielen naturwissenschaftlicher Praktika

2.1. Ziele und Zielbereiche

Die vielfältigen Ziele von Laborpraktika werden z. T. in sehr unterschiedlicher Weise beschrieben und systematisiert (siehe z. B. Übersicht in Reid & Shah, 2007). Die meisten in der Literatur dokumentierten

Zielsetzung lassen sich dabei einem von sechs übergeordneten Zielbereichen zuordnen: (A) Aufbau fachinhaltlicher Fähigkeiten, (B) Aufbau von Fähigkeiten des naturwissenschaftlichen Denkens und Arbeitens (z. B. Planung einer Untersuchung, Auswertung von Daten), (C) Aufbau praktisch experimenteller Fertigkeiten (z. B. Umgang mit Messgeräten, Anwendung von Nachweisverfahren), (D) Aufbau angemessener epistemologischer Vorstellungen (z. B. Natur der Naturwissenschaften und naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung). (E) Förderung des Interesses und (F) Aufbau allgemeiner/fachübergreifender Fähigkeiten (z. B. Teamfähigkeit, Problemlösefähigkeit) (siehe z. B. Zusammenstellungen in Boud et al., 1980; Hofstein & Lunetta, 2004; Kirschner et al., 1993; Reid & Shah, 2007; Welzel et al., 1998).

Innerhalb der im Zielbereich (B) zusammengefassten Fähigkeiten des naturwissenschaftlichen Denkens und Arbeitens lassen sich noch einmal einzelne Teilfähigkeiten unterscheiden. Diese Teilfähigkeiten werden typischerweise entlang der Schritte eines idealisierten Erkenntnisgewinnungsprozesses beschrieben (Frage, Hypothese, Planung, Durchführung, Auswertung etc.; vgl. Pedaste et al., 2015; Rönnebeck et al., 2016). Entlang dieser Schritte werden in der Regel mindestens drei unterschiedliche Teilfähigkeiten modelliert (z. B. die Fähigkeiten, Untersuchungen zu planen, Untersuchungen durchzuführen und Daten auszuwerten; Emden & Sumfleth, 2016; Krell et al., 2022). In Abhängigkeit vom Ziel und dem Kontext der Modellierung kann die Anzahl und der Zuschnitt

der unterschiedenen Teilfähigkeiten variieren, beispielsweise indem eine Teilfähigkeit weiter zerlegt wird (z. B. das Planen von Untersuchungen in Fragen formulieren, Hypothesen Formulieren und das eigentliche Planen der Untersuchung; siehe Übersicht in Emden & Sumfleth, 2016). Um differenzierte Einblicke in die Ziele naturwissenschaftlicher Praktika zu erhalten, erschien uns für das hier vorgestellte Projekt eine im Vergleich zu typischen Modellierungen eher feingliedrige Unterscheidung von sieben Teilfähigkeiten zielführend: (1) Fragestellungen formulieren, (2) Hypothesen formulieren, (3) Untersuchungen planen, (4) Untersuchungen durchführen, (5) Erkenntnisprozesse dokumentieren, (6) Daten aufbereiten und auswerten, (7) Daten kritisch reflektieren.

2.2. Auf- oder Ausbauen?

Jenseits der Frage, zu welchen Fähigkeiten in einem Praktikum ein Beitrag geleistet werden soll, ist auch zu klären, wie genau dieser Beitrag aussehen soll. Einerseits kann in einem Praktikum z. B. darauf abgezielt werden, eine Fähigkeit, über die die Studierenden noch nicht oder nur in Ansätzen verfügen, neu aufzubauen. Andererseits ist denkbar, dass in einem Praktikum „nur“ das Ziel verfolgt wird, eine bei den Studierenden bereits mindestens teilweise vorhandene Fähigkeit zu festigen oder auszubauen. Ob eine Fähigkeit in einem Praktikum aus- oder (neu) aufgebaut werden soll, hat wichtige Implikationen für dessen Gestaltung. Soll zum Beispiel die Fähigkeit zum Planen von Untersuchungen neu aufgebaut werden, dann ist es wichtig, den Studierenden die zur Entfaltung dieser Fähigkeiten erforderlichen Kenntnisse (z. B. die Strategie der Variablenkontrolle oder Kriterien zur Festlegung der Anzahl von Messwiederholungen) mitzuteilen und zu erläutern (z. B. Lorch et al., 2010; Matlen & Klahr, 2013; Vorholzer et al., 2020; siehe Abschnitt 6). Soll das Planen von Untersuchungen jedoch nur geübt und gefestigt werden, weil davon ausgegangen werden kann, dass diese Fähigkeit bereits in Teilen beherrscht und die zugehörigen Kenntnisse mindestens teilweise verstanden sind, dann ist es vermutlich ausreichend, wenn die Studierenden Gelegenheiten zum eigenständigen Planen von Untersuchungen haben und hierzu Rückmeldung bekommen (siehe z. B. Diskussion in Vorholzer & von Aufschnaiter, 2019). Trotz ihrer Relevanz scheint die Frage, wie genau der Beitrag eines Praktikums zu einem bestimmten Lernziel aussehen soll (Auf- oder Ausbau) empirisch bisher nicht systematisch untersucht worden zu sein.

2.3. Von Lernend wahrgenommene Ziele

Empirische Befunde zeigen, dass die von Lernenden als primär wahrgenommen Ziele praktisch-experimentellen Arbeitens z. T. von den von den Lehrenden primär angestrebten Zielen abweichen (Hofstein & Lunetta, 2004). Befunde von Haller (1999) deuten zudem darauf hin, dass sich auch in universitären Praktika die von Lehrenden intendierten und die von Lernenden wahrgenommen Ziele unterscheiden (siehe

auch Reid & Shah, 2007). Solche Unterschiede zu erfassen, ist aus mehreren Gründen relevant. Zunächst ist davon auszugehen, dass Studierende sich vor allem auf das Erreichen der Ziele fokussieren, die aus ihrer Sicht besonders relevant sind. Weichen diese Ziele deutlich von den Zielen der Lehrenden ab, kann dies dazu beitragen, dass die (zentralen) Ziele eines Praktikums nur bedingt erreicht und das Praktikum selbst als wenig lernwirksam wahrgenommen wird (Hofstein & Lunetta, 2004; Kirschner et al., 1993). Eine Abweichung kann jedoch nicht nur auf eine zu geringe Wahrnehmung hinweisen, sondern auch ein Indikator dafür sein, dass ein eigentlich angestrebtes Ziel in der tatsächlichen Umsetzung des Praktikums nicht ausreichend Berücksichtigung findet, z. B. weil es nur wenige entsprechende Lerngelegenheiten gibt. Ausgehend von diesen Überlegungen erscheint es zielführend, bei der Erhebung von Zielen naturwissenschaftlicher Praktika neben der Perspektive der Lehrenden auch die Perspektive der Studierenden zu erfassen. Gerade bzgl. der Ziele aus dem Bereich NDAW liegen bisher jedoch kaum Erkenntnisse zur Perspektive der Lernenden vor.

2.4. Forschungsfragen

Ziel der hier vorgestellten Arbeit ist es, Erkenntnisse zu den Zielen naturwissenschaftlicher Praktika zu liefern, indem die Relevanz einzelner Teilaspekte des naturwissenschaftlichen Denkens und Arbeitens differenziert betrachtet und dabei sowohl deren Rolle (Auf- oder Ausbau) als auch deren Wahrnehmung durch Studierende und Lehrende erfasst wird. Die Forschungsfragen (FF) lauten:

- FF 1: Welche Rolle spielen NDAW aus Sicht von Lehrenden im Vergleich zu anderen Zielen von naturwi. Praktika?
- FF 2a: Welche Ziele aus dem Bereiche NDAW sind in naturwi. Praktika besonders relevant?
- FF 2b: Welche Rolle spielen NDAW-bezogenen Ziele in naturwi. Praktika (Aus- oder Aufbau)?
- FF 3: Inwiefern unterscheidet sich die Wahrnehmung der Ziele (FF1 und FF2a) zwischen Studierende und Lehrenden?

3. Methoden

Zur Untersuchung der Forschungsfragen wurde ausgehend von bestehenden Instrumenten (siehe Abschnitt 3.2) ein Online-Fragebogen für Lehrende und ein parallelisierter Fragebogen für Studierende der Fächer Biologie, Chemie und Physik entwickelt und an verschiedenen deutschen Hochschulen verteilt.

3.1. Stichprobe

Die Stichprobe besteht aus $N = 86$ Praktikumsbetreuenden (Praktikumsverantwortliche und im Praktikum tätige Assistentinnen und Assistenten) von mindestens 27 deutschen Hochschulen sowie aus $N = 399$ Studierenden von mindestens neun deutschen Hochschulen (siehe Übersicht in Tab. 1). Die genaue Anzahl der jeweils beteiligten Hochschulen

kann nicht angegeben werden, da ein entsprechendes Datum zur Gewährleistung der Anonymität nicht erfasst wurde. Die Schätzung der Mindestanzahl basiert auf den freiwillig angegebenen E-Mail-Adressen, die häufig Rückschlüsse auf die Hochschule zuließen.

Fach	Betreuende	Studierende
Biologie	24	94
Chemie	35	80
Physik	27	99
Andere*	-	126
tätig in AP	30	-
tätig in FP	37	-
tätig in AP und FP	19	-
Insgesamt	86	399

Tab. 1: Überblick über Zusammensetzung der Stichproben. AP = Anfängerpraktika, FP = Praktika; *Biochemie, Lebensmittelchemie, Chemie im Nebenfach o. Ä.

Für die Teilnahme an der Befragung erhielten die Studierenden die Chance auf den Gewinn von fünf Mal 50 EUR, die im Anschluss an die Erhebung verlost wurden. Den Betreuenden wurden kein zusätzlicher Anreiz für die Teilnahme an der Befragung angeboten.

3.2. Instrument

Zur Erfassung der Ziele, die Betreuende in naturwissenschaftlichen Praktika verfolgen, wurde ein Online-Fragebogen entwickelt. Im Fragebogen wurden zunächst demographischen Daten und Daten zu den betreuten Praktika (Art des Praktikums, Zielgruppe etc.) erfasst. Im Anschluss wurden die Praktikumsbetreuenden dazu aufgefordert, elf typische Ziele aus den sechs oben beschriebenen Zielbereichen hinsichtlich deren Relevanz in ihrem eigenen Praktikum zu sortieren. Die Ziele wurden so gewählt, dass die Zielbereiche (A) bis (F) möglichst trennscharf abgebildet werden. Zu einigen Zielbereichen wurden zudem mehrere Ziele formuliert, um die Bereiche möglichst vollständig abzudecken (z. B. zum Zielbereich fachinhaltliche Fähigkeiten; vgl. Welzel et al., 1998). Die formulierten Ziele orientieren sich zum Teil an früheren Befragungen (Boud et al., 1980; Welzel et al., 1998), wurden jedoch häufig reformuliert, um eine klare Abgrenzung der Zielbereiche zu ermöglichen. Anschließend an diese Sortieraufgabe wurde die Relevanz von sieben zentralen NDAW in den Praktika mit einer 5-stufigen Likert-Skala (1 = spielt keine Rolle, ..., 5 = spielt eine zentrale Rolle) erfasst. Für jede NDAW wurde außerdem erhoben, ob diese von den Studierenden „nur“ mitgebracht und im Praktikum ausgebaut oder von den Studierenden neu aufgebaut werden soll.

Zur Erfassung der Wahrnehmung der Studierenden wurde eine parallelisierte Version des Fragebogens erstellt, in dem die Studierenden nach der erlebten Relevanz der Ziele im Allgemeinen bzw. der Ziele

im Bereich NDAW in den von ihnen besuchten Praktika befragt wurden.

Beide Fragebögen wurden in LimeSurvey umgesetzt. Die Einladung zur Teilnahme an der Befragung wurde sowohl über E-Mail-Verteiler (z. B. der Arbeitsgruppe Physikalische Praktika der DPG; nur für Betreuende) als auch über Nachrichten an 38 Dekanate naturwissenschaftlicher Fakultäten von insgesamt 24 deutschen Hochschulen verteilt.

3.3. Auswertung der Daten

Zur Auswertung der Sortierungsaufgabe wurde für jedes der 11 Ziele berechnet, welcher Rangplatz diesem Ziel im Mittel (Median) zugewiesen wurde. Für die Likert-Skalen zur Relevanz der einzelnen NDAW wurden für jedes Item der Mittelwert und die Standardabweichung berechnet. Neben deskriptiven Analysen der Daten wurden auch Vergleiche zwischen unterschiedlichen Personengruppen (Betreuende vs. Studierende) und Praktikumsformaten (Biologie vs. Chemie vs. Physik, Anfänger- vs. Fortgeschrittenenpraktikum) durchgeführt. Hierfür wurden je nach Skalenniveau Kruskal-Wallis-Tests (ordinalskalierte Daten) oder einfaktorische Varianzanalysen (intervallskalierte Daten) eingesetzt.

4. Ergebnisse

4.1. Relevanz verschiedener Zielbereiche von Praktika

Abbildung 1 zeigt eine Übersicht über die mittleren Rangplätze, die Betreuende und Studierende den verschiedenen Zielen naturwissenschaftlicher Praktika zugewiesen haben. Die Ergebnisse zeigen, dass der Aufbau von Fähigkeiten des naturwissenschaftlichen Denkens und Arbeiten (Zielbereich (B)) von beiden Gruppen als das relevanteste Ziel von Praktika eingeschätzt wird. Ähnlich relevant wird der Aufbau experimenteller Fertigkeiten (Zielbereich (C)) gesehen, während die drei dann folgenden und im Mittel zwei Rangplätze niedriger einsortierten Ziele dem fachinhaltlichen Zielbereich (A) angehören. Interessant ist auch, dass insbesondere affektive Ziele (Zielbereich (E)) im Vergleich zu anderen Zielbereichen als eher weniger relevant eingeschätzt werden.

Statistische Analysen zeigen, dass es in der Stichprobe der Betreuenden höchstens kleine Unterschiede bzgl. der Rangplätze zwischen den Fächern gibt ($0.00 < r < 0.16$), die zudem nicht statistisch signifikant sind ($p > .05$). Auch zwischen Anfänger- und Fortgeschrittenenpraktika gibt es mit einer Ausnahme höchstens kleine und nicht signifikante Unterschiede bzgl. der Rangfolge ($0.01 < r < 0.13$). Die einzige Ausnahme stellt hier das Ziel „Studierende sollen ein angemessenes Bild eines naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozesses aufbauen (E)“ dar, welches in Fortgeschrittenenpraktika im Mittel zwei Rangplätze höher (d. h. relevanter) eingeschätzt wird als in Anfängerpraktika, was einem kleinen Effekt entspricht ($r = 0.18$, $p = .017$).

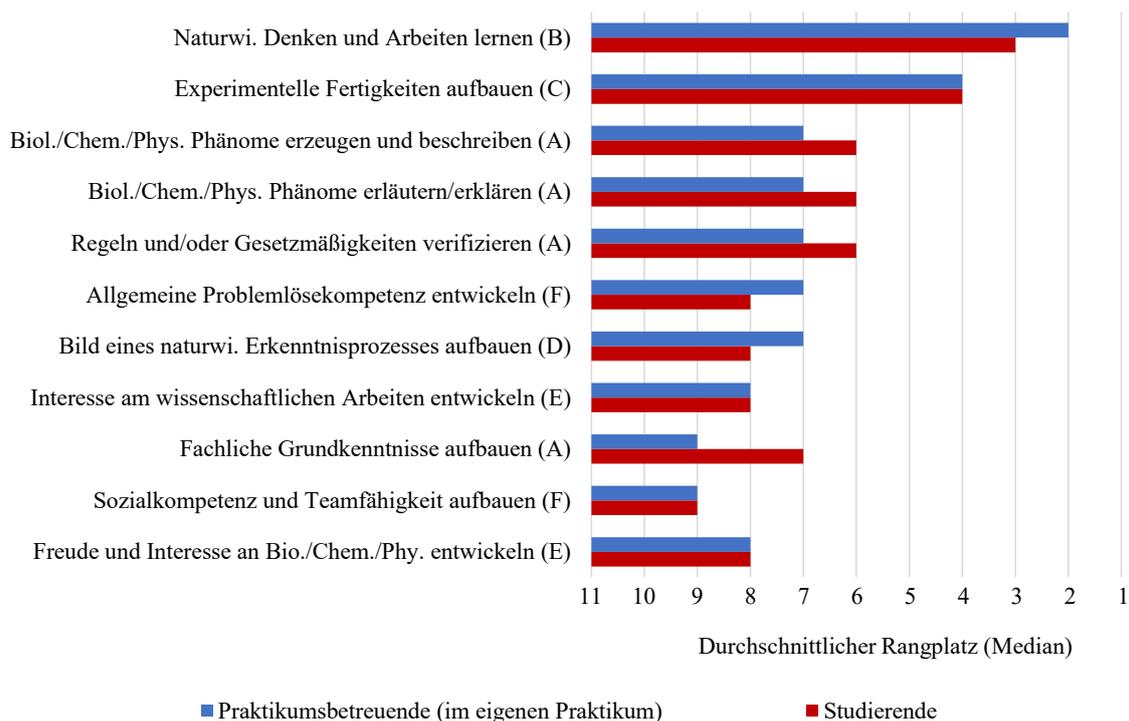


Abb. 1: Mittlere Rangplätze der verschiedenen Ziele naturwissenschaftlicher Praktika (Median) für die Gesamtstichprobe. Buchstaben in Klammern zeigen die Zuordnung der Ziele zu den Zielbereiche (A) bis (F).

Vergleicht man die Rangplätze zwischen den naturwissenschaftlichen Fächern für die Stichprobe der Studierenden zeigen sich bei insgesamt 6 Zielen statistisch signifikante Unterschiede (Abb. 2), die alle kleinen Effekten entsprechen ($0.18 < r < 0.21$).

4.2. Relevanz einzelner NDAW

Werden die Teilfähigkeiten des naturwissenschaftlichen Denkens und Arbeitens noch einmal aufgeschlüsselt betrachtet, zeigt sich erneut die insgesamt hohe Relevanz, die diesem Zielbereich von Betreuenden und Studierenden zugeschrieben wird (Tab. 2). So liegen die Mittelwerte für alle sieben NDAW über dem Mittelwert der 5-stufigen Likert-Skala (3 = Die Fähigkeit sollte teilweise eine Rolle spielen).

Der Vergleich der einzelnen Teilfähigkeiten zeigt, dass insbesondere dem Durchführen, Auswerten, Dokumentieren und kritischen Reflektieren eine große Relevanz zugeschrieben wird (alle Mittelwerte größer als 4 = Die Fähigkeit sollte eine große Rolle spielen).

Zur Untersuchung der Frage, inwiefern es bzgl. der Relevanzeinschätzung Unterschiede zwischen den Fächern gibt, wurde eine einfaktorielles Varianzanalyse durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass die Relevanzeinschätzung zum Teil vom Fach abhängt, dem die Praktikumsbetreuenden zugehörig sind. Unterschiede zeigen sich für das Formulieren von Fragestellungen ($F(2,83) = 4.952, p = .009$), das Formulieren von Hypothesen ($F(2,83) = 4.299, p = .017$) und das Durchführen von Untersuchungen

($F(2,83) = 3.283, p = .042$). Die Unterschiede entsprechen mittleren Effekten (Fragen: $\eta^2 = .11$, Hypothesen $\eta^2 = .09$, Durchführung: $\eta^2 = .073$).

Teilfähigkeiten	MW (SD)		
	Bio.	Chem.	Phy.
Fragestellungen formulieren	4.1 (0.8)	3.7 (1.0)	3.2 (1.3)
Hypothese formulieren	4.0 (0.9)	3.9 (0.8)	3.3 (1.1)
Untersuchung planen	4.0 (1.0)	4.0 (1.1)	3.7 (1.3)
Untersuchung durchführen	4.5 (0.6)	4.6 (0.6)	4.1 (1.0)
Erkenntnisweg dokumentieren	4.8 (0.4)	4.6 (0.7)	4.4 (0.9)
Daten aufbereiten und auswerten	4.6 (0.6)	4.4 (0.7)	4.4 (0.9)
Daten kritisch reflektieren	4.4 (0.7)	4.6 (0.6)	4.4 (0.9)

Tab. 2: Mittelwert (MW) und Standardabweichung (SD) der eingeschätzten Relevanz verschiedener Teilfähigkeiten aus dem Bereich NDAW in Praktika von Praktikumsbetreuende der Biologie, Chemie und Physik (N = 86).

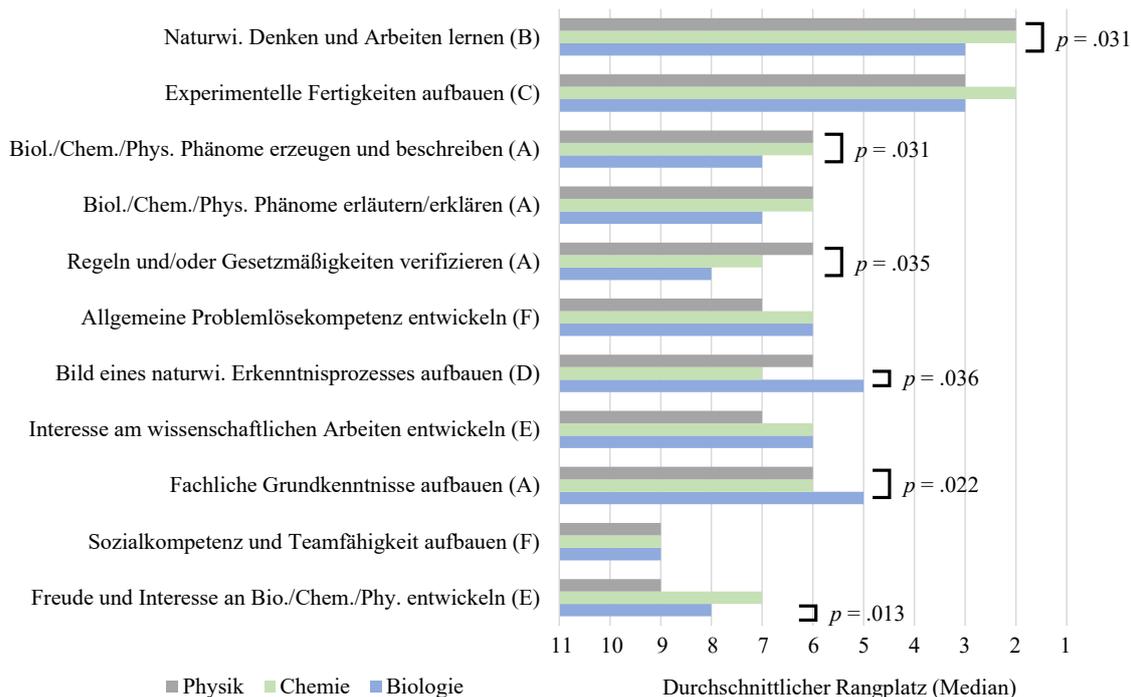


Abb. 2: Mittlere Rangplätze der verschiedenen Ziele naturwissenschaftlicher Praktika (Median) für die Studierenden der Fächer Biologie, Chemie und Physik. Buchstaben in Klammern zeigen die Zuordnung der Ziele zu den Zielbereiche (A) bis (F).

Anschließend durchgeführte Bonferroni post-hoc Tests zeigen zudem, dass diese drei NDAW vor allem in der Physik als deutlich weniger relevant eingeschätzt werden als in der Biologie und Chemie, während die Relevanzeinschätzung zwischen Biologie und Chemie eher ähnlich ist (Tab. 3).

Vergleicht man die Relevanzeinschätzung der Betreuenden mit der Einschätzung der Studierenden, dann zeigen sich z. T. deutliche Unterschiede. So schätzen Studierende die Relevanz des Formulierens von Fragen ($t = 5.088, p < .001, d = 0.57$), des Formulierens von Hypothesen ($t = 3.302, p = .001, d = 0.36$), des Planens von Untersuchungen ($t = 5.609, p < .001, d = 0.54$) und des kritischen Reflektierens von Daten ($t = 5.148, p < .001, d = 0.5$) als deutlich weniger relevant ein als die Betreuenden. Die Unterschiede entsprechen ungefähr einer halben Abstufung der Likert-Skala (0.5 Punkte) bzw. kleinen bis mittleren Effekten. Vergleicht man nur die Einschätzung von Betreuenden und Studierenden der Physik, finden sich in der Tendenz ähnlich Abweichungen, allerdings sind die Unterschiede in der Einschätzung hier kleiner und nicht mehr statistisch signifikant.

Ob es sich um ein Anfänger- oder ein Fortgeschrittenpraktikum handelt, scheint keinen Einfluss auf die Einschätzung der Relevanz der einzelnen NDAW zu haben. Die hierzu durchgeführten t-Tests zeigen, dass die eher kleinen Mittelwertunterschiede nicht statistisch signifikant sind.

Vergleich	MW Differenz	Std.-fehler	p
Fragen			
Phy. – Bio.	-0.96	0.30	.007
Phy. – Chem.	-0.54	0.27	.159
Bio. – Chem.	0.40	0.28	.492
Hypothesen			
Phy. – Bio.	-0.70	0.27	.030
Phy. – Chem.	-0.60	0.24	.047
Bio. – Chem.	0.10	0.25	> .99
Durchführen			
Phy. – Bio.	-0.43	0.21	.135
Phy. – Chem.	-0.46	0.19	.058
Bio. – Chem.	-0.03	0.20	> .99

Tab. 3: Ergebnisse der Bonferroni post-hoc Tests zum Fächervergleich für die NDAW Fragen formulieren, Hypothesen formulieren und Untersuchungen planen (Betreuende).

4.3. Rolle einzelner NDAW

Neben der Frage zur grundsätzlichen Relevanz wurden die Betreuenden auch dazu befragt, welche Rolle den einzelnen NDAW aus ihrer Sicht in den von ihnen betreuten Praktika zukommt. Hierbei ist zunächst festzuhalten, dass – vor dem Hintergrund der in Abschnitt 4.2 berichteten Ergebnisse erwartungskonform – nur ein geringer Anteil der

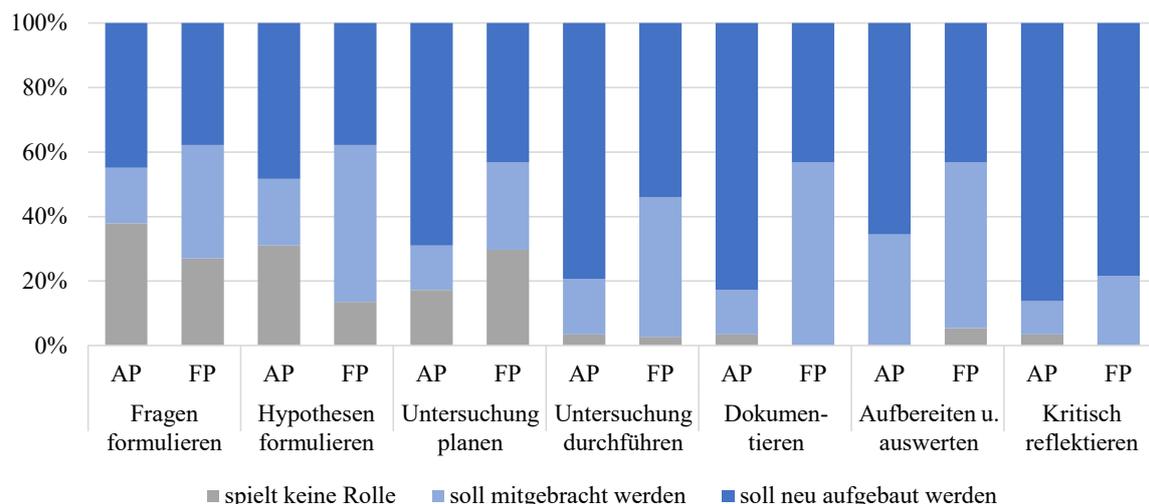


Abb. 3: Vergleich der Rolle der einzelnen NDAW zwischen Anfängerpraktika (AP) und Fortgeschrittenenpraktika (FP) für die Gesamtstichprobe aller Betreuenden.

Betreuenden angibt, dass die NDAW in ihren Praktika keine Rolle spielen (Abb. 3 / Tab. 4, zweite Spalte). Interessant ist jedoch, dass alle in der Befragung erfassten NDAW in den Praktika primär „neu aufgebaut / gelernt“ werden sollen (Abb. 3 / Tab. 4, vierte Spalte). Die Annahme, dass NDAW in den Praktika lediglich zur Anwendung kommen und dabei gefestigt oder ausgebaut werden sollen, findet sich hingegen deutlich seltener (Abb. 3 / Tab. 4, dritte Spalte). Besonders stark ausgeprägt ist die Rolle der Praktika als Lernort für das Planen, Durchführen und Dokumentieren von Untersuchungen sowie für das kritische Reflektieren von Daten.

Die Teilfähigkeit...	...spielt keine Rolle	...soll mitgebracht werden	...soll neu aufgebaut werden
Fragestellungen formulieren	27,1%	27,1%	45,9%
Hypothese formulieren	17,6%	37,6%	44,7%
Untersuchung planen	21,2%	16,5%	62,4%
Untersuchung durchführen	2,4%	31,8%	65,9%
Erkenntnisweg dokumentieren	1,2%	38,8%	60,0%
Daten aufbereiten und auswerten	3,5%	41,2%	55,3%
Daten kritisch reflektieren	2,4%	14,1%	83,5%

Tab. 4: Prozentuale Anteile der Rollen, die den NDAW von Praktikumsbetreuende der Biologie, Chemie und Physik in ihren eigenen Praktika zugewiesen wurden (N = 85; eine Person hat den Teil des Fragebogens nicht bearbeitet).

Ergänzend durchgeführte χ^2 -Tests zeigen, dass es bzgl. der Einschätzung der Rolle der einzelnen NDAW keine signifikanten Unterschiede zwischen den naturwissenschaftlichen Fächern zu geben scheint ($p > .05$).

Der Vergleich zwischen Anfänger- und Fortgeschrittenenpraktika (Abb. 3) deutet erwartungskonform drauf hin, dass NDAW in Anfängerpraktika häufiger neu aufgebaut werden sollen als in Fortgeschrittenenpraktika (Mittelwert AP: 68,0 %, Mittelwert FP: 48,3 %). Umgekehrt werden NDAW in Anfängerpraktika deutlich seltener vorausgesetzt (bzw. sollen bereits mitgebracht werden) als in Fortgeschrittenenpraktika (Mittelwert AP: 18,2 %, Mittelwert FP: 40,5 %). Insgesamt ist jedoch bemerkenswert, dass auch bezogen auf Fortgeschrittenenpraktika die Mehrheit der Betreuenden im Mittel angibt, dass NDAW neu aufgebaut werden sollen.

5. Diskussion

Laborpraktika und das damit verbundene praktisch-experimentelle Arbeiten werden zum Erreichen einer Reihe unterschiedlicher Ziele eingesetzt (z. B. Nagel et al., 2018; Reid & Shah, 2007; Teichmann et al., 2022; Welzel et al., 1998). Im Vordergrund stehen dabei gerade in universitären Praktika vor allem der Aufbau fachinhaltlicher Fähigkeiten, Fähigkeiten des naturwissenschaftlichen Denkens und Arbeitens sowie der Aufbau experimenteller Fertigkeiten, während affektive Ziele in der Regel weniger relevant sind (z. B. Nagel et al., 2018; Welzel et al., 1998). Dieses grundsätzliche Muster zeigt sich auch in den hier vorgestellten Ergebnissen. Unsere Befunde zeigen zudem, dass sich die verschiedenen naturwissenschaftlichen Fächer Biologie, Chemie und Physik bzgl. dieses Musters kaum unterscheiden. Bemerkenswert ist aus unserer Sicht jedoch, dass sich die Reihung der primären Ziele von naturwissenschaftli-

chen Praktika gegenüber früheren Erhebungen invertiert zu haben scheint. Hatten Welzel et al. (1998) für Lehrende an Universitäten noch die Reihung fachinhaltlichen Fähigkeiten (am relevantesten), experimentelle Fertigkeiten, Fähigkeiten aus dem Bereich NDAW beobachtet, wurde in unseren Analysen NDAW als das relevanteste Ziel von Praktika eingeschätzt (FF 1). Es bleibt jedoch zu klären, ob es sich bei dieser Inversion um ein Artefakt handelt oder damit ein tatsächlicher Wechsel in der primären Zielsetzung universitärer Praktika einhergeht.

Mit Blick auf die Unterschiede zwischen den einzelnen naturwissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweisen (FF 2a) ist festzuhalten, dass insb. Fähigkeiten zur Vorbereitung einer Untersuchung (Fragen und Hypothesen formulieren, Untersuchung planen) für Praktika als weniger relevant eingeschätzt werden als Fähigkeiten zur Durchführung und Auswertung. Dieser Befund passt zu den in Nagel et al. berichteten Ergebnissen, die zeigen, dass Ziele, die dem Bereich der Vorbereitung zuzuordnen sind (dort z. B. „Vorhersagemodell entwickeln“, „Überprüfbare Forschungsfrage aufstellen“ oder „Experimentalaufbau effektiv planen“), häufig nur „sekundäre“ oder „tertiäre“ (2018, S. 106) Ziele sind. Der Befund erscheint auch deshalb plausibel, weil anzunehmen ist, dass in universitären Praktika typischerweise ein Großteil der Vorbereitung eines Praktikumsversuchs vorgegeben ist und von den Studierenden höchstens nachvollzogen werden muss (z. B. Holmes & Lewandowski, 2020; Holmes & Wieman, 2018; Reid & Shah, 2007; Sacher & Bauer, 2020). Vor diesem Hintergrund ist jedoch gleichzeitig interessant, dass die drei der Vorbereitung zuzuordnenden Fähigkeiten von Praktikumsbetreuenden zwar im Vergleich zu den anderen NDAW weniger, aber absolut gesehen immer noch als eher relevant eingeschätzt werden (Tab. 3).

Der Vergleich der von Betreuenden angestrebten und von Studierenden wahrgenommenen Zielen liefert ein gemischtes Bild. Insgesamt scheinen Studierende und Betreuende sowohl bzgl. der grundsätzlichen Relevanz verschiedener Zielbereiche naturwissenschaftlicher Praktika als auch bzgl. der Stellung des Zielbereichs NDAW im Vergleich zu anderen Zielbereichen zu sehr ähnlichen Einschätzungen zu gelangen (Kirschner et al., 1993). Bei der Einschätzung der Relevanz einzelner NDAW zeigen sich jedoch zum Teil deutlich Unterschiede. Insbesondere das Formulieren von Fragen und Hypothesen sowie das Planen von Untersuchungen wird von Studierenden als deutlich weniger relevant wahrgenommen als von Betreuenden.

Eine weitere zentrale Erkenntnis des hier vorgestellten Projekts resultiert daraus, dass neben der Relevanz von NDAW auch erfasst wurde, welche Rolle die einzelnen NDAW in universitären Praktika typischerweise spielen (FF 2b). Bemerkenswert ist dabei aus unserer Sicht, dass viele Fähigkeiten aus dem Bereich NDAW insbesondere in Anfängerpraktika

aber auch in Fortgeschrittenenpraktika häufig nicht nur als Fähigkeiten angesehen werden, die Studierende aus vorlaufenden Lernangeboten mitbringen sollen. Vielmehr nehmen die Praktikumsbetreuenden aller drei Fächer häufig an, dass die Praktika ein Ort sind, an dem Fähigkeiten aus dem Bereich NDAW neu aufgebaut werden sollen. Das gilt selbst dann noch, wenn nur die Fortgeschrittenenpraktika betrachtet werden, bei denen davon ausgegangen werden kann, dass die Studierenden, die diese Praktika besuchen, vorher auch schon andere universitäre Praktika besucht haben.

6. Fazit und Implikationen für Lehre und Forschung

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass der Aufbau von Fähigkeiten aus dem Bereich NDAW aus Sicht von Praktikumsbetreuenden ein zentrales Ziel naturwissenschaftlicher Praktika ist und auch von Studierenden als solches wahrgenommen wird. Gleichzeitig zeigt die Befundlage aber auch, dass in Praktika darüber hinaus eine Reihe weiterer Ziele eine zentrale Rolle spielen (z. B. Nagel et al., 2018; Welzel et al., 1998). Es erscheint deshalb sinnvoll, für jedes Praktikum und ggf. sogar für jedes Experiment innerhalb eines Praktikums genau zu klären, zu welchen Zielen ein Beitrag geleistet werden soll, und das Lernangebot, in das das Experimentieren eingebettet ist (z. B. Skript, Kolloquium, Nachbesprechung), entsprechend diesen Zielen auszurichten (Reid & Shah, 2007).

Ist das primäre Ziel eines Praktikums oder eines einzelnen Experiments der Aufbau von Fähigkeiten aus dem Bereich NDAW, ergeben sich auch vor dem Hintergrund der oben dargestellten Ergebnisse aus fachdidaktischer Perspektive mindestens zwei wichtige Implikationen für dessen Gestaltung.

6.1. Gelegenheiten zur eigenständigen Anwendung von NDAW in Praktika

Empirische Befunde deuten darauf hin, dass Studierende in naturwissenschaftlichen Praktika zum Teil kaum Gelegenheit dazu haben, die von Lehrenden als relevant eingeschätzten NDAW selbst auszuführen und anzuwenden. So haben Studierende in Praktika zwar einerseits häufig umfassend Gelegenheit dazu, selbst Untersuchungen durchzuführen, Daten auszuwerten und ihren Erkenntniswege zu dokumentieren. Andererseits gibt es jedoch typischerweise wenige Möglichkeiten für Studierende, selbst Fragestellungen und Hypothesen zu entwickeln oder eine eigene Untersuchung zu planen, weil diese Schritte des Erkenntnisprozesses in der Regel vorgegeben sind, beispielsweise durch das Praktikums Skript (z. B. Holmes & Lewandowski, 2020; Holmes & Wieman, 2018; Reid & Shah, 2007). Zwar ist an dieser Stelle zu betonen, dass die hier angeführten Befunde aus internationalen Studien stammen und deshalb nicht ohne Weiteres auf Praktika an deutschen Hochschulen übertragen werden können. Es erscheint uns jedoch plausibel anzunehmen, dass sich

hierzulande ein ähnliches Bild zeigt (s. a. Diskussion in Sacher & Bauer, 2020). Für diese Deutung spricht auch, dass die Studierenden in unserer Stichprobe das Formulieren von Fragen und Hypothesen sowie das Planen von Untersuchungen als deutlich weniger relevant wahrnehmen als die Betreuenden. Wenn Studierende jedoch auch solche eher auf die Vorbereitung einer Untersuchung bezogenen Fähigkeiten aufbauen sollen, dann erscheint es zielführend, mindestens an ausgewählte Stellen in Praktika Gelegenheiten zu deren Anwendung zu integrieren (siehe z. B. Ansätze in Neumann & Welzel, 2007; Sacher & Bauer, 2020).

6.2. Explizite Thematisierung von Regeln und Strategien zu NDAW

Eine zweite Implikation betrifft die Thematisierung von Regeln und Strategien, die Studierenden mindestens intuitiv verstehen müssen, um zielgerichtet und sachangemessen NDAW anwenden zu können (z. B. dazu, wie man eine naturwissenschaftliche Hypothese formuliert oder eine variablenkontrollierte Untersuchung plant). Empirische Befunde zeigen, dass Lernangebote, die auf den Aufbau von NDAW abzielen, insbesondere dann effektiv sind, wenn Lernende nicht nur Gelegenheit haben, diese Denk- und Arbeitsweisen selbst anzuwenden (s. o.), sondern die zur Entfaltung dieser Fähigkeiten notwendigen Regeln und Strategien explizit thematisiert werden (z. B. Lorch et al., 2010; Matlen & Klahr, 2013; Vorholzer et al., 2020). Zentrale Elemente einer expliziten Thematisierung sind beispielsweise, dass Regeln und Strategien den Lernenden im Rahmen des Lernangebots mitgeteilt, erläutert und an Beispielen verdeutlicht werden (z. B. Kalthoff et al., 2018; Vorholzer & von Aufschnaiter, 2019). In naturwissenschaftlichen Praktika kann eine solche explizite Thematisierung z. B. im Rahmen einer Vorbesprechung, als Bestandteil des Skripts oder in Form einer Vor- oder Nachbereitungsveranstaltung umgesetzt werden (z. B. Kalthoff et al., 2018; Ortman et al., 2022).

Ähnlich wie bei der Frage nach den Möglichkeiten zum eigenständigen Anwenden von NDAW sind auch zur Frage, inwiefern NDAW in naturwissenschaftlichen Praktika explizit thematisiert werden, empirische Befunde rar. Auf Basis eigener Beobachtungen und dem Austausch mit Kolleginnen und Kollegen an anderen Standorten gehen wir jedoch davon aus, dass explizite Thematisierung in der Regel eher selten stattfindet.

6.3. Perspektiven für fachdidaktische Forschung

Während es im deutschsprachigen und internationalen Raum bereits einige Arbeiten zu den Zielen universitärer Praktika in den Naturwissenschaften gibt (insb. aus Perspektive der Betreuenden), liegen derzeit kaum Erkenntnisse dazu vor, wie solche Praktika in der Praxis gestaltet sind. In der Literatur finden sich zwar Beschreibungen typischer Gestaltungsmerkmale von Praktika (z. B. Sacher & Bauer,

2020), denen vermutlich die meisten in der Betreuung solcher Praktika tätigen Personen zustimmen würden, eine empirische Prüfung dieser Beschreibungen steht jedoch noch aus.

Verbunden mit der gegenwärtigen Gestaltung stellt sich zudem die Frage, wie Studierenden im Rahmen von Praktika dabei unterstützt werden können, Fähigkeiten aus dem Bereich NDAW aufzubauen. Die in den Abschnitten 6.1 und 6.2 skizzierten Überlegungen zeigen Ansatzpunkte zur Förderung solcher Fähigkeiten auf, wurden jedoch überwiegend aus Studien mit jüngeren Lernenden abgeleitet (Sekundarstufe I oder II; Lorch et al., 2010; Matlen & Klahr, 2013; Vorholzer et al., 2020). Folglich stellt sich die Frage, wie effektiv diese Ansätze im Kontext universitärer Praktika sind bzw. ob so viel Aufwand (viele Gelegenheiten zur Anwendung, explizite Thematisierung) hier ebenfalls notwendig ist.

7. Literatur

- Boud, D. J., Dunn, J., Kennedy, T. & Thorley, R. (1980). The aims of science laboratory courses: a survey of students, graduates and practising Scientists. *European Journal of Science Education*, 2(4), 415–428. <https://doi.org/10.1080/0140528800020408>
- Emden, M. & Sumfleth, E. (2016). Assessing students' experimentation processes in guided inquiry. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 14(1), 29–54. <https://doi.org/10.1007/s10763-014-9564-7>
- Hofstein, A. & Lunetta, V. N. (2004). The laboratory in science education: Foundations for the twenty-first century. *Science Education*, 88(1), 28–54. <https://doi.org/10.1002/sc.10106>
- Holmes, N. G. & Lewandowski, H. J. (2020). Investigating the landscape of physics laboratory instruction across North America. *Physical Review Physics Education Research*, 16(2). <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.16.020162>
- Holmes, N. G. & Wieman, C. E. (2018). Introductory physics labs: We can do better. *Physics Today*, 71(1), 38–45. <https://doi.org/10.1063/PT.3.3816>
- Kalthoff, B., Theyssen, H. & Schreiber, N. (2018). Explicit promotion of experimental skills. And what about the content-related skills? *International Journal of Science Education*, 93(2), 1305–1326. <https://doi.org/10.1080/09500693.2018.1477262>
- Kirschner, P., Meester, M., Middelbeek, E. & Hermans, H. (1993). Agreement between student expectations, experiences and actual objectives of practicals in the natural sciences at the Open university of The Netherlands. *International Journal of Science Education*, 15(2), 175–197. <https://doi.org/10.1080/0950069930150206>
- Krell, M., Vorholzer, A. & Nehring, A. (2022). Scientific reasoning in science education: From global measures to fine-grained descriptions of

- students' competencies. *Education Sciences*, 12(2), 97.
<https://doi.org/10.3390/educsci12020097>
- Lorch, R. F., Lorch, E. P., Calderhead, W. J., Dunlap, E. E., Hodell, E. C. & Freer, B. D. (2010). Learning the control of variables strategy in higher and lower achieving classrooms: Contributions of explicit instruction and experimentation. *Journal of Educational Psychology*, 102(1), 90–101. <https://doi.org/10.1037/a0017972>
- Matlen, B. J. & Klahr, D. (2013). Sequential effects of high and low instructional guidance on children's acquisition of experimentation skills: Is it all in the timing? *Instructional Science*, 41(3), 621–634. <https://doi.org/10.1007/s11251-012-9248-z>
- Nagel, C., Scholz, R. & Weber, K.-A. (2018). Umfrage zu den Lehr/Lernzielen in physikalischen Praktika. *PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung Dresden 2018*, 97–109. <https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phydid-b/article/view/829>
- Neumann, K. & Welzel, M. (2007). A new labwork course for physics students: devices, methods and research projects. *European Journal of Physics*, 28(3), S61-S69.
<https://doi.org/10.1088/0143-0807/28/3/S06>
- Ortmann, J., Graulich, N. & Vorholzer, A. (2022). Fragen stellen, Versuche planen, Variablen kontrollieren. *Nachrichten der Chemie*, 70(4), 14–17. <https://doi.org/10.1002/nadc.20224123791>
- Pedaste, M., Mäeots, M., Siiman, L. A., Jong, T. de, van Riesen, S. A., Kamp, E. T., Manoli, C. C., Zacharia, Z. C. & Tsourlidaki, E. (2015). Phases of inquiry-based learning: Definitions and the inquiry cycle. *Educational Research Review*, 14, 47–61.
<https://doi.org/10.1016/j.edurev.2015.02.003>
- Reid, N. & Shah, I. (2007). The role of laboratory work in university chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*, 8(2), 172–185.
<https://doi.org/10.1039/B5RP90026C>
- Rönnebeck, S., Bernholt, S. & Ropohl, M. (2016). Searching for a common ground – A literature review of empirical research on scientific inquiry activities. *Studies in Science Education*, 52(2), 161–197.
<https://doi.org/10.1080/03057267.2016.1206351>
- Sacher, M. D. & Bauer, A. B. (2020). Kompetenzförderung im Laborpraktikum. In C. Terkowsky, D. May, S. Frye, T. Haertel, T. R. Ortelt, S. Heix & K. Lensing (Hrsg.), *Labore in der Hochschullehre: Didaktik, Digitalisierung, Organisation* (S. 51–66). wbv.
- Teichmann, E., Lewandowski, H. J. & Alemani, M. (2022). Investigating students' views of experimental physics in German laboratory classes. *Physical Review Physics Education Research*, 18(1), 10135.
<https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.18.010135>
- Terkowsky, C., May, D., Frye, S., Haertel, T., Ortelt, T. R., Heix, S. & Lensing, K. (Hrsg.). (2020). *Labore in der Hochschullehre: Didaktik, Digitalisierung, Organisation*. wbv.
<https://doi.org/10.3278/6004804w>
- Vorholzer, A. & von Aufschnaiter, C. (2019). Guidance in inquiry-based instruction – an attempt to disentangle a manifold construct. *International Journal of Science Education*, 41(11), 1562–1577.
<https://doi.org/10.1080/09500693.2019.1616124>
- Vorholzer, A., von Aufschnaiter, C. & Boone, W. J. (2020). Fostering upper secondary students' ability to engage in practices of scientific investigation: a comparative analysis of an explicit and an implicit instructional approach. *Research in Science Education*, 50(1), 333–359.
<https://doi.org/10.1007/s11165-018-9691-1>
- Welzel, M., Haller, K., Bandiera, M., Hammelev, D., Koumaras, P., Niedderer, H., Paulsen, A., Robinault, K. & von Aufschnaiter, S. (1998). Ziele, die Lehrende mit dem Experimentieren in der naturwissenschaftlichen Ausbildung verbinden – Ergebnisse einer europäischen Umfrage. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 4(1), 29–44.

Danksagung

Wir bedanken uns bei der Justus-Liebig-Universität Gießen für die Förderung der hier vorgestellten Studie. Darüber hinaus danken wir allen Betreuenden und Studierenden, die an den Befragungen teilgenommen haben, sowie der Arbeitsgruppe Physikalische Praktika der DPG und der Gesellschaft Deutscher Chemiker für die Unterstützung bei der Gewinnung von Studienteilnehmerinnen und Studienteilnehmern.

Ziele eines Demonstrationspraktikums für Physik-Lehramtsstudierende

Katharina Stütz, Ronny Nawrodt

Pfaffenwaldring 57, 70569 Stuttgart
k.stuetz@physik.uni-stuttgart.de

Kurzfassung

Das Präsentieren von Demonstrationsexperimenten oder das Durchführen von Schülerexperimenten sind zentrale Bausteine des Physikunterrichts. In der universitären Ausbildung erfolgt die Vermittlung der notwendigen Fähigkeiten klassischerweise in diversen Praktika. In diesem Beitrag soll ein Überblick über die konkreten Ziele eines solchen Praktikums gegeben werden. Dazu werden die Zielvorstellungen von 15 Studierenden aus zwei Semestern den Zielen aus Theorie und Praxis gegenübergestellt und diskutiert. Für einen standortübergreifenden Überblick über die universitäre Praxis wurden die Modulpläne von acht zufällig ausgewählten Universitäten und Hochschulen, an denen in Deutschland Physik für das Gymnasiale Lehramt studiert werden kann, analysiert.

1. Theoretische Grundlage zu Experimenten im Physik-Unterricht

Experimente nehmen im heutigen Physikunterricht eine zentrale Rolle ein. Gründe dafür sind die zentrale Rolle des Experiments in der physikalischen Forschung und die zentrale Position im Erkenntnisprozess der Schülerinnen und Schüler (SuS). Daher ist es wichtig, dass der Einsatz von Experimenten im Schulunterricht eine zentrale Position in der Ausbildung der zukünftigen Lehrkräfte einnimmt. Doch bereits aus dem Forschungsreview von Harlen [1] aus dem Jahr 1999 geht hervor, dass nur wenige Lehrkräfte die Experimente auch effektiv einsetzen. In diesem Artikel werden zunächst die dafür nötigen Kompetenzen und das Wissen herausgearbeitet. Es wird anschließend erläutert in welchen Studienabschnitten die einzelnen Inhalte behandelt werden. In einem letzten Schnitt wird dann aus einer aufgezeigten Diskrepanz auf die nötigen Ziele für ein neu zu entwickelndes Seminar geschlossen.

1.1. Fokus auf die Verbindung von Experiment und Lernprozess

Betrachtet man die Rolle des Experiments im naturwissenschaftlichen Unterricht so wird schnell klar, dass diese Rolle sehr vielschichtig ist. Kircher et al. [2] fassen die möglichen Funktionen eines Experiments im Unterricht in 14 Punkten zusammen (Abb. 1). Bei der Formulierung dieser Ziele wird davon ausgegangen, dass eine experimentelle Beschäftigung mit einem Sachthema im Kontext Schule dazu genutzt werden kann, den SuS dieses Thema erkenntnisgewinnend näher zu bringen. Dass davon ausgegangen werden kann, zeigt eine Studie aus dem Jahr 2004 von Tesch und Duit [3]. Diese haben mithilfe einer Videostudie festgestellt, dass mit stärkerer Präsenz von Experimenten im Unterricht die Leistungsentwicklung der SuS besser wird.



Abb. 1: Experimente funktionell betrachten.

Doch bereits im Jahr 1982 zeigten Hofstein und Lunetta [4], dass aus den bisherigen Erkenntnissen folgt, dass erst mit einer gelungenen Verbindung von Lernprozessen und Experimentieren ein Experiment eine sinnvolle Funktion im Unterricht einnimmt. Die Einbettung in die Lernumgebung, also die Vor- und die Nachbereitung eines Experiments im Unterricht, spielt also eine zentrale Rolle. Diese Erkenntnis wird von Harlen [1], Euler [5] und Tesch und Duit [3] weiter bestätigt.

1.2. Professionelle Handlungskompetenz rund um Experimente

Die allgemeinen Kompetenzen einer Physik-Lehrkraft werden unter dem Begriff der Professionellen Handlungskompetenz zusammengefasst. In Anlehnung an Weiner [6] und Baumert & Kunter [7] teilt

sich diese in das Professionswissen einerseits und andererseits in die motivationalen, volitionalen und sozialen Bereitschaften und Fähigkeiten auf.

Um nun ein Experiment effektiv in einem Unterricht einsetzen zu können benötigen angehende Physik-Lehrkräfte Handlungskompetenzen, die sich angelehnt an Trna [8] in drei Gruppen von Fähigkeiten einteilen lassen:

- (A) Grundlegende physikalische experimentelle Kompetenzen (auch technologische),
- (B) Grundlegende schulrelevante physikalische experimentelle Kompetenzen (auch technologische) und
- (C) Kompetenzen Schulexperimente in eine Lernumgebung einbetten zu können.

Das Professionswissen als Grundlage für diese Fähigkeiten ist nach dem TPACK-Modell nach Mishra und Koehler [9] (Abb. 2) dem physikalischen Fachwissen [9] (content knowledge, CK) zusammen mit dem technologischen fachlichen Wissen (technological content knowledge, TCK) und dem physikdidaktischen Wissen (pedagogical content knowledge, PCK) zusammen mit dem technologischen Fachdidaktischen Wissen (technological pedagogical content knowledge, TPCK) zugeordnet.

Das erziehungswissenschaftliche Wissen (PK), das technologische Wissen (TK) und das technologiebezogene erziehungswissenschaftliche Wissen (TPK) sind hier selbstverständlich als Grundlage ebenfalls nötig, werden hier aber nicht speziell in Bezug auf Experimente betrachtet.

Nach Dreyfus et. al. [10] gibt es in dem Prozess eine neue Handlungskompetenz zu erlernen fünf grundlegende Phasen:

- (A) Neuling (novice): Die Studierenden können festen Regeln folgen. Sie haben ein reines Faktenwissen.
- (B) Fortgeschrittene/r Anfänger/in (competence): Die Studierenden folgen Richtlinien. Einzelne Bausteine werden wiedererkannt und können gelöst werden.
- (C) Kompetente/r (proficiency): Die Studierenden folgen Grundsätzen. Bestimmte Situationen werden wiedererkannt und können gelöst werden.
- (D) Gewandte/r (expertise): Die Studierenden brauchen keine Vorgaben mehr. In jeder Situation kann mit Intuition reagiert werden.
- (E) Experte/Expertin (mastery): Um in jeder Situation mit Intuition reagieren zu können wird nicht mehr die volle Aufmerksamkeit benötigt.

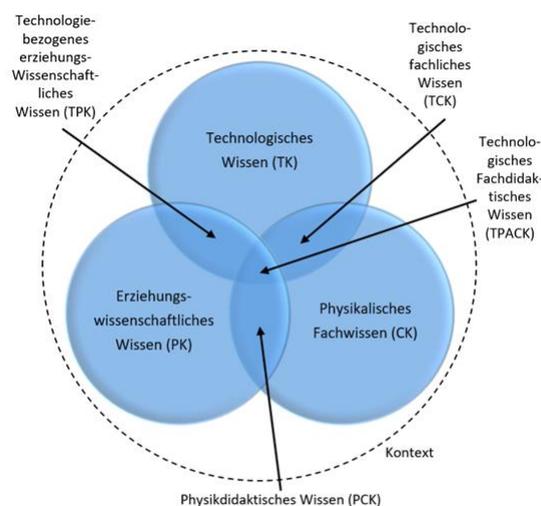


Abb. 2: TPACK-Modell nach Mishra und Koehler [9].

Die ersten drei Phasen können in die universitäre Ausbildung integriert werden. Die Studierenden sollen sich hier das nötige Professionswissen aneignen und an einfachen Beispielen anwenden. Einzelne Bausteine und ganze Situationen können dann auf Grundlage des Professionswissens gelöst und diskutiert werden. Die letzten beiden Phasen, in denen die neu erlernte Fähigkeit in vielen verschiedenen Situationen getestet werden muss, können erst im Zusammenspiel mit der Erprobung in der Praxis erreicht werden.

1.3. Selbstwirksamkeitserwartungen

Innerhalb der Professionellen Handlungskompetenz tauchen neben dem Professionswissen noch die motivationalen, volitionalen und sozialen Bereitschaften und Fähigkeiten auf. Das Selbstwirksamkeitserleben einer Lehrkraft nimmt an dieser Stelle einen großen Stellenwert ein. So sprechen beispielsweise Erkenntnisse aus der Psychologie dafür, dass das Selbstwirksamkeitserleben einen großen Einfluss auf das tatsächliche Handeln im Physikunterricht besitzt [11].

Bei einer Kompetenzmessung bei rund 300 Lehramtsstudierenden aus dem Jahr 2010 stellten Riese und Reinhold [12] allerdings fest, dass es sich bei der Selbstwirksamkeitserwartung um ein fachbezogenes Konstrukt zu handeln scheint. So schlagen sie als Konsequenz vor fach- und unterrichtsspezifische Fördermaßnahmen zur Selbstwirksamkeit den allgemeinen Maßnahmen vorzuziehen und stärker im Lehramtsstudium zu verankern. Sie betonen, dass auch vernetztes, vertieftes (schulisches-) Fachwissen ein bedeutendes Kriterium für ein stabiles Selbstwirksamkeitserleben darstellt.

Im weiteren Artikel soll nun dargelegt werden welche dieser Wissensbereiche bereits in den Stufen der Lehramtsausbildung abgedeckt werden.

2. Ziele eines physikalischen Praktikums nach Westphal

Während das physikalische Fachwissen (CK) typischerweise in allgemeinen Fachvorlesungen vermittelt wird, sollen die experimentellen Fähigkeiten in physikalischen Praktika erlernt werden. Das im Jahr 1937 von Westphal [13] vorgestellte Konzept eines physikalischen Praktikums wird auch heute noch an vielen Universitäten umgesetzt. Dabei handelt es sich um eine Reihe von Experimenten, die bereits fertig aufgebaut und bis ins kleinste Detail durchdacht worden sind. Die Studierenden erhalten eine ausführliche Anleitung, inklusive einer Zusammenfassung des nötigen Fachinhalts und eines ausführlich beschriebenen Messprogramms, und Unterstützung durch Assistenten bei der Durchführung dieser Versuche. Die Ziele eines solchen Physikalischen Praktikums für Lehrende und Studierende lassen sich nach Welzel [14] und Neumann [15] zu drei Hauptzielen zusammenfassen:

- (A) Theorie und Praxis verbinden,
- (B) Experimentelle Fähigkeiten erwerben und
- (C) Methoden wissenschaftlichen Denkens kennenlernen.

Bezogen auf die Lehramtsstudierenden können diese Ziele spezifiziert werden. So schlägt beispielsweise Andersen [16] vor, sich bei den experimentellen Fähigkeiten und der nötigen Theorie konkret auf die Verwendung schulrelevanter Experimente und Messtechnik zu fokussieren.

Damit besteht hier der Anspruch, bezogen darauf Experimente effektiv in einem Unterricht einsetzen zu können (Abschnitt 1.2), die zwei Gruppen an Fähigkeiten (A) und (B) zu kombinieren und sowohl grundlegenden physikalischen experimentellen Kompetenzen als auch die grundlegenden schulrelevanten physikalischen experimentellen Kompetenzen zu vermitteln. Dabei wird angestrebt die ersten drei Phasen zum Erlernen einer neuen Handlungskompetenz (Neuling, Fortgeschrittene/r Anfänger, Kompetente/r) abzuschließen.

3. Ziele des Vorbereitungsdienstes

Ist der erste Teil des Lehramtsstudiums in Form eines ersten Staatsexamens oder Masterabschlusses absolviert so folgt in der Regel der Vorbereitungsdienst. Begleitend zu unterrichtspraktischen Erfahrungen soll nach den Vorgaben der Kultusministerkonferenz [17] in den Begleitveranstaltungen viel Wert auf die unterrichtspraktischen Kompetenzen gelegt werden:

„Die Vermittlung mehr unterrichtspraktisch definierter Kompetenzen ist hingegen vor allem Aufgabe des Vorbereitungsdienstes;“

Das beinhaltet unter anderem das Planen und Gestalten von Lernumgebungen, die fachspezifische Leistungsbeurteilung und die konkrete Planung, Durchführung und Analyse von digital unterstütztem Unterricht.

Konkretere Vorgaben zu den Inhalten lassen sich in den Vorgaben der einzelnen Ministerien der Bundesländer finden. In Bezug auf Experimente schreibt das Ministerium für Kultus, Jugend und Sport in Baden-Württemberg [18], dass im Referendariat die Kenntnisse und Fertigkeiten, die die Studierenden in der Universität erlernt haben weiter vertieft werden sollen. Dazu zählen auch die Kenntnisse und Fertigkeiten zum schulrelevanten Experimentieren. Konkret soll aber der Fokus auf die Gestaltung von Unterricht auch mit Experimenten gerichtet werden.

Damit hat der Vorbereitungsdienst den Anspruch alle drei Gruppen an Fähigkeiten der zu erlernenden Handlungskompetenz (Abschnitt 1.2) zu vervollständigen und damit die Phasen der „Gewandte/r“ und die „Experte/Expertin“ voranzutreiben.

4. Ziele der Studierenden

Bereits aus der Gegenüberstellung der nötigen Teilkompetenzen und Entwicklungsphasen einer Handlungskompetenz zu den Zielen des physikalischen Praktikums und des Vorbereitungsdienstes ist eine Lücke erkennbar. Bevor nun die Ziele eines neuen Seminars zur Experimenten im Physikunterricht genannt werden können ist es sinnvoll die Sichtweise der Studierenden und der Experten miteinzubeziehen.

Um die Ziele der Studierenden für ein Seminar zu Schulexperimenten zu erfassen wurden innerhalb von zwei Jahrgängen insgesamt 15 Studierende überwiegend aus dem sechsten Fachsemester mit einer Online-Umfrage befragt. Dabei sollten die Studierenden ihre eigenen Ziele für ein gelungenes Seminar frei formulieren. Mithilfe einer qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring [19] wurden diese in 3 Hauptziele sortiert:

- (A) (Schulrelevante) Experimentelle Kompetenzen vertiefen.
- (B) Experimente in den PU einbetten können.
- (C) Vorbereitung auf den späteren Beruf.

Die Studierenden haben zu dem Zeitpunkt der Beantwortung dieser Frage das physikalische Anfängerpraktikum, also den ersten Teil des physikalischen Praktikums, bereits absolviert und bringen schon eine gewisse Erfahrung im Experimentieren mit. Daraus ist zusammen mit diesen Zielen zu schließen, dass die Studierenden die ersten beiden Phasen (Neuling und Fortgeschrittene/r Anfänger) der Experimentellen Kompetenz und der schulrelevanten experimentellen Kompetenz bereits abgeschlossen haben. Mit einer weiteren Vertiefung dieser Fähigkeiten wird von den Studierenden hier dementsprechend von der folgenden Phase (Kompetente/r) gesprochen.

Mit der Nennung der Vorbereitung auf den späteren Beruf und der Einbettung der Experimente wird außerdem klar, dass den Studierenden die hohe Relevanz der Experimente für ihren späteren Beruf bewusst ist und sie darauf den Fokus lenken möchten.

5. Ergebnis einer Expertenbefragung

Im letzten Schritt sollen noch die Meinungen der Experten hinzugezogen werden. Die Experten stellen in diesem Fall die fachdidaktischen Dozierenden der Experimentierpraktika, Demonstrationspraktika oder Schulexperimente Praktika der deutschen Universitäten dar. Um deren Ziele für ein solches Seminar zu erfahren wurden die Modulpläne acht zufällig ausgewählter Universitäten aus Deutschland mit einem gymnasialen Physik-Studiengang mit Hilfe einer qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring [18] untersucht. Dazu wurden in einem ersten Schritt diejenigen Module herausgesucht, die sich mit dem Experimentieren in der Schule beschäftigen und/oder darauf in irgendeiner Weise eingehen. In den meisten Fällen sind dies die fachdidaktischen Veranstaltungen, die Demonstrationspraktika oder die Schulexperimente Praktika. In einzelnen Fällen wird auch in den Physikalischen Praktika konkret auf das Experimentieren in der Schule eingegangen. In den Modulplänen werden meist die zu erreichenden Lern- bzw. Qualifikationsziele neben den zu behandelnden Inhalten aufgeführt. Deshalb wurden in einem zweiten Schritt die Lern- bzw. Qualifikationsziele der einzelnen Module herausgesucht.

Im ersten Schritt der qualitativen Inhaltsanalyse wurden dann anhand der Texte zunächst induktiv Kategorien gebildet, die in einem zweiten Schritt mit bereits herausgearbeiteten Zielen (Abschnitte 1 bis 4) verglichen und angepasst wurden. Anhand dieser Vorgehensweise ergaben sich für die Expertenbefragung die folgenden drei Hauptziele für ein Seminar zum Einsatz von Experimenten im Schulunterricht:

Die Studierenden können ...

- (A) ... schulrelevant physikalisch experimentieren.
- (B) ... Unterrichtsstunden inkl. eines Experiments unter Anleitung planen, durchführen und reflektieren.
- (C) ... Forschungsergebnisse in die Planung mit einbeziehen.

In einem letzten Abschnitt werden nun die Ziele der verschiedenen Stationen in einem Physik-Lehrmastudium verglichen und den bisherigen Erkenntnissen und den Meinungen der Studierenden und der Experten gegenübergestellt. Aus der direkten Gegenüberstellung ergeben sich so die Ziele für ein Seminar im Übergang zwischen Physikalischem Praktikum und Vorbereitungsdienst.

6. Ergebnis

Die Grundlage zur Erlernung einer Handlungskompetenz bildet das nötige Professionswissen. Das physikalische Fachwissen (CK) und Teile des technologischen Fachwissens (TCK) sollen dabei in den zahlreichen Fachvorlesungen vermittelt werden. Im Physikalischen Praktikum werden diese Wissensbereiche dann anhand von konkreten Beispielen vertieft und angewendet (Neuling). Im Verlauf des Praktikums sollen die Studierenden die Experimentellen Kompetenzen bis hin zum Status der/des „Kompetenten“ weiter vertiefen. Wird das Physikalische Praktikum speziell für die Lehramtsstudierenden angeboten so erweitern sich diese Kompetenzen hin zu den schulrelevanten physikalischen Experimentellen Kompetenzen.

Während der Wissensbereich des Physikdidaktischen Wissens (PCK) innerhalb der fachdidaktischen Veranstaltungen abgedeckt wird findet der Wissensbereich des Technologischen Fachdidaktischen Wissens (TPCK) erst nach und nach Einzug in die Universitäten. Doch auch dieses Wissen soll zukünftig in den fachdidaktischen Veranstaltungen abgedeckt werden.

Bringt man in den Vergleich den Vorbereitungsdienst ein so sollen hier vor allem die beiden Kompetenzphasen der „Gewandten“ und der „Experten“ abgedeckt werden.

Fasst man die bisherigen Erkenntnisse zusammen, so ergibt sich eine klare Diskrepanz zwischen den theoretisch erläuterten Vorgaben und den behandelten Zielen in den Lehrveranstaltungen und Praxisphasen. Ein Überblick über die Phasen zur Erlernung einer Handlungskompetenz zu den einzelnen Gruppen ist in Tabelle 1 gegeben. Dabei ist in den einzelnen Kreuzungen notiert in welchem Ausbildungsabschnitt dieses Ziel verfolgt wird. So ergeben sich für ein physikalisches Praktikum, dass um eine Schulrelevanz erweitert wurde, gleich sechs Bereiche.

Betrachtet man nun im Überblick die Gruppe an Fähigkeiten rund um das Einbetten von Experimenten in eine Lernumgebung so fällt auf, dass gerade die ersten drei Phasen - „Neuling“, „Fortgeschrittene/r Anfänger/in“ und „Kompetente/r“ – nicht abgedeckt sind. Diese Lücke wird sowohl von den Studierenden, als auch von den Experten erkannt und beschrieben. Beide Parteien fordern für den universitären Ausbildungsabschnitt einen Teil zur Einbettung von Experimenten in den Physik-Unterricht.

Ein weiterer wichtiger Teil, der hier bisher nicht erwähnt wurde, sind die geforderten Maßnahmen zur Förderung der Selbstwirksamkeitserwartung. Diese werden an keiner Stelle konkret erwähnt.

Für ein Seminar zur Einbettung von Experimenten in einen Unterricht ergeben sich damit die folgenden Ziele:

	Neuling (novice)	Fortgeschrittene/r Anfänger (competence)	Kompetente/r (proficiency)	Gewandte/r (expertise)	Experte/Expertin (mastery)
Grundlegende physikalische experimentelle Kompetenzen	Physikalische Praktika	Physikalische Praktika	Physikalische Praktika, Studierende	Vorbereitungsdienst	Vorbereitungsdienst
Grundlegende schulrelevante physikalische experimentelle Kompetenzen	Physikalische Praktika für das Lehramt	Physikalische Praktika für das Lehramt	Physikalische Praktika für das Lehramt, Studierende Experten	Vorbereitungsdienst	Vorbereitungsdienst
Kompetenzen Schulexperimente in eine Lernumgebung einbetten zu können	Studierende, Experten	Studierende, Experten	Studierende, Experten	Vorbereitungsdienst	Vorbereitungsdienst

Tab. 1: Gegenüberstellung der drei Gruppen von Fähigkeiten innerhalb der Handlungskompetenz „Ein Experiment in einen Unterricht einbetten können“ zu den fünf Phasen eine Kompetenz zu erlernen. In den Schnittstellen befinden sich die Bezeichnungen der Ausbildungsabschnitte, welche diesen Punkt abdecken.

- (A) Schulrelevante physikalische experimentelle Kompetenz vertiefen,
- (B) Experimente in einen Unterricht einbetten können,
- (C) Selbstwirksamkeitserwartung stärken,
- (D) Schulisches Fachwissen vertiefen und vernetzen.

7. Zusammenfassung

Klassische Demonstrationspraktika oder Schulexperimente Praktika, die an vielen Universitäten existieren, fokussieren sich zurzeit auf den Aufbau der schulrelevanten physikalischen experimentellen Kompetenz. Dem Aufbau der Kompetenz zur Einbettung von Experimenten in einen Unterricht scheint dabei zu kurz zu kommen. Eine mögliche Lösung kann darin bestehen den Aufbau der schulrelevanten physikalischen experimentellen Kompetenz, wie von Andersen [16] bereits vorgeschlagen, in die physikalischen Praktika zu verschieben. So bliebe in einem didaktischen Seminar zur physikalischen Experimenten mehr Zeit sich mit dem Aufbau der Kompetenz zur Einbettung der Experimente zu beschäftigen. Den Studierenden käme dies sicherlich zu Gute.

8. Literatur

- [1] Harlen, Wynne (1999). Effective teaching of science: A Review of Research. Edinburgh: The Scottish Council for Research in Education (SCRE).
- [2] Kircher, Ernst; Girwidz, Raimund; Häußler, Peter (Hrsg.) (2015): Physikdidaktik. Theorie und Praxis. (3. Auflage) Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, S. 229.
- [3] Tesch, Maike; Duit, Reinders (2004): Experimentieren im Physikunterricht – Ergebnisse einer Videostudie. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften; Jg. 10, 2004, S. 51-69,
- Url: <https://archiv.ipn.uni-kiel.de/zfdn/jg10a.htm#Art003> (Stand 06/2022)
- [4] Hofstein, Avi; Lunetta, Vincent N. (1982): The role of laboratory in science teaching: Neglected aspects of research. In: Review of Educational Research, Summer, 1982, Vol. 52, No. 2, S. 201-217. <https://doi.org/10.2307/1170311>
- [5] Euler, Manfred (2001): Lernen durch Experimentieren. In: Ringelband, Ute; Prenzel, Manfred; Euler, Manfred (Hrsg.) (2001): Lernort Labor. Initiativen zur naturwissenschaftlichen Bildung zwischen Schule, Forschung und Wissenschaft. Kiel: IPN – Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften, S. 13-42.
- [6] Weinert, Franz E. (2001): Concept of Competence: A Conceptual Clarification. In: D.S. Rychen & L.H. Salganik (Hrsg.) (2001): Defining and Selecting Key Competencies. Göttingen: Hogrefe, S. 45-66.
- [7] Baumert, Jürgen; Kunter, Mareike. (2006): Stichwort: Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. In: Zeitschrift für Erziehungswissenschaft, 9(4), S. 469–520. <https://doi.org/10.1007/s11618-006-0165-2>
- [8] Trna, Josef (2012): How to motivate science teachers to use science experiments. In: Systemics, cybernetics and informatics, Vol. 10, No. 5. Url: <http://www.iiisci.org/journal/pdv/sci/pdfs/HEB469YG.pdf>
- [9] Mishra, Punya; Koehler, Matthew J. (2006): Technological Pedagogical Content Knowledge: A Framework for Teacher Knowledge. In: Teacher College Record, Volume 108, Nummer 6, S. 1017 - 1054. <https://doi.org/10.1111%2Fj.1467-9620.2006.00684.x>
- [10] Dreyfus, Stuart E.; Dreyfus, Hubert L. (1980): A Five-Stage Model of Mental Activities Involved In Directed Skill Acquisition. Url: <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/ADA084551.pdf>
- [11] Kunter, Mareike; Tsai, Yi-Miau; Klusmann, Uta; Brunner, Martin; Krauss, Stefan; Baumert,

- Jürgen (2008): Students' and mathematics teachers' perceptions of teacher enthusiasm and instruction. In: *Learning and Instruction*, Volume 18, Issue 5, 2008, S. 468–482.
- [12] Riese, Josef; Reinhold, Peter (2010): Empirische Erkenntnisse zur Struktur professioneller Handlungskompetenz von angehenden Physiklehrkräften. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, Jg. 16, 2010, S. 167-187.
- [13] Westphal, Wilhelm H. (1974): *Physikalisches Praktikum. Eine Sammlung von Übungsaufgaben mit einer Einführung in die Grundlagen des physikalischen Messens*. 13. Auflage. Braunschweig: Friedr. Vieweg + Sohn.
- [14] Welzel, Manuela; Haller, Kerstin; Bandiera, Milena; Hammelev, Dorte; Koumaras, Panagiotis; Niedderer, Hans; Paulsen, Albert; Robinault, Karine; von Aufschnaiter, Stefan (1998): Ziele, die Lehrende mit experimentellem Arbeiten in der naturwissenschaftlichen Ausbildung verbinden - Ergebnisse einer europäischen Umfrage. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 4(1), 1998, S. 29-44.
- [15] Neumann, Knut (2004): Didaktische Rekonstruktion eines physikalischen Praktikums für Physiker. In: *Studien zum Physiklernen*, Band 38, Berlin: Logos Verlag.
- [16] Andersen, Jasmin (2020): Entwicklung und Evaluation eines spezifischen Anfängerpraktikums für Lehramtsstudierende im Fach Physik. Kiel. Url: https://macau.uni-kiel.de/receive/macau_mods_00001409
- [17] Kultusministerkonferenz (16.05.2019): Ländergemeinsame inhaltliche Anforderungen für die Fachwissenschaften und Fachdidaktiken in der Lehrerbildung. Url: https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2008/2008_10_16-Fachprofile-Lehrerbildung.pdf (Stand 06/2022)
- [18] Ministerium für Kultus, Jugend und Sport Baden-Württemberg in Zusammenarbeit mit den Staatlichen Seminaren für Didaktik und Lehrerbildung (Gymnasien) (Hrsg.) (2021): *Ausbildungsstandards der Seminare für Ausbildung und Fortbildung der Lehrkräfte (Gymnasium)* Url: http://lpa-bw.de/site/pbs-bw-km-root/get/documents_E771098419/KULTUS.Dachmandant/KULTUS/Dienststellen/lpa-bw/Ausbildungsstandards/Gymnasium/VD%202021%20Ausbildungsstandards%20Gymnasium.pdf (Stand 06/2022)
- [19] Mayring, Philipp (2015): *Qualitative Inhaltsanalyse - Grundlagen und Techniken*. 12. überarbeitete Auflage, Weinheim Basel: Beltz Verlag

Danksagung

Die vorliegende Arbeit wurde im Rahmen der gemeinsamen Qualitätsoffensive Lehrerbildung von Bund und Ländern aus Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung im Projekt „Lehrerbildung PLUS“ (Förderkennzeichen 01JA1907A) unterstützt.

Ein spielerischer Einstieg in die Quantenprogrammierung mit QuantumVR

Franziska Greinert¹, Tobias Voss², Rainer Müller¹, Linus Krieg², Gowtham Muthusamy¹, Franziska Rücker³, Klaus Bock-Müller³

¹TU Braunschweig, Institut für Fachdidaktik der Naturwissenschaften, Germany

²TU Braunschweig, Institut für Halbleitertechnik, LENA, Germany

³SZENARIS GmbH, Bremen, Germany

f.greinert@tu-braunschweig.de

Kurzfassung

Im Projekt QuantumVR entwickeln wir ein VR-Spiel für den Einstieg in die gatterbasierte Quantenprogrammierung. Quantencomputing hat in den letzten Jahren deutlich an Bekanntheit gewonnen, auch in der breiten Bevölkerung. Im Rahmen der „Quantum aktiv“ Outreach-Initiative sollen Hemmungen gegenüber dieser neuen, scheinbar rätselhaften, vielleicht sogar beängstigenden Technologie abgebaut und Interesse geweckt werden.

Unser Ansatz ist ein Spiel mit Escape-Elementen in virtueller Realität (VR). Kleine Quantenalgorithmen müssen durch Platzieren einfacher Quantengatter (X, H und CX) gelöst werden, um Tiere zu befreien. Eingesetzt werden soll das Spiel bei Events wie Hochschulinformationstagen, aber auch in Workshops mit anschließender Aufbereitung der Inhalte. Die Zielgruppe sind hauptsächlich Schülerinnen und Schüler der Oberstufe, aber auch der Einsatz in der Hochschullehre für den Einstieg in die Quantengatter ist denkbar. Vorgestellt werden das Spiel und erste Erfahrungen aus dem Einsatz.

1. Einleitung

Moderne Quantentechnologien sind kein rein akademisches Forschungsfeld mehr, sondern finden zunehmend Einzug in den Alltag über Anwendungen mit Nutzen im täglichen Leben [1]. Für die nächsten Jahre ist eine weitere Zunahme der Relevanz moderner Quantentechnologien für die Gesellschaft zu erwarten [2]. Vermehrt finden sich Begriffe wie „Quantencomputer“ in Alltagsmedien. Und so kommt auch die breite Bevölkerung mit der Thematik mehr und mehr in Kontakt.

Doch das Neue, das Unbekannte, kann auch abschreckend wirken und Hemmungen hervorrufen. Besonders wenn dabei auch noch das Schlagwort „Quanten“ fällt, womit viele noch immer mystische, widersinnige Konzepte verknüpfen, von Einsteins „spukhafter Fernwirkung“ bis Schrödingers weder toten noch lebendigen Katze.

Eben solche Hemmungen sollen mit QuantumVR abgebaut und stattdessen Interesse an Quantentechnologien geweckt werden, insbesondere der Quantenprogrammierung. Mit dem VR-Spiel, in dem die Quantengatter wortwörtlich zum Anfassen sind, und mit anschaulichen Eselsbrücken zu den Wirkungsweisen der Quantengatter können die Spielenden kleine Quantenalgorithmen erstellen.

Über eine involvierende Escape-Room-Story werden die Spielenden zum Dranbleiben motiviert. Tiere müssen aus Käfigen aus einem Labor befreit werden und sie machen auch lautstark darauf aufmerksam,

dass sie raus wollen. Die Spielenden werden für erfolgreich gelöste Level, also passend vervollständigte Quantenalgorithmen, unmittelbar über die befreiten Tiere belohnt. Zudem bietet die Umsetzung in VR einen zusätzlichen Anreiz, das Spiel auszuprobieren, da auch diejenigen angesprochen werden, die sich zwar weniger für Quantenprogrammierung interessieren, aber ein VR-Spiel spielen möchten. Somit ist die VR-Umgebung nicht nur für die dreidimensionale Darstellung von Quantenzuständen von Vorteil.

Zwischen Oktober 2020 und Mai 2022 entstand das Spiel in einem Outreach-Projekt aus der BMBF-Förderinitiative „Quantum aktiv“. Die Zielgruppe ist die „breite Öffentlichkeit“, also „alle“. Vorkenntnisse zu Quanten, Physik oder Informatik werden nicht benötigt. Erfahrung im Umgang mit Spielekonsolen ist jedoch von Vorteil, da dann die Bedienung der Controller und das Zurechtkommen in der virtuellen Umgebung deutlich erleichtert wird.

Das Spiel soll bei Outreach-Events wie beispielsweise bei (Hochschul-)Informationstagen oder Messen wie der Ideenexpo eingesetzt werden. Entsprechend ist die Zielgruppe tendenziell eher bei Jugendlichen zu verorten, die in der Regel auch die hilfreiche Vorerfahrung mit (nicht VR-) Videospielen mitbringen.

Im Fokus steht der Spaß am Spiel. Die Spielenden sollen spielerisch mit Quanten bzw. Quantenbits (kurz Qubits) und Quantengattern in Berührung kommen und mögliche Hemmungen oder Abneigungen

gegenüber dieser Thematik abbauen. Dagegen rückt der fachliche Lerneffekt in den Hintergrund.

Dennoch sind in den Leveln des Spiels auch tiefere Inhalte wie verschränkte Zustände enthalten. So bietet das Spiel auch die Möglichkeit, es in Lehrveranstaltungen einzusetzen, beispielweise in Workshops. Dieser Ansatz wird mit den MasterClasses [3] in einem Nachfolgeprojekt umgesetzt.

Im Folgenden werden zunächst das Spielkonzept auf Basis der Prinzipien für „gute“ Spiele [4, 5] vorgestellt, also die didaktische Perspektive, danach die fachliche Gestaltung und schließlich die Ergebnisse aus einer Erprobung im März 2022.

2. Spielgestaltung

Das Spiel beginnt in einem Tutorial-Raum, in dem die Escape-Room-Story umrissen und die Bedienung der Controller erklärt und geübt werden. Es folgen drei weitere Räume mit jeweils drei Leveln. Jeder Raum ist einem Quantengatter gewidmet, das in dem ersten der drei Leveln eingeführt wird. Die anderen beiden dienen der Übung und enthalten auch Ansätze zur vertieften inhaltlichen Beschäftigung mit den zugrunde liegenden Quantenphänomenen. Dabei wird ein steigender Schwierigkeitsgrad umgesetzt, indem die Gatter komplexer werden – erst X, dann H, dann CX – und zudem auch die vorherigen Gatter in den späteren Leveln einbezogen werden.

In jedem Level muss ein Quantenalgorithmus durch passende Quantengatter vervollständigt werden, um eine Glaskuppel zu öffnen. Unter dieser Kuppel ist bei der Gattereinführung jeweils ein Tier eingesperrt, wie in Abbildung 1 dargestellt. Durch den passenden Quantenalgorithmus wird es befreit.

Das jeweilige Tier im Gatter-Einführungslevel wird mit der Gatterwirkungswise über eine Eselsbrücke („Denke an...“) in Verbindung gebracht. So tragen Kater Mr. X, Zebra Miss Hadamard und Hund CC nicht nur zur Motivation in der einrahmenden Story bei, sondern dienen zugleich auch als Merkhilfe für die Gatter und ihre Auswirkungen auf Quantenzustände.



Abb. 1: Im QuantumVR-Spiel müssen diese Tiere durch die Vervollständigung kleiner Quantenalgorithmus befreit werden. Kater Mr. X wird über eine Eselsbrücke mit dem X-Gatter in Verbindung gebracht, Zebra Miss Hadamard mit dem H-Gatter und Hund CC mit dem CX-Gatter.

Das befreite Tier begibt sich dann zu der Glaskuppel am nächsten Level. Denn bei den beiden folgenden Leveln ist beispielsweise Futter für das Tier eingesperrt, ohne das es das Labor nicht verlässt. Mit dem Laufweg des Tieres von einer Glaskuppel zur nächsten und schließlich zur Tür werden auch die Spielenden von einem Level zum nächsten und schließlich in den nächsten Raum bzw. am Ende aus dem Labor hinaus geführt. Bei Bedarf wird dies durch auditive Hinweise unterstützt.

Im zweiten und dritten Raum gibt es levelspezifische Tipps. Diese sind erst verfügbar, wenn das Level nach 2 Minuten noch nicht gelöst wurde, und sie werden nur auf Wunsch abgespielt. So können die Spielenden selbstbestimmt entscheiden, ob und wann sie eine Hilfe nutzen wollen.

Zudem gibt es generelle, strategische Tipps, die dauerhaft verfügbar sind. Beispielsweise wird in einem solchen strategischen Tipp darauf hingewiesen, dass die Gatter geschüttelt werden können, um die Wirkungsweise erneut angezeigt zu bekommen. Dann wird auch das Einführungs-Audio mit der Eselsbrücke zu dem entsprechenden Gatter erneut abgespielt. Diese Tipps werden durch Abbildungen im Stil einer Whiteboard-Skizze visualisiert, die an der Laborwand dauerhaft angezeigt werden, wodurch der Tipp längerfristig präsent bleibt.

Sollten alle Tipps nicht helfen und ein Level ungelöst bleiben, so kann das Level auch übersprungen werden. Die Türen können auch ohne die Lösung aller Level geöffnet und das Labor verlassen werden, dann jedoch nicht mit allen Tieren.

Die letzte Tür führt aus dem Labor hinaus in die Freiheit, auf eine Wiese mit Blumen vor einem Wald und einem strahlenden Himmel. Diese Endszene bildet einen starken Kontrast zu den tristen, grauen Laborräumen und verstärkt so das Erfolgserlebnis. Der Vergleich von den eingesperrten Tieren in Abbildung 1 mit den befreiten Tieren in Abbildung 2 verdeutlicht diesen Kontrast, der auch in der jeweiligen Körperhaltung erkennbar ist.

Im Außenbereich wird die Spielzeit angezeigt. Dies ermöglicht einen Vergleich in Gruppen und kann so einen zusätzlichen Anreiz schaffen, sich im Spiel besonders anzustrengen und gut aufzupassen, um die Level schnell zu lösen.



Abb. 2: Die befreiten Tiere im Außenbereich am Ende des Spiels.

Neben Rolling Credits mit den Urheberinformationen, auch zu verwendeten Soundeffekten wie Tiergeräuschen, findet sich im Außenbereich auch ein Poster zu den Inhalten (s. Abschnitt 3.5 bzw. Abbildung 7). Dort sind alle Level mit den Gattereinführungen und Eselsbrücken, aber auch den weiterführenden Inhalten aufgeführt. So kann sich selbstbestimmt noch damit beschäftigt werden, wenn Interesse besteht.

Bisher kann nur eine Person in dem virtuellen Labor agieren, eine zweite Person kann jedoch das Geschehen an einem Bildschirm verfolgen und beratend tätig werden. Dieser Austausch ist zur Verinnerlichung der Gatterwirkungen wünschenswert. In einem Anschlussprojekt für den Einsatz in der universitären Lehre soll auch eine Mehrspielervariante entstehen, bei der der Austausch zwingend erforderlich ist, um die Kommunikation über die Inhalte zu stärken.

3. Inhaltliche Gestaltung

3.1. Fachbegriffe und Visualisierungen im Spiel

Bei der Quantenprogrammierung übernehmen Qubits und Quantengatter die Rollen von klassischen Bits und Gattern in der klassischen Programmierung. Die Begriffe werden im Spiel nur grob eingeführt und stark an die Visualisierung mit der IBM Q-Sphere [6] geknüpft:

„Um ihn [den Kater Mr. X] zu befreien, musst du einen passenden Quantenalgorithmus erstellen. Der Bereich zum Erstellen des Quantenalgorithmus besteht aus drei schwarzen Linien. Jede der Linien steht für ein Qubit – kurz für Quantenbit. Im Gegensatz zu klassischen Bits können Qubits nicht nur die Werte 0 und 1 annehmen, sondern sich auch in Überlagerungen davon befinden, mehr dazu später. Alle Qubits haben standardmäßig den Anfangszustand $|0\rangle$, der dann durch Gatter verändert werden kann.“

Hinter den Linien siehst du eine Kugel, die Q-Sphere, in der der aktuelle Zustand aller drei Qubits gemeinsam in blau dargestellt ist und so ähnlich wie ein Lutscher aussieht. Noch sind die Qubits im Ausgangszustand $|000\rangle$.

Ziel ist es, den Zustand der Qubits so zu verändern, dass der aktuelle Zustand – der blaue Lutscher – sich mit dem grauen Zustand, dem Zielzustand, deckt. Dazu brauchst du Gatter, die du auf den schwarzen Linien platzierst. Diese werden stets der Reihe nach – von links nach rechts – ausgewertet.“

Abbildung 3 zeigt die Spielszene zum Einführungstext mit den beschriebenen Qubit-Linien und der Q-Sphere.

Die Q-Sphere ist eine von IBM entwickelte Darstellung, die insbesondere in der frei verfügbaren, graphischen Quantenprogrammieroberfläche „IBM Quantum Composer“ [7] zum Einsatz kommt. Durch die starke Orientierung an dieser Oberfläche wird ein einfacher Anschluss für die weitere Beschäftigung mit

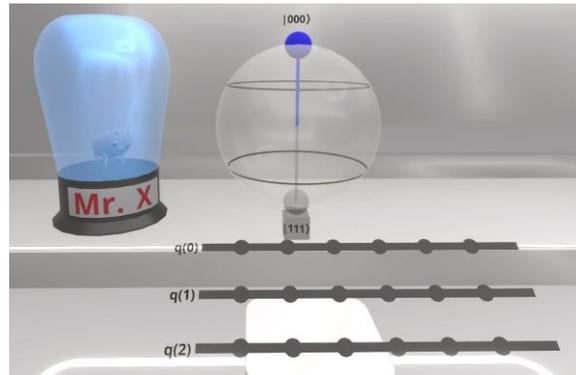


Abb. 3: Erstes Level mit den drei Qubit-Linien, auf denen der Quantenalgorithmus erstellt wird, und der Q-Sphere mit dem aktuellen Zustand $|000\rangle$ in Blau („Nordpol“ der Kugel) und dem Zielzustand $|111\rangle$ in Grau („Südpol“).

der Quantenprogrammierung ermöglicht. Außerdem bietet die Q-Sphere die Möglichkeit, den Zustand mehrerer Qubits (hier drei) gemeinsam zu visualisieren. So kann beispielsweise auch ein verschränkter Zustand einfach dargestellt werden, der in etablierten Darstellungen wie der Blochkugel nicht abgebildet werden kann. Abbildung 4 zeigt eine Gegenüberstellung der Grafik des IBM Quantum Composers mit der entsprechenden Darstellung bei den Leveln in QuantumVR.

Bei der Darstellung der Gatter gibt es Abweichungen von der IBM-Darstellung. Das X- und das CX-Gatter sind zur besseren Erkennbarkeit mit X bzw. C und X beschriftet. Zudem ist das X-Gatter rot, eine Signalfarbe, die intuitiv mit Verneinen u. Ä. in Verbindung gebracht wird und daher für das X-Gatter und den Kater, der „immer das Gegenteil“ macht, verwendet.

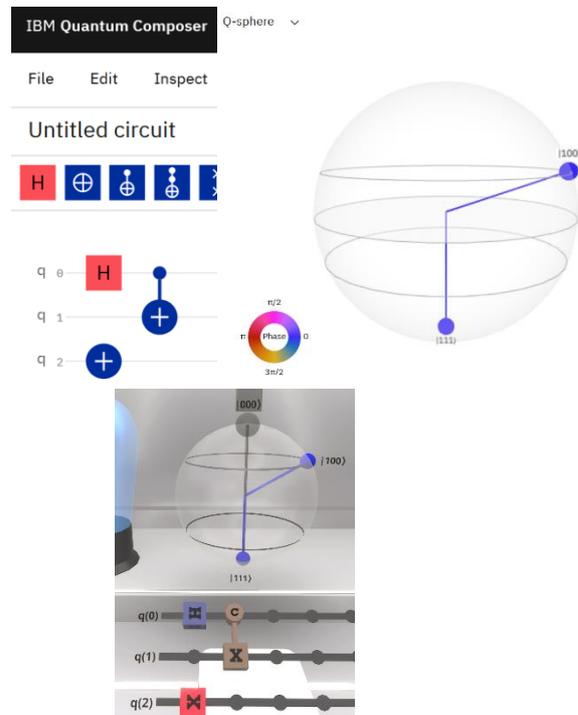


Abb. 4: IBM Quantum Composer mit Q-Sphere [7] oben und entsprechende Darstellung bei QuantumVR unten.

Das CX-Gatter erinnert – passend zum Hund CC – von seiner Form her an einen Kauknochen und hat auch eine entsprechende Farbe.

Um die Glaskuppeln an den einzelnen Leveln zu öffnen, müssen also die würfelförmigen Gatter auf den Qubit-Linien eingesetzt werden. Mit den Gattern muss ein passender Quantenalgorithmus erstellt werden: Wenn der aktuelle Zustand, blau in der Q-Sphere, dem grau dargestellten Zielzustand entspricht, ist das Level gelöst und die zugeordnete Glaskuppel wird geöffnet. Die Gatter mit den zugehörigen Tieren und den jeweiligen drei Leveln werden in den nächsten Abschnitten genauer vorgestellt.

3.2. X-Gatter und Kater Mr. X

Der erste Raum beinhaltet drei Level zum X-Gatter. Das X-Gatter ist das Äquivalent zum NOT-Gatter in der klassischen Informatik, es vertauscht die beiden Basiszustände des Qubits $|0\rangle$ und $|1\rangle$. Als Merkhilfe fungiert der Kater Mr. X, der immer das Gegenteil von dem macht, was man von ihm erwartet. Diese Charakterisierung des Katers zieht sich auch durch die nächsten Level, so frisst er etwa statt des Futters den Napf und lässt das Futter liegen.

Im ersten Level soll vom Grundzustand $|000\rangle$ ausgehend der Zielzustand $|111\rangle$ erreicht werden, dafür muss in alle Qubit-Linien jeweils ein X-Gatter eingesetzt werden. Das erste X-Gatter wird zur Veranschaulichung des Einsetzens über eine Animation eingesetzt und die Auswirkung auf den Zustand wird kommentiert. Die Spielenden müssen dann nur nachahmen und zwei weitere X-Gatter in die anderen beiden Qubit-Linien einsetzen. So gelingt ein sehr einfacher Einstieg.

Das zweite Level startet ebenfalls mit dem Zustand $|000\rangle$, allerdings ist der Zielzustand nun $|110\rangle$, wofür zwei X-Gatter in die unteren beiden Qubit-Linien eingesetzt werden müssen, also $q(1)$ und $q(2)$, nicht aber bei $q(0)$. Hier soll deutlich werden, dass die Zustände der einzelnen Qubits von rechts nach links in dem gemeinsamen Zustand stehen. Nach Lösung des Levels erscheint daher eine Abbildung (s. Abbildung 5) im Stil einer Whiteboard-Skizze, die diese

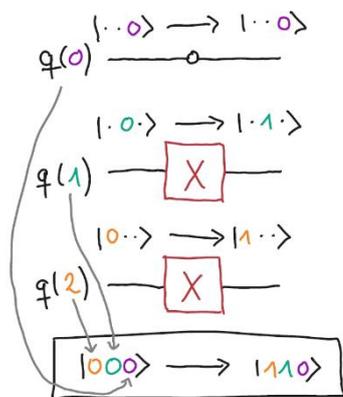


Abb. 5: Abbildung zu Level 2 im Stil einer Whiteboard-Skizze zur Verdeutlichung der Qubit-Reihenfolge im Drei-Qubit-Zustand.

Zugehörigkeit verdeutlicht. Sie passt stilistisch zu den Visualisierungen der allgemeinen Strategie-Tipps, die in Abschnitt 2 beschrieben wurden.

Der Zielzustand des zweiten Levels ist wiederum der Ausgangszustand des dritten Levels, hier sind also zwei Gatter fest vorgegeben und können auch nicht entfernt werden. Um dennoch zum Zielzustand $|011\rangle$ zu gelangen, muss an $q(2)$ aus $|1\rangle$ wieder $|0\rangle$ werden. Das gelingt mit einem zweiten X-Gatter. Inhaltlich steckt in diesem Level die Selbstinversität des X-Gatters, es „macht sich selbst rückgängig“, was hier für einen sehr einfachen Fall sichtbar ist.

3.3. H-Gatter und Zebra Miss Hadamard

Dem H-Gatter ist der zweite Raum gewidmet, hier wird es erstmals „quantisch“. Während beim X-Gatter $|0\rangle$ und $|1\rangle$ genügt und entsprechend auch eine klassische Beschreibung mit Bits 0 und 1 und dem NOT-Gatter möglich gewesen wäre, werden nun erstmals Quanteneffekte sichtbar. Denn das H-Gatter erzeugt eine Überlagerung aus $|0\rangle$ und $|1\rangle$, eine Superposition. Das Qubit ist dann weder im Zustand $|0\rangle$ noch im Zustand $|1\rangle$. Und das eine H-Gatter, das zu Anfang des vierten Levels bereits eingesetzt ist (s. Abbildung 6), zeigt das auch in einer Visualisierung an:

$$|0\rangle \rightarrow |0\rangle + |1\rangle.$$

Statt einer Wurzel zur Normierung wird die Deckkraft des Superpositionszustands reduziert – genau wie die Größe der Kugeln in der Q-Sphere, die die Wahrscheinlichkeiten für die Messung der einzelnen Basiszustände aus der Superposition repräsentieren.

Für eine Eselsbrücke wird nicht auf einen Esel, sondern auf das Zebra Miss Hadamard zurückgegriffen, benannt nach dem Hadamard-Gatter, das mit H-Gatter abgekürzt wird: Als Zebra ist sie weder wirklich weiß, noch wirklich schwarz. Wird jedoch nur ein

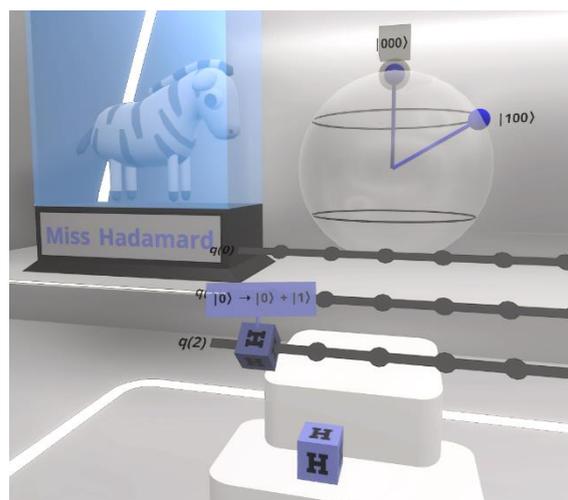


Abb. 6: Level 4 zur Einführung des H-Gatters. Der Effekt auf ein Qubit im Anfangszustand $|0\rangle$ wird durch die Beschriftung $|0\rangle \rightarrow |0\rangle + |1\rangle$ dargestellt. Eine solche Beschriftung gibt es auch bei den anderen Gattern im Einführungslevel und kann durch Schütteln der Gatter auch im Verlauf des Spiels erneut angezeigt werden.

einzelnes Haar betrachtet, also gemessen, ist dieses stets entweder weiß oder schwarz. Und vor der Messung lassen sich nur Wahrscheinlichkeiten angeben, mit denen für das einzelne Haar die Farben Weiß und Schwarz erwartet werden.

Im vierten Level (Abbildung 6), dem ersten H-Gatter-Level, muss gleich ein H-Gatter „rückgängig gemacht werden“, der Zielzustand ist $|000\rangle$. Das funktioniert mit einem weiteren H-Gatter. Die selbstinverse Eigenschaft wird jedoch im dritten Level zum H-Gatter nochmal deutlicher.

Zunächst muss aber im zweiten H-Gatter-Level die Überlagerung aller acht Basiszustände erzeugt werden. Dieser Zustand ist als Ausgangszustand vieler Quantenalgorithmen, die auf Parallelisierung beruhen, für die Quantenprogrammierung besonders interessant.

Er ist auch der Ausgangszustand im dritten H-Gatter-Level. Dort soll jedoch nicht nur die Überlagerung rückgängig gemacht, sondern nun auch noch das X-Gatter verwendet werden, um zum Zustand $|111\rangle$ zu gelangen. So stellt es gewissermaßen ein Zusammenbringen vorheriger Level dar, die selbstinverse Eigenschaft des H-Gatters muss genutzt werden und die Wirkungsweise des X-Gatters erinnert und richtig eingesetzt.

Dabei könnte auch noch probiert werden, ein X-Gatter hinter ein einzelnes H-Gatter zu setzen, bzw. zwischen die beiden H-Gatter, die sich „rückgängig machen“. Dann ist zu erkennen, dass die Reihenfolge relevant ist, bzw. das X-Gatter im Überlagerungszustand $|0\rangle + |1\rangle$ diesen nicht verändert.

Wird allerdings bei einem Qubit im Zustand $|1\rangle$ ein H-Gatter angewandt, sodass es zur Superposition mit negativem Vorzeichen $|0\rangle - |1\rangle$ kommt, ändert sich die Farbe des zugehörigen Zustandsanteils in der Q-Sphere. Diese Phasenkennzeichnung bewirkt aktuell lediglich einen Hinweis auf die Ursache der Farbänderung und darauf, dass die Farbgebung ignoriert werden kann. Langfristig ist das jedoch ein mögliches Thema für einen weiteren Raum, bei dem die Phase explizit erkundet werden kann.

3.4. CX-Gatter und Hund CC

Der dritte und bisher letzte Raum behandelt das CX-Gatter, das Quantengatter zum klassischen Controlled-NOT-Gatter. Es ist ein Zwei-Qubit-Gatter, wird also auf zwei Qubit-Linien platziert und besteht aus einem C- und einem X-Teil. C- und X-Teil werden jeweils einem Qubit zugeordnet. Je nach Zustand des Kontroll-Qubits am C-Teil wirkt der X-Teil am anderen Qubit wie ein X-Gatter – oder auch nicht. Ist das Kontroll-Qubit im Zustand $|0\rangle$, so passiert am anderen Qubits nichts, ist das Kontroll-Qubit im Zustand $|1\rangle$, so wirkt am anderen ein X-Gatter. Zur Veranschaulichung wird auf den Hund CC – wie Controlled Cat – zurück gegriffen, der sich nur auf Kommando, also wenn am C-Teil eine $|1\rangle$ vorliegt, wie der Kater Mr. X verhält. Ohne Kommando – bei einer $|0\rangle$ am C-Teil – macht er hingegen nichts.

Hier zeigt sich ein deutlicher Vorteil der VR-Anwendung gegenüber Desktopanwendungen wie dem IBM Quantum Composer: Während am Composer umständlich eingestellt werden muss, wenn der C-Teil statt am oben zweier Qubits am unteren Qubit platziert werden soll, lässt sich das Gatter in der dreidimensionalen VR-Umgebung einfach drehen. Allerdings kann das CX-Gatter im Spiel auch nur auf zwei benachbarte Qubits angewandt werden, also nicht auf $q(0)$ und $q(2)$, was wiederum beim Composer möglich wäre. Im Rahmen dieses Spiels ist diese Einschränkung bisher nicht störend aufgefallen.

Neben der selbstinversen Eigenschaft des CX-Gatters steht die Verschränkung im Fokus der CX-Gatter-Level. So soll im zweiten dieser Level die Verschränkung zweier Qubits rückgängig gemacht und im dritten die Verschränkung aller drei Qubits erzeugt werden. Dabei sind jeweils mehrere Lösungsarten möglich. Dies ist ein Ansatzpunkt für Forschung zu den Vorstellungen, die bei der einen oder anderen Lösung hervorgerufen werden. Die Verschränkung selbst wird im Spiel nicht erwähnt, wäre aber ein mögliches Thema für einen begleitenden Workshop.

3.5. Poster mit den Inhalten

Abbildung 7 zeigt das Poster mit den Inhalten, das im Spiel im Außenbereich angezeigt wird. Zeilenweise werden jeweils die drei Level zu einem Gatter mit Musterlösung(en) und den zugehörigen Inhalten dargestellt. Diese sind jeweils eingerahmt von dem zugehörigen Tier, das am Anfang der Zeile eingesperrt ist und am Ende befreit im Außenbereich steht. So wird die Verknüpfung der Gatter mit dem Tier als Merkhilfe nochmals herausgestellt. Die Eselsbrücke ist jeweils am Einführungslevel der Gatter notiert.

4. Erste Ergebnisse aus der Erprobung

Die Entwicklung des Spiels erfolgte in Zusammenarbeit der Physikdidaktik, der Fachphysik (Metrologie) und der Firma SZENARIS GmbH. Iterativ wurden Prototypen programmiert und getestet, im November 2021 erstmals auch mit Freiwilligen aus dem Kollegium und vier Lehrkräften von einer Fortbildung. Dabei zeigte sich deutlich, dass Vorerfahrung mit Spielekonsolen von Vorteil ist, während Vorwissen zur Quantenphysik keinen merklichen Unterschied brachte. Aufgrund der anhaltenden pandemischen Situation erfolgte der erste Test mit Jugendlichen erst im März 2022, dann auch mit einer Version nahe an der hier vorgestellten.

Über den Forschungsclub ChangING [8] wurden Interessierte aus den Klassenstufen 11 bis 13 eingeladen, wodurch sich eine Gruppe von 12 freiwilligen Jugendlichen ergab. Diese haben Mitte März 2022 das Spiel einzeln oder zu zweit gespielt. In den Zweiergruppen wurde zwischen dem fünften und sechsten Level gewechselt, also vor dem dritten H-Gatter-Level. Während eine Person gespielt hat, hat die andere den Spielverlauf am Bildschirm beobachtet und beratend unterstützt.

QuantumVR: gatterbasierte Quantenprogrammierung in VR

X-Gatter

macht aus einer $|0\rangle$ eine $|1\rangle$ und umgekehrt.



Kater Mr. X

macht immer das Gegenteil von dem, was man von ihm erwartet.

Reihenfolge der Qubits

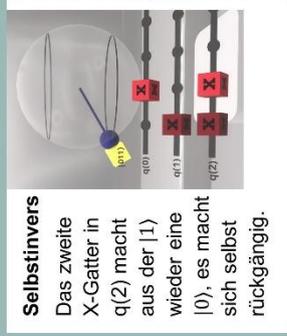
Die Qubits $q(0) : |0\rangle$
 $q(1) : |1\rangle$
 $q(2) : |1\rangle$
stehen von rechts nach links im Zustand $|110\rangle$:

$$|1\rangle|1\rangle|0\rangle = |110\rangle$$

$q(2)$ $q(1)$ $q(0)$

Selbstinvers

Das zweite X-Gatter in $q(2)$ macht aus der $|1\rangle$ wieder eine $|0\rangle$, es macht sich selbst rückgängig.



H-Gatter

erzeugt Superposition: weder $|0\rangle$ noch $|1\rangle$, nur Wahrscheinlichkeiten.

Zebra

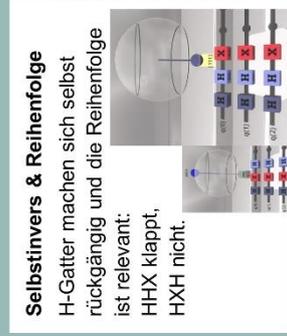
Miss Hadamard

weder weiß noch schwarz, einzelnes Haar betrachten (messen): weiß oder schwarz.



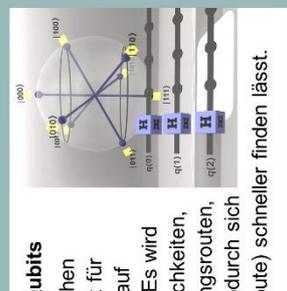
Selbstinvers & Reihenfolge

H-Gatter machen sich selbst rückgängig und die Reihenfolge ist relevant: HXH klappt, HXH nicht.



Superposition in allen Qubits

Überlagerung aller möglichen Zustände: Ausgangspunkt für Quantenalgorithmen, die auf Parallelisierung beruhen: Es wird mit allen Zuständen/Möglichkeiten, wie alternativen Verbindungsrouten, gleichzeitig gerechnet, wodurch sich die Lösung (schnellste Route) schneller finden lässt.



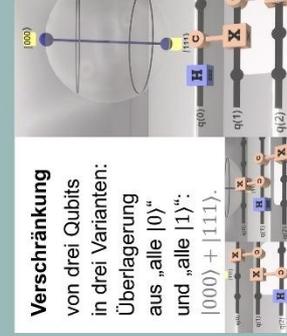
Selbstinvers & Verschränkung

CX-Gatter machen sich selbst rückgängig, alternative Lösung: $q(0)$ und $q(1)$ sind im Ausgangszustand $|000\rangle + |011\rangle$ verschränkt, entweder sind beide $|0\rangle$ oder beide $|1\rangle$, sie sind vertauschbar, daher kann das CX-Gatter auch umgedreht und dann das H-Gatter in $q(1)$ verwendet werden.



Verschränkung

von drei Qubits in drei Varianten: Überlagerung aus „alle $|0\rangle$ “ und „alle $|1\rangle$ “: $|000\rangle + |111\rangle$.





**Technische
Universität
Braunschweig**



IFdN
Institut für
Halbleitertechnik



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

QuantumVR (FKZ 13N15399) wurde im Rahmen der Förderinitiative „Quantum aktiv“ aus Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gefördert.

Franziska Greinert, Rainer Müller, Gowtham Muthusamy, Linus Krieg, Tobias Voss
Institut für Fachdidaktik der Naturwissenschaften | Institut für Halbleitertechnik
Franziska Rüdiger
SZENARIOS
Kontakt: tobias.voss@tu-braunschweig.de

Abb. 7: Poster mit den Inhalten zum Spiel.

Während des Spielens wurden Schwierigkeiten, Rückfragen und andere Auffälligkeiten in einem Beobachtungsbogen notiert. Im Anschluss an das Spiel wurde ein Fragebogen ausgegeben. Über Rating-Skalen wurden etwa der Spaß am Spiel, die Verständlichkeit der Spielregeln / des Spielziels und die empfundene Schwierigkeit erfragt. Hinzu kamen offene Fragen zu besonderen Schwierigkeiten, Verbesserungsvorschlägen und was unbedingt beibehalten werden soll.

Abschließend erhielten die Freiwilligen einen Ausdruck des Posters mit den Levelinhalten (Abbildung 7), der von allen gerne genommen wurde.

Zusätzlich zu den zwölf Jugendlichen testeten noch zwei Freiwillige aus dem Kollegium das Spiel, sodass sich eine Stichprobengröße von 14 ergab. Bei allen 14 Teilnehmenden kann von einem grundlegendem naturwissenschaftlichen Interesse bzw. entsprechendem Denken ausgegangen werden, sodass sich die Ergebnisse auch in dieser Hinsicht nicht unbedingt auf die Allgemeinheit übertragen lassen, zusätzlich zu der pandemiebedingt kleinen Stichprobengröße.

Im Folgenden wird eine Auswahl der Ergebnisse aus der Erprobung im März und daraus resultierender Anpassungen am Spiel dokumentiert.

Abbildung 8 zeigt die Beurteilung zu den Ratingfragen. Das am stärksten positiv bewertete Item ist „Spaß“, auf den bei der Spielentwicklung besonderen Wert gelegt wurde. Jedoch waren in einem Fall die Regeln nicht klar. Auch in den Beobachtungen und Anmerkungen zeigte sich, dass noch mehr Hinweise und Tipps im Spiel nötig sind, damit es zuverlässig eigenständig gespielt werden kann.

Zum Zeitpunkt der Erprobung gab es nur zu den CX-Gatter-Leveln Tipps. Diese standen erst zur Verfügung, wenn das Level nach drei Minuten nicht gelöst wurde. Sie wurden dann überwiegend direkt genutzt. Teilweise waren bereits an früheren Stellen des Spiels Hilfestellungen notwendig, die durch die Betreuungsperson gegeben wurden. Ein Level ungelöst übersprungen hat niemand.

Für die Mehrheit der Teilnehmenden waren Spieldauer und Schwierigkeit bereits passend, s. Abbildung 9. Da bei ihnen als Freiwillige aus einem ingenieurwissenschaftlichen Forschungsclub aber von einem überdurchschnittlich hohem naturwissenschaftlichen Interesse und entsprechenden Denkweisen ausgegangen werden muss, ist anzunehmen, dass i. A. die Spieldauer und die empfundene Schwierigkeit eher größer sein dürfte. Daher wurden die oben beschriebenen Tipps trotz der überwiegend als passend beurteilten Dauer und Schwierigkeit zur Reduzierung dieser umgesetzt. Zur Beschleunigung stehen die Tipps nun auch bereits nach zwei statt nach drei Minuten an einem Level zur Verfügung. Zudem werden über die ergänzten Hinweise die Spielbarkeit und das eigenständige Lösen aller Level, auch ohne Betreuungsperson, gewährleistet.

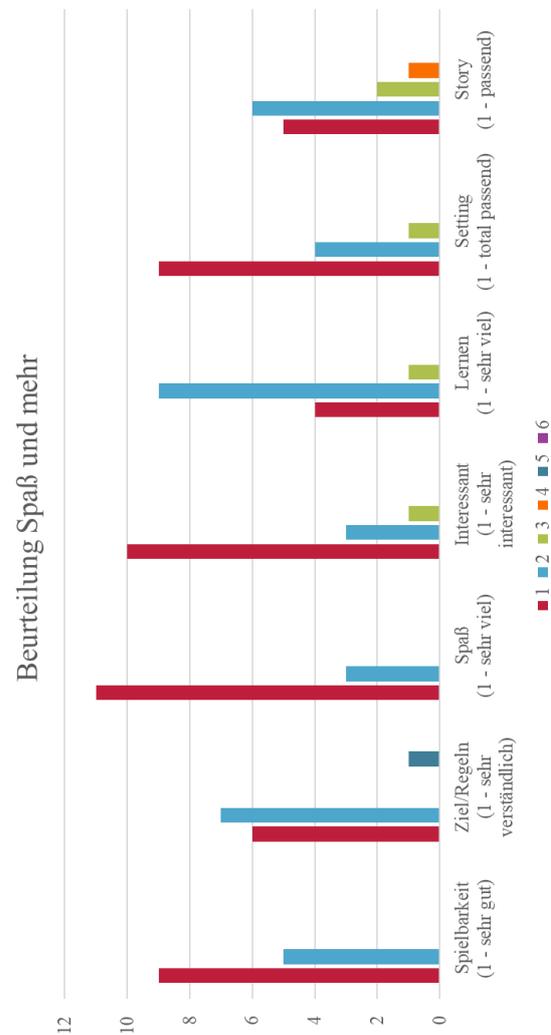


Abb. 8: Ratings der 14 Freiwilligen.

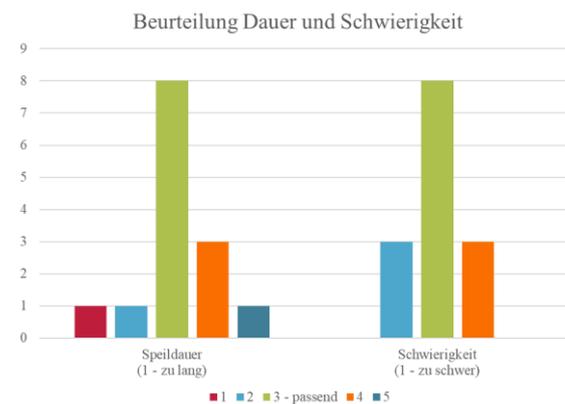


Abb. 9: Beurteilung von Spieldauer und Schwierigkeit durch die 14 Freiwilligen.

Besonders positiv wurden neben den Zustandsvisualisierungen die Tiere aufgenommen. Wünschenswert wäre jedoch eine Interaktion mit ihnen, also eine Reaktion auf eine streichelnde Hand o. Ä. Aufgrund des hohen programmier-technischen Aufwandes ließ sich dies im Rahmen des Projektes nicht umsetzen.

Die Zusammenarbeit in Zweiergruppen, bei denen eine Person die VR-Brille trägt und die zweite das Geschehen am Bildschirm verfolgt und berät, funktionierte in der Erprobung gut. In diesen Gruppen wurde über die Gatter gesprochen, nochmal in eigene Worte gefasst, was welches Gatter bewirkt, und Fragen konnten untereinander geklärt werden.

Mit der überarbeiteten Version ist auch ein Wechsel während des Spiels noch besser möglich. Über ein Menü kann nun eine Neukalibrierung der Spielhöhe aufgerufen werden. Zu Beginn des Spiels werden die Körpergröße bzw. die Höhe der VR-Brille ermittelt und anhand dessen die Höhe der Spielelemente angepasst, insbesondere der Bereiche zum Erstellen der Quantenalgorithmen. So wurde in der Erprobung die Spielhöhe auch überwiegend als passend empfunden, problematisch war jedoch ein Wechsel in einer Zweiergruppe mit einem Größenunterschied von 20 cm. Dies kann künftig während des Spiels einfach korrigiert werden.

5. Ausblick

Die im Rahmen der Förderinitiative „Quantum aktiv“ des BMBF entstandene Version ist auf Outreach ausgerichtet. Mit dem Escape-Spiel zur Quantenprogrammierung soll also vor allem Interesse geweckt werden. Zudem sollen Hemmungen in der breiten Bevölkerung gegenüber dieser neuen, für viele erstmal unverständlich scheinenden Technologie des Quantencomputers abgebaut werden. Entsprechend ist der Einsatz bei Öffentlichkeitsaktionen wie der „TU Night“, dem Tag der offenen Tür an der TU Braunschweig, dem Hochschulinformationstag oder auch der Ideenexpo in Hannover geplant.

Durch die modulare Gestaltung und die bereits enthaltenen Inhalte in den Leveln ist das Spiel aber auch mit wenig Anpassungen in der universitären Lehre oder in Schulworkshops wie den MasterClasses [3] einsetzbar. Weitere Räume mit weiteren Leveln können unkompliziert ergänzt werden.

Entsprechende Arbeiten über das Exzellenzcluster QuantumFrontiers erfolgen im Laufe des Jahres 2022. Dabei sind unter anderem auch eine englischsprachige Version und ein Mehrspielermodus geplant, um noch mehr Personen erreichen zu können und das Spiel noch kooperativer zu gestalten. Informationen zum aktuellen Umsetzungsstand, auch hinsichtlich der Zugänglichkeit zur Software, finden sich auf der Projektwebsite [9].

6. Literatur

- [1] VDI Technologiezentrum GmbH: Quantum aktiv – intuitive Outreachkonzepte für die Quantentechnologien: <https://www.quantentechnologien.de/forschung/foerderung/quantum-aktiv.html> (Stand 5/2022)
- [2] Gerke, Franziska; Müller, Rainer; Bitzenbauer, Philipp; Ubben, Malte; Weber, Kim-Alessandro

(2020): Quantum Awareness im Ingenieurwesen: Welche Kompetenzen werden in der Industrie von morgen gebraucht? In: PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung, S. 437-443: <http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/1034> (Stand 5/2022)

- [3] QuantumFrontiers: MasterClasses <https://www.quantumfrontiers.de/de/masterclasses/> (Stand 5/2022)
- [4] Schwan, Stephan (2006): Game Based Learning – Computerspiele in der Hochschullehre. https://www.e-teaching.org/didaktik/konzeption/methoden/lernspiele/game_based_learning/gamebasedlearning.pdf (Stand 5/2022)
- [5] Gee, James Paul (2005): Learning by Design: Good Video Games as Learning Machines. In: E-Learning, Volume 2, Number 1
- [6] IBM Quantum: IBM Quantum Composer: Visualizations: Q-sphere view: <https://quantum-computing.ibm.com/composer/docs/irqx/visualizations> (Stand 5/2022)
- [7] IBM Quantum: IBM Quantum Composer: <https://quantum-computing.ibm.com/composer> (Stand 5/2022)
- [8] Technische Universität Braunschweig: changING - Ein Forschungsclub im SE²A: <https://www.tu-braunschweig.de/se2a-changing> (Stand 5/2022)
- [9] QuantumFrontiers: QuantumVR: <https://www.quantumfrontiers.de/de/struktur-massnahmen/quantumvr/> (Stand 4/2022)

Förderungshinweis

QuantumVR (FKZ 13N15399) wurde im Rahmen der Förderinitiative „Quantum aktiv“ aus Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gefördert.



Entwicklung von Analogie-Experimenten zum quantenmechanischen Messprozess

Stefan Ahle*, Philipp Scheiger⁺, Holger Cartarius*

* AG Fachdidaktik der Physik und Astronomie, Friedrich-Schiller-Universität Jena
August-Bebel-Str. 4, 07743 Jena,
stefan.ahle@uni-jena.de

⁺ Physik und ihre Didaktik, 5. Physikalisches Institut, Universität Stuttgart,
philipp.scheiger@uni-jena.de

Kurzfassung

Quantenphysikunterricht steht von Natur aus vor der Herausforderung, den Lernenden ein Thema näher zu bringen, das scheinbar gegen jede alltägliche Intuition geht. Umso wichtiger scheint es, in einer multiperspektivischen Herangehensweise verschiedene Repräsentationen für das komplexe Verhalten von Quantenobjekten zu wählen. Im Folgenden bieten wir eine Repräsentation zum Verhalten von Einzelphotonen an Polarisationsfiltern an, die auf der Zusammenarbeit von 3D-Druck, Arduino-Microcontrollern und NFC-Chips basiert. Besonderer Fokus dieser Analogie fällt dabei auf den quantenphysikalischen Messprozess.

1. Motivation

Die Bildungsstandards der Kultusministerkonferenz 2020 sehen vor, über „grundlegende Aspekte der Quantentheorie“ hinaus, Themen und Inhalte der modernen Physik zu behandeln und so ein „quantenphysikalisches Weltbild hinsichtlich der Begriffe Realität, Lokalität, Kausalität, Determinismus“ [1] zu vermitteln. Damit rückt die Quantenphysik als Randthema, für das am Ende des Schuljahres selten noch Zeit bleibt, immer mehr in den Fokus des Oberstufenphysikunterrichts. Das heißt zum einen, dass sie in kommenden Lehrplänen größeren Raum einnehmen wird und zum anderen, dass der Bedarf an unterstützenden Lehr-Lern-Materialien steigt. Von Lehrerinnen und Lehrern wird nun gefordert, Inhalte abzuhandeln, die zu ihren eigenen Schul- und Studienzeiten nur sehr grundlegend oder eventuell gar nicht diskutiert wurden, insbesondere weil deren experimentelle Nachweise teils noch ausstehen. Um so wichtiger scheint es, Lehrkräfte nun gezielt zu unterstützen und eine Vielfalt an Materialien, die in jeden Schulphysik-Etat passen, zur Auswahl zu stellen. Dabei gilt es insbesondere, solche Elemente einzubauen, die es den Lernenden ermöglichen, einen Einblick in die moderne Quantenphysik und -technologien zu bekommen. Dafür geeignete Lehrkonzepte wie die Wesenszüge der Quantenphysik [2] oder schultaugliche Analogversuche wie der Quantenradierer [3] stehen dabei prinzipiell schon sehr lange zur Verfügung. Aktuelle Ansätze und auch komplett ausgearbeitete Lehrgänge konzentrieren sich nun auf Themen der Quantentechnologien 2.0. Dazu gehören Ansätze zum Quantencomputer [4] und Quantenzufall [5, 6] oder Versuche, neue Lehrkonzepte [7-10] an einen

sich wandelnden Schulalltag anzupassen. Durch das wachsende wirtschaftliche und gesellschaftliche Interesse stieg in den letzten Jahren ebenfalls der Bedarf an Studien [11, 12, 13], die evaluieren, wie dieses Lehrmaterial aussehen sollte, um Lernende auf eine mögliche (berufliche) Zukunft im Bereich der Quantenphysik vorzubereiten. Darüber hinaus werden Möglichkeiten der Digitalisierung vermehrt genutzt, um Bildungsangebote auf dem Gebiet der Quantenphysik voranzutreiben [14 - 16].

Das Vermitteln der Konzepte der Quantenphysik stellt jedoch eine besondere Herausforderung dar, weil sie abstrakt und uns nicht intuitiv zugänglich sind. Dadurch bleibt jede Repräsentation der Quantenphysik in besonderem Maße unvollständig und es entsteht der Bedarf, auf mehrere, unterschiedliche Repräsentationen zurückzugreifen. In dieser Arbeit möchten wir einen Ansatz vorstellen, in dem Analogieexperimente einen Zugang zum Verhalten von Quantenobjekten liefern. Dazu wird auf einen Aufbau mit Arduino-Microcontrollern und NFC-Chips zurückgegriffen. Die Chips dienen als Stellvertreter für Photonen, die einen (auf ihnen abgespeicherten) Polarisationszustand besitzen. Mittels einer selbst entwickelten Mechanik, die sich im 3D-Druck herstellen lässt, werden die Chips durch einen Aufbau gelassen (transmittiert) oder abgefangen (absorbiert), was stellvertretend für einen Polfilter steht.

Grundlegende Eigenschaften der Quantenphysik wie der Zufall im Messprozess müssen dabei zwangsweise simuliert werden, da wir es nicht mit realen Quantenobjekten zu tun haben. Diese Aufgabe übernimmt ein entsprechend programmierter Arduino-

Microcontroller. Die Simulation soll bewusst thematisiert werden, um aufzuzeigen, dass sich Quantenobjekte prinzipiell anders als klassisches Verhalten und ein Eingreifen in Form einer Simulation notwendig ist, um die Quantenphysik mit klassischen Objekten nachstellen zu können.

Selbstverständlich hat auch die hier gewählte Repräsentation der Quantenphysik entscheidende Schwächen. So können die analogen Objekte angefasst werden und sind lokalisierte klassische Gegenstände. Es ist daher auch hier nicht angedacht, diese Analogieexperimente als einzigen Zugang zu wählen. Die Ansprüche, die jedoch an das Analogie-Experiment gestellt werden, sind:

- Die Versuche, die mit dem Modell konstruiert werden, geben Ergebnisse echter quantenphysikalischer Experimente genau wieder.
- Jede Manipulation, die nötig ist, um im makroskopischen Aufbau die Ergebnisse eines Quantensystems nachzustellen, kann offengelegt werden. Es wird klar: ein klassisches System verhält sich nicht wie ein Quantensystem, außer man „trickst“.
- Das Lernen am Modell macht die abstrakten Themen der Quantenphysik nahbarer. Unterstützend zu theoretischen Inhalten und praktischen Realexperimenten eröffnet die Analogie einen weiteren Zugang zu einem Fachbereich, der für die meisten Lernenden gegen die klassische Intuition geht.

Damit lassen sich bereits einige Eigenheiten der Quantenphysik wie der Zufall des Messprozesses, die stochastische Vorhersagbarkeit, die Eindeutigkeit der Messung oder die Umpräparation eines Zustandes durch die Messung verdeutlichen. Wir gehen dazu wie folgt vor. In Kapitel 2 rufen wir die wichtigsten Aspekte des Polarisationsexperimentes im Rahmen einer klassischen und quantenphysikalischen Betrachtung in Erinnerung. Damit stellen wir in Kapitel 3 das entwickelte Analogieexperiment vor und verdeutlichen, wie es eingesetzt werden kann. In Kapitel 4 geben wir einen Ausblick auf die Weiterentwicklung.

2. Polarisationsexperiment

Die Polarisation spielt als physikalisches Phänomen in vielen technischen Bereichen eine wichtige Rolle. Bereits seit Beginn des 20. Jahrhunderts macht man sich den Wellencharakter des Lichts zu Nutze, um optische Effekte zu manipulieren und das Verhalten von elektromagnetischer Strahlung zu beeinflussen. Firmen wie Zeiss und Kodak machten sich einen Namen durch den kommerziellen Vertrieb von Polarisationsfiltern zur Verwendung in der Fotografie. Optische Instrumente wie Mikroskope verbesserten ihre Darstellungsqualität und erweiterten ihren Einsatzbereich. Darüber hinaus profitiert heute die breite Öffentlichkeit von Anwendungen optischer Polfilter: von Sonnenbrillen, über LCD-Anzeigen, bis hin zu Autoscheinwerfern [17].

Was all diese Anwendungen gemein haben, ist, dass sie sich hauptsächlich makroskopische Effekte des Phänomens zunutze machen und Lichtintensität selektiv abschwächen, indem sie – je nach Orientierung – nur einen gewissen Anteil der Gesamtmenge an Photonen transmittieren, während der Rest absorbiert wird. Außerdem ändert das Licht seinen Polarisationszustand: nach der Transmission unterscheidet man zwischen linear und zirkular polarisiertem Licht. Betrachtet man auf einer quantenphysikalischen Ebene das Verhalten einzelner Photonen, ergeben sich eindeutige Unterschiede zur kontinuierlichen, klassischen Perspektive. Trotzdem ist die klassische Perspektive gut geeignet, um eine Analogie-Brücke zur Quantenphysik zu schlagen (siehe z.B. in [3]).

An folgendem Polarisationsversuch werden nun die Perspektive der klassischen Elektrodynamik und der Quantenphysik verglichen. Anschließend wird gezeigt, wie das vorliegende Analogieexperiment eine didaktische Erarbeitung des Phänomens unterstützen und so Bestandteil eines modernen Quantenphysikunterrichts werden kann.

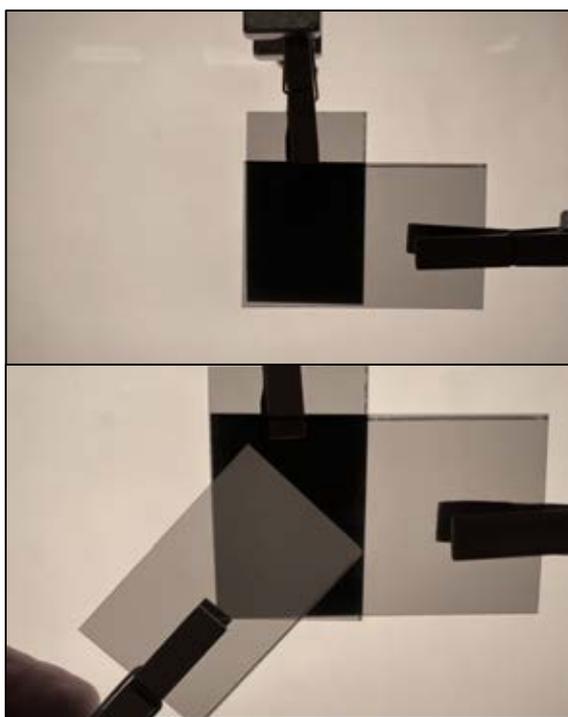


Abb. 1: Freihandversuch zur Polarisation von Licht im Physikunterricht. Oben: Zwei 90° zueinander verdrehte Polarisationsfilter blockieren beinahe die Gesamtintensität einer Lichtquelle. Unten: Wird ein dritter, zum ersten 45° verdrehter, Filter zwischen die beiden ursprünglichen Filter gesetzt, passiert ein größerer Anteil des Lichts die Anordnung als zuvor.

Hält man einen Polfilter für eine lineare Polarisierung vor eine Quelle „unpolarisierten“ Lichts (also Lichts, in dem alle Polarisationsrichtungen vorkommen, siehe unten) und fügt dann einen zweiten Filter, der um 90° zum ersten verdreht ist, hinzu, wird im idealisierten Fall das gesamte Licht absorbiert. Fügt man

nun jedoch einen dritten Filter zwischen Filter 1 und Filter 2 ein, 45° zu beiden verdreht, so wird doch ein Teil des Lichts transmittiert. Wieso absorbieren drei Filter weniger Licht als zwei? Abbildung 1 stellt dieses Phänomen in einem schultauglichen Freihandversuch anschaulich dar und wir möchten die bekannten Grundlagen hier kurz für das Aufzeigen der später gewählten Analogie in Erinnerung rufen. Benötigt werden ausschließlich drei Teile der gleichen Polarisationsfolie und eine herkömmliche Lichtquelle.

2.1. Klassische Erklärung

Klassisch versteht man Licht als elektromagnetische Transversalwelle, deren E- beziehungsweise B-Feldvektoren in alle Richtungen senkrecht zur Ausbreitungsrichtung schwingen können. Passiert diese Welle einen linearen Polfilter, werden nur die Anteile transmittiert, deren Schwingungsrichtung der Polarisationsachse (Durchlassrichtung) des Filters entsprechen. Durch den Durchlauf eines Filters halbiert sich so die Intensität im Vergleich zur Ausgangsintensität des unpolarisierten Lichts. Trifft dieses nun polarisierte Licht auf einen zweiten Polfilter, gilt das Gesetz von Malus:

$$I = I_0 \cdot \cos^2(\alpha) \quad \{1\}$$

Dabei ist I_0 die Intensität vor dem zweiten Filter und I die Intensität hinter diesem. Von der Gesamtheit polarisierten Lichts werden somit nun 50% transmittiert, wenn der zweite Polfilter um 45° zum ersten verdreht ist. Folgt nach dem zweiten noch ein dritter Filter, der wiederum um 45° zum zweiten (also 90° zum ersten) Filter ausgerichtet wurde, wird erneut die Hälfte, sprich 25% von I_0 transmittiert. Dies wird in folgender Rechnung ersichtlich:

- Nach dem 1. Filter:

$$I = I_0 \quad \{2\}$$

- Nach dem 2. Filter:

$$I = I_0 \cdot \cos^2(45^\circ) = 0,5 \cdot I_0 \quad \{3\}$$

- Nach dem 3. Filter:

$$I = 0,5 \cdot I_0 \cdot \cos^2(45^\circ) = 0,25 \cdot I_0 \quad \{4\}$$

Im Gegensatz dazu lautet die Rechnung im Fall von zwei Polfiltern, die 90° zueinander verdreht sind:

- Nach dem 2. Filter:

$$I = I_0 \cdot \cos^2(90^\circ) = 0 \cdot I_0 \quad \{5\}$$

Das klassische Wellenbild des Lichts erlaubt also eine Erklärung des Phänomens mit einfachen Mitteln. So kann im schulischen Kontext auf das Thema hingeführt werden, bevor man sich anschließend quantenphysikalischen Fragestellungen widmet.

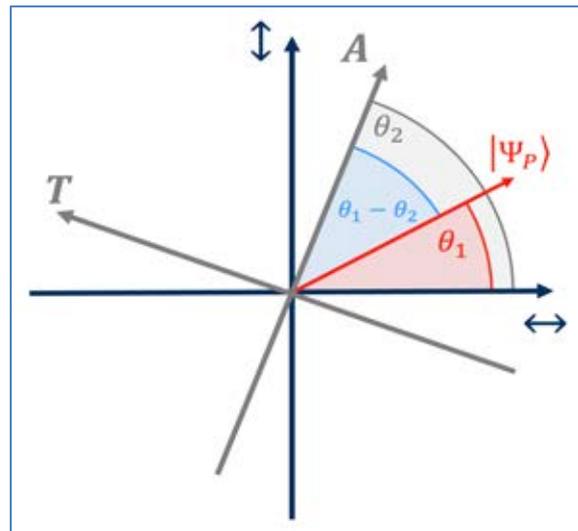


Abb.2: Um einen Polarisationszustand $|\Psi_P\rangle$ definieren zu können, wird dieser in einer horizontal-vertikalen Referenzbasis ($\leftrightarrow, \updownarrow$) dargestellt und ihm der Winkel θ_1 zugeordnet. Als nächstes wird eine Messbasis definiert, die Absorption (A) und Transmission (T) beschreibt und im Winkel θ_2 zur Referenzbasis verdreht ist. Die Absorptionswahrscheinlichkeit P_A ergibt sich in der quantenmechanischen Rechnung aus dem Betragsquadrat des Skalarprodukts aus $|\Psi_P\rangle$ und $|\Psi_A\rangle$ $\{9\}$, und somit dem Kosinusquadrat des Differenzwinkels $\theta_1 - \theta_2$.

3. Quantenphysikalische Erklärung

Das Gesetz von Malus wird hergeleitet über eine kontinuierliche Argumentation aus der klassischen Feldtheorie, in der über die Zerlegung der Komponenten der Feldvektoren die winkelabhängige Amplitude und letztlich die Intensität bestimmt werden. Für das Verhalten der unteilbaren Einzelphotonen muss die Argumentation anders lauten. Zunächst ist zu beachten, dass es kein „unpolarisiertes“ Licht gibt. Spricht man von diesem, meint man meist die Gesamtheit aller sich in einem Lichtstrahl befindlichen Photonen, die tatsächlich alle möglichen Polarisationszustände einnehmen können und im Mittel somit keine bevorzugte Polarisationsrichtung aufweisen. Trifft ein einzelnes Photon auf den Filter, so hängt dessen Passieren von seiner Absorptions- bzw. Transmissionswahrscheinlichkeit entsprechend seiner Orientierung ab – je nachdem, wie groß der Winkel zwischen Polarisation des Photons und Durchlassrichtung des Filters ist. Der exakte Wert der Wahrscheinlichkeit entspricht dabei dem Intensitätsverhältnis nach dem Gesetz von Malus aus der klassischen Betrachtung. Wird beispielsweise ein genau vertikal eingestellter Filter von einem Photon getroffen, dessen Polarisationszustand genau mit der Durchlassrichtung übereinstimmt, so besteht eine einhundertprozentige Chance, dass dieses Photon den Filter passiert. Befindet sich ein Photon im Gegensatz dazu in einem um 90° verdrehten, sprich horizontalen, Polarisationszustand, wird dieses Photonen mit gleicher

Wahrscheinlichkeit absorbiert. An dieser Stelle sollte man erkennen, dass es sich bei Photonen um Quantenobjekte handelt, die als solche den Regeln der Quantenphysik unterliegen.

Dazu gehört insbesondere, dass wir keine Aussagen über den Zustand jenes Photons machen können, sollten wir diesen nicht explizit präpariert haben, bis wir ihn messen – oder im Fall des Polarisationsfilters: Die Entscheidung, ob das Photon den Polarisationszustand des Filters annimmt, fällt erst, wenn es detektiert wird. Bis zu diesem Moment können wir nur Wahrscheinlichkeitsaussagen über dessen Verhalten treffen. Abbildung 2 versucht die Überlegungen folgender Rechnung grafisch zu unterstützen.

- Polarisationszustand in dem sich das Photon nach der Präparation befindet:

$$|\Psi_P\rangle = \sin \theta_1 |\downarrow\rangle + \cos \theta_1 |\leftrightarrow\rangle \quad \{6\}$$

- Absorptions- und Transmissionszustand werden definiert über eine zur Referenzbasis um θ_2 verdrehte Messbasis:

$$|\Psi_A\rangle = \sin \theta_2 |\downarrow\rangle + \cos \theta_2 |\leftrightarrow\rangle \quad \{7\}$$

$$|\Psi_T\rangle = \cos \theta_2 |\downarrow\rangle - \sin \theta_2 |\leftrightarrow\rangle \quad \{8\}$$

- Die Projektion des Polarisationszustand auf die Messbasis gibt Aufschluss über das Messergebnis. Um Aussagen über das Verhalten des Photons am Polfilter treffen zu können, muss dessen Absorptions- beziehungsweise Transmissionswahrscheinlichkeit ermittelt werden. Die quantenmechanische Rechnung liefert:

$$P_A = |\langle\Psi_A|\Psi_P\rangle|^2 = \cos^2(\theta_1 - \theta_2) \quad \{9\}$$

$$P_T = |\langle\Psi_T|\Psi_P\rangle|^2 = \sin^2(\theta_1 - \theta_2) \quad \{10\}$$

Im Spezialfall $\theta_1 = 0$ ergibt sich, wie oben erwähnt, dass die Wahrscheinlichkeit denselben Wert hat wie die Intensitätsaufteilung nach dem Gesetz von Malus. Das einzelne Photon wird jedoch komplett absorbiert oder durchgelassen. Erst die Statistik aus vielen Photonen reproduziert die Intensitätsverteilung und liefert im Experiment eine Information über die hier berechneten Wahrscheinlichkeiten.

4. Analogie

Um das Ziel, mit Analogie-Experimenten die Eigenheiten der Quantenmechanik greifbar zu machen, erreichen zu können, haben wir uns in diesem Aufbau für eine hybride – halb mechanische, halb digitale – Herangehensweise entschieden. Dabei kam es vor allem darauf an, die Ergebnisse der realen Versuche nachvollziehbar nachzustellen. Dazu dient vorliegende Umsetzung des Polarisationsversuchs.

Der Aufbau besteht im Wesentlichen aus der Reihenschaltung von zwei, drei oder mehreren Iterationen eines Polarisationsfiltermoduls. Dieses „Modul“ ist in Abbildung 3 darstellt und funktioniert analog zum realen Polfilter. Es „filtert“ statt Photonen münzgroße NFC-Chips, auf denen ein Polarisationszustand

gespeichert werden kann. Das Modul erlaubt dem Benutzer über ein Drehrad, eine Orientierung des Filters zwischen 0° und 90° (horizontal und vertikal) einzustellen – entsprechend der manuellen Ausrichtung eines Polfilters zur Lichtquelle. Der eingestellte Winkel wird auf einem OLED-Display an der Seite des Gehäuses abgebildet. In die Öffnung auf der Oberseite kann ein NFC-Chip geworfen werden, welcher anschließend vom RFID-Modul im Inneren gelesen wird. Als Steuerelement der gesamten Einheit dient ein Arduino MEGA-Microcontroller, der ein- und ausgehende Daten verarbeitet und entscheidet, ob der Chip „absorbiert“ oder „transmittiert“ wird. Dazu vergleicht das Gerät den auf dem Chip gespeicherten Winkel, mit dem, der am Polfiltermodul eingestellt ist. Entsprechend der Rechnung aus {9} wird eine Absorptionswahrscheinlichkeit ermittelt. Mit Hilfe einer in der Software generierten Pseudo-Zufallszahl wird entschieden, ob sich eine eingebaute Klappe nach links oder rechts öffnet und so den Chip in die eine oder andere Richtung weiterleitet. Bevor dieser jedoch durchgelassen (transmittiert) oder in ein Reservoir „absorbiert“ wird, wird er mit dem eingestellten Winkel des Polfiltermoduls beschrieben. Der Benutzer hat, wie im Realexperiment auch, nur Einfluss darüber, welcher Winkel am Polfiltermodul eingestellt ist. Schaltet man nun mehrere dieser Boxen hintereinander, lassen sich die Ergebnisse des klassischen Schulversuchs zur Polarisation von Licht mit einzelnen Photonen im Modell nachstellen.



Abb.3: Prototyp des Polarisationsmoduls zum Analogie-Experiment.

Der modulare Aufbau ist so flexibel, dass er für verschiedene Aufgaben in unterschiedlichen Lehrszenarien eingesetzt werden kann. So kann man mit einem einzelnen Filter simulieren, wie aus unpolarisiertem

Licht polarisiertes wird. Nimmt man einen zweiten identisch eingestellten Filter hinzu, kann man zeigen, dass alle Chips von diesem durchgelassen werden. Anschließend kann man das Freihandexperiment nachstellen und zeigen, dass alle Chips irgendwo absorbiert werden, wenn man zwei zueinander senkrechte Polarisationsfilter nimmt. Baut man einen dritten, um 45° verdrehten ein, sieht man, dass nach einer ausreichenden Zahl an Chips (bis auf stochastische Fluktuationen) die erwarteten 25% der durchgelassenen Chips am Ausgang auftreten. Diese Konzepte lassen sich mit beliebigen Kombinationen von Winkeln erweitern, sodass man es den Lernenden z.B. selbst überlassen kann, auf die Idee zu kommen, wie sie mehr als 25% der Chips durch den Aufbau hindurch bekommen, wenn der erste und letzte Filter weiterhin 90° zueinander verdreht sind.

Ziel der Analogie sollte es aber immer bleiben, aufzudecken, was im Realexperiment verborgen bleibt: Eine Tür an der Seite der Polarisationsmodule lässt es zu, ins Innere der Box zu spähen und deren Funktionsweise zu erraten: man erkennt die elektronischen Bauteile, die den Weg des Chips beeinflussen. Zusätzlich lässt sich die Box via USB an einen Computer anschließen. Dort kann man dann die genauen Arbeitsschritte des Microcontrollers in dessen Software in Echtzeit nachvollziehen. Hält man einen Chip an das RFID-Element der Box, erscheint der auf dem Chip gespeicherte Polarisationswinkel am Bildschirm. Außerdem wird der am Modul eingestellte Winkel angezeigt, zusammen mit der Rechnung $\{9\}$, die die Absorptionswahrscheinlichkeit liefert. Eine Zufallszahl und die daraus resultierende Entscheidung zur Absorption oder Transmission werden ausgegeben. So entsteht ein Fließschema aus Rechenschritten, die im Wesentlichen dem Programmcode entsprechen, nachvollziehbar für den Lernenden. In einem anderen, eher projektartigen Rahmen könnte man mit Interessierten alternativ den tatsächlichen Arduino-Code untersuchen. Die benutzerfreundliche open-source Oberfläche ermöglicht es, ohne Programmierkenntnisse, die Funktionsweise bis in Detail nachzuvollziehen. Es wird somit jeder Schritt, der dazu nötig ist, die quantenphysikalischen Ergebnisse auszugeben, offengelegt.

Trotzdem bleiben wichtige Eigenschaften der Quantenphysik für die Lernenden weiterhin erhalten:

- Quantenobjekte sind unteilbar (wie hier die Chips), werden als einzelnes Quantenobjekt entweder ganz absorbiert (und verschwinden aus dem Aufbau) oder als Ganzes durchgelassen.
- Führt man den Versuch mit vielen Chips durch, ergibt sich eine Verteilung, die dem Gesetz von Malus entspricht, jedoch stochastische Fluktuationen aufweist.
- Für das einzelne Photon ist keine Vorhersage des Verhaltens möglich, es sei denn, man hat dessen Zustand spezifisch präpariert.

Selbstverständlich muss man bei diesem Aufbau auch Abstriche machen, da es sich um eine Analogie handelt, deren Modellcharakter die Ergebnisse der Quantenphysik makroskopisch nachbildet: So muss der NFC-Chip im Gehäuse des Polfiltermoduls einen Weg gehen, um an der einen oder anderen Stelle ausgegeben zu werden. Dieser Weg ist einsehbar – ein Prinzip, das dem Verhalten von Quantenobjekten widersprechen würde.

Wie schon in der Einleitung erwähnt, ist auch dieser Aufbau nur eine Repräsentation der Grundlagen der Quantenphysik, die ihre Vor- und Nachteile hat. Aufgrund seiner Einfachheit bietet es sich an, ihn in Kombination mit anderen Repräsentationen einzusetzen. Dies kann z.B. das reale Experiment mit klassischem Licht sein, indem man die Intensität am Ausgang hinter mehreren Polfiltern entweder auf einem Schirm auftreffen lässt und mit dem Auge abschätzt oder mit einer Fotodiode ausmisst.

5. Ausblick

Es stellte sich heraus, dass der Aufbau mit 3D-Druck und Microcontroller-Steuerung vielseitige Möglichkeiten bietet, die nun darauf warten, in realen Unterrichtssituationen oder Schülerlaboren getestet zu werden. Parallel dazu werden die vorhandenen Module aber auch weiterentwickelt, um so weitere quantenoptische Experimente nachzustellen. Dieses Projekt wird in weiteren Schritten dann auf die Erfahrungen mit Schulklassen im Schülerlabor aufbauen und es Lehrkräften ermöglichen, die Materialien im eigenen Unterricht einzusetzen.

6. Literatur

- [1] Kultusministerkonferenz (2020): Bildungsstandards im Fach Physik für die Allgemeine Hochschulreife. URL.: https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2020/2020_06_18-BildungsstandardsAHR_Physik.pdf (Stand 6/2022)
- [2] Küblbeck, J.; Müller, R. (2002): Die Wesenszüge der Quantenphysik: Modelle, Bilder und Experimente. Aulis-Verlag Deubner & Co. KG, Köln
- [3] Küblbeck, J. (2000): Der Quantenradierer: Ein einfaches Experiment mit Polarisationsfiltern am Doppelspalt für den Physikunterricht. In: Praxis der Naturwissenschaften Physik, Heft 8/49, Aulis Verlag Deubner & Co. KG, Köln; Lotze, K.-H. (Hrsg.)
- [4] Pospiech, G. (2021): Quantencomputer & Co.: Grundideen und zentrale Begriffe der Quanteninformation verständlich erklärt. Springer Spektrum Wiesbaden. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-658-30445-4>
- [5] Heusler, S.; Schlummer, P.; Ubben, M. (2021): The Topological Origin of Quantum Randomness. Symmetry, 13(4):581. DOI: <https://www.mdpi.com/2073-8994/13/4/581>

- [6] Aehle, S.; Cartarius, H. (2021): Didaktische Ansätze für Quantum Random Number Generators (QRNG). In: *PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung Bonn*; Grötzebauch, H. (Eds.)
- [7] Bitzenbauer, P.; Meyn, J. (2020): A new teaching concept on quantum physics in secondary schools. In: *Physics Education* 55(5) 055031
- [8] Scheiger, P.; Nawrodt, R.; Cartarius, H. (2020): Interaktive und aktivierende Lehrkonzepte in der Theoretischen Physik. In: *PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung Bonn*; Nordmeier, V.; Grötzebauch, H. (Eds.)
- [9] Filk, T. (2019): *Quantenmechanik (nicht nur) für Lehramtsstudierende*. Springer Spektrum, Berlin.
- [10] Pospiech, G.; Schöne, M. (2020): Teacher Education in Quantum Physics – A Proposal for Improving Content Knowledge. In: *ESERA'19 – Conference Proceedings*, 1452
- [11] Greinert, F.; Müller, R.; Bitzenbauer, P.; Ubben, M.; Weber, K.-A. (2021) Ermittlung von Anforderungen an künftige Quanten-Fachkräfte: Zwischenbericht aus der Delphi-Studie. In: *PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung Bonn*; Grötzebauch, H. (Eds.)
- [12] Weber, K.-A.; Friege, G.; Scholz, R. (2020): Quantenphysik in der Schule – Was benötigen Lehrkräfte? Ergebnisse einer Delphi-Studie. In: *ZfDN* 26, 173–190. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40573-020-00119-6>
- [13] Ivanjek, L.; Shaffer, P.; Planinic, M.; McDermott, L. (2020): Probing student understanding of spectra through the use of a typical experiment used in teaching introductory modern physics, *Physical Review Special Topic - Physics Education Research*. Vol. 16, Iss. 1., 010102, DOI: <https://journals.aps.org/prper/abstract/10.1103/PhysRevPhysEducRes.16.010102>
- [14] Greinert, F.; Müller, R. (2021): Playing with a Quantum Computer. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2108.06271>
- [15] Schlummer, P.; Laustöer, J.; Schulz-Schaeffer, R.; Abazi, A.; Schuck C.; Pernice, W.; Heusler, S.; Laumann, D. (2020): MiReQu - Mixed Reality Lernumgebungen zur Förderung fachlicher Kompetenzentwicklung in den Quantentechnologien. In: *PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung Bonn*; Grötzebauch, H. (Eds.)
- [16] Donhauser, A.; Bitzenbauer, P.; Meyn, J.-P. (2020): Von Schnee- und Elektronenlawinen: Entwicklung eines Erklärvideos zu Einzelphotonendetektoren. In: *PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung Bonn*; Grötzebauch, H. (Eds.)
- [17] Grabau, M. (1938): Polarized Light Enters the World of Everyday Life. In: *Journal of Applied Physics* 9, 215 (1938); DOI: <https://doi.org/10.1063/1.1710411>

Explanation of Quantum Physics by Gravity and Relativity

- A Possible Course -

Hans-Otto Carmesin*

*¹Gymnasium Athenaeum, Harsefelder Straße 40, 21680 Stade

²Studienseminar Stade, Bahnhofstr. 5, 21682 Stade

³Universität Bremen, Fachbereich 1, Postfach 330440, 28334 Bremen

hans-otto.carmesin@t-online.de

Kurzfassung

Die Quantenphysik ist sehr geeignet zur Beschreibung der Natur und zur Entwicklung neuer Technologie. Allerdings war die Quantenphysik bisher nicht wirklich verstanden. Stattdessen wurden Quantisierungsverfahren und Postulate vorgeschlagen, ohne eine Herleitung aus allgemeineren physikalischen Erkenntnissen zu entwickeln. Nun ist die Quantenphysik als natürliche Folge der Dynamik des Vakuums hergeleitet. Diese Dynamik wiederum ist aus der Gravitation und Relativität hergeleitet. Also ist Quantenphysik eine natürliche Folge von Gravitation und Relativität. In diesem Aufsatz analysiere ich die didaktische Perspektive des Themas. Dazu leite ich die Dynamik des Vakuums sowie die Quantenphysik her. Hierfür schlage ich ein didaktisches Konzept für einen Kurs der Quantenphysik vor. Das Konzept habe ich in zwei Lerngruppen erprobt, in einer Jugend forscht Arbeitsgruppe für die Klassenstufen 8 bis 13 und in einem General Studies Kurs an der Universität Bremen. Ich berichte ich über Erfahrungen mit dem Konzept in den beiden Lerngruppen.

Abstract

Quantum physics is very successful in describing nature and developing technology. However, quantum physics has not yet been really understood. Instead, quantization procedures and postulates had been proposed without derivation from more general physics. Now, quantum physics has been derived as a natural consequence of the dynamics of vacuum. These dynamics, in turn, have been derived from gravity and relativity. Thus, quantum physics is a natural consequence of gravity and relativity. In this paper, I analyse the didactical perspective of the topic. For it, I derive the dynamics of the vacuum, and there from, I derive quantum physics. On that basis, I propose a didactical concept for a course of quantum physics. I tested that concept in two learning groups: a research club for classes 8 to 13 and a general studies course at the university Bremen. I report about the experience with the use of that concept in the two learning groups.

1. Introduction

Students are highly interested in astronomy and astrophysics (Elster 2010, Jenkins 2006, Pössel 2015). Moreover, students are also interested in the characteristics of nature (Elster 2010), this includes the field of quantum physics and general relativity, including gravity. Hereby, Einstein, Podolsky and Rosen (1935) pointed out that the relation between relativity and quantum physics represents an especially interesting question about the characteristics of nature. Indeed, there has been some progress (Bell 1964, Aspect et al. 1981), however, according to Weinberg (2017), that does not yet provide a sufficient answer. Similarly, Feynman (1965, p. 129) wrote: ‘... I think I can safely say that nobody understands quantum mechanics.’ Accordingly, the student’s interest in the relation between relativity and quanta provides a basis for a substantial didactical perspective.

1.1. Didactical perspective

The didactical perspective can be analysed in the framework of the didactical triangle, see Franke and Gruschka (1996) or Fig. 1. That triangle represents the relation between the students, the teacher and the subject. Hereby, the relation between the students and the subject is characterized by a high interest of the students, including the motivating aspect of scientific curiosity. According to that scientific question about the relation of relativity and quantum physics, the subject physics can be represented by the two fundamental concepts of physics, see Fig. 2.

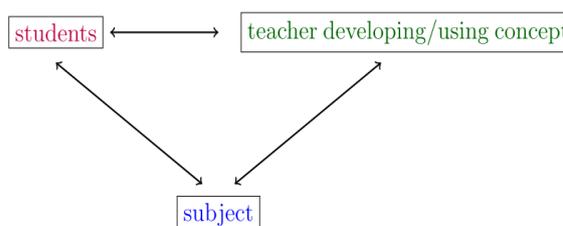


Fig. 1: Didactical triangle.

According to the didactical triangle, the role of the teacher becomes essential. The teacher should take care of the following expectations: Firstly, the students expect answers. Secondly, some advanced students expect methods, so that they can achieve answers on their own. Thirdly, the students expect the teacher to present an actual topic, if possible (see e. g. Busch 2009). The present scientific question represents an actual topic, of course. Fourthly, the teacher is expected to take care of respective curricula. Thus, an actual scientific question can be included in lessons in research clubs, or in university lectures, for instance. Altogether, the present topic has a substantial didactical potential. Hereby, the most interesting didactical perspective is to enable the students to obtain answers on their own. For it, an analysis of the subject and a development of a productive concept are preconditions, see sections (1.2-1.5, 2-6).

Moreover, quantum physics provides substantial opportunities in quantum technologies. So there is an additional didactical potential, whereby the physical and technological aspect are both essential, see Pso piech (2021). In particular, phenomena and basic principles represent essential fields with corresponding skills and competences, see Gerke et al. (2021).

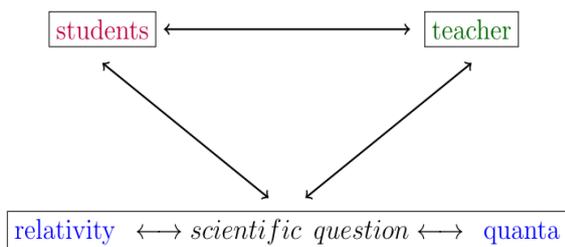


Fig. 2: Didactical triangle with scientific question.

1.2. Didactical perspective of vacuum

The scientific question about the relation of quantum physics and relativity (including gravity) can be treated in an analytic and productive manner. For it, the dynamics of the vacuum are analysed.

These dynamics of vacuum provides several didactical perspectives, see Fig. 3. In fact, I presented the topics illustrated in Fig. 3 to students ranging from class 8 to 13 (see Carmesin, 2021f, Lieber and Carmesin 2021, Carmesin and Carmesin 2020) in a research club and to students of a general studies course at a university. In both groups, the students were able to describe the steps of derivations and to discuss the consequences. Moreover, some advanced students derived some results on their own. Some of these presented their results at Jugend forscht competitions and won prizes. In particular, the students of both groups achieved the following competences:

The students described and discussed the steps of the derivation of the dynamics of vacuum (sections 2-4). As an advance organizer, I summarize the dynamics of vacuum: Vacuum represents a concept of physics,

whereas concepts of space are used in mathematics and in physics. Basically, the dynamics of vacuum have been derived from fundamental physical principles including quantum physics, see e. g. Carmesin (2017, 2018a, b, 2019a, 2021a-f), moreover, quantum physics has been derived from gravity and special relativity only (Carmesin 2022a).

In particular, vacuum dynamics provides various results: Basically, the dynamics of vacuum describe the following: three-dimensional vacuum, and more generally higher dimensional vacuum, see e. g. Carmesin (2021a, f). Vacuum dynamics have been analysed at a semi-classical level and at a quantum physical level, see e. g. Carmesin (2021a, f). Basically, vacuum dynamics describe the formation of space, and more generally the formation of matter as well as the formation of elementary charges, couplings and of fundamental interactions, see Carmesin (2021a-f, 2022b, c). Basically, the dynamics of vacuum describe the rate of expansion of space since the Big Bang, including the Hubble constant H_0 , and more generally the Hubble tension and the era of inflation (Carmesin 2021a-c). Vacuum dynamics describe the propagation of the gravitational interaction, see Carmesin (2021a). Basically, vacuum dynamics describe the formation and propagation of vacuum at a far distance of a possible black hole with a Schwarzschild radius R_s , $R_s/R \gg 1$, and more generally the formation and propagation of vacuum in the vicinity of a black hole Carmesin (2022a, Eq. 3.250-3.252).

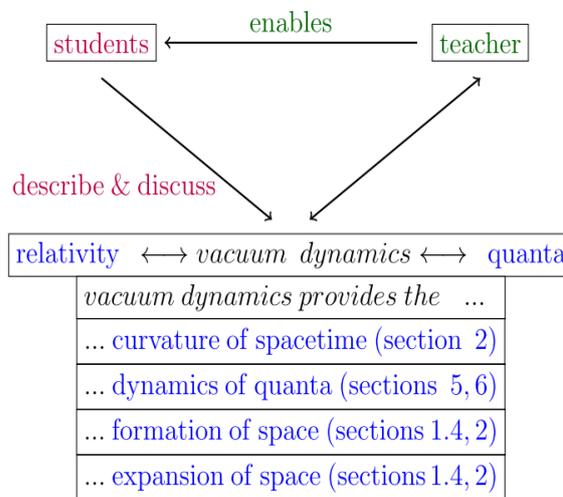


Fig. 3: Didactical triangle illustrates students describing and discussing a derivation of vacuum dynamics as well as items provided by the dynamics of the vacuum.

The students described and discussed how the dynamics of vacuum provides the curvature of spacetime of the Schwarzschild metric (sections 2-4).

Furthermore, the students described and discussed how quanta emerge from the dynamics of vacuum (section 5). Progressively, the students described and discussed how the dynamics of vacuum provides the deterministic and the stochastic dynamics of quanta, including the postulates (sections 5-6). Moreover, the

students described and discussed how the dynamics of vacuum provides the formation of space and of its density (section 1.3). Additionally, the students described and discussed how the dynamics of vacuum provides an expansion of space (sections 2-4). Altogether, the didactical potential of the scientific question illustrated in Fig. 2 can be used to generate a course with a substantial didactical perspective, for details see section 9.

1.3. Overview

The scientific question about the relation of quantum physics and relativity (including gravity) provides a substantial didactical potential. In order to reveal this relation, I used gravity and relativity, to derive the dynamics of vacuum (Carmesin 2017, 2018a, b, 2019, 2021a, b), and I used the dynamics of vacuum, to derive quantum physics (Carmesin 2022a, Fig. 4).

Vacuum is characterized by a density, by a spectrum, by a process of formation of vacuum since the Big Bang, by a propagation, by a time evolution, by dimensional phase transitions and by quadrupolar symmetry. Vacuum establishes space, spacetime, curvature of spacetime, the gravitational interaction (similar to the graviton hypothesis), the basic energy of the universe (Carmesin 2020a), objects of vacuum, the formation of elementary particles, the formation of mass, the formation of the elementary charge including the fine structure constant, the formation of electroweak charges and couplings, the formation of quanta. Thus, the dynamics of vacuum provide a natural explanation of quantum physics.

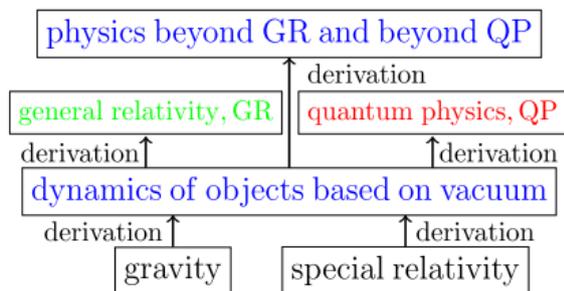


Fig. 4: The dynamics of the vacuum has been derived from gravity and special relativity (Carmesin 2021a). Later it has been discovered for the first time, that vacuum dynamics causes emerging quanta and quantum physics, QP (Carmesin 2022a). Moreover, vacuum dynamics provides general relativity, GR, in a continuum limit (Carmesin 2022b). Furthermore, vacuum dynamics provides physics beyond GR and QP.

1.4. Tests of the dynamics of vacuum

In order to confirm the derived dynamics of vacuum, I elaborated a series of tests: As a first test of that theory of vacuum, I showed that it implies general relativity. (Carmesin 2022b, Figs. 2, 3. For it, I derived

the Einstein field equation for an event at a Schwarzschild radius, whereby each event can be represented in a frame so that the event is at a Schwarzschild radius, see Rindler, 1966. Additional quantities, such as charges, can be introduced by using the first law of black hole mechanics, see Bardeen et al. 1973. Moreover, charges have been explained in Carmesin 2021d, Carmesin 2022b.) As a second test, I showed that my dynamics of vacuum provides the density of vacuum (Carmesin 2021a, b). As a third test, I showed the vacuum theory explains the local value of the Hubble constant (Carmesin 2021c, 2022c), that has been observed recently by Riess et al. (2022). As a fourth test, I derived and calculated the six parameters of the standard model of cosmology (Zyla 2020, pp 409-509) on the basis of my dynamics of vacuum (Carmesin 2021b). As a fifth test, I derived and calculated the elementary charge, the fine structure constant and the electromagnetic interactions on the basis of my dynamics of vacuum (Carmesin 2021d). As a sixth test, I derived and calculated the electroweak charges, the weak angle and the electroweak interactions on the basis of my dynamics of vacuum (Carmesin 2022b).

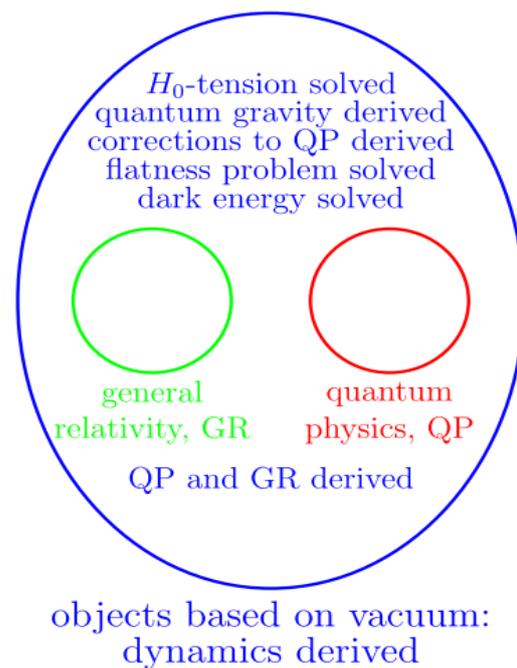


Fig. 5: Relation among physical subject areas: The dynamics of objects based on vacuum is very general (Carmesin 2021a-e). With it, and for particular conditions, quantum physics (Carmesin 2022a) and general relativity (Carmesin 2022b, chapter 9) have been derived.

1.5. Quanta emerging via dynamics of vacuum

In order to understand the nature of vacuum, I analysed properties of my well tested theory of vacuum: Thereby, I discovered that the theory describes a variety of objects (Carmesin 2021b): the present-day vacuum, the vacuum of the early universe, excited

states of vacuum, objects propagating at the velocity of light, $v = c$, as well as objects propagating slower, $v < c$. Each object that is described by my theory of vacuum is called an object of vacuum. Thus, the objects of vacuum include the above variety of objects. Moreover, the objects of vacuum include elementary particles, electric charges and electroweak charges or couplings (Carmesin 2021d, Carmesin 2022b).

Moreover, I discovered that all observable objects of vacuum are quanta (Carmesin 2022a). Furthermore, I derived the following: If a distant observer measures properties of these quanta, then these properties can be described by the postulates of quantum physics. In particular, I derived the postulates of quantum physics from the dynamics of vacuum. Thus, quantum physics is a natural property of the observable objects of vacuum.

Hence, general relativity and quantum physics can be derived from my theory of the vacuum. This is an essential relation between general relativity and quantum physics. Moreover, the postulates of quantum physics have become consequences of the more fundamental theory of vacuum. In this paper, I propose a course that uses the above fundamental theory or dynamics of vacuum.

1.6. Postulates

Quantum physics is usually described by a set of postulates (Kumar 2018 or Ballentine 1998). Accordingly, the concept of a conventional course of quantum physics is to motivate the postulates by experiments.

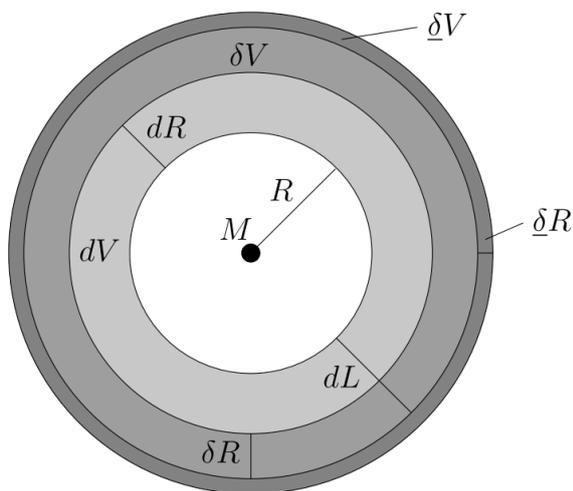


Fig. 6: Formation of vacuum caused by a mass M .

1.7. Proposed course

Here, a more fundamental course is proposed. Essential steps of the course are as follows:

- The following might be known from school: relativity (Burisch et al., 2022, p. 472-490), gravity (Carmesin et al., 2021, p. 102-120)
- Most easily, the dynamics of vacuum are derived from the Schwarzschild metric.
- The Schrödinger (1926) equation is directly derived from the dynamics of vacuum.
- The postulates of quantum physics are derived from the dynamics of vacuum.

2. Formation of vacuum

In this section, I show how a mass M with a Schwarzschild radius $R_S = 2GM/c^2$ forms vacuum at a coordinate distance R from M . Hereby, $G = 6.67430(15) \cdot 10^{-11} \frac{m^3}{kg \cdot s^2}$ is the gravitational constant, and $c = 299\,792\,458 \frac{m}{s}$ is the velocity of light (Zyla 2020). In particular, I derive the corresponding differential equation, DEQ. I derived this result directly from gravity and relativity (Carmesin 2022a, section 3.9). Here I present a shorter derivation based on the Schwarzschild metric (Fig. 6).

A mass M with a Schwarzschild radius $R_S = 2GM/c^2$ causes curvature of spacetime (Schwarzschild 1916 or e. g. Carmesin 1996). The radial component of that curvature represents the elongation of a radial coordinate difference dR to a physical length dL as follows:

$$dL = dR \cdot \left(1 - \frac{R_S}{R}\right)^{\frac{1}{2}} \quad \{1\}$$

Hereby, R is the radial coordinate with the mass at $R = 0$ and dR , δR as well as $\underline{\delta R}$ are radial coordinate differences at R (Fig. 6). I emphasize that R , dR , δR and $\underline{\delta R}$ can be measured by a local observer, see e. g. Carmesin (2022a, p. 19). Also dL can be measured, for instance, the time of flight can be observed. Thus, these quantities are as real physical quantities can be. Differences marked by d , δ or $\underline{\delta}$ are regarded as infinitesimal in the sense of the Leibniz (1684) calculus, so that corresponding derivatives are exact. Next, we analyse the elongated length dL in the limit of limit R_S/R to zero, we name that limit the far distance limit. For it, we apply the first order Taylor approximation:

$$dL \doteq dR \cdot \left(1 + \frac{R_S}{2R}\right) \quad \{2\}$$

Thus, the observable increase of length is as follows:

$$\delta R = dR \cdot \frac{R_S}{2R} \quad \{3\}$$

Hence, the observable increase of length δR corresponds to an observable increase of volume δV as follows:

$$\delta V = 4\pi R^2 \delta R = 2\pi R_S R \cdot dR \quad \{4\}$$

I emphasize that this increase of volume is filled with additional vacuum, whereby the vacuum has a vacuum density ρ_Λ or ρ_v (Perlmutter et al. 1998, Riess et al. 2000). Hereby, that vacuum corresponds to 68.47 % of all energy or mass in the universe (Planck collaboration 2020). Thus, the additional vacuum is as real as a physical quantity can be.

Moreover, that additional vacuum propagates at the velocity of light. Otherwise, an object's velocity relative to the additional vacuum (with volume δV or space with volume δV) could be measured. However, a relative velocity relative to space cannot be measured, according to relativity. So, the question arises, whether this additional vacuum (with volume δV) is formed at M , at R or anywhere else. This question is analysed next.

Corresponding to the symmetry, the additional vacuum flows radially away from the mass M . During a time-interval δt , the vacuum δV propagates a radial difference $\delta R = c \cdot \delta t$ (Fig. 6). We analyse the difference δV of the vacuum δV , that occurs during that propagation. For it, we multiply the partial derivative ∂_R of δV with the difference δR :

$$\underline{\delta V} = \partial_R \delta V \cdot \delta R \quad \{5\}$$

We apply equation {4}:

$$\underline{\delta V} = 2\pi R_S R \cdot dR \cdot \delta R \quad \{6\}$$

We use $dV = 4\pi R^2 dR$:

$$\underline{\delta V} = \frac{R_S}{2R} \cdot dV \cdot \delta R \quad \{7\}$$

We apply the Schwarzschild radius $R_S = \frac{2GM}{c^2}$:

$$\underline{\delta V} = \frac{GM}{R^2} \cdot dV \cdot \frac{\delta R}{c} = \frac{GM}{R^2} \cdot dV \cdot \frac{\delta t}{c} \quad \{8\}$$

We identify the first fraction with the gravitational field at R :

$$G^*(R) = \frac{GM}{R^2} \quad \{9\}$$

Thus, the new volume $\underline{\delta V}$ that formed from the present volume dV during a time δt is as follows:

$$\underline{\delta V} = \frac{G^*}{c} \cdot dV \cdot \delta t \quad \{10\}$$

We name the ratio of the new vacuum $\underline{\delta V}$ formed from the present vacuum dV by the relative formation ε :

$$\varepsilon = \frac{\underline{\delta V}}{dV} \quad \{11\}$$

During that process, the present volume dV is constant. Thus, within the Leibniz calculus, the time derivative of the relative formation ε is as follows:

$$\dot{\varepsilon} = \frac{\underline{\delta V}}{dV \cdot \delta t} \quad \{12\}$$

This time derivative represents the (relative) rate of formation of vacuum. We solve equation {10} for the rate of formation of vacuum:

$$\dot{\varepsilon} = \frac{G^*}{c} \quad \{13\}$$

This DEQ describes the formation of vacuum caused by a mass M . Many properties of that formed vacuum have been analysed in detail in Carmesin (2021a).

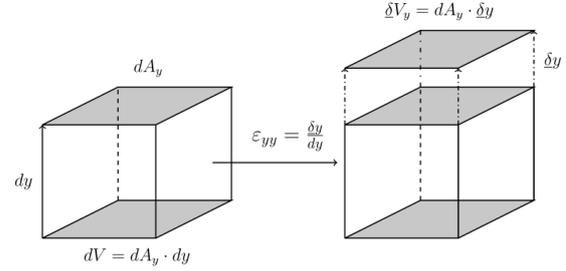


Fig. 7: Formation of vacuum caused by a mass M and in a direction y .

3. Tensors

In this section, we show how Eq. {13} is generalized to tensors.

A mass M causes the formation of vacuum in a radial direction, for instance, the radial direction can be marked by y (Fig. 7). Accordingly, the relative formation is the ratio of δy and dy , correspondingly, that relative ratio can be described by a tensor element ε_{yy} as follows:

$$\varepsilon_{yy} = \frac{\delta y}{dy} \quad \{14\}$$

That tensor describes the formation of vacuum in one direction, it is called unidirectional formation of vacuum (Carmesin 2021a). That tensor also describes the fact that the formed vacuum flows away from the mass M in a radial manner or in direction y in Fig. 7.

If the same unidirectional formation of vacuum takes place in each Cartesian direction, then isotropic formation of vacuum takes place (Carmesin 2021a):

$$\varepsilon_{xx} = \varepsilon_{yy} = \varepsilon_{zz} \quad \text{and} \quad \varepsilon = \sum_{j=1}^3 \varepsilon_{jj} \quad \{15\}$$

A nondiagonal element of the tensor can be interpreted by a deformation (Fig. 8):

$$\varepsilon_{i,j} = \frac{\delta r_i}{dr_j} \quad \{16\}$$

Such deformations can occur in spacetime, see e. g. Carmesin (2021a, section 5.4). Additionally, nondiagonal tensors can be obtained from diagonal tensors by coordinate transformations.

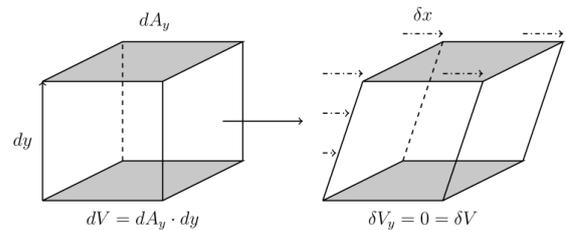


Fig. 8: Deformation $\delta x = \varepsilon_{x,y} \cdot dy$ of vacuum.

For the case of a diagonal element of the rate in Eq. {13}, the gravitational field is parallel to the direction of the rate, and so the formation of vacuum is described as follows:

$$\dot{\varepsilon}_{jj} = \frac{G_j^*}{c} = \dot{\varepsilon}_j \quad \{17\}$$

Hereby, we abbreviated $\dot{\varepsilon}_{jj} = \dot{\varepsilon}_j$. For the case of a nondiagonal element of the rate in Eq. {13}, we introduce the gravitational field tensor. For it, we express the field G_j^* as a force per probing mass m :

$$G_j^* = \frac{F_j}{m} \quad \{18\}$$

Additionally, we describe the force by the product of stress and area A (Fig. 8), see Sommerfeld (1978):

$$G_j^* = \frac{\sigma_{jj} \cdot A}{m} \quad \{19\}$$

Thus, the gravitational field tensor is obtained by realizing that the tensor property of the stress tensor is transferred to the gravitational field:

$$G_{jj}^* = \frac{\sigma_{jj} \cdot A}{m} \quad \text{and} \quad G_{ij}^* = \frac{\sigma_{ij} \cdot A}{m} \quad \{20\}$$

Thus, the formation of vacuum is described as follows:

$$\dot{\varepsilon}_{ij} = \frac{G_{ij}^*}{c} \quad \{21\}$$

4. Propagation of vacuum

The dynamics of the formation of vacuum (Eqs. {13} or {17}) causes the dynamics of the propagation of vacuum (Carmesin 2021a, chapter 5). In this section, we derive the propagation for the case of plane waves. For it, we apply the gravitational potential ϕ to Eq. {17}:

$$\dot{\varepsilon}_j = \partial_t \varepsilon_j = -\frac{1}{c} \cdot \partial_{r_j} \phi \quad \{22\}$$

The following plane waves are solutions of the above DEQ:

$$\varepsilon(t, R_j) = \hat{\varepsilon}_{j,\omega} \cdot \sin(\omega \cdot t - k_j \cdot R_j) \quad \{23\}$$

$$\phi(t, R_j) = \hat{\phi}_{j,\omega} \cdot \sin(\omega \cdot t - k_j \cdot R_j) \quad \{24\}$$

We insert into the DEQ:

$$\hat{\varepsilon}_{j,\omega} \omega \cos(\omega t - k_j R_j) = \hat{\phi}_{j,\omega} \frac{k_j}{c} \cos(\omega t - k_j R_j)$$

We subtract the right-hand side of the above Eq., and we factorize:

$$\cos(\omega t - k_j R_j) \cdot \left(\hat{\varepsilon}_{j,\omega} \omega - \hat{\phi}_{j,\omega} \frac{k_j}{c} \right) = 0$$

As the cosine can take nonzero values, the large bracket is zero:

$$\hat{\varepsilon}_{j,\omega} \omega - \hat{\phi}_{j,\omega} \frac{k_j}{c} = 0 \quad \{25\}$$

These dynamics describes waves that propagate at arbitrary velocity:

$$v = \frac{\omega}{k_j} \quad \{26\}$$

With it, we solve Eq. {25}:

$$\hat{\phi}_{j,\omega} = \hat{\varepsilon}_{j,\omega} \cdot c \cdot v \quad \{27\}$$

With it, we express the wave of the potential (Eq. {24}) by the rate:

$$\phi(t, R_j) = \hat{\varepsilon}_{j,\omega} \cdot c \cdot v \cdot \sin(\omega \cdot t - k_j \cdot R_j) \quad \text{or}$$

$$\phi(t, R_j) = \varepsilon(t, R_j) \cdot c \cdot v \quad \{28\}$$

Thus, the propagation can be described by the rate $\varepsilon(t, R_j)$ only. Thence, objects of vacuum propagate in the form of waves. These waves are characterized by the rate $\varepsilon(t, R_j)$ and by gravity, in the form of the gravitational potential $\phi(t, R_j)$. Accordingly, these waves are called rate gravity waves, RGW (Carmesin 2021a, chapter 5).

So far, we showed that all harmonic plane waves are solutions of the DEQ {22}. As that DEQ is linear, all linear combinations of all harmonic plane waves are solutions. So, the solutions of the DEQ establish a Hilbert space H , whereby we apply the usual scalar product (Carmesin 2022a, section 3.12.1):

$$\langle \psi_1 | \psi_2 \rangle = \int \psi_1(x) \cdot \psi_2^{cc}(x) dx \quad \{29\}$$

Herby, ψ_2^{cc} marks the complex conjugate of ψ_2^{cc} .

4.1. Objects with a rest mass

All solutions of DEQ {22} represent objects of vacuum. Thus, there are objects of vacuum that propagate at a velocity $v = c$, and there are objects that propagate at $v < c$. Objects propagating at $v < c$ have a nonzero rest mass $m_0 \neq 0$, whereas objects propagating at $v = c$ have zero rest mass $m_0 = 0$, according to relativity (Einstein 1905, Carmesin 2021b, 2022a).

4.2. Observable objects of vacuum

Masses typically are excitations of vacuum. This is the essence of the Higgs (1964) mechanism. The Higgs mechanism explains the formation of mass by a postulated phase transition, and the corresponding Higgs particle has been discovered (Aad et al. 2012, Chatrchyan et al. 2012). The dynamics of vacuum naturally exhibit phase transitions that explain the formation of a variety of masses, whereby the values of the masses are provided in addition, and whereby the mechanisms of formation of electric or weak charges or couplings are provided also, including the precise values of these charges and couplings (Carmesin 2021b, d, Carmesin 2022b). Thus, elementary particles with nonzero rest mass are objects of vacuum that can be observed.

Furthermore, there are objects of vacuum with zero rest mass, such as objects presenting vacuum in three-dimensional space. For such objects, I derived the energy spectrum by two very different methods: I used the time evolution starting at the Planck scale (Carmesin 2018a, b, 2019), or I used the time evolution starting at present-day vacuum (Carmesin 2021a, chapter 4, Carmesin 2022c).

5. Emerging quanta

In this section, we show how objects based on vacuum exhibit quanta as a result of the dynamics of the vacuum.

5.1. Quanta of objects with $v = c$

In this section, we show how relativistic objects based on vacuum are inherently quantized. Hereby, we do not yet include an interaction.

A relativistic object propagating in a direction x can be characterized by its energy E and by its nonzero momentum p_x . Hereby, the following relativistic relation holds (Einstein 1905):

$$\frac{E}{p_x} = c \quad \{30\}$$

As the object is based on vacuum and as it propagates at the velocity of light, $v = c$, it can be described by a wave with a circular frequency ω and a wave vector component k_x . Hereby, the following relation holds:

$$\frac{\omega}{k_x} = c \quad \{31\}$$

So, the above fractions are equal:

$$\frac{\omega}{k_x} = \frac{E}{p_x} = c \quad \{32\}$$

As ω is nonzero, we can derive the following relation:

$$\frac{E}{\omega} = \frac{p_x}{k_x} \neq 0 \quad \{33\}$$

The two fractions represent the same positive function or constant $K(\omega)$. That term $K(\omega)$ cannot depend on time, as there is no interaction:

$$\frac{E}{\omega} = \frac{p_x}{k_x} = K(\omega) \quad \{34\}$$

In order to show the universality of that term, we analyse the gravitational redshift of an object with $v = c$, energy E , at a coordinate distance R from a mass M , and we show that $K(\omega)$ is the same for all ω . We denote $E_\infty = \lim_{R \rightarrow \infty} E(R)$, $\omega_\infty = \lim_{R \rightarrow \infty} \omega(R)$. Additionally, the energy observed by a local observer at R is named $E_{obs,loc}(R)$. Thus, at R the position factor $\varepsilon(R) = \sqrt{1 - R_S/R}$ describes the decrease of energy according to position. According to the law of energy conservation, E_∞ is a constant, and hence we derive:

$$E_\infty = E_{obs,loc}(R) \cdot \varepsilon(R) \quad \{35\}$$

We solve for $E_{obs,loc}(R)$:

$$E_{obs,loc}(R) = \frac{E_\infty}{\varepsilon(R)} \quad \{36\}$$

We apply the quantization Eq. {34}:

$$E_{obs,loc}(R) = K(\omega(R)) \cdot \omega(R) \quad \{37\}$$

We use the Schwarzschild metric (Fig. 6):

$$\omega(R) = \frac{\omega_\infty}{\varepsilon(R)} \quad \{38\}$$

We analyse two observers at R and R' :

$$\frac{E_{obs,loc}(R)}{E_{obs,loc}(R')} = \frac{K(\omega(R))\omega(R)}{K(\omega(R'))\omega(R')} \quad \{39\}$$

We apply Eqs. {36} and {38}:

$$\frac{E_\infty \varepsilon(R)}{E_\infty \varepsilon(R')} = \frac{K(\omega(R))\omega_\infty \varepsilon(R)}{K(\omega(R'))\omega_\infty \varepsilon(R')} \quad \{40\}$$

We simplify that equation:

$$1 = \frac{K(\omega(R))}{K(\omega(R'))} \quad \{41\}$$

Thus, the quantization constant does not depend on ω , and according to Eq. {31}, that constant does not depend on the wave number. Thence, the constant K is a universal constant. That constant can be measured, and it takes the value of the reduced Planck constant \hbar :

$$K = \hbar = h/2\pi \quad \{42\}$$

We insert equation {42} into equation {34}, in order to derive the usual relations of quantization of energy and momentum:

$$E = \hbar \cdot \omega \quad \{43\}$$

$$p_x = \hbar \cdot k_x \quad \{44\}$$

5.2. Derivation of the Schrödinger equation

In this section, we use the dynamics of the vacuum, in order to derive the Schrödinger equation.

For it, we apply the DEQ {22}, whereby we substitute the potential by the rate according to Eq. {28}, and we consider the case $v = c$:

$$\partial_t \varepsilon_j = -c \cdot \partial_{r_j} \varepsilon_j \quad \{45\}$$

In order to obtain the correct wave dynamics and stochastic dynamics, we apply the time derivative to the above Eq. (Carmesin 2022a, section 3.8.3):

$$\partial_t \dot{\varepsilon}_j = -c \cdot \partial_{r_j} \dot{\varepsilon}_j \quad \{46\}$$

In order to get a simple notation, we name R_j by x :

$$\partial_t \dot{\varepsilon} = -\partial_x \dot{\varepsilon} \cdot c \quad \{47\}$$

In order to derive the traditional form of the Schrödinger equation, we multiply by $i\hbar$, we multiply the rate $\dot{\varepsilon}$ by a normalization factor t_n , and we use the product as the wave function ψ :

$$i \cdot \hbar \cdot \partial_t \dot{\varepsilon} = -i \cdot \hbar \cdot \partial_x \dot{\varepsilon} \cdot c \quad \{48\}$$

$$\dot{\varepsilon} \cdot t_n = \psi \quad \{49\}$$

$$i \cdot \hbar \cdot \partial_t \psi = -i \cdot \hbar \cdot \partial_x \psi \cdot c \quad \{50\}$$

Next, we compare the resulting DEQ with the relativistic relation between energy E of the object and the momentum p of the object:

$$E = p \cdot c \quad \{51\}$$

An object of vacuum is described by the DEQ {50} and by equation {51}, the factors in front of the wave function can be identified by the operators corresponding to the energy E and the momentum p as follows:

$$\hat{E} = i\hbar\partial_t \quad \{52\}$$

$$\hat{p}_x = -i\hbar\partial_x \quad \{53\}$$

So, the DEQ {50} describing objects of vacuum with $v = c$ takes the following form:

$$\hat{E} \psi = c \cdot \hat{p} \psi \quad \{54\}$$

In the above equation, the product $c \cdot \hat{p}$ represents the energy function $E(p)$ as a function of the momentum, whereby the momentum is represented by its operator:

$$\hat{E} \psi = E(\hat{p}) \psi \quad \{55\}$$

In a considered physical system, the energy function can also depend on a potential V or on a rest mass m_0 or on a velocity v , or on an additional physical quantity q , for instance. Accordingly, these terms are included in the energy function in equation {55}:

$$\hat{E} \psi = E(\hat{p}, V, m_0, v, q) \psi \quad \{56\}$$

This equation represents a usual form of a Schrödinger equation, SEQ: The energy operator multiplied by the wave function is equal to the energy function multiplied by the wave function.

5.3. Quanta of objects with $v < c$

In this section, we use the fact that objects based on vacuum are described by the differential equation, DEQ, {22}. Thereby, this DEQ provides solutions that propagate with a velocity v , whereby $v = c$ as well as $v < c$ are possible. In this section, we show that objects based on vacuum and propagating at a velocity $v < c$ are inherently quantized. Hereby, we do not yet include an interaction.

For an object based on vacuum, the DEQ {22} holds. As a consequence, derived in section 5.2, the SEQ {56} holds for such an object:

$$\hat{E} \psi = E(\hat{p}, V, m_0, v, q) \psi \quad \{57\}$$

Next, we analyse the form of the energy function for the case of an object of vacuum propagating at a velocity $v < c$ and without interaction. An object propagating in a direction x can be characterized by its energy E and by its nonzero momentum p_x . As the object propagates at a velocity $v < c$, it has a rest mass or own mass m_0 (Einstein 1905). Correspondingly, the following relation holds:

$$E^2 = p_x^2 \cdot c^2 + m_0^2 \cdot c^4 \quad \{58\}$$

With it, the SEQ {57} takes the following form:

$$\hat{E} \psi = \sqrt{\hat{p}_x^2 \cdot c^2 + m_0^2 \cdot c^4} \psi \quad \{59\}$$

This is the SEQ of an object of vacuum propagating at a velocity $v < c$ and without interaction.

In particular, if the object of vacuum propagating at a velocity $v < c$ and without interaction so that $p_x^2/(m_0^2 \cdot c^2)$ is very small compared to one, then the linear approximation of the SEQ {59} is appropriate:

$$\hat{E} \psi \doteq m_0 c^2 \cdot \left(1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{\hat{p}_x^2}{m_0^2 c^2}\right) \psi \quad \{60\}$$

We simplify:

$$\hat{E} \psi \doteq m_0 c^2 \cdot \psi + \frac{\hat{p}_x^2}{2m_0} \psi \quad \{61\}$$

This is the SEQ of an object of vacuum propagating at a velocity $v < c$, without interaction and with a relatively large rest mass.

As the rest mass is relatively large, the factorization outlined in section 4.3 may be applied. Thus, the above SEQ is separated as follows:

$$\hat{E}_0 \psi_0 \doteq m_0 c^2 \cdot \psi_0 \quad \{62\}$$

$$\hat{E}_1 \psi_1 \doteq \frac{\hat{p}_x^2}{2m_0} \psi_1 \quad \{63\}$$

The SEQ {63} is the usual SEQ for a nonrelativistic object without interaction.

6. Background information

In this section, I describe the derivation of the postulates of quantum physics. Hereby, I introduce mixed states. Additionally, I provide further background information.

6.1. Postulate on quantum states

A first postulate is as follows: A quantum state is described by a vector in a Hilbert space (Kumar 2018, p. 168).

That Hilbert space is established by the solutions of the DEQ {22}. For a detailed derivation of that postulate, see Carmesin (2022a, section 3.12.1).

6.2. Postulate on observables

A second postulate is as follows: An observable A is represented by a hermitian or self-adjoint operator \hat{A} acting in the Hilbert space H (Kumar 2018, p. 169).

We derive that postulate as follows: An object that acts upon a state in Hilbert space is an operator. A measurement apparatus providing an observable A acts upon a state in reality. Thus, a measurement apparatus of an observable A corresponds to a linear operator \hat{A} acting in the Hilbert space H of the object or system under consideration.

Moreover, the measurement apparatus can provide a value of the observable A , without changing the state. For instance, a polarizer measures polarization, and a state with the corresponding polarization is transmitted. Thus, there should be states that are not changed by the operator \hat{A} , these are the eigenstates, each with a corresponding eigenvalue, e. g. a_j .

Furthermore, the results of such a single measurement are represented by a real number. Thus, each operator \hat{A} corresponding to an observable A has real eigenvalues only. Thence, that operator is self-adjoint, as only self-adjoint operators only have real eigenvalues (Teschl 2014).

Altogether, the second postulate is derived. For details see Carmesin (2022a, section 3.12.2).

6.3. Postulate on outcomes of measurements

A third postulate is as follows: A possible outcome of a measurement of an observable A is an eigenvalue of \hat{A} (Kumar 2018, p. 169).

As derived in the above section, an observable A and its measurement apparatus are represented by a self-adjoint operator \hat{A} . It is characterized by a spectrum of eigenvalues a_j with corresponding eigenstates ψ_j (Teschl 2014, theorem 3.6). Correspondingly, these eigenstates correspond to possible outcomes of measurements, for details see Carmesin (2022a, section 3.12.3).

6.4. Postulate on probabilistic outcomes

A fourth postulate about probabilistic outcomes of measurements is as follows, whereby we present the case of discrete and non-degenerate eigenvalues (Kumar 2018, pp 169-170):

‘If a measurement of an observable A is made in a normalized state $|\psi(t)\rangle$ of the quantum mechanical system, then the following holds:

The probability of obtaining one of the non-degenerate discrete eigenvalues a_j of the corresponding operator \hat{A} is given by:’

$$P(a_j) = |\langle \phi_j | \psi \rangle|^2 \quad \{64\}$$

That result has been derived for the case of the objects of vacuum in Carmesin (2022a, section 3.12.4). Thereby, the following more basic result has been derived and applied: The square of the field $G^*(x)$ is proportional to the energy density:

$$u_f(x) \propto |G^*|^2(x) \quad \{65\}$$

That square is proportional to the square of the rate $\dot{\varepsilon}^2$, which is in turn proportional to the absolute square of the wave function $|\psi(x)|^2$. Thus, we derive:

$$u_f(x) \propto |\psi(x)|^2 \quad \{66\}$$

The probability $p(x)$ to measure an object of vacuum at a location x is proportional to the energy density, as the energy is quantized. Thence we obtain the

proportionality of the probability and the absolute square of the wave function:

$$p(x) \propto u_f(x) \propto |\psi(x)|^2 \quad \{67\}$$

6.5. Postulate on the dynamics

The dynamics of quanta can be represented by the Schrödinger equation (Kumar 2018, p. 170). We derived the result in section 5, for details see Carmesin (2022a, section 3.12.5).

6.6. Postulate on mixed states

The above postulates describe the physics of states that correspond to a one-dimensional subspace of Hilbert space. In this section, we analyse mixed states that correspond to a higher dimensional subspace of Hilbert space. For instance, Ballentine (1998, p. 46) or Grawert (1977) present such postulates.

Firstly, we show that objects of vacuum typically exhibit such mixed states. A pure state represents a coherent wave function, as a pure state is represented by a one-dimensional subspace of Hilbert space. We consider two equal masses m_1 and m_2 . These masses do permanently generate vacuum. If each mass would generate that vacuum in the form of a coherent wave function, then these wave functions would form a standing wave in the space between the two masses. Hence an observer could determine his position and velocity relative to a node of the standing wave. Thence the observer could determine his velocity relative to space, however, that is not possible according to relativity. Thus, the masses generate the vacuum in terms of several independent waves in an incoherent manner. So, the generated vacuum is represented by a mixed state.

Secondly, we derive the probabilistic properties of such mixed states, and we represent these properties in the usual manner (Ballentine 1998, Grawert 1977):

In order to analyse a mixed state, we use an operator \hat{A} of an observable A . Accordingly, a mixed state consists of several eigenstates $|\phi_j\rangle$, each with an eigenvalue a_j and with a probability p_j . Thus, the expectation value of a measurement is obtained by the weighted sum of the eigenvalues:

$$\langle \hat{A} \rangle = \sum_j a_j p_j \quad \text{with} \quad 1 = \sum_j p_j \quad \{68\}$$

We identify the sum with the following trace:

$$\langle \hat{A} \rangle = \text{Tr}(\sum_j |\phi_j\rangle p_j a_j \langle \phi_j|) \quad \{69\}$$

We add an additional sum that does not change the value of the term:

$$\langle \hat{A} \rangle = \text{Tr}(\sum_i \sum_j |\phi_i\rangle p_i \delta_{ij} a_j \langle \phi_j|) \quad \{70\}$$

We represent the Kronecker delta by a scalar product of the orthonormal eigenfunctions:

$$\langle \hat{A} \rangle = \text{Tr}(\sum_i |\phi_i\rangle p_i \langle \phi_i| \sum_j |\phi_j\rangle a_j \langle \phi_j|) \quad \{71\}$$

We identify the sum by a linear combination of projection operators \hat{P}_i :

$$\sum_i |\phi_i\rangle p_i \langle \phi_i| = \sum_i p_i \hat{P}_i = \hat{\rho} \quad \{72\}$$

The above linear combination of projection operators is called density operator. We identify the density operator and the operator $\hat{A} = \sum_j |\phi_j\rangle a_j \langle \phi_j|$ in Eq. {71}:

$$\langle \hat{A} \rangle = \text{Tr}(\hat{\rho} \hat{A}) \quad \{73\}$$

Thus, the expectation value $\langle \hat{A} \rangle$ of a measurement of an observable A of a mixed state described by a density operator $\hat{\rho}$ is equal to the trace of the product of the density operator $\hat{\rho}$ and the operator \hat{A} . This sentence represents the postulate about mixed states, see Ballentine (1998, p. 46).

Altogether, we derived all six postulates of quantum physics.

6.7. On generalizations

So far, we analysed plane waves and a corresponding one-dimensional version of quantum physics. A three-dimensional generalization is straight forward. Thereby, the spin enters as a consequence. Additionally, the spin statistics theorem enters as a further consequence. Furthermore, the second quantization can be applied (Carmesin 2021a, chapter 6). With it, a quantum field theory can be derived.

Moreover, additional interactions can be derived by using the principle of gauge invariance (Carmesin 2022b, chapter 8). For it, the elementary charges are fundamental. These can be derived by analysing and using phase transitions of vacuum (Carmesin 2021d).

7. Nature of quantum gravity

Many approaches to quantum gravity have been published. E.g., Chandrasekhar (1931) used laws of gravity and laws of quantum physics, in order to derive the mass at which a white dwarf becomes unstable. Kiefer (2003) discussed various methods of combining gravity and quantum physics. Giulini (2003) discussed various methods of quantization of a relativistic or non-relativistic classical description. In all these approaches, a classical description has been combined with methods of quantum physics.

Now, we discover how quantum gravity emerges in a completely natural manner from the well tested dynamics of the vacuum: For it, we generalized general relativity, in order to obtain the dynamics of vacuum. Then we discovered that the dynamics of vacuum inherently makes possible a far distance limit, which naturally provides quantum physics of relativistic ($v = c$) and massive ($v < c$) observable objects.

Thus, if we do not perform the far distance limit, or if we use correction terms corresponding to the far distance limit, then we obtain a generalization of quantum physics. That generalization provides a natural theory of quantum gravity (Carmesin 2022a).

8. Proposed course

In this section, we propose a course of quantum physics that uses the fundamental dynamics of the vacuum. For all lessons, material for exercises and examples can be found in Carmesin (2022a).

8.1. Recapitulation

In a first lesson, the law of gravity, special relativity and the Schwarzschild metric should be recapitulated.

In order to avoid unnecessary complications, I recommend a presentation provided by school books:

Firstly, Newton's law of gravity should be treated (Carmesin et al., 2021, p. 102-120). Hereby, I recommend to mention that the $1/r^2$ -law has an empirical basis, whereas Newton's speculations about absolute time and space are hypothetical.

Secondly, special relativity should be recapitulated (Burisch et al., 2022, p. 472-483).

Thirdly, gravity and special relativity can be applied, in order to derive the Schwarzschild metric (Burisch et al., 2022, p. 484-490).

8.2. Formation of vacuum

In a second lesson, the Schwarzschild metric should be applied, in order to derive the DEQ {13} describing the formation of vacuum, see section 2.

8.3. Tensors

In a next lesson, tensors describing the formation vacuum and possible deformations can be treated. Thereby, the following lesson on propagation is prepared. Moreover, there is time for some exercises.

8.4. Propagation of vacuum

Based on lessons two and three, the propagation of vacuum should be derived, see section 4. Hereby the DEQ {13} is applied, in order to derive plane waves. Hereby, the students can develop main results on their own.

8.5. Objects of vacuum

Based on the propagation of vacuum, relativistic and nonrelativistic objects of vacuum can be derived. Hereby, there should be time for exercises.

8.6. Hilbert space

Based on the propagation of plane waves and on the linear DEQ, the space of solutions, the Hilbert space,

should be introduced. Depending on the students and on the available time, the correspondence between observables and hermitian operators should be introduced and analysed.

8.7. Discovery of quanta

Based on the description of objects of vacuum by RGWs and by relativity, the emergence of quanta should be derived, see section 5. This derivation can be applied to all objects that propagate at $v = c$, and that exhibit wave properties. Hereby, the universality of the Planck constant can be derived. The value of the Planck constant must be measured, while its universality is derived.

8.8. Deterministic dynamics

Based on the DEQ of RGWs, the Schrödinger equation should be derived, see section 5. Thereby, the additional derivative with respect to time can be motivated by the probabilistic dynamics in Eq. {67}.

8.9. Observables and operators

Based on the Hilbert space, the correspondence between observables and hermitian operators should be introduced.

8.10. Probabilistic dynamics

Based on the DEQ {13} of the formation of vacuum, the probabilistic dynamics in the measurement should be derived in the basic form of Eq. {67}, see section 6.4. Depending on the students and on the available time, the full probabilistic dynamics, Eq. {64}, and the density operator, sections 6.5, can be treated.

8.11. Uncertainty complementarity and entanglement

The subject area of uncertainty, complementarity and entanglement is particularly interesting. As we derived all postulates of quantum physics, and as uncertainty, complementarity and entanglement can be derived from these postulates (e. g. Ballentine 1998, Ma et al. 2016), these three topics can be treated, interpreted and explained within the framework derived of QP (Carmesin et al. 2020), as derived here. Note that quantum field theory exhibits divergencies in an entanglement entropy (Witten 2018), this property of quantum field theory might reflect the fact that quantum field theories are based on a short wavelength-approximation of the present and derived description of quantum physics (Carmesin 2022b).

8.12. Quantum cryptography and computer

The subject area of quantum cryptography and quantum computer is especially relevant for technology and for the personal application of digital tools. As we derived all postulates of quantum physics, and as these two topics can be derived from these postulates (e. g. Ballentine 1998), quantum cryptography (Carmesin et al. 2020) and quantum computers (Burisch et al. 2023) can be treated directly on the basis derived here.

9. Experience with teaching

The scientific question about the correspondence of relativity and quantum physics can be treated in an analytic and productive manner. I presented that concept to learners ranging from class 8 to 13 in a research club (see Carmesin, 2021f) and to students of a general studies course at the university Bremen. In both groups, the students were able to describe the steps of the respective derivations and to discuss the consequences.

In the derivation of the dynamics of vacuum, the students discussed in more detail the expansion of space according to the Friedmann Lemaitre equation, including the accelerated expansion. Perhaps, the students wanted to be very sure about the uniform transformation of space, the corresponding increase of volume and the respective observations. In particular, the students discussed in detail the function $H_0(z)$. Presumably, they wanted to be very sure about the tests of the vacuum dynamics.

Furthermore, the students discussed in detail the difference between the flowing additional vacuum at a location and the new formed vacuum at the same location. This behaviour could be expected, as that difference might easily be overlooked. Also the physical reality of vacuum was discussed extensively. This might be expected as well as that vacuum is usually not discussed or analysed in the transformations of general relativity. Also the frames have been discussed, as they are always discussed in relativity and in mechanics (e. g. for kinetic energy).

Moreover, the students discussed the far distance limit. This could be expected, as it is essential for the linearity versus nonlinearity of the DEQ. Progressively, the students discussed the deterministic dynamics of wave functions, the stochastic dynamics based on the energy density and about the role of the Hilbert space. These topics could be expected, as they are basic to the postulates of quantum physics.

Altogether, the students showed that they can describe the derivations and that they can discuss especially interesting topics within the relation between relativity and quantum physics.

10. Summary

Students are highly interested in astronomy, astrophysics and in the characteristics of nature. An especially interesting, essential and fundamental concept is presented by quantum physics. However, it was not yet really understood (see e. g. Feynman 1965, p. 129). Moreover, the relation of quantum physics and relativity present an interesting scientific question. Thus, that topic includes a substantial didactical potential and an exciting didactical perspective, see Figs. (1, 2).

In order to use that didactical potential, an analysis and a productive concept of the subject are necessary. For it, we presented sections 2-6. In these, we derived quantum physics from the dynamics of vacuum. For it, we derived the dynamics of vacuum from gravity and relativity, and we considered a variety of tests of these dynamics.

Thus, quantum physics is now understood on the basis of a dynamics of vacuum, which includes the dynamics of space and time. So, we achieved a very clear and fundamental derivation and explanation of quantum physics.

That insight should be made available to students of quantum physics. For this purpose, I developed a course in quantum physics that is based on the dynamics of vacuum. The course can easily be supplemented by any desired generalizing or special topics in quantum physics.

I tested parts of the course in a research club (see e. g. Carmesin 2018c, 2019b, 2020b, 2021e, Sawitzki and Carmesin 2021, Schöneberg and Carmesin 2021) in public astronomy evenings in the assembly hall and in online courses at Bremen university. Thereby, the didactical potential of the topic was used, so that students described and discussed the steps of the derivation of the dynamics of vacuum, including the application of these dynamics to quantum physics and cosmology, see Fig. 3.

11. Literature

Aad, G. et al. (2012). Observation of a New Particle in the Search for the Standard Model Higgs Boson with the ATLAS Detector at the LHC. *Phys. Lett., B* 176, pp 1-29.

Aspect, Alain; Grangier, Philippe and Roger, Gerard (1981). Experimental Tests of realistic Local Theories via Bell's Theorem. *PRL* 47, pp 460-463.

Ballentine, L. E. (1998). *Quantum Mechanics*. London and Singapore: World Scientific Publishing.

Bardeen, J. M.; Carter, B. and Hawking, S. W. (1973). The Four Laws of Black Hole Mechanics. *Comm. math. Phys.* 31, pp 161-170.

Bell, John Stewart (1964). On the Einstein Podolsky Rosen Paradox. *Physics*, 1, pp 195-200.

Burisch, C. et al. (2022). *Universum Physik Gesamtband SII*. Berlin: Cornelsen Verlag.

Burisch, C. et al. (2023). *Universum Physik, Qualifikationsphase, Nordrhein-Westfalen*. Berlin: Cornelsen Verlag.

Busch, Matthias (2009). Anleitungen zur Unterrichtsplanung in sozialwissenschaftlichen Fächern – Bereichsrezension aktueller fachdidaktischer Planungskonzepte. *Journal of Social Science Education* 8, pp 124-145.

Carmesin, Hans-Otto (1996). *Grundideen der Relativitätstheorie*. Berlin: Verlag Dr. Köster.

Carmesin, Hans-Otto (2017): *Vom Big Bang bis heute mit Gravitation – Model for the Dynamics of Space*. Berlin: Verlag Dr. Köster.

Carmesin, Hans-Otto (2018a). *Universal Model for the Dynamics of Space, Dark Matter and Dark Energy*. Berlin: Verlag Dr. Köster.

Carmesin, Hans-Otto (2018b). *Theory for the Emergence of Space, Dark matter, Dark Energy and Space-Time*. Berlin: Verlag Dr. Köster.

Carmesin, Hans-Otto (2018c): *A Model for the Dynamics of Space - Expedition to the Early Universe*. *PhyDid B Internet Journal*, pp. 1-9.

Carmesin, Hans-Otto (2019a): *Die Grundschwingungen des Universums - The Cosmic Unification*. Berlin: Verlag Dr. Köster.

Carmesin, Hans-Otto (2019b): *A Novel Equivalence Principle for Quantum Gravity*. *PhyDid B*, pp. 17-25.

Carmesin, Hans-Otto (2020a): *The Universe Developing from Zero-Point-Energy - Discovered by Making Photos, Experiments and Calculations*. Berlin: Verlag Dr. Köster.

Carmesin, Hans-Otto (2020b): *Explanation of the Rapid Enlargement of Distances in the Early Universe*. *PhyDid B*, p. 1-9.

Carmesin, Hans-Otto (2021a). *Quanta of Spacetime Explain Observations, Dark Energy, Graviton and Nonlocality*. Berlin: Verlag Dr. Köster.

Carmesin, Hans-Otto (2021b). *Cosmological and Elementary Particles Explained by Quantum Gravity*. Berlin: Verlag Dr. Köster.

Carmesin, Hans-Otto (2021c). *Physical Explanation of the H_0 – Tension*. *International Journal of Engineering and Science Invention (IJESI)*, 10(8) II, pp 34-38. Doi:10.35629/6734-1008023438

Carmesin, Hans-Otto (2021d). *The Elementary Charge Explained by Quantum Gravity*. Berlin: Verlag Dr. Köster.

Carmesin, Hans-Otto (2021e): *The Origin of the Energy*. *PhyDid B*, p. 29-34.

Carmesin, Hans-Otto (2021f): *Lernende erkunden die Raumzeit*. *Der Mathematikunterricht* 67(2), pp 47-56.

Carmesin, Hans-Otto (2022a). *Quantum Physics Explained by Gravity and Relativity*. Berlin: Verlag Dr. Köster.

- Carmesin, Hans-Otto (2022b). The Electroweak Interaction Explained by and Derived from Gravity and Relativity. Berlin: Verlag Dr. Köster.
- Carmesin, Hans-Otto (2022c). Geometric Derivation of the Spectrum of Vacuum. *International Journal of Engineering and Science Invention (IJESI)*, 11(4) I, pp 1-11. Doi:10.35629/6734-1104010111
- Carmesin, Hans-Otto et al. (2020): *Universum Physik, Qualifikationsphase, Niedersachsen*. Berlin: Cornelsen Verlag.
- Carmesin, Hans-Otto et al. (2021). *Universum Physik Einführungsphase Nordrhein-Westfalen*. Berlin: Cornelsen Verlag.
- Carmesin, Maximilian and Carmesin, Hans-Otto (2020): Quantenmechanische Analyse von Massen in ihrem eigenen Gravitationspotenzial. *PhyDid B*, pp. 19-27.
- Chandrasekhar, Subrahmanyan (1931). The maximum mass of ideal white dwarfs. *Astrophysical Journal*, 74, pp 81-82.
- Chatrchyan, S. et al. (2012). Observation of a new boson at a mass of 125 GeV with the CMS experiment at the LHC. *Phys. Lett.*, B176, pp 30-61.
- Einstein, Albert (1905). Zur Elektrodynamik bewegter Körper. *Annalen der Physik*, 17, pp 891-921.
- Einstein, Albert; Podolsky, Boris and Rosen, Nathan (1935). Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality Be Considered Complete? *Phys. Rev.* 47, pp 777-780.
- Elster, Doris (2010). Zum Interesse Jugendlicher an den Naturwissenschaften. Ergebnisse der ROSE Erhebung aus Deutschland und Österreich. Online-Publication: Shaker.
- Feynman, Richard P. (1965). *The Character of Physical Law*. Boston: MIT Press.
- Franke, Michael; Gruschka, Andreas (1996). Didaktische Bilder als Bilder der Didaktik. *Pädagogische Korrespondenz* 17, pp 52-62.
- Gerke, Franziska; Müller, Rainer; Bitzenbauer, Philipp; Ubben, Malte S. and Weber, Kim-Alessandro (2021): Ermittlung von Anforderungen an künftige Quanten-Fachkräfte. *PhyDid B*, p. 495-500.
- Giulini, Domenico (2003). The Strange Procedure Called Quantisation. In D. Giulini, C. Kiefer & C. Lämmerzahl (Eds.), *Quantum Gravity* (pp 3-13). Berlin Heidelberg: Springer.
- Grawert, Gerald (1977). *Quantenmechanik*. Wiesbaden: Akademische Verlagsgesellschaft.
- Higgs, P. W. (1964). Broken Symmetries, Massless Particles and Gauge Fields. *Phys. Lett.*, pp 132-133.
- Jenkins, E.W. and Pell, R.G. (2006) The Relevance of Science Education Project (ROSE) in England: a summary of findings. Centre for Studies in Science and Mathematics Education, University of Leeds.
- Kiefer, Claus (2003). Quantum Gravity – A General Introduction. In D. Giulini, C. Kiefer & C. Lämmerzahl (Eds.), *Quantum Gravity* (pp 3-13). Berlin Heidelberg: Springer.
- Kumar, A. (2018). *Fundamentals of Quantum Mechanics*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Leibniz, G. W. (1684). Nova methodus pro maximis et minimis. *Acta Eruditorum*, pp 467-473.
- Lieber, Jonas and Carmesin, Hans-Otto (2021): Dynamics in the Early Universe, *PhyDid B*, FU Berlin, pp. 49-52.
- Ma, Xiao-song, Kofler, Johannes, Zeilinger, Anton (2016). Delayed-choice gedanken experiments and their realizations. *Rev. Mod. Phys.*, 88, pp 015005-015030.
- Perlmutter, Saul et al. (1998). Discovery of a Supernova Explosion at Half the Age of the Universe, *Nature*, 391, pp 51-54.
- Planck Collaboration (2020). Planck 2018 results. VI. Cosmological parameters. *Astronomy and Astrophysics*, p. 1-73.
- Pospiech, Gesche (2021): Die zweite Quantenrevolution – Quanteninformatik im Physikunterricht. *PhyDid B*, p. 1-11.
- Pössel, Markus (2015). Studien zum Interesse von Schüler/innen an Astronomie. Online-Publikation: Spektrum.
- Rindler, Wolfgang (1966). Kruskal Space and the Uniformly Accelerated Frame. *American Journal of Physics* 34, pp 1174-1178.
- Riess, Adam et al. (2000). Tests of the Accelerating Universe with Near-Infrared Observations of a High-Redshift Type Ia Supernova, *The Astrophysical Journal*, 536, pp 62-67.
- Riess, Adam et al. (2022). A Comprehensive Measurement of the Local Value of the Hubble Constant with 1 km s⁻¹ Mpc⁻¹ Uncertainty from the Hubble Space Telescope and the SHOES Team. *arXiv*, 2112.04510v2, pp 1-67.
- Sakurai, J. J. and Napolitano, J. (1994). *Modern Quantum Mechanics*. New York – London – Delhi: Addison-Wesley.
- Sawitzki, Paul and Carmesin, Hans-Otto (2021): Dimensional Transitions in a Bose Gas. *PhyDid B*, p. 53-59.
- Schöneberg, Philipp and Carmesin, Hans-Otto (2021): Solution of the Horizon Problem. *PhyDid B*, p. 61-64.
- Schrödinger, E. (1926). Quantisierung als Eigenwertproblem I. *Annalen der Physik*, 79, pp 361-376.
- Schwarzschild, K. (1916). Über das Gravitationsfeld eines Massenpunktes nach der Einstein'schen Theorie. *Sitzungsberichte der Deutschen Akademie der Wissenschaften*, pp 186-196.
- Sommerfeld, Arnold (1978). *Mechanik der deformierbaren Medien*. Frankfurt a. M.: Verlag Harri Deutsch.
- Teschl, G. (2014). *Mathematical Methods in Quantum Mechanics*. Providence: American Mathematical Society, 2. Edition.

Weinberg, Steven (2017). The Trouble with Quantum Mechanics. The New York Review of Books (January 19th 2017).

Witten, Edward (2018). Notes on Some Entanglement Properties of Quantum Field Theories. arXiv, 1803.04993v6.

Zyla, P. A. et al. (2020). Review of Particle Physics – Particle Data Group. *Progr. Theor. Exp. Phys.*, 083C01, p. 137. Doi.10.1093/ptep/ptaa104

Acknowledgement

I am very grateful to I. Carmesin for many interesting discussions and for proofreading the manuscript. I am also grateful to Matthias Carmesin and Daphne Carmesin for additionally proofreading the manuscript.

Exploration wichtiger ästhetischer Qualitäten der Wissenschaftsillustration am Beispiel von MR- AR- und Web3D Applikationen zur Präsentation von Experimenten in der Quantenphysik.

Jonas Lauströer⁺, Reinhard Schulz-Schaeffer⁺, Paul Schlummer^{*}, Stefan Heusler^{*}, Adrian Abazi[°], Carsten Schuck[°], Wolfram H. P. Pernice[°]

⁺Department Design, HAW Hamburg, ^{*}Institut für Didaktik der Physik, WWU Münster, [°]Center for Nanotechnology, WWU Münster

jonas.laustroeer@haw-hamburg.de, reinhard.schulz-schaeffer@haw-hamburg.de, paul.schlummer@wwu.de, stefan.heusler@wwu.de, Adrian.abazi@wwu.de, wolfram.pernice@wwu.de, carsten.schuck@wwu.de

Kurzfassung

Die aus der Designpraxis entwickelten Designlösungen auf Grundlage der etablierten Wissensbasis der Wissenschaftsillustration werden mit den Gestaltungsprinzipien von Richard E. Mayer Multimedia Learning (CTML) [1] und der Cognitive Load-Theory (CLT) [2] von John Sweller und Paul Chandler ins Verhältnis gesetzt. Obwohl die Prinzipien von E. Mayer auf Bildanalysen der Designpraxis basieren, zeigen sich interessante Differenzen zu den Entscheidungen in diesem good practice Beispiel einer Web3DLernumgebung zur Quantenverschränkung.

1. Einleitung

Lehr- und Lern-Applikationen bilden ein Geflecht aus Bild, Text, Interaktivität, Narration, Denkmodell, Didaktik, Experiment und Spiel. Um die Auswirkungen dieser Faktoren auf das Lernen zu verstehen, haben sich entsprechend der Cognitive Load-Theory [2] von John Sweller, Paul Chandler und der Forschung von R. E. Mayer grundlegende Gestaltungsprinzipien etabliert.

In der Wissenschaftsillustration wird Gestaltungswissen angewandt. Der Blick ist also nicht rückblickend analytisch, sondern lösungsorientiert pragmatisch. Die Gestaltungsprinzipien der Wissenschaftsillustration basieren auf dem großen Datensatz der veröffentlichten Arbeiten und dem fachinternen Diskurs über beispielhafte Lösungen und etablierte Methoden.

Am Beispiel einer Web3D Applikation werden Parallelen und Differenzen der Designlösungen zu den Mayerschen Gestaltungsprinzipien gesucht.

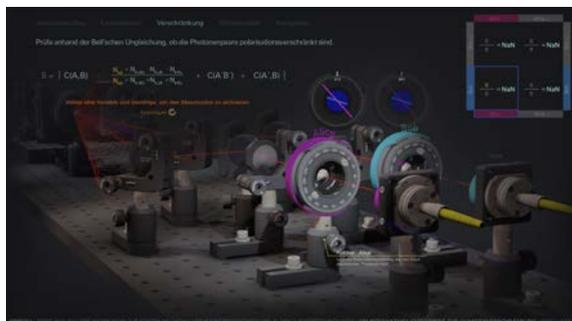


Abb. 1: In der Web3D-Lehr- und Lernapplikation wird ein Versuch zum Nachweis von verschränkten Lichtquanten dargestellt und visuell erweitert, der Daten aus einem baugleichen realen Experiment verarbeitet. Die Verschränkung wird durch parametrische Fluoreszenz erreicht.

Wir zeigen aus der Praxis auf, wie "vieldimensional" jedes einzelnen Mayer-Prinzip umgesetzt werden kann. Und dass es Erfahrungswissen gibt, das über diese Prinzipien hinausgeht.

2. Multimediaprinzip

Menschen lernen besser von Worten und Bildern als nur von Worten allein ([1], S. 397).

2.1. Mediale Synergie

Die Basis der Kommunikation im Bereich Wissenschaftsillustration sind Kompositionen aus verbildlichten Informationen und geschriebenen Worten. Die multimediale Präsentation und die Ansprache möglichst vieler Sinne ist ein Anspruch guter Gestaltung. Diagramme, Handlungsoptionen, mathematische Modellierung, visuelle Modelle und Worte verbinden sich in Echtzeit zu einem synergetischen Geflecht, das wichtige originäre Erfahrungen ermöglicht.

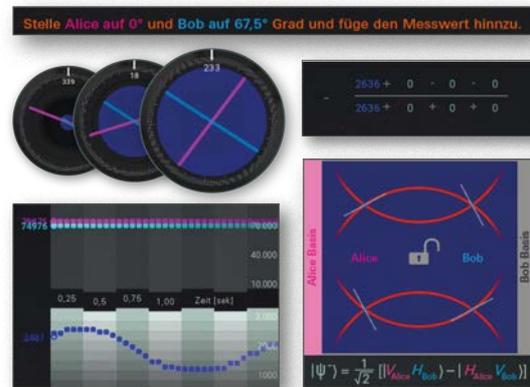


Abb. 2: Lernhilfen werden nach Möglichkeit nicht als Text, sondern als Erweiterungen in Form von Messdiagrammen und interpretierenden Grafiken angeboten.

3. Vorübungsprinzip

Menschen lernen tiefergreifender von Multimedia-Nachrichten, wenn sie die Namen und Eigenschaften der Hauptkonzepte kennen ([1], S. 265).

3.1. Diagrammatik

Die Anleitung der Navigation ist auch innerhalb der multimedialen Anwendung sinnvoll. Damit kann gute Gestaltung eine getrennte Vorübung der Hauptkonzepte vermeiden. Eine andere Möglichkeit stellt das sog. pictorial scaffolding dar, bei dem im Vorfeld der präsentierten Animation unterstützende Illustrationen zum Einsatz kommen [3].



Abb. 3: Piktogramme zur Vorübung der Navigation (Szene drehen, Szene verschieben, Szene fokussieren).

3.2. Zeitliche Dramaturgie

Die zeitliche Abfolge der Einflüsse auf den Laserstrahl wird mit einem schrittweisen Aufbau der Komponenten verdeutlicht. So können vor der Präsentation einer Animation, welche einen komplexen Ursache-Wirkungs-Zusammenhang visualisiert, die einzelnen Teilelemente benannt und deren mögliches Verhalten erläutert werden. Dies wird auch als strategic scaffolding bezeichnet ([4], S. 43). Das Verkörperungsprinzip weist dem zeitlich strukturierten Aufbau einer Zeichnung eine höhere Verkörperung zu, als einer statischen Zeichnung. Die Animation des Versuchsaufbaus sollte ebenso eine höhere Verkörperung darstellen als ein statisch präsentierter Aufbau. Nach dem Verkörperungsprinzip stellt der zeitlich strukturierte Aufbau einer Zeichnung eine höhere Verkörperung dar, als die statische Zeichnung ([1], S. 352).

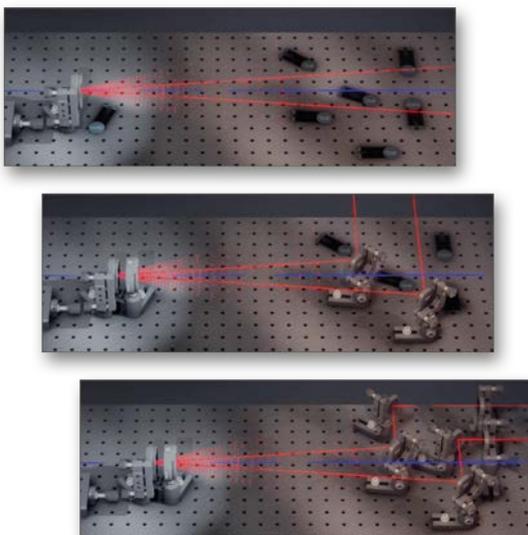


Abb. 4: Bildschirmfotos des animierten Versuchsaufbaus.

4. Immersionsprinzip

Menschen lernen in 3D immersiver Virtual Reality nicht unbedingt besser als mit einer entsprechenden 2D-Präsentation ([1], S. 357).

4.1. Aufmerksamkeit

Immersive, ästhetische Designlösungen bündeln die gesamte sinnliche Wahrnehmung und konzentrieren sie auf ein Ziel. Das Immersionspotential der 3D-Visualisierung ist höher als das der 2D-Visualisierungen. Die Nützlichkeit von Immersion in Web3D-Anwendungen ist maßgeblich von den ästhetischen Qualitäten abhängig. Es ist eine Frage der Dramaturgie und Szenografie, ob dieses Potential lernfördernd wirksam wird. Komposition, Licht, Schatten, Farbgebung, Texturierung und Modellierung spielt dabei eine wichtige Rolle.

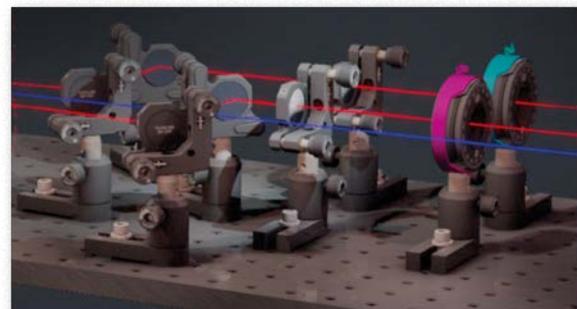
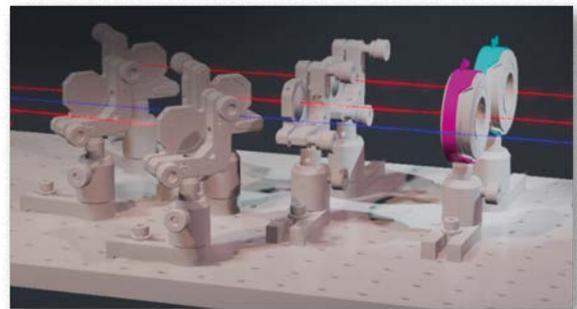


Abb. 5: Bildschirmfotos der 3D-Modelle ohne Textur (oben) und mit Textur (unten).

4.2. Ambient Occlusion und Trompe-l'œil

Mit einer differenzierten und illusionistischen Beleuchtung kann die Immersion gesteigert werden. Die weichen indirekten Schatten (ambient occlusion) können über Texturen imitiert und statisch implementiert werden. Die Trompe-l'œil-Methode ermöglicht zudem die Darstellung von komplexen Details auf polygonreduzierten Geometrien (texture baking). So können räumliche Details, wie Schrauben oder Kabelschlitze Performanceschonend in Echtzeit dargestellt werden. Die höhere Immersion durch eine authentische Darstellung wird in der Wissenschaftsillustration als lernfördernd bewertet. Um Immersion zu steigern, nutzt die Wissenschaftsillustration Gestaltungen glaubwürdiger und vollständiger Kontexte.

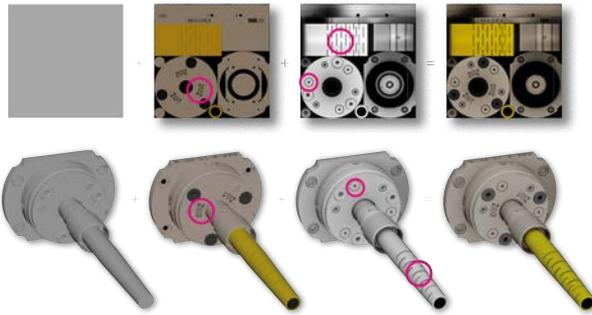


Abb. 6: Bildschirmfotos des virtuellen 3D-Modell der Faserkopplung ohne Textur (links), mit Farben, mit indirekten Schatten, mit Farben und indirekten Schatten (rechts).

5. Kohärenzprinzip

Menschen lernen besser, wenn unwesentliche Materialien ausgeschlossen statt einbezogen werden. Das Kohärenzprinzip kann in drei komplementäre Versionen unterteilt werden: 1. das Lernen wird verbessert, wenn interessante, aber irrelevante Wörter und Bilder aus einer Multimedia-Präsentation ausgeschlossen werden; 2. das Lernen wird verbessert, wenn nicht benötigte Wörter und Symbole aus einer Multimedia-Präsentation entfernt werden; und 3. das Lernen wird verbessert, wenn interessante, aber irrelevante Musik von einer Multimedia-Präsentation ausgeschlossen wird ([1], S. 143).

5.1. Passepartout und Rahmen

Eine wichtige Dimension der Kohärenz in der Gestaltung ist der Einfluss von der Blickführung auf die Wahrnehmung von Inhalten. Die Organisation der Bildfläche ist optimiert in Hinblick auf die Kohärenz. Die Umgestaltung des ursprünglichen Experiments für die Lehr- und Lernapplikation entstand als virtuelle Entwurf unter der Prämisse der Kohärenz zwischen zeitlichem Ablauf und intuitiven Blickrichtungen. Eine lineare Abfolge vermeidet Überschneidungen und erlaubt Beschriftungen und visuelle Erweiterungen über und unter jeder einzelnen Komponente. Die Format- und Größenwahl für die Präsentation des Experiments ist so entscheidend.

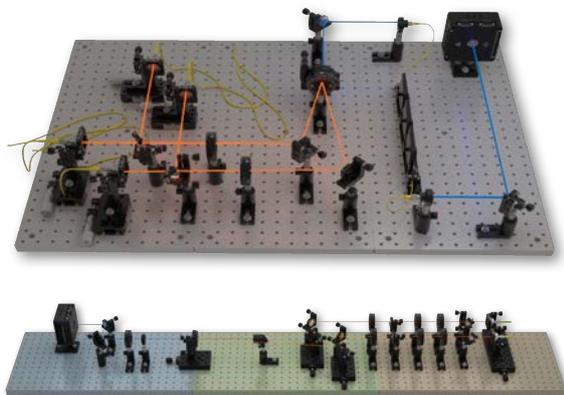


Abb. 7: Der ursprüngliche reale Aufbau des Experiments (oben) wurde zu einem linearen Aufbau (unten) umgebaut.

5.2. Visuelle Kontexte

In der Gestaltung wird das Kohärenzprinzip differenzierter betrachtet. Das interpretierende Bild erhält seine Stärke durch die Fokussierung auf das Modellhafte. Dabei wird die Gestaltung der Kontexte als ein entscheidendes Prinzip der Verständlichkeit sehr ernst genommen. Visuelle Kontexte könnten aufgrund des Kohärenzprinzips nach Mayer als überflüssig abgetan werden. Dieses Missverständnis gilt es zu vermeiden. Beleuchtung, räumliche Bezüge, Details und Materialität sind Kontexte, die für die Orientierung, die Immersion und Kausalitäten wichtige Erfahrungswerte vermitteln. Vermutlich ist es schwierig, diese ganzheitlichen Lernerfolge im Rahmen einer sehr konkreten Lernabfrage zu messen.

6. Verkörperungsprinzip

Menschen lernen tiefer aus Multimedia-Präsentationen, wenn ein Lehrer auf dem Bildschirm eher eine hohe als eine niedrige Verkörperung zeigt ([1], S. 341).

6.1. Schulterblick

Eine First-Person-Perspective ([1], S. 349) in Web3D, Augmented- und Virtual-Reality-Anwendungen ermöglicht dem Benutzer eine Schulterblick-Perspektive bzw. die unmittelbare Perspektive des Instruktors.

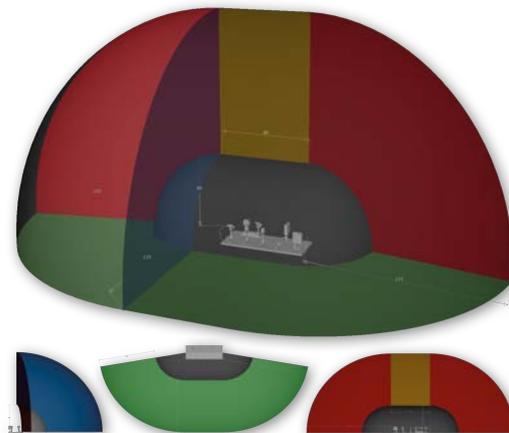


Abb. 8: Die perspektivische Ansicht (oben) visualisiert den limitierten Bewegungsraum der Kamera vor dem Experiment. Die Blickrichtung ist dabei stets ins Zentrum gerichtet. Die Ansichten (unten) zeigen die Einschränkungen von der Seite (blau), von oben (grün) und von vorne (rot).

6.2. Blickregie

Die Kamera ist in ihrer Bewegung limitiert. Zwischen einer Übersicht und Detailansicht können beliebige Positionen eingenommen werden. Die Ausrichtung der Kamera zielt dabei stets auf den Laserstrahl. Die Kamera kann sich weder hinter noch unter den Komponenten befinden. Dies ermöglicht eine eindeutige räumliche Orientierung. Rechts, Links, Oben und Unten bleiben verbindliche Raumrichtungen. Die Lese- richtung bleibt immer parallel zur Ausbreitung des

Laserlichts. Irritationen werden minimiert, die Orientierung erleichtert und die Immersion gesteigert. Die Bewegungsräume entsprechen einem Beobachter, der vor einem Tisch mit dem Aufbau steht und nicht um den Aufbau herum gehen kann. Damit entsteht der Eindruck einer geleiteten Perspektive, die als Aspekt der Verkörperung verstanden werden kann. Der natürliche Bewegungsradius einer Person (Schulterblick) wird hiermit imaginiert.

7. Räumliches Kontiguitätsprinzip

Menschen lernen besser, wenn entsprechende Wörter und Bilder auf der Seite oder dem Bildschirm nah und nicht weit voneinander entfernt dargestellt werden ([1], S. 207).

7.1. Überlagerungen versus Kontiguität

Je näher die Texte an die Objekte rücken, umso klarer ist der inhaltliche Bezug. Dies erlaubt kürzere Texte, da auf die Formulierungen der inhaltlichen Bezüge verzichtet werden kann. Optische Störungen, wie schlechte Kontraste oder Überschneidungen von Texten, zerstören die positive Wirkung. Mit dem Positionswechsel des Betrachters verändern sich die Objekt-Hintergrund-Beziehungen. Störpotentiale durch unplanbare Überlagerungen müssen bedacht und durch geschickte Organisation der Räume reduziert werden. Die Variante mit der höchsten räumlichen Kontiguität ist nicht zwangsläufig die beste.

7.2. Wichtungsbereiche

Das Kontiguitätsprinzip von Text und Bild ist ein fundamentales Prinzip der Infografik und der Grafik Novelle. Es gilt aber auch für Bildkompositionen ohne Text. Bildkompositionen sind auf der Fläche organisierte Bildinhalte. Es geht immer darum, den Blick zu führen, um die visuelle Argumentation zu strukturieren. Kontiguität wird nicht nur durch Raumbezüge, sondern auch durch Farben und gleiche grafische Attribute erzeugt. Damit sich die Inhalte nicht überlagern, wurde die Kamera in ihrer Bewegung eingeschränkt.

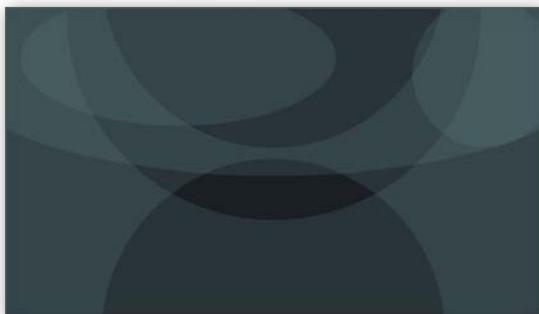


Abb. 9: Die Ebenen (hell) zeigen die möglichen Erscheinungsbereiche der Bild- und Textinhalte. Im Zentrum bleibt ein Bereich (dunkel) für die anvisierte Komponente und den Laserstrahl frei. In den stark frequentierten Bereichen oben links und rechts wird das Experiment durch eine künstliche Vignette (siehe Vignetteeffekt) abgedunkelt.



Abb. 10: Die Kameraeinschränkung erzwingt stets Ansichten, bei denen sich die Laserquelle (links) nahe dem Menü und die Detektoren (rechts) nahe dem Messbereich befinden.



Abb. 11: Diagramme stehen nur in der oberen Bildhälfte, immer planar über den Komponenten des Experiments. Ihr Erscheinen blendet die Anweisungen aus.

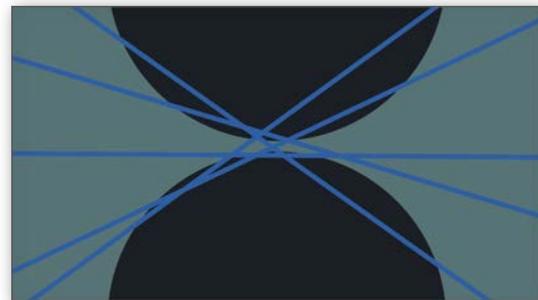


Abb. 12: Der Laserstrahl geht immer durch die Bildmitte. Er teilt so den Bildschirm in den Bereich der Menüs und Diagramme und den Bereich des Experimentalaufbaus.

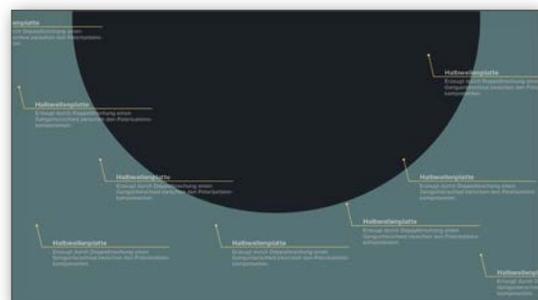


Abb. 13: Die Annotierungen werden durch Mouseover aufgerufen und sind am Sockel der Komponenten angeordnet. Sie überlagern sich nie mit den Diagrammen.

8. Signalisierungsprinzip

Menschen lernen besser, wenn Hinweise hinzugefügt werden, die die Organisation des wesentlichen Materials hervorheben ([1], S. 166).

8.1. Vignetteeffekt

Ursprünglich basiert dieser Effekt auf der zum Rand hin abnehmenden Ausleuchtung fotografischer Objekte. Hier wird er genutzt, um die Aufmerksamkeit zur Bildmitte zu lenken. Kontrastreiche Elemente ziehen den Blick auf sich. Zusätzlich dient die erweiterte Vignette, die hier als Maske zu sehen ist, der Beruhigung des Hintergrunds. Die Anweisungstexte stehen gut lesbar vor den Bereichen, in denen die Vignette Kontrast und Helligkeit reduziert.



Abb. 14: Ebene der überlagerten Vignette.

8.2. Idel-Mode

Bewegung lenkt den Blick noch stärker auf sich als auf andere Kontraste. Der Bewegungskontrast hebt Elemente vom Hintergrund hervor. Der Strahlengang ist auf diese Weise betont und lässt sich gut von den anderen Linien im Bild unterscheiden.



Abb. 15: Bildschirmfoto des Laserstrahls im Detail.

8.3. Mobiler Lichtspot

Ein kleiner Lichtspot folgt dem Mauszeiger. Das Prinzip des Bewegungskontrastes zwingt uns, der Maus mit dem Blick zu folgen. So führt die Verfolgung der Maus durch den Spot dazu, dass immer der Bereich mit dem Spot hervorgehoben wird, auf den wir blicken. Der Lichtspot wird durch die Vignette in der Intensität zum Rand hin abgeschwächt. Nicht aktiv am Versuch beteiligte Komponenten können gezielt ausgeschlossen werden.

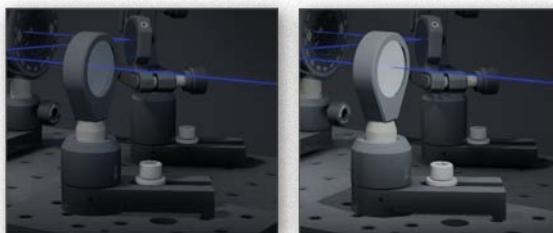


Abb.16: Bildschirmfoto der Linsenhalterung ohne (links) und mit (rechts) Lichtspot.

8.4. Optische Kontiguität

Mit der Entfernung nimmt das Volumen von Objekten ab. Für den dünnen Laserstrahl bedeutet dies, dass er ab einer bestimmten Entfernung dünner als ein Bildpixel würde und nicht mehr dargestellt werden könnte. Für eine kontinuierliche und als richtig wahrgenommene Darstellung wird der Strahldurchmesser deshalb proportional zur Kameradistanz skaliert.

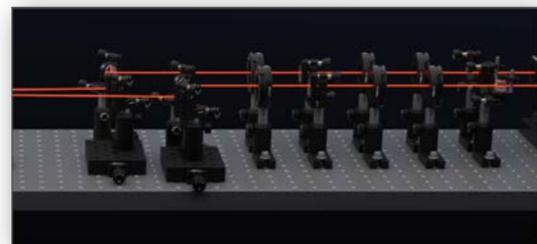
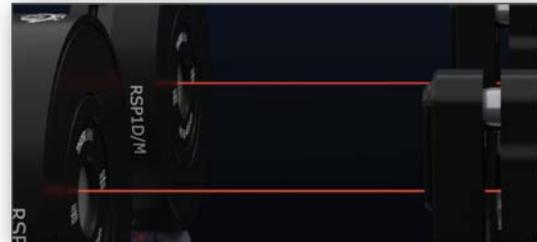


Abb. 17: Darstellung des Laserstrahls in der Nahansicht (oben) und Fernansicht (unten) bei gleichbleibendem Laserstrahldurchmesser.

8.5. Hauptlichtspot

Das Hauptlicht wird von einem blauen (links) und einem roten (rechts) Lichtspot übernommen. Sie segmentieren den Versuchsaufbau in den Bereich des blauen Lasers und den des verschränkten roten Laserlichts. Die Beleuchtung übernimmt damit eine strukturierende, inhaltsbezogene Aufgabe.

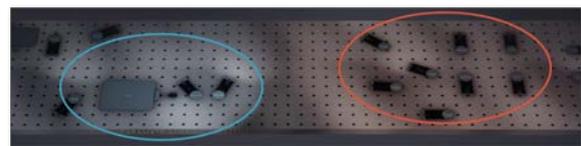


Abb. 18: Bildschirmfoto der Grundplatte mit dem blauen (links) und dem roten (rechts) Hauptlichtspot.

9. Zeitliches Kontiguitätsprinzip

Menschen lernen besser, wenn entsprechende Wörter und Bilder gleichzeitig und nicht nacheinander präsentiert werden ([1], S. 227).

9.1. Zeitgleiche Visualisierung

Anweisungstexte und zugehörige Zeichen sind in orange ausgezeichnet. Sie werden gleichzeitig und gleichfarbig angezeigt. Gleichfarbigkeit und Übereinstimmung von grafischen Attributen (Formverwandtschaft von Schrift und Piktogramm) sind Eigenschaften, die räumliche Nähe erzeugen und sich

damit auf die Kontiguität auswirken. Eine kluge Übereinstimmung in Farbe und Form kann einen höheren Effekt auf das Lernen haben als die reine räumliche und zeitliche Nähe.



Abb. 19: Bildschirmfotos der interaktiven Ungleichung, der Icons und des Anweisungstextes.

9.2. Messbasis

Das Konzept der Superposition verlangt nach einer Visualisierung von Gleichzeitigkeit an zwei Orten. Das Diagramm zeigt die Wiederholung der Kegelflächen-Schnittpunkte und die Abhängigkeit von der gewählten Messbasis.

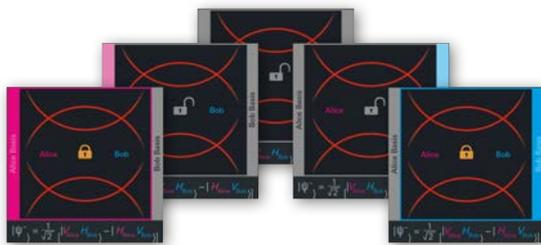


Abb. 20: Auf den beiden Schnittpunkten ergibt sich eine Superposition der von Produktzuständen der Polarisation, und somit ein verschränkter Polarisationszustand. Die Bildschirmfotos zeigen die unterschiedlichen Zustände.

9.3. Farbcodierung Alice und Bob

Um das verschränkte Photonenpaar auseinander halten zu können, wurden sie als Alice und Bob bezeichnet und mit den Farben Magenta und Cyan gefärbt. Dem Farbsystem folgen alle Notationen und Komponenten, die sich eindeutig Alice oder Bob zuordnen lassen. Beide addieren sich in der subtraktiven Farbmischung zu dem Blau des Ausgangslasers. Die Koinzidenz erhält die selbe blaue Farbe.

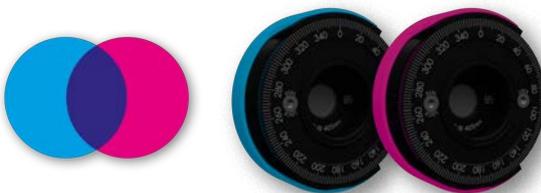


Abb. 21: Farbkonzept zur zeitgleichen Wahrnehmung. Subtraktive Farbmischung (links) und die Polarisatoren Bob (cyan) und Alice (magenta) mit farbiger Manschette.

10. Segmentierungsprinzip

Menschen lernen besser, wenn eine Multimedia-Nachricht in benutzergesteuerten Segmenten anstatt als kontinuierliche Einheit präsentiert wird ([1], S. 247).

10.1. Kapitelübersicht

Die Applikation ist in Lerneinheiten unterteilt, die aufeinander aufbauen. Um die lineare, kausale Struktur flexibel nutzen und durchbrechen zu können, bietet ein Menü die Wahl der Kapitel an. Ein visuelles Feedback über grüne Häkchen zeigt die abgeschlossenen Kapitel an und motiviert dazu, alle Kapitel zu bearbeiten.

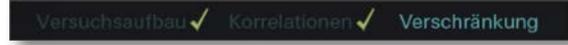


Abb. 22: Bildschirmfoto des Kapitel-Menüs.

10.2. Interaktivitätsprinzip

Das Segmentierungs- bzw. Interaktivitätsprinzip (Robinson, 2004) ist speziell bei komplexen Inhalten sinnvoll. Über einen interaktiven „weiter“ bzw. „bestätigen“- Button ([1], S. 248) kann der Lernende die Bell'sche Ungleichung mit individueller Geschwindigkeit und in kleinen Einheiten selbstständig erarbeiten, Messungen eintragen und so das gelernte Wissen anwenden (Learning by Doing).

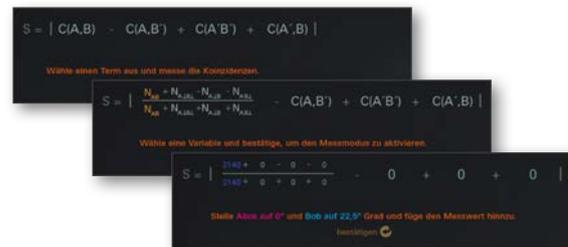


Abb. 23: Bildschirmfotos der Bell'schen Ungleichung auf der Ebene der Hauptformel (oben), der Variablen (mitte) und der Messwerte (unten).

10.3. Leserichtung

Der Versuchsaufbau wird in Leserichtung präsentiert. Die kausale Folge von Ursache und Wirkung wird mit der Übereinstimmung von Ausbreitung des Lichts und Leserichtung betont. Diese lineare Gestaltung ermöglicht eine sinnvolle Segmentierung des Aufbaus in folgerichtige Einheiten. Lichtquelle, BBO-Kristall und der Verschränkungsnachweis folgen aufeinander dextrograd waagrecht. Die Anordnung kommt Menschen mit niedrigen räumlichen Sehfähigkeiten entgegen ([4], S. 130). Die Aufteilung des Bildraums, wie es im Kapitel Verkörperungsprinzip erläutert wird, stellt auch eine Form der Segmentierung dar. Sie dient der Strukturierung von Informationen, die zeitgleich angeboten werden. Zur Segmentierung eignen sich folglich auch Kontraste und Gestaltungsmerkmale wie Farbgebung, Formgebung und Lichtdramaturgie.

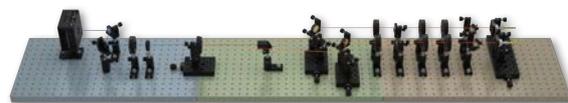


Abb. 24: Rendering des 3D-Entwurf unter der Prämisse der Leserichtung und der Segmentierung.

11. Redundanzprinzip

Menschen lernen nicht besser, wenn gedruckter Text zu Grafiken und Erzählung hinzugefügt wird. Wenn der Unterricht schnelllebig ist, lernen Menschen besser von Grafiken und Kommentaren als von Grafiken, Kommentaren und gedrucktem Text ([1], S. 186).

11.1. Grafische Konzeption

Die visuelle Vermittlung von Inhalten über selbsterklärend Piktogramme und Illustrationen ist immer schneller und fordert weniger kognitive Leistung als die textliche Vermittlung. Das „Hören mit den Augen“ ist ein ästhetischer Umweg, der einerseits das zeitgleiche Verarbeiten visueller Informationen verhindert, weil die visuelle Reizverarbeitung in den Leseprozess eingebunden ist und andererseits den Hörsinn parallel beansprucht. Deshalb ist eine von den Bildinformationen ausgehende Konzeption für Lehr- und Lerninhalte grundsätzlich eine gute Idee, fordert jedoch eine entsprechende Fachkompetenz. Textliche Wiederholungen bereits visuell vermittelter Informationen behindern den Wissenserwerb. Mehrfach vorhandene Informationen führen beim Lernenden zu Interferenzen, erhöhen den extrinsischen Cognitive Load und behindern den Wissenserwerb ([4], S. 26). Je besser die Aufgabenverteilung und der Bezug von Text zum Bild gelingt, umso sparsamer kann formuliert werden und umso besser ergänzen sich die medialen Formate. Für die Gestaltung bedeutet dies, je knapper die Formulierung desto höher die Kontiguität und umso eher können Redundanzen reduziert werden ([4], S. 23).



Abb. 25: Bildschirmfoto der Annotation zum Polarisator.

11.2. Datenreduktion

Auch bei der Gestaltung der Daten ist die Vermeidung der Redundanz zu beachten. Geometriedetails, die über die Textur vermittelt werden können, sollten aus der Geometrie entfernt werden, da sie die Performance des Computers reduzieren und damit die zeitliche Kontiguität der Interaktivität herabsetzen. Die Folge ist eine geringere Immersion. In mehreren Arbeitsschritten wurden die Modelle zu sinnvollen funktionalen Einheiten verschmolzen, optimiert, abstrahiert und händisch nachmodelliert. Für die Kalkulation von Texturen, Mouseover-Abfragen, Laser-Kollisionsabfragen, Spiegelungen, Licht und Schatten ist eine möglichst geringe Anzahl von Objekten, von Polygonen mit homogenen Quadmeshes und geschlossenen (wasserdichten) Oberfläche ohne Unterschneidungen anzustreben. Mit jedem zusätzlichen Polygon vervielfachen sich die Rechenvorgänge.

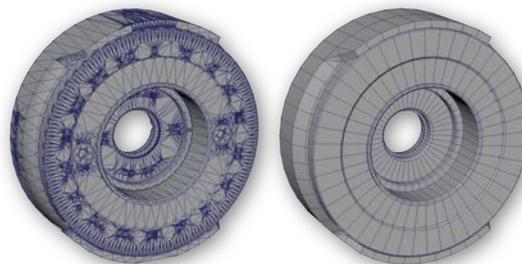


Abb. 26: Bildschirmfotos der Komponente RSP1DD/M als CAD-Modell (links) mit 25.569 Vertices und als interpretiertes Modell (rechts) mit 1.869 Vertices.

12. Zusammenfassung

Die visuelle Konzeption und Gestaltung von Vergleichsumgebungen der empirischen Forschung werden in der Regel nicht von professionellen wissenschaftlichen Mitarbeiter:innen aus der Wissenschaftsillustration erstellt. Das hier beschriebene Forschungsprojekt geht diesen innovativen Schritt. In dem Team aus Fachdidaktik der Physik und dem Center for Nanotechnology der WWU Münster und der Wissenschaftsillustration des Departments Design der HAW Hamburg entstanden in Kooperation mehrere Vergleichsumgebungen, die von der Didaktik als Erhebungsinstrumente für die qualitative empirische Forschung genutzt wurden und werden ([5,6]).

Bedingungen für die empirische Forschung mit Erhebungsinstrumenten schränken die Gestaltungsfreiheit ein, dennoch bleibt viel Raum für Gestaltungslösungen, die auch in Hinblick auf ihren Einfluss auf die zu messenden Größen betrachtet werden müssen. Die Professionalisierung dieser Lösungen sollte zu besseren Ergebnissen der empirischen Forschung führen.

Die rückblickende Analyse der entwickelten Applikation aus dem Blickwinkel der Mayerschen Gestaltungsprinzipien, die zur Zeit der Entwicklung nicht ausschlaggebend für die Gestaltungsentscheidungen waren, und die Exploration von ästhetischen Qualitäten, die der Wissenschaftsillustration als Richtlinien für Designentscheidungen dienten, zeigt interessante Unterschiede in den Bewertungen und Handlungsweisen der beteiligten Disziplinen.

Anders als bei der Analyse der Wirkung von Gestaltungen auf das Lernverhalten wird in der Wissenschaftsillustration Gestaltungswissen angewandt. Der Blick ist also nicht rückblickend analytisch, sondern lösungsorientiert pragmatisch ausgerichtet. Die Gestaltungsprinzipien der Wissenschaftsillustration basieren auf dem großen Datensatz der veröffentlichten Arbeiten und dem kontinuierlichen Fachdiskurs über beispielhafte Lösungen und etablierte Methoden. Da das Design alle Medienformate beeinflusst, bilden alle Publikationen die Datenbasis auf deren Grundlage die Fachgemeinschaft Qualität definiert. Aspekte wie Reichweite und Resonanz sind wichtige Indikatoren für die Relevanz in den fachinternen Diskursen.

Die Wissensbasis des Designs ist weniger formalisiert. Die Definition guter Gestaltung findet weniger auf der Ebene von Fachartikeln statt, dafür umso mehr über die Publikation und Rezeption beispielhafter Designlösungen. Der Schatz dieser umfangreichen Wissensbasis ist visuell und größtenteils nicht verbalisierbar. Die Definition von ästhetischen Qualitäten wird nicht verbal vereinbart, sondern über den Einfluss, den gute Beispiele auf neue Lösungen haben.

Während die rückblickende Analyse die Lösungen der Praxis zum Anlass nimmt, um diese zu systematisieren und in abstraktere, verallgemeinerbare Thesen zu reduzieren, und ihre Wirkung auf das Lernverhalten quantitativ nachzuweisen, versucht die zukunftsorientierte Entwicklung neue Lösungen für neue Problemstellungen zu finden. Diese können später wiederum rückblickend systematisiert, abstrahiert und empirisch untersucht werden.

Eine auf Zukunft orientierte Entwicklung kann zwangsläufig nicht ausschließlich die Konventionen aus der rückblickenden Medienanalyse zum Maßstab ihrer Arbeit erheben. Deshalb ist es interessant die Differenzen dieser beiden Blickrichtungen an einem Beispiel – und nur an einem aktuellen Praxisbeispiel ist so etwas überhaupt möglich – zu zeigen.

Die Grundhaltung einer innovativen Entwicklung ist kritisch gegenüber den etablierten Prinzipien, die hier durch die Mayerschen Prinzipien repräsentiert werden. Die Realität verlangt nach sehr differenzierteren, durch vielfältige Wechselbeziehungen beeinflusste Detaillösungen. Allgemeingültige Prinzipien können nicht als zielführende Gebrauchsanweisungen für konkrete Problemlösungen im Design empfohlen werden.

Auch die Kategorien werden je nach Disziplin unterschiedlich gesetzt. Das Verkörperungsprinzip z. B. ist im Design in den dramaturgischen Prinzipien verortet. Kontiguität ist hier ebenfalls ein Aspekt der Dramaturgie und wird über die Blickführung und die damit verbundene zeitlich-inhaltliche Kommunikationsabsicht begründet.

Im Ergebnis kann jedoch festgestellt werden, dass es keinen grundlegenden Konflikt zwischen den beiden Erkenntniswegen der quantitativen, zurück blickenden empirischen Forschung und den auf Erfahrungswissen und good practice Daten basierenden Kriterien der zukunftsorientierten Designpraxis gibt. Die Mayerschen Gestaltungsprinzipien werden in differenzierter Ausprägung in diversen Designentscheidungen sichtbar. Die Anwendung verlangt jedoch sehr viel differenziertere Abwägungen, als sie diese Gestaltungsprinzipien bieten. Deutlich wird das immer dann, wenn sich die Prinzipien gegenseitig bedingen. So kann Kontiguität, die räumliche Nähe von Beschriftungen zu Objekten, allein durch eine unpassende Gestaltung der Objektumgebung destruktiv wirken. Bevor eine hohe Kontiguität also sinnvoll realisiert werden kann, müssen grundlegende Designentscheidungen gefallen sein, die dies überhaupt erst

ermöglichen. Diese Entscheidungen wiederum beeinflussen die Kohärenz und die Signalisierungsmöglichkeiten oder verändern das Immersionspotential.

Die Anwendung ist unter folgendem Link erreichbar: <https://www.haw-hamburg.de/forschung/forschungsprojekte-detail/project/project/show/mirequ/>

13. Literatur

- [1] Mayer, R. E. (2021): Cognitive Theory of Multimedia Learning. In: Mayer, R. E. (Hrsg.): The Cambridge Handbook of Multimedia Learning, 3rd edition. Cambridge: Cambridge University Press.
- [2] Sweller, J., Ayres, P., Kalyuga, S. (2011): Cognitive Load Theory. New York, Dordrecht, Heidelberg, London: Springer.
- [3] Mayer, R. E., Mautone, P., Prothero, W. (2002): Pictorial aids for learning by doing in a multimedia geology simulation game. DOI: <https://doi.org/10.1037/0022-0663.94.1.171>
- [4] Rey G. D. (2008): Lernen mit Multimedia. Trier: Universität Trier, DOI: <https://doi.org/10.25353/ubtr-xxxx-b4a5-cb26>
- [5] Schlummer, P. et al. (2020): MiReQu - Mixed Reality Lernumgebungen zur Förderung fachlicher Kompetenzentwicklung in den Quantentechnologien. In: PhyDid B - Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung, [S.l.], sep. 2020. Verfügbar unter: <https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phydid-b/article/view/1044>
- [6] Schlummer, P. et al. (2021): Physikalische Modelle erfahrbar machen - Mixed Reality im Praktikum. In: PhyDid B - Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung, [S.l.], okt. 2021. Verfügbar unter: <https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phydid-b/article/view/1128>

Hinweis auf Förderung durch das BMBF

Das Projekt MiReQu wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert.

How Excitations of the Vacuum form Mass

Hans-Otto Carmesin*

*¹Gymnasium Athenaeum, Harsefelder Straße 40, 21680 Stade

²Studienseminar Stade, Bahnhofstr. 5, 21682 Stade

³Universität Bremen, Fachbereich 1, Postfach 330440, 28334 Bremen

hans-otto.carmesin@t-online.de

Kurzfassung

Materie ist ein zentrales Konzept. Sogar fundamentale Wechselwirkungen können durch Elementarteilchen mit Masse vermittelt werden. Das stellte die Physik zunächst vor ein Problem, denn die üblichen angewendeten Prinzipien der kleinsten Wirkung und der Eichinvarianz alleine sagen masselose Bosonen der Wechselwirkung vorher. Als Lösung wurde ein Phasenübergang vorgeschlagen, bei dem aus dem Vakuum Masse entsteht, das ist der Higgs-Mechanismus. Allerdings lässt der Mechanismus zentrale Fragen unbeantwortet: Wie genau entsteht diese Masse? Welches Massenspektrum tritt auf? Hier wird meine neue Theorie des Vakuums vorgestellt, die alle Parameter des Standardmodells der Kosmologie liefert, und die auch die beiden obigen Fragen beantwortet. In diesem Aufsatz analysiere ich die didaktische Perspektive des Themas, einschließlich Higgs-Mechanismus und Dynamik sowie Anregungsspektrum des Vakuums. Die Thematik habe ich in zwei Lerngruppen erprobt, in einer Jugend forscht Arbeitsgruppe für die Klassenstufen 8 bis 13 und in einem General Studies Kurs an der Universität Bremen. Ich berichte ich über Erfahrungen mit der Thematik in den beiden Lerngruppen.

Abstract

Matter is an essential concept. Indeed, also fundamental interactions can be transmitted by elementary particles with mass. This fact had become a problem, as the usual principles of least action and gauge invariance predicted particles of interaction without mass. That problem has been solved by the proposed Higgs mechanism: vacuum exhibits a phase transition that forms mass. However, that mechanism does not provide answers for essential questions: By what mechanism can vacuum generate mass? What spectrum does the vacuum provide in the process of generating mass? Here, my theory of vacuum is presented. That theory provides all parameters of the standard model of cosmology, and that theory provides answers to the above two questions. In this paper, I analyse the didactical perspective of the topic, including the Higgs mechanism as well as the dynamics and spectrum of vacuum. I tested that topic in two learning groups: a research club for classes 8 to 13 and a general studies course at the university Bremen. I report about the experience with the use of the topic in the two learning groups.

1. Introduction

Students are highly interested in astronomy and astrophysics, including space science (Elster 2010, Jenkins 2006, Pössel 2015). An especially interesting feature of space is its expansion since the Big Bang, and how that expansion is caused by the formation of vacuum. A particularly interesting feature of vacuum is its ability to form mass. Such a process takes place in the formation of the Higgs boson, for instance. As mass and matter are ubiquitous in everyday life, that process is essential for understanding the characteristics of nature, which is another very interesting topic for students (Elster 2010). The transformation from space to matter is caused by a phase transition.

Students know phase transitions from everyday life: They know about condensation of water providing rain or fog, for instance. They know the inverse transition of evaporation. Additionally, they know about the melting of ice and the inverse transition: freezing.

Moreover, they know how molecules are organized at these transitions. Thus, the students know about the general concept of phase transitions, but they do not know how vacuum can provide such a transition. So, the students experience a substantial scientific curiosity, when they are posed to the question: How does matter form from vacuum in the process of a phase transition?

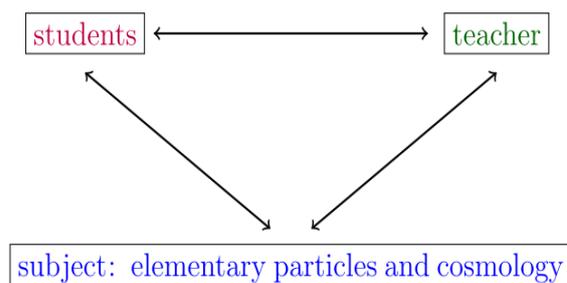


Fig. 1: Didactical triangle.

1.1. Didactical perspective

The didactical perspective can be analysed in the framework of the didactical triangle, see Franke and Gruschka (1996) or Fig. 1. That triangle represents the relation between the students, the teacher and the subject. Hereby, the relation between the students and the subject is characterized by a high interest of the students, including the motivating aspect of scientific curiosity. From the perspective of the students, the idea of a phase transition forming matter from vacuum poses several questions, see Fig. 2: What structure of vacuum causes a transition? Why and how is vacuum reorganized at the transition? What structure of matter is provided by the transition?

In the perspective of the history of science, the phase transition from vacuum to matter poses similar questions: The structure of matter has been a mystery for a long time. More than 2000 years ago, Leukippos and Democritos proposed hypothetical particles (named ‘atomos’, see Tsaparlis 2001) as the smallest and indivisible building blocks of matter. Dalton (1808) provided a scientific basis for atoms. In present-day physics, many elementary particles have been discovered at length scales down to 10^{-20} m and at energy scales up to TeV, see e. g. Zyla (2020). These elementary particles are usually described by the standard model of elementary particles, SMEP, see Weinberg (1996). In that model, the formation of mass is described by a phase transition, by which mass forms from vacuum (Higgs 1964). However, in the SMEP, two essential questions are not answered: What mechanism of vacuum forms the mass? What spectrum of vacuum is underlying the formation of mass?

The questions are summarized in the didactical triangle in Fig. 2. These questions are answered in this paper. This is achieved by my new theory of vacuum (Carmesin 2021a, Fig. 1). With it, quantum physics, QP, (Carmesin 2022a) and general relativity, GR, (Carmesin 2022b) have been derived. Moreover, essential properties of vacuum (Carmesin 2020) and of particles, that are not predicted by the SMEP, have been derived (Carmesin 2021b-e, 2022b). Thus, the theory of vacuum, QP, GR and the SMEP are related as shown in Fig. 4.

As an advance organizer, I summarize the dynamics of vacuum: Vacuum represents a concept of physics, whereas concepts of space are used in mathematics and in physics. Basically, the dynamics of vacuum have been derived from fundamental physical principles including quantum physics, see e. g. Carmesin (2017, 2018a, b, 2019a, 2021a-f). Moreover, quantum physics has been derived from gravity and special relativity only (Carmesin 2022a).

In particular, vacuum dynamics provides various results: Basically, the dynamics of vacuum describes three-dimensional vacuum, and more generally, the dynamics of vacuum includes higher dimensional vacuum, see e. g. Carmesin (2021a, f). Vacuum

dynamics have been analysed at a semiclassical level and at a quantum physical level, see e. g. Carmesin (2021a, f). Basically, vacuum dynamics describes the formation of space, moreover, it describes the formation of matter as well as the formation of elementary charges, couplings and of fundamental interactions, see Carmesin (2021a-f, 2022b, c). Basically, the dynamics of vacuum describes the rate of expansion of space since the Big Bang, including the Hubble constant H_0 . Furthermore, vacuum dynamics describes the Hubble tension and the era of inflation (Carmesin 2021a-c). Vacuum dynamics describes the propagation of the gravitational interaction, see Carmesin (2021a). Basically, vacuum dynamics describe the formation and propagation of vacuum at a far distance of a possible black hole with a Schwarzschild radius R_s , $R_s/R \gg 1$. Moreover, the dynamics of vacuum describes the formation and propagation of vacuum in the vicinity of a black hole Carmesin (2022a, Eq. 3.250-3.252).

The concept of the Higgs-mechanism including the Higgs-field has been used in classes 11 and 12, see Becker and Hopf (2021). Thereby, the students understood the basic idea and applied it in new examples by transfer. In that study, the Higgs-field has been used as a basic physical entity. Here, that field is explained by the dynamics of vacuum.

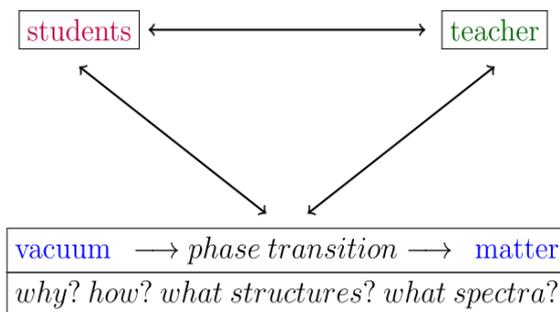


Fig. 2: Didactical triangle: scientific curiosity.

1.2. Didactical perspective of vacuum

The scientific question about the phase transition can be treated in an analytic and productive manner in two steps. I presented that concept to learners ranging from class 8 to 13 in a research club (see Carmesin, 2021f, Lieber and Carmesin 2021, Carmesin and Carmesin 2020) and to students of a general studies course at the university Bremen. In both groups, the students were able to describe the steps of the respective derivations and to discuss the consequences. Moreover, some advanced students derived some results on their own. Some of these presented their results at Jugend forscht competitions and won prizes. In particular, the students of both groups achieved the following competences:

Firstly, the missing mass in the electroweak interaction is analysed, and the Higgs mechanism provides a solution, see Fig. 3. Moreover, the Higgs mechanism

provides the concept of an expectation value (a so-called vacuum expectation value, vev) of the energy of a portion of vacuum. However, the values, the portion of vacuum and the underlying mechanisms are not modelled or clarified.

Secondly, the dynamics of the vacuum is analysed. These dynamics of vacuum provides several didactical perspectives, see Fig. 3.

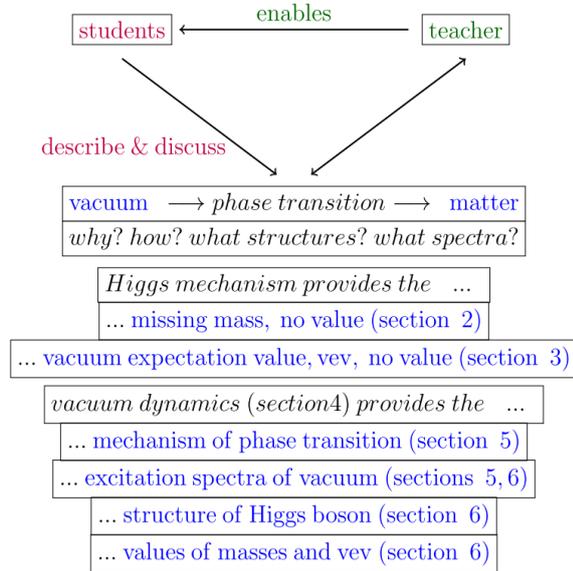


Fig. 3: Didactical triangle illustrates students describing and discussing the formation of mass from vacuum at two levels: Higgs mechanism and dynamics of the vacuum.

The students described and discussed the steps of the derivation of the dynamics of vacuum (section 4). Moreover, the students described and discussed, how the dynamics of vacuum provide dimensional phase transitions at high density (section 5). Hereby, the students realized the following items: Firstly, the dynamics of vacuum have been tested. Secondly, dimensional phase transitions are a natural consequence of the dynamics of vacuum. Thirdly, higher dimensional physics have been observed in experiments (Lohse et al. 2018, Zilberberg et al. 2018). Fourthly, dimensional phase transitions naturally provide the era of cosmic inflation. Fifthly, the critical densities have been derived and evaluated. Sixthly, these critical densities explain the everyday life fact of three-dimensional space ($D = 3$ is non-trivial and requires an explanation). On the other hand, the students pointed out that the concept of a dimensional phase transition is surprising.

Furthermore, the students described and discussed the following: the excitation spectra of the vacuum (sections 5, 6), the minimal structure of the Higgs boson and the derived mass, which is in accordance with observation (section 6), the structure of the vev and the derived masses and energies, according to observations (section 6). Altogether, didactical perspectives inherent to vacuum have been used at two levels: the level of the Higgs mechanism and the level of vacuum dynamics.

2. Missing mass in electroweak theory

In this section, we shortly summarize the unification of electromagnetic and weak interactions to the electroweak interaction, EWI (Weinberg 1996). For instance, that unified interaction describes the β -decay. Hereby, an up-quark decays into a down-quark, an electron and an electronic antineutrino:

$$u \rightarrow d + e^- + \bar{\nu}_e \quad \{1\}$$

The corresponding Lagrangian or energy function or Hamiltonian can be derived from quantum physics, which can be described by the principle of least action or extremal action, PLA (see Erb 1992 or Grebe-Ellis 2006 for didactical perspectives and applications of the PLA), in quantum field theories (Carmesin 2022a, Carmesin 2022b, Feynman 1985, Weinberg 1996). In particular, the interaction can be derived from the principle of gauge invariance, PGI (Carmesin 2022a, Carmesin 2022b, Weinberg 1996). Thereby, the electroweak interaction is transmitted by the photon, the Z-boson and the W-bosons. Hereby, these bosons have zero mass, according to the PLA and the PGI. However, the observed mass of the Z-boson is 91,1876 GeV and the observed mass of a W-boson is 80,38 GeV (Zyla 2020):

$$m_z = 91,1876 \text{ GeV}; m_w = 80,38 \text{ GeV} \quad \{2\}$$

Thus, there is a huge missing mass in the PLA and PGI.

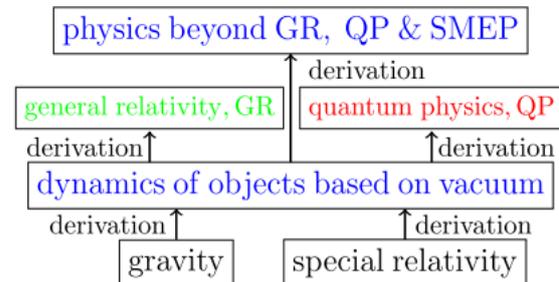


Fig. 4: My theory of vacuum can be used to derive quantum physics and general relativity as well as physics beyond QP, GR and the SMEP.

3. Mass via phase transition of vacuum: Higgs mechanism

In this section, we shortly summarize the Higgs mechanism (see Higgs 1964 or Weinberg 1996). The theory is based on the relativistic relation of energy E and moment p (Einstein 1905):

$$E^2 = p^2 c^2 + m_0^2 c^4 \quad \{3\}$$

In the theory of the EWI, the term $p^2 c^2$ represents the kinetic energy T and the term $-m_0^2 c^4$ represents the potential energy E_{pot} or the potential V . Moreover, the square of the mass is multiplied by the square of a scalar field Φ^2 . Note that I derived such a scalar field from the theory of vacuum and from the wave function (Carmesin 2022a, b). Additionally, we use

Planck units, so that the velocity of light is one. Accordingly, the potential is as follows:

$$V(\Phi) = -m_0^2 \cdot \Phi^2 \quad \{4\}$$

Higgs proposed an additional term $\lambda \cdot \Phi^4$, with a so far unknown parameter λ :

$$V(\Phi) = -m_0^2 \cdot \Phi^2 + \lambda \cdot \Phi^4 \quad \{5\}$$

Thereby, Higgs proposed a complex or a two-dimensional real field, so that a component Φ_1 is described as follows:

$$\Phi_1 = \frac{\Phi}{\sqrt{2}} = \frac{v}{\sqrt{2}} \quad \{6\}$$

Thus, Higgs obtained a usual potential describing phase transitions (Landau 1937): If m_0 is positive, then the minimum of the potential occurs at the following value of the scalar field:

$$\Phi_{1,opt} = \frac{m_0}{\sqrt{4\lambda}} = \frac{v_{opt}}{\sqrt{2}} = \frac{\Phi_{opt}}{\sqrt{2}} \quad \{7\}$$

Hereby, and usually, Φ is denoted by a variable v , whereby that variable is an abbreviation of vacuum. According to the usual interpretation, that the vacuum provides the mass as a result of a phase transition. The variable v marks the vacuum expectation value. For details, see Zyla (2020) or Carmesin (2022b). Observations provide the vev, see Zyla (2020):

$$v_{opt} = 246.1965 \text{ GeV} \pm 0.6 \text{ ppm} = vev \quad \{8\}$$

Altogether, the Higgs mechanism provides the missing mass, see above section, but it does not provide a theory of the vacuum. After I derived a theory of the vacuum (Carmesin 2017, Carmesin 2018a, b, c, Sprenger and Carmesin 2018, Carmesin 2019a, b, Carmesin 2021a), which derives and explains all parameters of the standard model of cosmology (Carmesin 2021b), and which derives and explains the Hubble tension or the local value of the Hubble constant (Carmesin 2022c, Riess 2022), and which derives and explains quantum physics (Carmesin 2022a), I analysed, whether that theory of vacuum can derive the masses in Eq. {2} and the vev in Eq. {8}. In fact, the theory of vacuum provides these results, in precise accordance with observation, and without executing any fit (Carmesin 2022b).

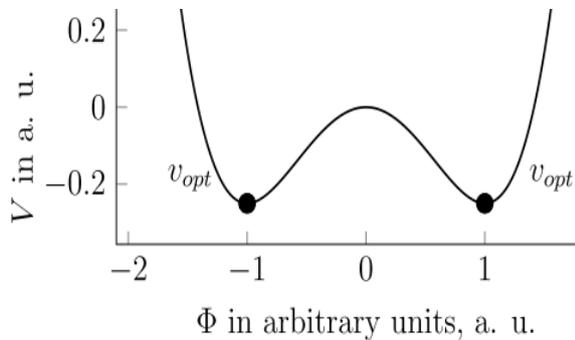


Fig. 5: A potential $V(\Phi)$ describes the formation of mass by a phase transition according to the Higgs mechanism. At the phase transition, the field Φ changes from 0 to 1 at the minimum $\Phi = v_{opt}$. That nonzero value of Φ represents the rest mass m_0 forming at the phase transition.

4. Formation of vacuum

In this section, I summarize essential results of my theory of vacuum. A mass M with a Schwarzschild radius $R_S = 2GM/c^2$ forms vacuum at a coordinate distance R from M . Hereby, $G = 6.67430(15) \cdot 10^{-11} \frac{m^3}{kg \cdot s^2}$ is the gravitational constant, and $c = 299\,792\,458 \frac{m}{s}$ is the velocity of light (Zyla 2020). In particular, I derived the corresponding differential equation, DEQ. I derived this result directly from gravity and relativity (Carmesin 2022a, section 3.9). A shorter derivation is based directly on the Schwarzschild metric (Fig. 6). That derivation is presented in Carmesin (2022d).

A mass M with a Schwarzschild radius $R_S = 2GM/c^2$ causes curvature of spacetime (Schwarzschild 1916 or e. g. Carmesin 1996). The radial component of that curvature represents the elongation of a radial coordinate difference dR to a physical length dL as follows:

$$dL = dR \cdot \left(1 - \frac{R_S}{R}\right)^{-\frac{1}{2}} \quad \{9\}$$

Next, we analyse the elongated length dL in the limit of limit R_S/R to zero, we name that limit the *far distance limit*. For it, we apply the first order Taylor approximation:

$$dL \doteq dR \cdot \left(1 + \frac{R_S}{2R}\right) \quad \{10\}$$

Thus, the observable increase of length is as follows:

$$\delta R = dR \cdot \frac{R_S}{2R} \quad \{11\}$$

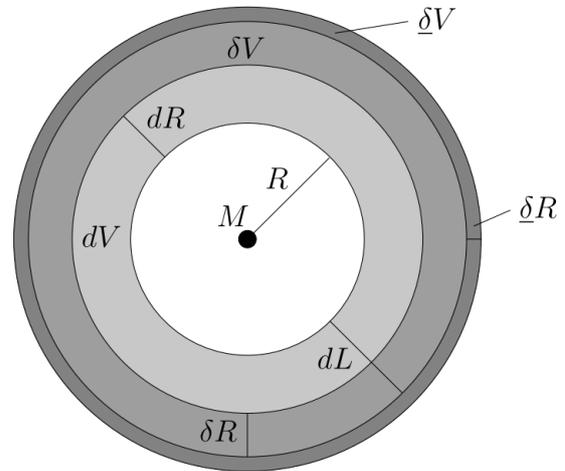


Fig. 6: Formation of vacuum caused by a mass M .

Hence, there occurs an observable increase of volume δV as follows:

$$\delta V = 4\pi R^2 \delta R = 2\pi R_S R \cdot dR \quad \{12\}$$

Moreover, that additional vacuum δV propagates at the velocity of light, and it flows radially away from the mass M . We ask: Where is the origin of that vacuum? In order to derive an answer, we analyse, whether the observable vacuum δV increases as a function of R . For it, we analyse a time-interval δt , in which the vacuum δV propagates a radial difference

$\underline{\delta R} = c \cdot \underline{\delta t}$ (Fig. 6). We analyse the difference $\underline{\delta V}$ of the vacuum δV , that occurs during that propagation:

$$\underline{\delta V} = \frac{GM}{R^2} \cdot dV \cdot \frac{\underline{\delta R}}{c^2} = \frac{GM}{R^2} \cdot dV \cdot \frac{\underline{\delta t}}{c} \quad \{13\}$$

We identify the first fraction with the gravitational field at R :

$$G^*(R) = \frac{GM}{R^2} \quad \{14\}$$

Thus, the new volume $\underline{\delta V}$ that formed from the present volume dV during a time $\underline{\delta t}$ is as follows:

$$\underline{\delta V} = \frac{G^*}{c} \cdot dV \cdot \underline{\delta t} \quad \{15\}$$

We name the ratio of the new vacuum $\underline{\delta V}$ formed from the present vacuum dV by the *relative formation* ε :

$$\varepsilon = \frac{\underline{\delta V}}{dV} \quad \{16\}$$

During that process, the present volume dV is constant. Thus, within the Leibniz calculus, the time derivative of the relative formation ε is as follows:

$$\dot{\varepsilon} = \frac{\underline{\delta V}}{dV \cdot \underline{\delta t}} \quad \{17\}$$

This time derivative represents the (relative) *rate of formation of vacuum*. We solve the above equations for the rate of formation of vacuum:

$$\dot{\varepsilon} = \frac{G^*}{c} \quad \{18\}$$

This DEQ describes the formation of vacuum caused by a mass M . Many properties of that formed vacuum have been analysed in detail in Carmesin (2021a).

More generally, I analysed that formation of vacuum in dimensions $D \geq 3$ of space. For the case of the far distance limit, the result is as follows (Carmesin 2022e):

$$\dot{\tilde{\varepsilon}} = (D - 2) \cdot \tilde{G}^* \quad \{19\}$$

Hereby, variables with a tilde are represented in Planck units, see e. g. Carmesin (2021a). The gravitational field in $D \geq 3$ dimensional space is as follows:

$$\tilde{G}^* = \frac{\tilde{M}}{\tilde{R}^{D-1}} \quad \{20\}$$

5. Phase transitions of vacuum derived

In this section, we summarize results about phase transitions that take place at high density $\tilde{\rho}$ in the vicinity of the Planck density $\tilde{\rho} \approx \tilde{\rho}_P$ in the vacuum described by Eq. {20}.

When space at a dimension $D \geq 3$ makes a transition to a dimension $D + 1$, then the D -dimensional space can be regarded as a hypersheet in $D + 1$ -dimensional space. Hereby, the thickness of that hypersheet is so small, that it cannot be observed. Thus, the thickness is equal to the Planck length L_P , as a smaller thickness cannot be observed and is unphysical, and since a larger thickness could be observed, so that there would already be in $D + 1$ -dimensional space. We describe the transition by the formation of

connections between neighbouring hypersheets. The most likely and thus relevant connections have the smallest possible size. Hence, these connections have the extension L_P in all directions. So, they can be modelled by cubes with length L_P . It has been shown that for each dimension $D \geq 3$, the described connections form spontaneously, as soon as the density exceeds a critical density as follows (Carmesin 2021a, p. 83):

$$\tilde{\rho}_{cr,conn.} = 0.018 \cdot \tilde{\rho}_P \quad \{21\}$$

5.1. Dimensional horizon

In this section, we summarize the results about the dimensional horizon.

The space within the present-day light horizon experienced a time evolution. It can be described by the time evolution of the light horizon $R_{lh}(t)$ or by the time evolution of the Hubble radius $R_H(t)$. If the dimension is increased, then the light horizon $R_{lh}(t)$ is decreased. When the light horizon $R_{lh}(t)$ is as long as one Planck length, then the dimension D of the space within the present-day light horizon cannot be increased further. That dimension is called dimensional horizon D_{hori} (see e. g. Carmesin 2017, 2019a, 2021a):

$$\text{If } R_{lh} \approx L_P, \text{ then } D = D_{hori} \quad \{22\}$$

In our universe, the dimensional horizon is approximately 301:

$$D_{hori} \approx 301 \quad \{23\}$$

5.2. Distance enlargement factor

In this section, we summarize the results about the distance enlargement, that takes place at a dimensional phase transition.

If the space has a dimensional horizon D_{hori} , and if its dimension changes from $D + s$ to D , then the space is enlarged by the following dimensional distance enlargement factor (see e. g. 2019a, 2021a, 2022c):

$$Z_{D+s \rightarrow D} = 2^{\frac{D_{hori}-D}{D}} \quad \{24\}$$

5.3. Zero-point energy

In this section, we summarize the results about the zero-point energy, ZPE, of *quanta of vacuum*, that are described by the DEQ {19}. Note that these quanta have a tensor structure in general, see e. g. Carmesin (2021a, b), and these quanta include excitation states of vacuum.

At the Planck scale, each quantum has an energy equal to one half of the Planck energy E_P . That energy is equal to the ZPE (see e. g. 2019a, 2021a, 2022c):

$$\begin{aligned} ZPE(D_{\text{hori}}) &= \frac{E_p}{2} & \{25\} \\ \overline{ZPE}(D_{\text{hori}}) &= \frac{1}{2} & \{26\} \end{aligned}$$

In particular, the *quanta representing the vacuum* and its density ρ_Λ exhibit that ZPE:

$$\overline{ZPE}_\Lambda(D_{\text{hori}}) = \frac{1}{2} \quad \{27\}$$

5.4. Redshift of quanta of vacuum

In this section, we summarize the results about the redshifts of quanta of the vacuum.

Those quanta of vacuum, that establish space and do not propagate inside space, exhibit a redshift only at a dimensional phase transition, see e. g. Carmesin (2018a, 2019a, 2021a, 2022c). Thereby, the wavelength is increased by the dimensional distance enlargement factor:

$$\lambda_D = \lambda_{D+s} \cdot Z_{D+s \rightarrow D} \quad \{28\}$$

Thus, the energy decreases by that factor. Moreover, the energy can change by a polarization factor. For instance, a quantum representing the vacuum in D -dimensional space has one direction of propagation and $D - 1$ transverse directions of polarization, so that it fills all D directions of space altogether. So, if the dimension changes from $D + s$ to D , then the number of polarizations is reduced from $D + s - 1$ to $D - 1$. Thus, the energy is reduced by the following additional polarization factor:

$$q_{D+s \rightarrow D, \text{polarization}} = \frac{D-1}{D+s-1} \quad \{29\}$$

Thus, the energy of a quantum representing the three-dimensional space as follows:

$$\overline{ZPE}_\Lambda(D = 3) = \overline{ZPE}_\Lambda(D_{\text{hori}}) \cdot \frac{2}{300 \cdot Z_{D_{\text{hori}} \rightarrow 3}} \quad \{30\}$$

The extension of that quantum increases from the Planck length by the factor $Z_{D+s \rightarrow D}$. As the density is the energy divided by the volume, the density of three-dimensional vacuum is as follows:

$$\rho_\Lambda(D = 3) = \frac{1}{300} \cdot \frac{1}{2^{(D_{\text{hori}}-3) \cdot 4/3}} \cdot \frac{E_p}{L_p^3 \cdot c^2 \cdot \frac{4\pi}{3}} \quad \{31\}$$

We calculate that density:

$$\rho_\Lambda(D = 3) = 7,6 \cdot 10^{-27} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = \rho_{\Lambda, \text{theo}} \quad \{32\}$$

The observed values differ as a result of the Hubble tension or the local value of the Hubble constant. The value obtained by the Planck satellite is as follows (Planck 2020, Carmesin 2022c):

$$\rho_{\Lambda, \text{obs, Planck}} = 5.93(14) \cdot 10^{-27} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \{33\}$$

The value obtained by the observation of local galaxies is as follows (Riess 2022, Carmesin 2022c):

$$\rho_{\Lambda, \text{obs, local}} = 8.02(30) \cdot 10^{-27} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \{34\}$$

Thus, the present theory of quanta of vacuum explains the observed density of vacuum within the errors of measurement. More generally, these quanta form a mixture of wavelengths, a polychromatic vacuum. With it, the time evolution of the density of the

vacuum has been derived in precise accordance with observation (Carmesin 2018a, b, 2019a, 2021b, 2022c).

6. Minimal excitation states of vacuum

In this section, we derive minimal excitation states of the vacuum. Thereby, the occupied dimension of a state is minimised so that the polarization is longitudinal, and the energy is minimised.

6.1. Minimal dimensional extension

In this section, we analyse the minimal dimensional extension of an excitation state of vacuum.

The dimensional extension $D_{\text{extension}}$ of an excitation state of vacuum is the number of directions, that the direction of propagation plus the polarization directions achieve. For instance, a quantum representing the vacuum in D -dimensional space has the dimensional extension $D_{\text{extension}} = D$:

$$D_{\text{extension}}[\overline{ZPE}_\Lambda(D)] = D \quad \{35\}$$

Thus, a quantum of vacuum achieves the minimal dimensional extension $D_{\text{extension}}$, if it has just one longitudinal polarization:

$$D_{\text{extension}}[\overline{ZPE}_{\text{Long}}(D)] = 1 \quad \{36\}$$

As longitudinal quanta of vacuum exhibit a minimal dimensional extension $D_{\text{extension}}$, and thus a minimal dimensional complexity, I proposed that such quanta are relatively likely to form elementary particles (Carmesin 2021b).

6.2. ZPE of longitudinal quanta of vacuum

In this section, we analyse the ZPE of longitudinal quanta of vacuum.

At the Planck scale, at the dimensional horizon, the ZPE is one half of the Planck energy:

$$\overline{ZPE}_{\text{Long}}(D_{\text{hori}}) = \frac{1}{2} \quad \{37\}$$

Thus, the ZPE at lower dimension is achieved by the redshift as follows:

$$\overline{ZPE}_{\text{Long}}(D) = \frac{\overline{ZPE}_{\text{Long}}(D_{\text{hori}})}{Z_{D_{\text{hori}} \rightarrow D}} \quad \{38\}$$

Hence, the ZPE at a dimension D is as follows:

$$\overline{ZPE}_{\text{Long}}(D) = \frac{1}{2} \cdot 2^{\frac{D_{\text{hori}} - D}{D}} \quad \{39\}$$

For instance, a longitudinal quantum of vacuum, that internally has a five-dimensional excitation state, has the following ZPE:

$$\overline{ZPE}_{\text{Long}}(D = 5) = \frac{1}{2} \cdot 2^{-\frac{301-5}{5}} = 2^{-\frac{301}{5}} \quad \{40\}$$

$$\overline{ZPE}_{Long}(D = 5) = 7.551 \cdot 10^{-19} \quad \{41\}$$

Thus, the ZPE is as follows:

$$ZPE_{Long}(D = 5) = 1,477 \cdot 10^{-9} \text{ J} \quad \{42\}$$

$$ZPE_{Long}(D = 5) = 9,219 \text{ GeV} \quad \{43\}$$

6.3. Excitation states of oscillation

In this section, we analyse the excitation states of the oscillation.

Each ZPE corresponds to one half of the circular frequency multiplied by the reduced Planck constant (see e. g. Carmesin 2021a, 2022a, Ballentine 1998):

$$ZPE = \frac{1}{2} \hbar \omega \quad \{44\}$$

The n-th corresponding excitation state is as follows (see e. g. Planck 1911, Carmesin 2021a, 2022a, Ballentine 1998):

$$E_n = \left(\frac{1}{2} + n\right) \hbar \omega \quad \{45\}$$

For instance, the above quantum of vacuum, that internally has a five-dimensional excitation state, has the following corresponding excitation states of oscillation:

$$E_{Long,n}(D = 5) = (2n + 1)9,219 \text{ GeV} \quad \{46\}$$

We calculate these values:

$$E_{Long,n=1}(D = 5) = 27,658 \text{ GeV} \quad \{47\}$$

$$E_{Long,n=2}(D = 5) = 46,097 \text{ GeV} \quad \{48\}$$

$$E_{Long,n=3}(D = 5) = 64,535 \text{ GeV} \quad \{49\}$$

6.4. Three-dimensional minimal objects

In this section, we analyse possible three-dimensional minimal objects in three-dimensional space.

Firstly, such a minimal three-dimensional object should consist of minimal objects that are excitation states of vacuum.

Secondly, these minimal objects that are excitation states of vacuum are longitudinal, as only these have dimensional extension $D_{extension}$.

Thirdly, three of these minimal objects form a three-dimensional object, as each object is essentially extended in one dimension only.

Fourthly, these three objects are different, as otherwise they could exhibit a condensation, such as a Bose-Einstein condensation.

Fifthly, a ZPE corresponds to a property of space, similar to ZPE_{Λ} . Correspondingly, $ZPE(D > 3)$ corresponds to higher dimensional space and should not occur in three-dimensional space. I. e., $E_n(D > 3)$ should exist in three-dimensional space for $n \geq 1$ only.

If we apply these five minimal conditions, then we get the following minimal three-dimensional object, that internally has a five-dimensional excitation state:

$$object = triple[E_{Long,n=1}(D = 5), E_{Long,n=2}(D = 5), E_{Long,n=3}(D = 5)] \quad \{50\}$$

Hereby, we mark each excitation state of vacuum by its energy. Thus, the energy of that triple is as follows:

$$E = \sum_{n=1}^3 E_{Long,n}(D = 5) = 138,3 \text{ GeV} \quad \{51\}$$

If we apply an additional attractive interaction, we derive the following energy (Carmesin 2021b):

$$E_{Triple} = 125,4 \text{ GeV} \quad \{52\}$$

6.5. Mass of the Higgs boson and vev

This result is in accordance with the observed mass of the Higgs boson (Zyla 2020, Carmesin 2021b):

$$E_{Higgs,obs} \in [124,51 \text{ GeV}; 126,02 \text{ GeV}] \quad \{53\}$$

In addition, we form a pair of Higgs bosons, hereby we subtract the binding energy. So, we obtain the following energy of the pair as follows (Carmesin 2022b, section 8.7):

$$E_{Higgs,pair,theo} = 247,6 \text{ GeV} = vev \quad \{54\}$$

6.6. Masses of W- and Z-bosons

Using that vev, the following masses of the Z- and W-bosons have been derived (Carmesin 2022b, section 8.8):

$$M_{Z,theo,here} = 91,717 \text{ GeV} \quad \{55\}$$

$$M_{W,theo,here} = 80.409 \text{ GeV} \quad \{56\}$$

The so-called standard model of elementary particles, SMEP, predicts (see e. g. Altonen et al. 2022):

$$M_{W,theo,SMEP} = 80.357(8) \text{ GeV} \quad \{57\}$$

Later, a new measurement of the mass of the W-boson has been published (Altonen et al. 2022):

$$M_{W,obs} = 80.4335 \text{ GeV} \pm \Delta M$$

$$with \Delta M = 9.4 \text{ MeV} \quad \{58\}$$

Thus, the new measurement exhibits a difference to the SMEP-value of $8.1 \cdot \Delta M$, while the new measurement exhibits a difference to the present value of only $2.6 \cdot \Delta M$. Moreover, the present derivation does not execute a fit, in contrast to the SMEP.

6.7. Neutrinos

Moreover, the different three-dimensional minimal objects, that are constituted by three longitudinal excitation states, each of which corresponding to three-dimensional space, whereby the energy is minimised, exhibit the sum of the energies of the neutrinos that

formed during the time evolution of the universe, for details see Carmesin (2021b).

6.8. Observed phase transition

Furthermore, the three-dimensional minimal objects, that internally have a four-dimensional excitation state, exhibit the energy $E_{Object,3D}(D=4) = 4.077 MeV$. The four-dimensional minimal objects, that internally have a four-dimensional excitation state, exhibit the energy $E_{Object,4D}(D=4) = 6.522 MeV$. The gravitational wave background, GWB, exhibits a maximum at the following interval of energies, interpreted as a sign of a phase transition, see Ratzinger and Schwaller (2021):

$$E_{GWB} \in [1 MeV, 10 MeV]$$

At the last phase transition of the cosmic unfolding from $D=4$ to $D=3$, the above objects decay, whereby the energies observed in the GWB are emitted. So, the observed GWB-energies can be explained by the present minimal objects formed by vacuum excitation states, for details, see Carmesin (2021b, section 14.2).

6.9. Elementary charges and couplings

In addition, the minimal three-dimensional objects proposed here have been used to derive the elementary electric charge, the fine structure constant α , the electroweak couplings, the hypercharge, the isospin charge and the masses m_Z and m_W , see Carmesin (2021c, 2022b).

6.10. Quantum physics derived

Moreover, the present theory of vacuum has been used, in order to derive quantum physics. For it, the postulates of quantum physics have been derived in a far distance limit. Quantum physics has been generalized by deriving the physics without that limit, see Carmesin (2022a).

6.11. General relativity derived

Furthermore, the present theory of vacuum has been used, in order to derive general relativity. For it, the Einstein field equation has been derived in a continuum limit, see Carmesin (2022a).

These above results are in precise accordance with observation, whereby these results have been achieved without execution of a fit.

Altogether, these results provide comprehensive evidence for the formation of matter by excitation states of vacuum presented here.

7. Experience with teaching

In this section, I describe experience with teaching in the two different learning groups in more detail.

The present theory has been used in a research club. In the research club, there is a common group consisting of teams, each working on their own project. In this group, there are students from classes five to thirteen. Moreover, there is a subgroup of students interested in quantum gravity and related subjects. That subgroup has an additional meeting each week. At each such additional meeting, we treat one topic in a theoretic and discursive manner. Some of the students of that subgroup start a project in the field of quantum gravity. Usually, the students of that subgroup come from classes nine to thirteen, however, sometimes an exceptional student starts earlier in that subgroup. Many students of the common group, including the subgroup, developed successful projects. So far, ten of the projects of the subgroup achieved an award in a Jugend forscht competition. Some of the students also attend an astronomy club and use the school telescope. Moreover, some students additionally take part in the Herbstakademie, in order to develop their project during one week in the autumn holidays. Furthermore, most students present their results in a public astronomy evening in the assembly hall.

The work at the research club can be concluded as follows: Each student can work at the own individual project and at the own speed. Theoretical foundation and individual aid are both provided. Such conditions enable students to achieve results in topics far beyond the usual curriculum (see e. g. Helmcke, Carmesin, Sprenger and Brüning 2018, Heeren, Sawitzki and Carmesin 2020, Carmesin and Schöneberg 2020, Carmesin and Sawitzki 2021). Moreover, the students can identify limitations of actual knowledge. Furthermore, the students are trained in scientific discussions. Additionally, the students can try to achieve new knowledge on their own. So, they can develop self-esteem efficiently.

In addition, parts of the present theory have been presented at lectures at the university. The lectures have been presented in the framework of general studies. Accordingly, students of various faculties participate. Correspondingly, basic principles are revisited first. On that basis, all results are derived in a comprehensive manner, so that all students can achieve an overview about the chain of arguments ranging from basic principles to advanced results. Additionally, a script is provided. Hereby, several students discussed in a competent manner. Credit points can be achieved on the basis of solved exercises and a well prepared and presented seminar talk.

The work at the lectures can be concluded as follows: Very different students are interested in the same topic: fundamental physics and cosmology. Progress can be achieved by starting at the physical principles, progressively deriving all results, without a gap in the chain of arguments. However, from the point of view of the students, there are still some gaps in the chain of arguments, or there is some interest to analyse a particular topic in more detail. Such cases are clarified immediately in discussions. Moreover, some items of actual research are intentionally proposed for controversial discussion. The students are supported by a comprehensive script. Such conditions enable students to achieve a substantial progress in learning an advanced topic. Furthermore, many students are or became very competent in scientific discussions. Moreover, the students can identify limitations of actual knowledge and describe ways in which new knowledge has been achieved.

Altogether, the topic is very motivating, fundamental and interesting to students of different age and background.

8. Summary

Leukippos and Democritus proposed two elements ('stoicheia'), the complete ('pleres', matter, consisting of hypothetical indivisible particles named 'atomos') and the vacuum ('kenon'), see Tsapralis (2001). In modern physics, matter forms from vacuum in the process of a phase transition (Higgs 1964). Thus, the ancient idea of atomism has been developed further by an essential transformation from vacuum to matter. Accordingly, that fundamental transformation provides a substantial didactical perspective, see section 1.

In sections 2 and 3, we analyse, how the idea of that phase transition arose: The **structure** of mass and of fundamental interactions has been investigated experimentally with help of accelerators, for instance (Zyla 2020). The question of the **formation** of mass became pressing, when the principles of least action and of gauge invariance predicted zero mass of the W- and Z-bosons, whereas observations provided huge masses of these bosons. The algebra of the theory enabled a bold hypothesis: mass could form from vacuum via a phase transition – the Higgs (1964) mechanism. Indeed, the Higgs boson has been observed in 2012 (Aad et al. 2012, Chatrchyan et al. 2012, Zyla 2020). However, in the Higgs mechanism, essential questions are not answered: What mechanism of vacuum forms the mass? What spectrum of vacuum is underlying the formation of mass?

In order to use the didactical perspective inherent to the formation of mass from vacuum, an analytic and productive treatment of the subject is essential. For it, we derived answers to the above essential questions:

Firstly, the vacuum consists of quanta that are permanently forming and propagating according to derived differential equations (section 4). These quanta can exhibit phase transitions, whereby the possible states can be derived from the causal horizon, the light horizon (section 5). Minimal objects forming from minimal excitation states of vacuum form the basis of observed masses (sections 6.1 and 6.2).

Secondly, the spectrum of these states is constituted by the phase transitions, by transformations of the symmetry (transverse, longitudinal, tensor), by usual oscillatory excitation states and by the binding of such objects (sections 6.2 – 6.11). Altogether, the present theory provides comprehensive evidence, see sections five and six.

In sections 1.2 and 7, experience with teaching of the present topic is presented. Hereby, the work in a research club and in lectures in general studies is outlined. In both courses, a significant progress in learning and in scientific discussion has been achieved. Thereby, the learners actively treated mathematical and conceptual difficulties: The mathematical difficulties are constituted by the derivations. The learners were enabled to describe and discuss all steps of the derivations, whereby the younger learners needed mathematical introductions additionally, and the advanced learners needed sufficient time, as the derivations have been presented in a complete manner. The description of the formation and propagation of vacuum in terms of differential equations provided no essential conceptual difficulty. Even the well-known hen and egg problem that portions of vacuum generate the space in which they propagate provided no essential difficulty, as it is solved by the formation of vacuum. The phase transition from vacuum to mass according to the Higgs mechanism was not discussed intensively. The dimensional phase transitions had been discussed intensively, whereby the steps of the derivation and the applications have been analysed in detail. This discursive behaviour of the learners shows that the students achieved abilities to analyse and discuss derivations on their own in an advanced manner. Thus, the experience with teaching shows how the didactical perspective of the topic of the phase transition from vacuum to matter can be used by the proposed treatment of the subject.

9. Literature

- Aad, G. et al. (2012). Observation of a New Particle in the Search for the Standard Model Higgs Boson with the ATLAS Detector at the LHC. *Phys. Lett., B176*, pp 1-29.
- Ballentine, L. E. (1998). *Quantum Mechanics*. London and Singapore: World Scientific Publishing.
- Becker, Manuel and Hopf, Martin (2021): *Der Energie-Feld-Ansatz: Design-Forschung zur Entwicklung und Evaluation eines Unterrichtskonzeptes für*

- den Energieunterricht in der Oberstufe. *PhyDid B*, pp 307-313.
- Carmesin, Hans-Otto (2017): *Vom Big Bang bis heute mit Gravitation – Model for the Dynamics of Space*. Berlin: Verlag Dr. Köster.
- Carmesin, Hans-Otto (2018a). *Universal Model for the Dynamics of Space, Dark Matter and Dark Energy*. Berlin: Verlag Dr. Köster.
- Carmesin, Hans-Otto (2018b). *Theory for the Emergence of Space, Dark matter, Dark Energy and Space-Time*. Berlin: Verlag Dr. Köster.
- Carmesin, Hans-Otto (2018c): *A Model for the Dynamics of Space - Expedition to the Early Universe*. *PhyDid B Internet Journal*, pp. = 1-9.
- Carmesin, Hans-Otto (2019a): *Die Grundschwingungen des Universums - The Cosmic Unification*. Berlin: Verlag Dr. Köster.
- Carmesin, Hans-Otto (2019b): *A Novel Equivalence Principle for Quantum Gravity*. *PhyDid B*, pp. 17-25.
- Carmesin, Hans-Otto (2020): *Explanation of the Rapid Enlargement of Distances in the Early Universe*. *PhyDid B Internet Journal*, pp. = 9-17.
- Carmesin, Hans-Otto (2021a). *Quanta of Spacetime Explain Observations, Dark Energy, Graviton and Nonlocality*. Berlin: Verlag Dr. Köster.
- Carmesin, Hans-Otto (2021b). *Cosmological and Elementary Particles Explained by Quantum Gravity*. Berlin: Verlag Dr. Köster.
- Carmesin, Hans-Otto (2021c). *Physical Explanation of the H_0 – Tension*. *International Journal of Engineering and Science Invention (IJESI)*, 10(8) II, pp 34-38. Doi:10.35629/6734-1008023438
- Carmesin, Hans-Otto (2021d). *The Elementary Charge Explained by Quantum Gravity*. Berlin: Verlag Dr. Köster.
- Carmesin, Hans-Otto (2021e): *The Origin of the Energy*. *PhyDid B*, pp 29-34.
- Carmesin, Hans-Otto (2021f): *Lernende erkunden die Raumzeit*. *Der Mathematikunterricht* 67(2), pp 47-56.
- Carmesin, Hans-Otto (2022a). *Quantum Physics Explained by Gravity and Relativity*. Berlin: Verlag Dr. Köster.
- Carmesin, Hans-Otto (2022b). *The Electroweak Interaction Explained by and Derived from Gravity and Relativity*. Berlin: Verlag Dr. Köster.
- Carmesin, Hans-Otto (2022c). *Geometric Derivation of the Spectrum of Vacuum*. *International Journal of Engineering and Science Invention (IJESI)*, 11(4) I, pp 1-11. Doi:10.35629/6734-1104010111
- Carmesin, Hans-Otto (2022d): *Explanation of Quantum Physics by Gravity and Relativity*. *PhyDid B Internet Journal*.
- Carmesin, Hans-Otto (2022e). *Derivation of the Dynamics of Vacuum*. *International Journal of Engineering and Science Invention (IJESI)*.
- Carmesin, Maximilian and Carmesin, Hans-Otto (2020): *Quantenmechanische Analyse von Massen in ihrem eigenen Gravitationspotenzial*. *PhyDid B*, pp. 19-27.
- Carmesin, Hans-Otto and Schöneberg, Philipp (2020): *Solution of a Density Problem in the Early Universe*. *PhyDid B*, pp. 43-46.
- Chatrchyan, S. et al. (2012). *Observation of a new boson at a mass of 125 GeV with the CMS experiment at the LHC*. *Phys. Lett.*, B176, pp 30-61.
- Dalton, J. (1808). *A New System of Chemical Philosophy Part I*. London: Bickerstaff.
- Einstein, Albert (1905). *Zur Elektrodynamik bewegter Körper*. *Annalen der Physik*, 17, pp 891-921.
- Elster, Doris (2010). *Zum Interesse Jugendlicher an den Naturwissenschaften. Ergebnisse der ROSE Erhebung aus Deutschland und Österreich*. Online-Publication: Shaker.
- Erb, Roger (1992). *Geometrische Optik mit dem Fermat-Prinzip*. *Physik in der Schule* 30, pp 291-295.
- Feynman, Richard P. (1985). *QED – The Strange Theory of Light and Matter*. Princeton: Princeton University Press.
- Franke, Michael; Gruschka, Andreas (1996). *Didaktische Bilder als Bilder der Didaktik*. *Pädagogische Korrespondenz* 17, pp 52-62.
- Grebe-Ellis, Johannes (2006). *Phänomenologische Optik: eine ‚Optik der Bilder‘. Teil 2: Polarisationssehen*. *chimica didactica* 32, pp 137-182.
- Heeren, Laurie and Sawitzki, Paul and Carmesin, Hans-Otto (2020): *Comprehensive Derivation of a Density Limit of the Evolution of Space.*, *PhyDid B, FU Berlin*, pp. 39-42.
- Helmcke, Ben Joshua and Carmesin, Hans-Otto and Sprenger, Lennert and Brüning, Paul (2018): *Three methods for the observation of the Big Bang with our school telescope*. *PhyDid B, FU Berlin*, pp. 55-60.
- Higgs, P. W. (1964). *Broken Symmetries, Massless Particles and Gauge Fields*. *Phys. Lett.*, pp 132-133.
- Jenkins, E.W. and Pell, R.G. (2006) *The Relevance of Science Education Project (ROSE) in England: a summary of findings*. Centre for Studies in Science and Mathematics Education, University of Leeds.
- Kumar, A. (2018). *Fundamentals of Quantum Mechanics*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Landau, L. (1937). *On the Theory of Phase Transitions*. *Zh. Eksp. Teor. Fiz.* 7, pp 19-32.
- Lieber, Jonas and Carmesin, Hans-Otto (2021): *Dynamics in the Early Universe*, *PhyDid B, FU Berlin*, pp. 49-52.

- Lohse, M. et al. (2018). Exploring 4D Quantum Hall Physics with a 2D Topological Charge Pump. *Nature* 553, pp 55-58.
- Planck Collaboration (2020). Planck 2018 results. VI. Cosmological parameters. *Astronomy and Astrophysics*, p. 1-73.
- Pössel, Markus (2015). Studien zum Interesse von Schüler/innen an Astronomie. Online-Publikation: Spektrum.
- Riess, Adam et al. (2022). A Comprehensive Measurement of the Local Value of the Hubble Constant with $1 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ Uncertainty from the Hubble Space Telescope and the SHOES Team. *arXiv*, 2112.04510v2, pp 1-67.
- Sawitzki, Paul and Carmesin, Hans-Otto (2021): Dimensional Transitions in a Bose Gas, *PhyDid B*, FU Berlin, pp. 53-59.
- Sprenger, Lennert and Carmesin, Hans-Otto (2018): A Computer Simulation of Cosmic Inflation, *PhyDid B*, FU Berlin, pp. 61-64.
- Tsaparlis, Georgios (2001). Molecules and Atoms at the Centre Stage. *Chemistry Education* 2(2), pp 57-65.
- Weinberg, Steven (1996). *The Quantum Theory of Fields*. New York: Wiley and Sons.
- Zilberberg, O. et al. (2018). Photonic topological pumping through the edges of a dynamical four-dimensional quantum Hall system. *Nature* 553, pp 59-63.
- Zyla, P. A. et al. (2020). Review of Particle Physics – Particle Data Group. *Progr. Theor. Exp. Phys.*, 083C01, p. 137. Doi.10.1093/ptep/ptaa104

Acknowledgement

I am very grateful to I. Carmesin for many interesting discussions and for proofreading the manuscript. I am also grateful to Matthias Carmesin and Daphne Carmesin for additionally proofreading the manuscript.

Quantenteleportation und Verschränkung im Science Center mit erweiterter Realität: Projekt Holodeck:Q

Franziska Greinert*, Oliver Bodensiek*, Dominik Essing⁺, Gowtham Muthusamy*

*Technische Universität Braunschweig, Institut für Fachdidaktik der Naturwissenschaften, Germany

⁺phaeno gGmbH, Wolfsburg, Germany

f.greinert@tu-braunschweig.de

Kurzfassung

Quantentechnologien, die Verfahren für die physikalisch abhörsichere Kommunikation nutzen, gewinnen zunehmend an Bedeutung und Bekanntheit. Damit gehen jedoch auch vielfach Skepsis und Verunsicherung mit einher. Daher sind Hemmungen abbauen und Interesse wecken die Hauptziele der Outreach-Initiative Quantum aktiv des BMBF und auch des Projektes Holodeck:Q.

Im Wolfsburger Science Center phaeno entsteht im Rahmen des Projektes ein zweiteiliges Exponat. Im ersten Teil wird spielerisch in erweiterter bzw. „gemischter“ Realität (MR) das Quantenteleportationsprotokoll eingeführt, bevor im zweiten, vertiefenden Teil Verschränkung erlebbar wird. Für letzteres wird eine kommerzielle Einzelphotonenquelle mit zwei Polarisatoren verwendet, sodass die Verschränkung in der Polarisationsrichtung von Photonenpaaren beobachtbar wird. Vorgestellt werden das didaktische Konzept, der aktuelle Umsetzungsstand und die weiteren Pläne.

1. Einleitung

Moderne Quantentechnologien, die einzelne Quanten nutzen und auf Effekten wie etwa Superposition und Verschränkung beruhen, nehmen zunehmend Einzug in das alltägliche Leben. Um Hemmungen ihnen gegenüber entgegen zu wirken und für die neuen Möglichkeiten zu begeistern, sollen Outreach-Projekte eine möglichst breite Bevölkerungsgruppe erreichen [1].

Im Projekt Holodeck:Q entsteht ein zweiteiliges Exponat für das Science Center phaeno [2]. Mit einer MR-Anwendung – MR wie Mixed Reality bzw. gemischte Realität – wird ein spielerischer Einstieg in die Thematik ermöglicht. Dabei wird schrittweise durch das Quantenteleportationsprotokoll geführt, bei dem ein Paar verschränkter Photonen im Fokus steht. Bei den verschränkten Photonen knüpft der zweite Teil an, das Realexponat: In dem gemeinsam mit qutools [3] entwickelten Aufbau „quMUSE“ werden polarisationsverschränkte Photonenpaare erzeugt. Über den Einfluss von zwei Polarisatoren auf die Koinzidenzzählraten wird die Verschränkung erlebbar.

Das phaeno bietet eine große Auswahl an Experimentierstationen zu verschiedenen Phänomenen. Dort wird das Holodeck:Q-Exponat an den Optikbereich angegliedert, in dem beispielsweise auch ein Michelson-Interferometer ausgestellt ist. Während im phaeno im Allgemeinen alle Altersgruppen angesprochen werden, richten sich die Holodeck:Q Exponate eher an die Gruppe ab ca. 14 Jahren.

2. MR-Anwendung Quantenteleportation

2.1. Grundidee, virtuelle und reale Elemente

Um den Rahmenbedingungen einer interaktiven Ausstellung mit Realexponaten gerecht zu werden, wurde gezielt auf eine brillenbasierte MR-Technologie mit semi-transparenten Displays gesetzt. Somit lassen sich auch virtuelle Inhalte in die physische Umgebung einfügen bzw. damit nahtlos verbinden und die Besuchenden werden visuell oder gar auditiv nicht von der natürlichen Umgebung isoliert, wie es etwa bei der Virtual Reality der Fall ist.

Inhaltlich soll die MR-Anwendung den Ablauf der Quantenteleportation spielerisch nachvollziehbar machen. Schrittweise wird durch das Quantenteleportationsprotokoll geführt. Dabei werden die jeweils beteiligten Objekte und Geräte grundlegend phänomenorientiert eingeführt, auf technische und physikalische Details wird weitestgehend verzichtet. Beispielsweise wird das Bell-Messgerät lediglich benannt, Details erfahren Interessierte lediglich optional über ein Info-Audio zur Vertiefung. Für einen spielerischen Charakter werden die teleportierten Polarisationszustände zum Öffnen von Schlössern verwendet. Der Fokus liegt allerdings auf der Nachvollziehbarkeit des Ablaufs der Quantenteleportation.

Durch die Verwendung von MR können die Photonen sowie auch die Geräte, die für die Teleportation benötigt werden, durch virtuelle Objekte visualisiert werden. Als reale Ankerpunkte im Raum fungieren mehrere Stelen. Diese verorten beispielsweise das Bell-Messgerät, aber auch eine „Präparationsstation“, an der ein Zustand eingestellt werden kann. Die Interaktionen finden rein auf der virtuellen Ebene statt,

etwa erfolgt die Einstellung eines Zustands an einer virtuellen Polarisationsrichtungsanzeige und die Bell-Messung wird durch Druck auf einen virtuellen Bedienknopf gestartet.

Die Anwendung ist aktuell nur für eine Person ausgelegt, die sowohl das Senden als auch das Empfangen der Zustände übernimmt. In den insgesamt drei Durchgängen werden zwei bekannte und ein unbekannter Zustand teleportiert. Im ersten Durchgang wird schrittweise durch den Ablauf geführt, während in den anderen beiden Durchgängen sukzessive weitere Informationen gegeben werden. Dann wird beispielsweise auch die Relevanz des Teleportierens unbekannter Zustände für künftige Quantenrepeater erläutert.

2.2. Theoretische Grundlagen, Reduktionen

Bei der Quantenteleportation wird ein Quantenzustand von einem Quantenobjekt auf ein anderes übertragen. Beteiligt sind insgesamt drei Quantenobjekte, von denen zwei anfangs in ihrem Zustand verschränkt sind. Erstmals beschrieben wurde die Quantenteleportation 1993 von Bennett et al. [4], die experimentelle Realisierung erfolgte 1997 [5]. Üblicherweise und auch hier werden als Quantenobjekte Photonen verwendet, und der Zustand entspricht einer Polarisationsrichtung.

Hier soll also die Polarisationsrichtung eines Photons P1, auf ein anderes Photon teleportiert werden. Die Polarisierung wird allgemein durch einen Zustand $\alpha|H\rangle + \beta|V\rangle$ beschrieben, eine Überlagerung der

beiden Basiszustände der Polarisierung $|H\rangle$ (horizontale Polarisierung) und $|V\rangle$ (vertikale Polarisierung) mit komplexwertigen Koeffizienten $\alpha, \beta \in \mathbb{C}$.

Zur Vereinfachung wird bei Holodeck:Q auf komplexwertige Anteile verzichtet, also $\alpha, \beta \in \mathbb{R}$. Anschaulich bedeutet das die Reduktion von einer Bloch-Kugel (bzw. bei der Polarisierung der Poincaré-Kugel) um eine Dimension, sodass ein Bloch-Kreis mit den linearen Polarisationsrichtungen bleibt.

Im Bloch-Kreis sind allerdings, genau wie in der Bloch-Kugel, die orthogonalen Basiszustände an den beiden gegenüberliegenden Polen dargestellt, sie bilden Antipoden. Für die Polarisationsrichtungen „horizontal“ und „vertikal“ ist das wenig anschaulich, doch wird der Bloch-Kreis zu einem Halbkreis gestaucht und passend ausgerichtet, so sind dann die beiden orthogonalen Zustände $|H\rangle$ und $|V\rangle$ auch orthogonal zueinander dargestellt, wie in Abb. 1 oben skizziert.

Durch Verwendung eines Doppelpfeils für die Polarisationsrichtung wird auch nicht zwischen zwei um 180° verschobenen Polarisationsrichtungen unterschieden, beispielsweise werden die Zustände $|H\rangle$ und $-|H\rangle$ durch denselben, horizontal ausgerichteten Doppelpfeil visualisiert.

Für die Quantenteleportation wird zusätzlich zu dem Quantenobjekt mit dem zu teleportierenden Zustand ein Paar verschränkter Quantenobjekte benötigt. Hier wird ein Paar Photonen im verschränkten Zustand $1/\sqrt{2}(|HH\rangle + |VV\rangle)$ verwendet. Dabei steht $|HH\rangle$ als Kurzschreibweise für

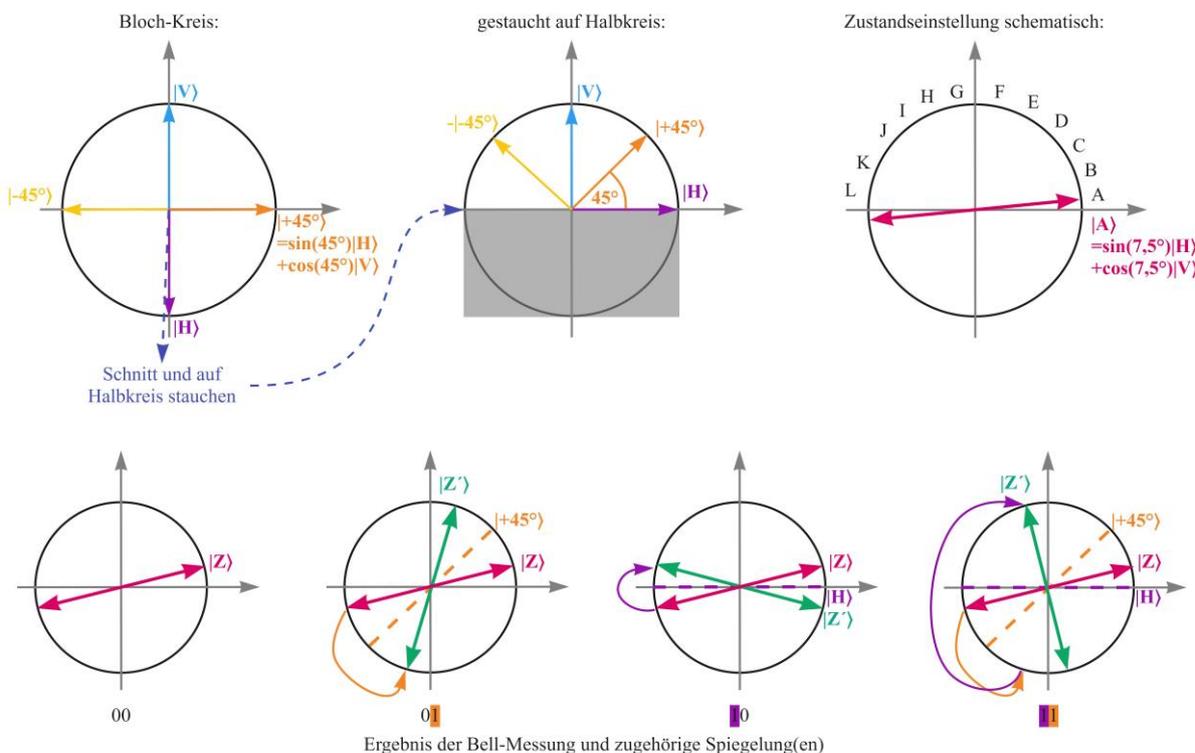


Abb. 1: Oben: Skizzen zur Darstellung der Polarisationszustände, vom Bloch-Kreis zum Polarisationsrichtungs-Kreis mit Doppelpfeil. Unten: Spiegelungen entsprechend der möglichen Ergebnisse der Bell-Messung für einen Zustand.

$|H\rangle_2|H\rangle_3$, dem Zustand der beiden Photonen P2 und P3 des Paares.

An diesen drei Photonen werden dann eine Bell-Messung und eine Transformation ausgeführt, um den Zustand von P1 auf P3 zu übertragen.

Bei der Bell-Messung werden zuerst alle drei Photonen in einen gemeinsamen, verschränkten Zustand gebracht: $(\alpha|H\rangle + \beta|V\rangle)1/\sqrt{2}(|HH\rangle + |VV\rangle)$ bzw. $1/\sqrt{2}(\alpha|HHH\rangle + \alpha|HHV\rangle + \beta|VHH\rangle + \beta|VVV\rangle)$ ausmultipliziert. Erst durch die Messung an den Photonen P1 und P2 wird die Verschränkung gelöst und damit auch der Zustand an dem dritten Photon definiert.

Die Messung an P1 und P2 erfolgt in der sogenannten Bell-Basis. Sie besteht aus vier vollständig verschränkten Zuständen: $1/\sqrt{2}(|HH\rangle \pm |VV\rangle)$ und $1/\sqrt{2}(|HV\rangle \pm |VH\rangle)$. Je nachdem, welcher dieser Zustände bei der gemeinsamen Messung an P1 und P2 realisiert wird, bleibt genau einer von vier Zuständen für das dritte Photon P3. Für den allgemeinen Zustand $\alpha|H\rangle + \beta|V\rangle$ an P1 sind an P3 die Zustände $\alpha|H\rangle \pm \beta|V\rangle$ und $\alpha|V\rangle \pm \beta|H\rangle$ möglich. Welcher dieser Zustände auftritt, ist durch das Ergebnis der Bell-Messung eindeutig bestimmt.

Der Zustand nach der Bell-Messung an P3 ist gegenüber dem Zustand an P1 vor der Bell-Messung in drei der vier Fälle durch eine unitäre Transformation verändert, im vierten Fall liegt bereits der ursprüngliche Zustand vor. Im Allgemeinen sind die Transformationen Rotationen um eine der drei Achsen in der Bloch-Kugel um 180° . Bei der hier verwendeten, reduzierten Darstellung sind die Zustände nach der Messung gegenüber dem ursprünglichen Zustand an der horizontalen Achse oder der 45° -Achse gespiegelt, oder an beiden oder keiner.

Die Informationen über die vorliegenden Spiegelungen können in zwei Bits dargestellt werden: Eine Null steht für keine Spiegelung, eine Eins für eine Spiegelung; das linke Bit steht für eine potentielle Spiegelung an der horizontalen und das rechte an der 45° -Achse. Es gibt also die vier Möglichkeiten 00, 01, 10 und 11, wobei beispielsweise 10 für eine Spiegelung nur an der Horizontalen steht.

Diese Transformationen können durch die gleichen Transformationen rückgängig gemacht werden, und durch die Verwendung eines Doppelpfeils ist auch die Reihenfolge im Fall 11 vernachlässigbar. Abb. 1 zeigt unten für einen Zustand die vier Fälle mit den zugehörigen Spiegelungen.

In der MR-Anwendung werden die Beschränkung auf lineare Polarisationen, Details zur Darstellung und der Bell-Messung sowie die Zusammenhänge mit den Achsenspiegelungen nicht thematisiert, der Fokus liegt auf dem Teleportationsprozess. Die Spiegelungen bei der Rücktransformation bleiben allerdings erkennbar. Dazu sind die einstellbaren Zustände auf zwölf Winkel auf einem

Halbkreis begrenzt: $7,5^\circ + n \cdot 15^\circ, n = 0, 1, \dots, 11$. Die durch diese Winkel bestimmten Polarisationsrichtungen werden durch die möglichen Spiegelungen bei der Bell-Messung steht auf einen anderen der zwölf Zustände oder – im Fall von 00 als Messergebnis – sich selbst abgebildet. Da die Spiegelachsen und deren Orthogonalen ausgelassen werden, sind die Spiegelungen stets in einer Änderung des Zustands sichtbar.

Normalerweise findet die Quantenteleportation zwischen zwei Personen statt: „Alice“ führt die Bell-Messung aus und sendet so den Zustand an „Bob“, der die Rücktransformation vornimmt. Dann wird die Notwendigkeit der Kommunikation über das Ergebnis der Bell-Messung deutlich. Ohne diese Information von Alice kann Bob die Rücktransformation nicht ausführen und weiß nicht, in welchem der vier möglichen Zustände sich sein Photon P3 befindet. In der MR-Anwendung führt jedoch eine Person allein das Protokoll aus. Die Informationsübertragung findet dann dadurch statt, dass diese Person sich physisch vom Messgerät zum Transformationsgerät bewegt.

Die Notwendigkeit einer solchen, klassischen Kommunikation zeigt, dass mit der Quantenteleportation nicht schneller als mit Lichtgeschwindigkeit Informationen übertragen werden können, daher liegt hier keine Verletzung der Relativitätstheorie vor.

Der Vorteil in der Kommunikation über Quantenteleportation liegt in der physikalischen Abhörsicherheit. Wenn die Verschränkung zwischen Alice und Bob besteht, wird die Information, also der Zustand bei Alice, direkt zu Bob übertragen, ohne dass eine Möglichkeit zum Abfangen bestünde. Und die klassische Kommunikation über das Ergebnis der Bell-Messung kann unverschlüsselt erfolgen, da dieses ohne das zugehörige Photon nutzlos ist.

Da die Rücktransformation lediglich von dem Ergebnis der Bell-Messung abhängt, nicht jedoch von dem zu teleportierenden Zustand, können auch unbekannte Zustände teleportiert werden. So bietet die Quantenteleportation einen Ansatzpunkt zur Vernetzung von Quantencomputern, wenn ein Quantenzustand von einem Quantencomputer an einen anderen gesendet werden soll. Dieser Kontext wird auch in der AR-Anwendung thematisiert und so die Relevanz aufgezeigt.

Einige der hier dokumentierten theoretischen Hintergründe werden zur Vertiefung optional in der Anwendung abrufbar.

2.3. Ablauf Quantenteleportation

Der Ablauf der Quantenteleportation gliedert sich in die folgenden Schritte:

1. Verteilen der beiden verschränkten Photonen (P2 und P3)
2. Präparation des zu teleportierenden Zustands am dritten Photon (P1)

3. Bell-Messung an dem Photon mit dem zu teleportierenden Zustand (P1) und einem Photon des verschränkten Paares (P2)
4. Kommunikation über das Ergebnis der Bell-Messung
5. Rücktransformation an dem anderen Photon des verschränkten Paares (P3), abhängig vom Ergebnis der Bell-Messung
6. Verwendung des teleportierten Zustands, der Zustand von Photon P3 entspricht nun dem in Schritt 2 an Photon P1 präparierten Zustand

Abb. 2 zeigt diese Schritte, mit Ausnahme der Schritte 1 und 4, in einem ersten Prototypen der MR-Anwendung, erstellt von SZENARIS [6]. Dort sind die Stelen, die als reale Objekte in der Ausstellung stehen werden, noch als virtuelle Objekte eingebunden.

An der Präparations-Station (Abb. 2a) wird der Zustand an Photon P1 eingestellt. Hier ist die Auswahl auf 12 mögliche Zustände beschränkt, die mit Buch-

staben fortlaufend benannt sind. Um mit dem teleportierten Zustand eines der Schlösser (Abb. 2f) zu öffnen, muss ein passender Zustand eingestellt werden.

In diesem Prototypen sind noch keine unbekannt Zustände enthalten, in der nächsten Version gibt es jedoch auch ein Schloss mit einem Fragezeichen. Der zugehörige, unbekannt Zustand wird dann durch Druck auf einen Knopf mit einem Fragezeichen erzeugt. Ist am Photon P1 der Zustand eingestellt, so wird es zum Messgerät für die Bell-Messung gebracht.

Am Messgerät (links in Abb. 2b), werden das präparierte Photon P1 und ein Photon des verschränkten Paares (P2) zusammen gebracht. Mittig in Abb. 2b ist das verteilte verschränkte Paar (P2 links, P3 rechts) zu erkennen, die Verschränkung ist durch die flimmernde Verbindungslinie angedeutet.

Bei der Bell-Messung werden die beiden Photonen P1 und P2 zur Wechselwirkung gebracht und gemeinsam vermessen. Die physikalisch-technischen Details sind zum Nachvollziehen des Ablaufs nicht relevant und

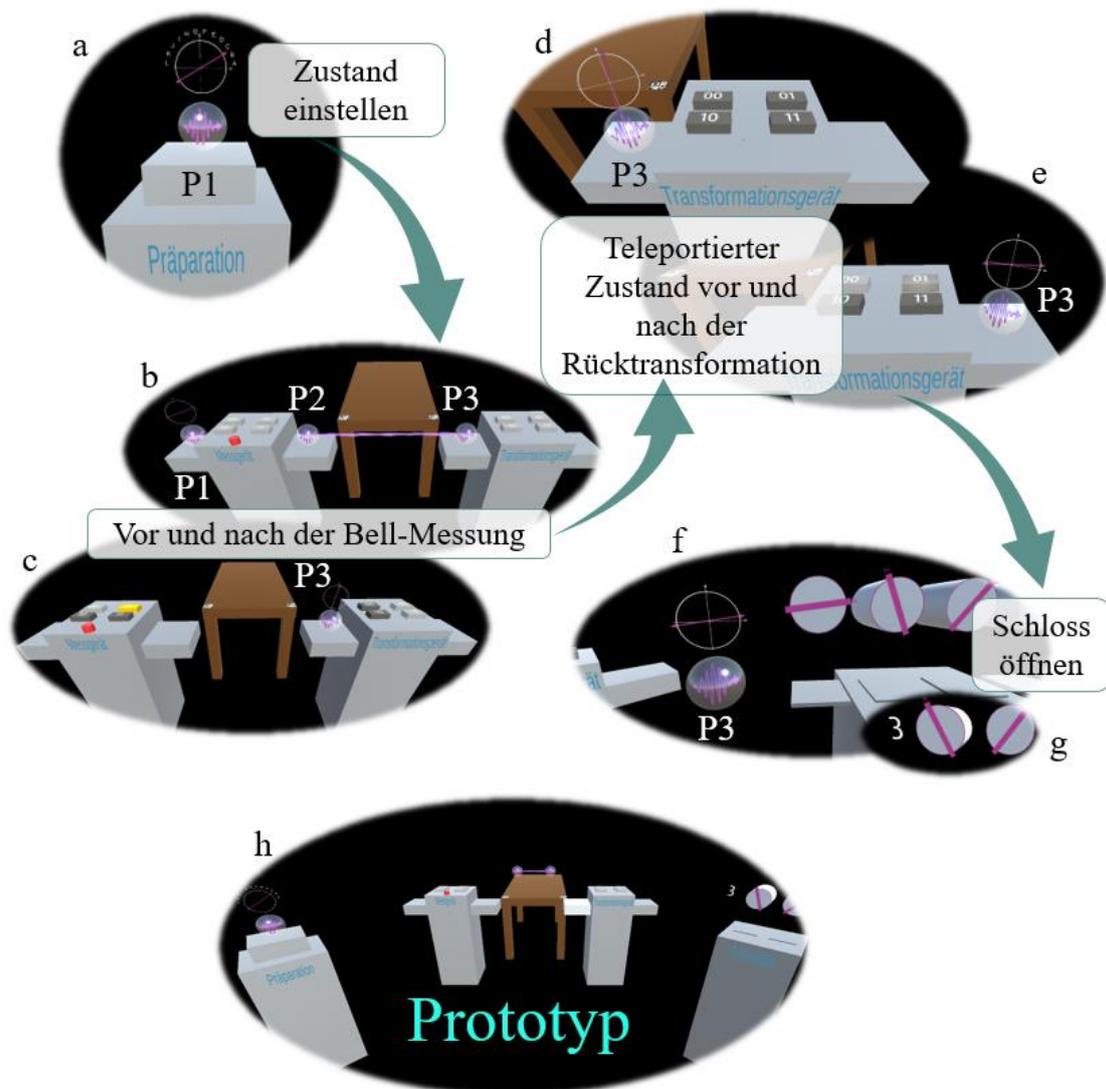


Abb. 2: Ablauf der Quantenteleportation im ersten Prototypen der MR-Anwendung.

werden daher nicht näher erläutert. Die Bell-Messung liefert stets eines von vier möglichen Ergebnissen. Diese sind durch zwei Bit gekennzeichnet, es gibt also die möglichen Ergebnisse „00“, „01“, „10“ und „11“. Wird in der MR-Anwendung die Bell-Messung gestartet, so werden die beiden Photonen am Messgerät in dieses optisch hineingesaugt, die angedeutete Verschränkung verschwindet und ein Messergebnis wird angezeigt, in Abb. 2c links durch die gelbe Markierung zu erkennen.

Der durch die Messung definierte Zustand an P3 ist an der angezeigten Polarisationsrichtung in Abb. 2c rechts bzw. Abb. 2d zu erkennen. Das Photon P1 bzw. der Ausgangszustand an P1 werden durch die Messung allerdings „zerstört“, es findet also keine Kopie, sondern nur eine Übertragung des Zustands statt.

Der Zustand von Photon P3 entspricht nicht zwingend dem Zustand, den das Photon P1 zuvor hatte. Je nach Ergebnis der Bell-Messung ist der Zustand auf eine gewisse, genau definierte Weise verändert. Diese Zustände können durch eine Transformation am Photon P3 in den ursprünglichen Zustand zurück gebracht werden. Dafür wird lediglich das Ergebnis der Bell-Messung benötigt, es muss also über das Messergebnis kommuniziert werden.

Die Art der Rücktransformation ist allein durch das Ergebnis der Bell-Messung bestimmt. Wird die passende Transformation durchgeführt, so befindet sich Photon P3 anschließend in dem anfänglich an Photon P1 präparierten Zustand (Abb. 2e).

In der MR-Anwendung kann das Photon P3 nun genutzt werden, um ein virtuelles Schloss aus Abb. 2f zu öffnen. Dieses gibt dann eine Ziffer eines Zahlen-codes frei (Abb. 2g) und der nächste Durchgang kann beginnen (Abb. 2h).

2.4. Verbindung zum quMUSE-Aufbau

Das zentrale Quantenphänomen bei der Quantenteleportation ist die Verschränkung, die auch beim Realexponat quMUSE im Fokus steht. Die Verbindung zwischen den beiden Exponateilen erfolgt über die Verortung der verschränkten Photonenpaare.

In Abb. 2b/c/h ist mittig ein brauner Tisch zu erkennen. Dieser ist der virtuelle Platzhalter für den realen Tisch, auf dem der quMUSE-Aufbau platziert wird. Die virtuellen verschränkten Photonenpaare kommen dann optisch aus der gleichen Quelle wie die realen verschränkten Paare, verlassen sie lediglich in die entgegengesetzte Richtung. Ist die MR-Anwendung durchgespielt, so kann hier einfach angeknüpft und mit dem Realexponat quMUSE die Verschränkung vertieft erlebt werden.

Der quMUSE-Tisch dient zudem als Ankerpunkt der MR-Anwendung. Auf dem Tisch sind die beiden QR-Codes platziert, über die beim Start der MR-Anwendung die Orientierung im Raum erfolgt. Die Codes an den Ecken des virtuellen Tisches sind ebenfalls in Abb. 2b/c/h sichtbar. Die virtuellen Elemente werden relativ zu diesen Punkten platziert.

Des Weiteren erfolgt die Einbindung über einen gemeinsamen Rahmen. Bei der MR-Anwendung werden die Photonen mit den teleportierten Zuständen zum Öffnen virtueller Schlösser verwendet, über die ein spielerischer Rahmen ermöglicht wird.

3. Verschränkte Photonen mit quMUSE

Die Konzeption des zweiten Exponateils erfolgte in Kooperation mit qutools [3], insbesondere Björn Habrich und Valentin Habrich, die auch die Realisierung mit dem Aufbau „quMUSE“ umgesetzt haben.

3.1. Aufbau

Der quMUSE-Aufbau von qutools besteht aus einer Quelle für polarisationsverschränkte Photonenpaare, einer Einzelphotonendetektionseinheit sowie zwei Polarisatoren, wie in Abb. 3 links dargestellt. Hinzu kommt eine externe Anzeige zur Darstellung der Koinzidenzraten in einem Polardiagramm wie in Abb. 2 rechts.

quMUSE basiert auf dem Quantenkoffer [7] und ist an den Einsatz im Museumsbetrieb bzw. im Science Center angepasst: Statt eines modularen Steckbrettes und zahlreichen verschiedenen optischen „Spielsteinen“ beim Quantenkoffer sind bei quMUSE nur Polarisatoren vorhanden und der Polarisator im Schwungrad ist an einer Positionen fest montiert. Statt diverser verschiedener Experimente wie sie mit dem Quantenkoffer möglich aber auch mit teils aufwändiger Justage verbunden sind, wird so ein konkreter Versuch zuverlässig und einfach durchführbar.

In der Quelle werden über parametrische Fluoreszenz (SPDC, Spontaneous Parametric Down-Conversion) in nichtlinearen Kristallen die polarisationsverschränkten Photonenpaare erzeugt. Über optische Komponenten gelangen die Photonen auf die beiden Wege, die in Abb. 3 links in Türkis eingezeichnet sind.

In einem Weg steht der Polarisator im Schwungrad. Dieses Rad ermöglicht es, den Polarisator per Hand in Rotation zu versetzen. Dabei registriert die Steuerungselektronik die Geschwindigkeit, mit der das Rad rotiert, und behält diese bei. So können unkompliziert verschiedene Geschwindigkeiten ausprobiert und das Rad kann ebenso manuell gestoppt werden.

Der zweite Polarisator kann nach Belieben in die beiden Wege in verschiedenen festen Winkeln eingebracht und wieder herausgenommen werden..

Die Detektionseinheit besteht aus zwei Einzelphotonendetektoren, aus deren jeweiligen Einzelzählraten die Koinzidenzen ermittelt werden. Diese Koinzidenzraten geben dann an, wie viele Photonen paarweise gleichzeitig detektiert werden.

Zur Darstellung der Koinzidenzraten wird ein Polardiagramm genutzt. Die Auftragung erfolgt über den Winkel des Polarisators im Schwungrad, und je höher die Koinzidenzrate für einen Winkel war, desto wei-

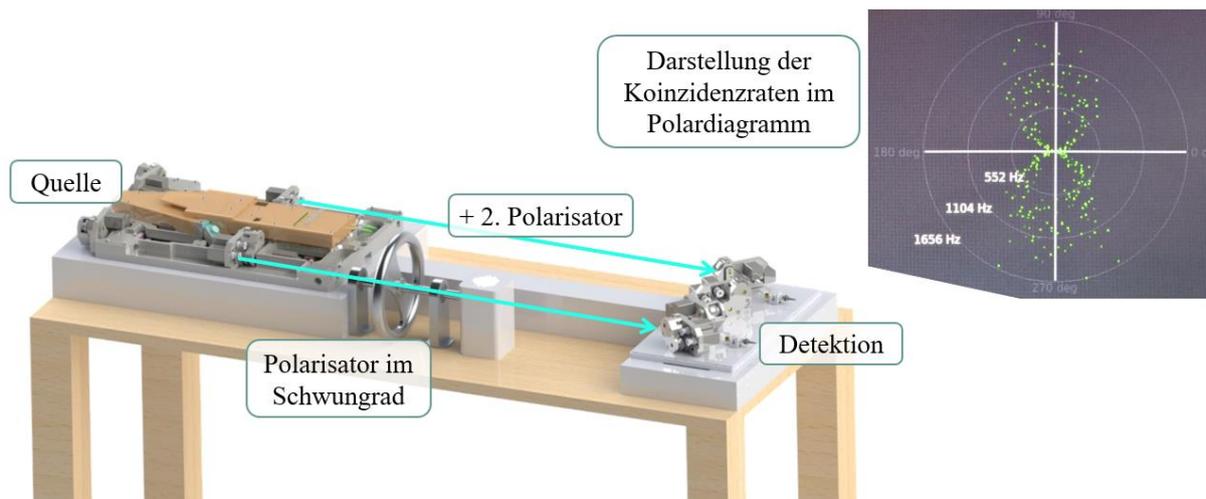


Abb. 3: Modell quMUSE von qutools (links) und Polardiagramm mit Koinzidenzraten vom qutools Quantenkoffer (rechts).

ter außen erscheint der zugehörige Punkt im Polardiagramm. Ein solches Polardiagramm aus dem Quantenkoffer ist in Abb. 3 rechts dargestellt.

3.2. Verschränkung erleben

Die Verschränkung bzw. die Auswirkungen der Polarisatoren auf die Anzahl der detektierten Photonenpaare wird durch die Darstellung der Koinzidenzraten im Polardiagramm sichtbar und durch die eigenständige Manipulation der Polarisatoren erlebbar.

Wenn die Photonen die Quelle verlassen, befinden sie sich in einem verschränkten Zustand und bilden ein Gesamtsystem. Dieser Sachverhalt lässt sich durch das sukzessive Einsetzen des zweiten Polarisators erst in den Weg mit dem Polarisator im Schwungrad und dann in den anderen Weg gut erkennen. Dazu werden drei Fälle beobachtet und verglichen:

1. Nur der rotierende Polarisator im Schwungrad wechselwirkt mit den Photonen im ersten Weg,
2. Zusätzlich wird der zweite Polarisator mit fester Ausrichtung in den selben Weg eingebracht, wechselwirkt also ebenfalls mit den Photonen im ersten Weg,
3. Der zweite Polarisator wird in den zweiten Weg versetzt und wechselwirkt somit mit den Photonen im zweiten Weg.

Das Polardiagramm zeigt im ersten Fall (idealisiert) einen Kreis. Die aufgetragenen Raten sind etwas rauschbehaftet und auch von statistischen Schwankungen betroffen, der kreisförmige Verlauf lässt sich aber dennoch deutlich erkennen. Für alle Winkelstellungen des rotierenden Polarisators wird die nahezu gleiche Anzahl an Photonenpaaren detektiert.

Wird der zweite Polarisator nun in denselben Weg beliebig vor oder hinter den rotierenden Polarisator gesetzt, so bilden die Koinzidenzraten im Polardiagramm nun die Form einer (leicht verrauschten) Acht. Die lange Achse der Acht entspricht dabei der Ausrichtung des Polarisators. Für die beiden Winkelstellungen des rotierenden Polarisators, bei denen die Polarisationsrichtung parallel zur Polarisationsrichtung

des zweiten Polarisators ausgerichtet ist, sind die Raten maximal. Zwischen diesen Punkten verläuft die lange Achse der Acht. Ist der rotierende Polarisator allerdings um 90° verdreht, sodass die Polarisationsrichtungen senkrecht zueinander ausgerichtet sind, so ist die Rate minimal. Diese Punkte markieren die „Gürtellinie“ der Acht.

Der Verlauf der Raten folgt einer Kosinusquadrat-Funktion abhängig des Winkels zwischen den beiden Polarisatoren. Für die Intensität bei hellem Licht ist dieser Zusammenhang als Gesetz von Malus bekannt. Im Polardiagramm beschreibt die Kosinusquadrat-Funktion eine Linie ähnlich einer Acht.

Wird der zweite Polarisator nun in den anderen Weg eingesetzt, dann hat von den detektierten Photonenpaaren jedes Photon einen der beiden Polarisatoren passiert. Die Raten im Polardiagramm beschreiben den gleichen Verlauf wie zuvor, die Acht ist lediglich stärker verrauscht. Auch bei dieser Konstellation ist es egal, in welche Richtung der zweite Polarisator ausgerichtet ist, es ergibt sich stets eine Acht mit Hauptachse entlang der Ausrichtung des Polarisators.

Hier wird die Verschränkung erlebbar. Egal, mit welchem der beiden Photonen eines verschränkten Paares der zweite Polarisator wechselwirkt, die Koinzidenzraten bleiben gleich, und das auch für jeden beliebigen Winkel – die Photonen bilden ein Gesamtsystem.

Besonders deutlich wird das Verhalten als Gesamtsystem, wenn statt verschränkter Photonen ein Gemisch aus Photonenpaaren verwendet wird, die jeweils beide horizontal oder beide vertikal polarisiert sind, wie in Abb. 4 dargestellt. Dann ist die Acht nur in horizontaler und vertikaler Richtung erkennbar. Wird der feste Polarisator aus einer dieser Richtungen heraus gedreht, so geht die Acht in einen Kreis über, die lange Achse wird kürzer und die kurze länger, und bildet sich dann in die andere, um 90° verdrehte Richtung wieder aus. Bei verschränkten Photonen dreht sich die Acht hingegen mit, die Photonen haben stets die gleiche Polarisationsrichtung, nicht nur in den

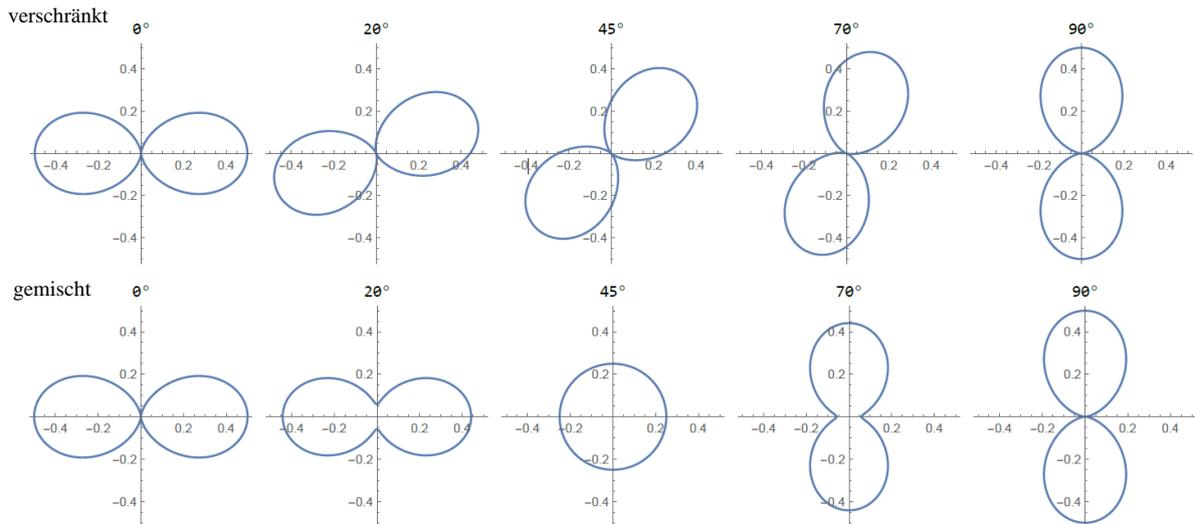


Abb. 4: Simulation der Koinzidenzbilder im Polardiagramm für verschränkte (oben) und gemischte (unten) Zustände mit Angabe der Winkelstellung des zweiten Polarisators, der in einem festen Winkel in den zweiten Weg eingesetzt ist, während der erste Polarisator in dem Schwungrad im ersten Weg rotiert.

speziellen Richtungen horizontaler und vertikaler Polarisation.

3.3. Verschränkung nutzen

In einem nächsten Schritt kann die Verschränkung durch (mindestens) zwei Personen näher erkundet und genutzt werden. Eine Person manipuliert mit dem Polarisator im zweiten Weg jeweils ein Photon der verschränkten Paare, während das andere Photon wieder auf den rotierenden Polarisator trifft. Die zweite Person beobachtet die Koinzidenzraten im Polardiagramm.

Anhand dieser Beobachtungen kann die zweite Person dann Rückschlüsse darauf ziehen, was die erste Person tut, also beispielsweise in welcher Ausrichtung der Polarisator eingebracht wird. So werden die Erlebnisse und Erkenntnisse aus dem vorherigen Teil gefestigt.

4. Zusammenfassung

Mit dem MR-Spiel zur Quantenteleportation und dem Aufbau quMUSE werden Quantenphänomene erlebbar. Die simulierten Photonen in der MR-Anwendung sind wortwörtlich zum Anfassen, der Ablauf der Quantenteleportation wird spielerisch nachvollziehbar, und mit quMUSE kann mit echten, verschränkten Photonenpaaren ausprobiert und das Verhalten von verschränkten Photonen als Gesamtsystem erkannt werden. Mit dem Standort im Science Center phaeno bekommen Personen aus der breiten Bevölkerung, ohne spezifisches Vorwissen oder vorherigem Interesse an Quantenphysik, die Möglichkeit sich spielerisch mit Quanten zu beschäftigen. So kann bei ihnen Interesse geweckt werden, sich auch außerhalb dieses Ortes vertieft mit den Themen zu beschäftigen. Auch können mögliche bestehende Hemmungen gegenüber diesen neuen, unverständlich anmutenden Technologien abgebaut werden und so eine breite Akzeptanz in der Bevölkerung begünstigt werden.

5. Literatur

- [1] VDI Technologiezentrum GmbH: Quantum aktiv – intuitive Outreachkonzepte für die Quantentechnologien: <https://www.quantentechnologien.de/forschung/foerderung/quantum-aktiv.html> (Stand 5/2022)
- [2] phaeno gGmbH, Michel Junge: phaeno: <https://www.phaeno.de/> (Stand 5/2022)
- [3] qutools GmbH, Björn Habrich: qutools: <https://qutools.com/> (Stand 5/2022)
- [4] Bennett, Charles H.; Brassard, Gilles; Crépeau, Claude; Jozsa, Richard; Peres, Asher; Wootters, William K. (1993): Teleporting an unknown quantum state via dual classical and Einstein-Podolsky-Rosen channels. In: Physical Review Letters, Bd. 70, Nr. 13, S. 1895–1899, doi: [10.1103/PhysRevLett.70.1895](https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.70.1895).
- [5] Bouwmeester, Dik; Pan, Jian-Wei; Mattle, Klaus; Eibl, Manfred; Weinfurter, Harald; Zeilinger, Anton (1997): Experimental quantum teleportation. In: Nature, Bd. 390, S. 5, <https://doi.org/10.1038/37539>
- [6] SZENARIS GmbH, Klaus Bock-Müller, Dr. Uwe Katzky: SZENARIS High-Performing Learning Solutions. <https://www.szenaris.com/> (Stand 5/2022).
- [7] qutools GmbH, Björn Habrich: Quantenkoffer - Quantenphysik erfahrbar gemacht: <http://www.quantenkoffer.com/quantenkoffer/> (Stand 5/2022).

Förderungshinweis

HOLODECKQ (FKZ 13N15384) wurde im Rahmen der Förderinitiative „Quantum aktiv“ aus Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gefördert.



Topologische Modelle für Ununterscheidbarkeit und Verschränkung

Stefan Heusler, Malte S. Ubben

*Institut für Didaktik der Physik, Wilhelm-Klemm-Str. 10, 48149 Münster
e-mail: stefanheusler@uni-muenster.de

Kurzfassung

In diesem Beitrag stellen wir ein topologisches Modell für Quantenverschränkung vor. Das Modell kann auch ohne Kenntnis der mathematischen Hintergründe genutzt werden, um das Konzept der Ununterscheidbarkeit und des Zufalls in der Quantenphysik erfahrbar zu machen. Unser Ansatz basiert auf der geometrischen Deutung der Topologie eines einzelnen, sowie eines Paares von Qubits im Hilbertraum. Wesentlich ist hierbei das sogenannte Hopf-Mapping vom Hilbert-Raum auf die Bloch-Kugel, und eine Verallgemeinerung des sogenannten Dirac'schen Gürteltricks.

1. Einleitung

Durch die aktuelle sogenannte zweite Quantenrevolution werden Themen wie die Quantenverschränkung immer mehr aus einer anwendungsbezogenen Perspektive heraus diskutiert. Durch diese Entwicklung entsteht auch die Notwendigkeit, für die Ausbildung auf unterschiedlichen Niveaus geeignete Modellierung von Quantenverschränkung zu entwickeln und zu evaluieren. In diesem Beitrag stellen wir ein topologisches Modell für Ununterscheidbarkeit und Verschränkung vor, welches auch ohne Kenntnisse der zugrundeliegenden Mathematik genutzt werden kann und somit möglicherweise auch für die Schule geeignet erscheint. Eine Evaluation dieser Hypothese steht aber noch aus. Das Modell beruht auf bekannten mathematischen Modellen aus der Knotentheorie zur Geometrie im Hilbertraum [1], sowie einer Verallgemeinerung des Dirac'schen Gürteltricks [2-4]. Für technische Einzelheiten verweisen wir auf diese Publikationen, sowie auf [5]. In Kapitel 2 führen wir eine topologische Interpretation von Quaternionen ein, wenden diese in Kapitel 3 auf Qubits an, und verallgemeinern in Kapitel 4 auf ein Paar verschränkter Qubits. In Kapitel 5 diskutieren wir Grenzen des Modells und geben in Kapitel 6 einen Ausblick.

2. Kreuzprodukt der Quaternionen?

Quaternionen als Verallgemeinerung von komplexen Zahlen wurden unabhängig voneinander von Rodrigues (1840) und Hamilton (1843) entdeckt. Die drei Quaternionen (I, J, K) genügen folgender Algebra:

$$IJ = K, JK = I, KI = J \\ I^2 = J^2 = K^2 = -1$$

Eine topologische Deutung der Quaternionen – völlig unabhängig von der Anwendung in der

Quantenphysik – als Drehung um 180° , wie in Abbildung 1 zu sehen, ist seit langem in der Mathematik bekannt [1]. Leider geriet der Gebrauch von Quaternionen ab ca. 1880 mehr und mehr in den Hintergrund, da sich das in vielen Aspekten äquivalente Rechnen mit Skalar- und Kreuzprodukten in der Physik durchsetzte, u.a. durch den Einfluss von Heaviside und Gibbs. Aus heutiger Sicht ist dies durchaus bedauerlich, denn würden in den mathematischen Grundvorlesungen heute – ähnlich wie bis Mitte des 19. Jhd. üblich – Quaternionen eingeführt, wäre der Weg zu einer topologischen Deutung der Quantenphysik sehr viel leichter: In der Sprache der Quantenphysik sind Quaternionen Spin-Flip-Operatoren.

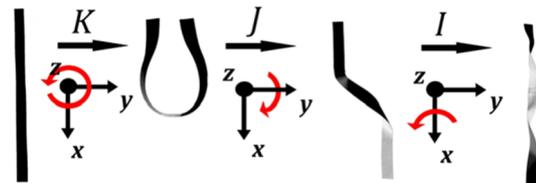


Abb.1: Anwendung eines Quaternionen bewirkt eine Drehung um 180° in x , y , bzw. z -Richtung.

3. Spin 1/2

Die Drehung der Wellenfunktion eines Spin- $1/2$ -Zustands um 360° bzw. die zweimalige Anwendung desselben Spin-Flip-Operators (z.B. I) führt einem Vorzeichenwechsel. Erst nach 720° ist der Ausgangszustand wieder erreicht, $I^4 = +1$, siehe Abbildung 2.

Topologisch äquivalent hierzu ist die Beschreibung einer 720° -Drehung auf einem Möbius-Band, da bei einem Möbiusband auf der Oberfläche ebenfalls erst nach einer Zurücklegung von 720° der Ausgangspunkt wieder erreicht wird.

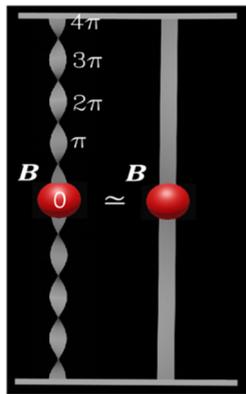


Abb.2: Eine Drehung um 720° ist äquivalent zu keiner Drehung. Dies ist die Kernaussage des sogenannten Dirac'schen Gürteltricks.

Betrachtet man nur dem Rand des Möbius-Bandes, ergibt das sich in Abbildung 3 gezeigte Modell für die Drehung eines einzelnen Qubits. Anstatt das Qubit zu drehen, könnte man auch sagen, dass der Betrachter sich zweimal um das Qubit im Hilbertraum dreht, und so einen Eindruck von dessen Topologie gewinnt. Ein Möbius-Band kann rechts- oder links getwistet sein. In der Sprache von Quantenzahlen entspricht dies $s = \pm 1/2$.

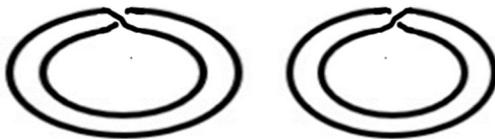


Abb.3: Der Rand eines links- (L) bzw. rechts- (R) getwisteten Möbiusbandes.

4. Modell eines verschränkten Zustands

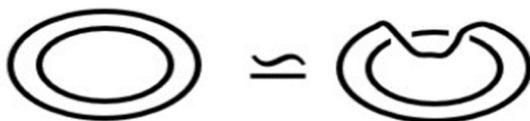


Abb.4: Topologisches Modell eines verschränkten Zustandes als Unknoten.

Wir betrachten in diesem Beitrag als Beispiel den verschränkten Bell-Zustand

$$|\Psi^+\rangle \sim (|RL\rangle + |LR\rangle)$$

Die Überlagerung von Rechts- und Linkstwist übersetzt sich topologisch in einen Unknoten, der allerdings virtuell einen Rechts- und Linkstwist enthält. In Abbildung 5 zeigen wir in (1) und (2) den Unknoten in diesen zwei topologisch äquivalenten Konfigurationen (die 720° -Drehung aus Abbildung 2 ist

topologisch äquivalent zum Übergang (1)→(2)). Solche Verdrehungen von Phasen ohne Änderung der Topologie und somit von beobachtbaren Größen ist auch als Eichprinzip bekannt, was eine Säule des Standardmodells der Elementarteilchenphysik ist.

Wie kommen wir nun vom verschränkten Zustand zu lokal messbaren Teilchen? Jede Messung bewirkt eine Änderung der Topologie: Wie in Abbildung 3 gezeigt, werden Rechts- und Linkstwist voneinander getrennt, und es entstehen einzelne rechts- und linksgetwistete Spin $1/2$ -Zustände.

Vor der Messung gibt es weder einen rechts- noch einen linksgetwisteten Zustand - beide sind ununterscheidbar und zu einem Unknoten verschmolzen.,

Nach der Messung messen die Detektoren A und B (Alice und Bob) beide jeweils einen Spin $1/2$ -Zustand, wie in Abbildung 3 gezeigt. Es ist offensichtlich, dass zwischen beiden eine starke Korrelation besteht: Wenn Alice L misst, misst Bob R, oder umgekehrt. Wer welchen Zustand bekommt, ist eine Zuschreibung bzw. eine Unterscheidung, die zufällig sein muss, denn erst durch solch eine Zuschreibung entstehen diese beiden Möglichkeiten [4].

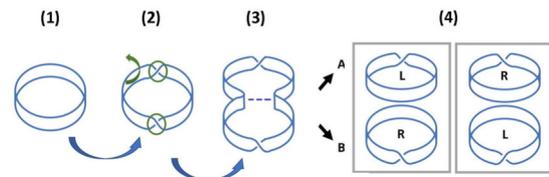


Abb.5: Ein topologisches Modell für Verschränkung und Quantenzufall

Diese Grundidee kann in vielen weiteren interessante Anwendungen genutzt werden, z.B. bei Auswahlregeln [2], bei Kontextualität und als ein topologisches Argument gegen Viele-Welten-Theorien [3].

5. Grenzen des Modells

Wir haben in diesem Beitrag bewusst auf technische Einzelheiten verzichtet, da diese für ein qualitatives Verständnis keinerlei Bedeutung haben. In diesem Abschnitt wollen wir allerdings einige „Risiken und Nebenwirkungen“ des in Abbildung 5 vorgestellten Modells aus physikalisch-mathematischer, sowie aus didaktischer Sicht diskutieren.

Mathematisch-Physikalisch:

- Die komplexen Amplituden (α, β) eines einzelnen Qubits beschreiben geometrisch eine dreidimensionale Kugeloberfläche in vier Dimensionen. Das Aufblättern in invariante Torii kann immer nur in Bezug auf eine gegebene Achse gemacht werden (was durch die Basiswahl erfolgt). Wir

modellieren nur einen einzelnen solchen Torus. Genau genommen müsste also in Abbildung 5 mit einem Torus gearbeitet werden, in den ein virtueller π – Dehn Twist gesetzt wird (Übergang (1) nach (2)). Beim Aufschneiden entstehen dann nicht zwei Möbius-Bänder, sondern zwei Klein'sche Flaschen. Vereinfachend arbeiten wir mit dem Möbius Band-Modell.

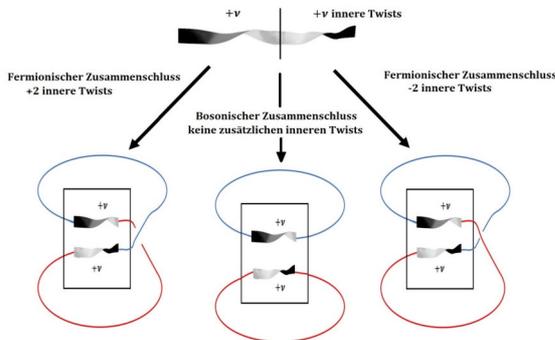


Abb.6: Topologisches Modell eines verschränkten Zustandes als Unknoten.

- Die einfache Hopf-Fibration führt zu Großkreisen, die jeweils einmal verlinkt sind. Daraus ergeben sich $v = 2$ innere Twists. Erst beim Übergang von 720° auf 360° werden diese Hopf-Kreise zu einem Dirac Gürtel bzw. dem doppelt aufgewickelten Möbius-Band. Bei der doppelten Aufwicklung ergibt sich dann beim Möbius-Band ein Twist, wie in Abbildung 3 gezeigt.
- Die Konstruktion kann auf beliebigen Spin j verallgemeinert werden, wobei die Hopf-Fibration zunächst von $2j$ -mal verlinkten Großkreisen zu $v = 4j$ inneren Twists führt. Der Übergang von 720° auf 360° führt dann zu einer doppelten Aufwicklung mit $2j$ Twists. Bei ganzzahligem Drehimpuls $j=l$ entspricht das dem Faktor $e^{il\varphi}$ der Kugelflächenfunktion Y_{ll} . Bei Spinzuständen ergeben sich Möbius-Bänder mit $(1, 3, 5, \dots)$ Twists für Spin $\frac{1}{2}, \frac{3}{2}, \frac{5}{2}, \dots$ [6].
- Die komplexen Amplituden $(\gamma, \delta, \varepsilon, \zeta)$ eines **Paars von Qubits** ergeben eine siebendimensionale Kugeloberfläche in acht Dimensionen. Die Geometrie dieser Räume ist gut verstanden und beschrieben [5]. Wir betrachten hier besonders einfache und symmetrische Strukturen. Tatsächlich können aber in der Ausgangskonfiguration in Abbildung 5 bereits Twists enthalten sein, abhängig vom Gesamtspin des Bell-Zustands und dem gewählten Schnitt durch die dreidimensionale Geometrie, die durch die komplexen Zahlen (α, β) beschrieben wird.

Wir verzichten an dieser Stelle auf eine noch genauere Beschreibung der technischen Details und verweisen auf die Literatur.

Didaktisch:

- Unsere Darstellung durch Möbiusbänder ist abstrakt und damit nicht gestalttreu. Schülerinnen und Schüler könnten fälschlicherweise annehmen, dass ein Spin wortwörtlich ein Band ist, nachdem sie mittels unseres topologischen Modells ein mentales Modell von Verschränkung und Spins aufgebaut haben.
- Schülerinnen und Schüler assoziieren mit Teilchen – wie beispielsweise Elektronen – häufig einfache Körper, wie zum Beispiel Kugeln. Eine große Problematik in der Quantenphysik ist es, anschlussfähige Bilder an diese sehr rudimentären Bildern darzubieten. Inwieweit unsere topologische Modellierung anschlussfähig an bisherige Vorstellungen ist bzw. in der Lage ist, neue Konzepte aufzubauen, bleibt es empirisch zu untersuchen.

Trotz dieser „Gefahrenstellen“ wollen wir den potenziellen Nutzen unserer Modellierung unterstreichen: Unsere topologischen Modelle bieten eine vereinfachte veranschaulichte Darstellung der funktionalen Vorgänge von Verschränkung und Spins. Im europäischen Schulkontext sind diese beiden physikalischen Konzepte noch nicht zu finden, werden aber absehbar in naher Zukunft integriert [7]. Somit bieten die Modelle eine Möglichkeit, diese beiden Konzepte von Grund auf neu zu verstehen und korrespondierende mentale Modelle aufzubauen.

Es ist nicht einfach, Aussagen über „gute“ Modelle zu treffen, da oft auch situationale Aspekte bei solch einer Einordnung zu berücksichtigen sind. Trotzdem wollen wir jedoch abschließend noch einige sehr vielversprechende Aspekte unserer Modellierung nennen, die allerdings noch empirisch zu untersuchen sind:

1. Um einen Fokus auf die Funktionsweise eines Modells zu legen, bietet es sich an, ein Aussehen zu wählen, welches leicht als nicht realitätstreu empfunden werden kann. Wir hoffen, dass sich dies leichter mit unserem Modell klar machen lässt als z.B. mit Spins als „drehenden Kugeln“.
2. Es sollten nicht zu viele „irrelevante“ Funktionen aus dem Modell herausgelesen werden können, um nicht von den wichtigen Aspekten abzulenken. Die Funktionen in unserem Modell sind relativ begrenzt – alles was gemacht wird sind Verdrehungen

und Verbindungen und Trennungen von Bändern.

3. Unsere Modelle sind vergleichsweise einfach und können auf verschiedene Art und Weisen präsentiert werden. So ist es möglich, rein haptisch mit Papierstreifen zu arbeiten, oder mit Animationen und Simulationen.. Konkret bietet das Programm [Antitwister](#) für $j=1/2$ dieselben topologischen Informationen wie uns einfaches Modell. Aufgrund dieser Einfachheit kann im Gegensatz zu diesem Programm jeder Spin j modelliert werden. Im Prinzip könnte dies auch mit vielen Faserbündeln in [Antitwister](#) in programmiert werden, dies ist aber noch nicht erfolgt.
4. Die Papierstreifen sind anschlussfähige Modellierungen an sowohl die Konzepte „Spin“ als auch der Modellierung der Atomhülle mittels Elektronenwellenfunktionen [8]. Sie müssen somit nicht allein im Unterricht stehen.

6. Diskussion und Ausblick

Durch den immer höheren Stellenwert der Quantentechnologien zweiter Generation in Wirtschaft und Bildung wird mit absehbar die Thematik der Verschränkung und Ununterscheidbarkeit curricular relevant werden. Bisherig gibt es keine haptischen Modellierungen auf Niveau der Sekundarstufe II. Wir hoffen, durch fachlich fundierte Modelle einen intuitiven Zugang zu dieser komplexen Thematik zu eröffnen. Ob und wie diese für den Aufbau von Konzeptverständnis im Bereich Quantenphysik lernwirksam sind, ist allerdings noch ungeklärt. Im Gegensatz zum rein mathematisch-formalen Zugang, der mit Sicherheit im Kontext Schule nicht tauglich ist, steht durch unser haptisches Modell zumindest ein konkreter Ansatz zur Verfügung, der empirisch untersucht werden kann.

7. Literatur

- [1] Kauffman, Louis H. (2005): The mathematics and physics of knots. In: Rep. Prog. Phys. 68, 2829-2857.
- [2] Heusler, Stefan; Ubben, Malte (2019): A Haptic Model of Entanglement, Gauge Symmetries and Minimal Interaction Based on Knot Theory. In: Symmetry 11, 11: 1399.
- [3] Heusler Stefan; Schlummer, Paul; Ubben Malte S. (2020). A Knot Theoretic Extension of the Bloch Sphere Representation for Qubits in Hilbert Space and Its Application to Contextuality and Many-Worlds Theories. In: Symmetry 12, 1135.
- [4] Heusler, Stefan; Schlummer, Paul; Ubben, Malte S. (2021): The Topological Origin of Quantum Randomness. In: Symmetry 13, 4, 581.
- [5] Kus, M.; Zyczkowski, K. (2001). Geometry of entangled states. In: Phys. Rev. A 63, 032307.
- [6] Topologie der Quantendimensionen: <http://www.quantenspiegelungen.de/subdimension-linie-u3/topologie-der-quantendimension/>
- [7] Stadermann, H. K. E.; van den Berg, E.; Goedhart, M. J. (2019). Analysis of secondary school quantum physics curricula of 15 different countries: Different perspectives on a challenging topic. In Phys. Rev. Phys. Educ. Res. 15, 010130
- [8] Ubben, M., & Heusler, S. (2018). A haptic model of vibration modes in spherical geometry and its application in atomic physics, nuclear physics and beyond. In European Journal of Physics, 39(4), 045404.

Strukturanalyse von Physik Studiengängen

– Ein Beitrag des Studienreform Forums –

Daniela Kern-Michler*, **Stefan Brackertz⁺**, **Sophie Penger⁺**, **Manuel Längle[†]**, **Christoph Kronberger[‡]**, **Annemarie Sich⁺**, **Lisa Lehmann[°]**, **Wanda Witte[§]**, **Amr El Miniawy[#]**

*ZaPF e.V., c/o Goethe Universität Frankfurt, Raum _ .208, Max-von-Laue Str. 1 60438 Frankfurt/Main, ⁺Universität zu Köln, Fachschaft Physik, Zülpicher Straße 77, 50937 Köln, [†]Universität Wien, Studierendenvertretung Physik, Boltzmannngasse 5 1090 Wien, [‡]TU Wien, Wiedner Hauptstraße 8-10, 1040 Wien, [°]TU Dresden, Fachschaftsrat Physik, Haecelstr. 3, 01069 Dresden, [§]Universität Rostock, Fachschaft Physik, Albert-Einstein-Straße 24, Raum 107, 18059 Rostock, [#]Humboldt Universität Berlin, Fachschaftsinitiative Physik, Newtonstraße 15, 12555 Berlin

studienreformforum@zapf.in

Kurzfassung

Mit Hilfe eines frei verfügbaren Webtools wurde die Struktur von 14 Physik-Bachelorstudiengängen (nur Einfach-Bachelor, kein Lehramt) qualitativ und quantitativ untersucht. Dabei wurden die Strukturen von Inhalten und Voraussetzungen sichtbar gemacht. Unterschieden wurde zwischen formalen Abhängigkeiten, d.h. Regelungen in den Prüfungsordnungen, die verhindern, dass Module belegt werden, bevor andere abgeschlossen sind, und inhaltlichen Abhängigkeiten. Typische Flexibilitätshindernisse wurden identifiziert und diskutiert. Darüber hinaus wurde in Rücksprache mit Studierendenvertreter*innen betroffener Studiengänge analysiert, worin genau Modulabhängigkeiten bestehen. Erste Überlegungen zum Verhältnis dieser Modulabhängigkeiten zu didaktischen Konzepten wurden herausgearbeitet.

1. Einleitung

Die vorangegangenen Debatten im Rahmen des Studienreform-Forums (z.B. [1]) haben den Bedarf an Informationen über die Ausgestaltung von Physikstudiengängen gezeigt. Dies betrifft insbesondere die Frage, ob und wie sich Studiengänge so gestalten lassen, dass sie in verschiedenen Geschwindigkeiten und/oder in verschiedenen Reihenfolgen studiert werden können. Gerade bei Reformen von Studiengängen kann es von Interesse sein, ob ein bestimmtes Konzept andernorts bereits etabliert ist und Erfahrungsberichte eingeholt werden können. Eine besondere Herausforderung dabei ist allerdings, erprobte Konzepte so weit zu abstrahieren, dass sie sich überhaupt auf andere Studiengänge übertragen lassen. Als Ergebnis der oben genannten Diskussion und eines Beitrags derselben Konferenz [2] wurde ein Tool entwickelt, das der systematischen Erfassung der „Strukturformeln“ von Studiengängen dient [3] und genau diese Abstraktion mit einer möglichst flächendeckenden Erhebung des Status quo der Physik-Studiengänge im deutschsprachigen Raum verbinden soll.

2. Methode

Bei der Analyse von Studiengängen kann man zwei unterschiedliche Aspekte in den Fokus nehmen. Zum einen können die Inhalte und Module betrachtet werden, zum anderen die Zusammenhänge und Voraussetzungen zwischen den Inhalten und Modulen.

Aus vorangegangenen Umfragen sind hauptsächlich Daten über die Inhalte und den Umfang von Themen gewonnen worden. Durch das Projekt zur Erfassung von Strukturformeln von Physikstudiengängen über ein Webtool [4] konnten nun beide Aspekte gemeinsam ausgewertet werden.

Im Webtool werden Module und/oder Veranstaltungen des Studiengangs und ihre Verknüpfungen untereinander eingetragen und in einer MySQL-Datenbank auf dem Webserver gespeichert. Ein Pydot-Skript zeichnet daraus eine entsprechende „Strukturformel“ des Studienganges, die unmittelbar angezeigt wird.

Die Angaben in der Datenbank zu Modulen und Inhalten erlauben die Darstellung der „Summenformel“ eines Studienganges in einem Inhaltsprofil.

Die horizontale Achse zeigt die Anzahl an Leistungspunkten, während die unterschiedlichen Gebiete in verschiedenen Farben dargestellt sind.

Das Webtool erstellt gleichzeitig die „Strukturformel“ des Studienganges. Module werden als Kästen mit normalen Ecken dargestellt, Veranstaltungen als Kästen mit abgerundeten Ecken. Das Themengebiet ist erneut durch die Farbe kodiert. Die Leistungspunkteanzahl spiegelt sich in der Breite der Kästen wieder.

Die Zusammenhänge werden mit Pfeilen dargestellt. Rote Pfeile bedeuten, dass der Kasten von welchem der Pfeil ausgeht, eine formale Voraussetzung für den Kasten, auf dem der Pfeil endet, darstellt, d.h.,

dass Regelungen in den Studienordnungen verhindern, dass Module belegt werden, solange die vorherigen nicht erfolgreich abgeschlossen sind.

Schwarze Pfeile stehen für starke und graue Pfeile für schwache Empfehlungen. Dabei ist anzumerken, dass viele, aber nicht alle formalen Voraussetzungen inhaltlich begründet sind; so sind beispielsweise manche formalen Voraussetzungen auch gesetzlichen Vorgaben geschuldet, die z.B. in Österreich den Abschluss einer Studieneingangs- und Orientierungsphase zur Voraussetzung für die weitere Belegung von Modulen machen.

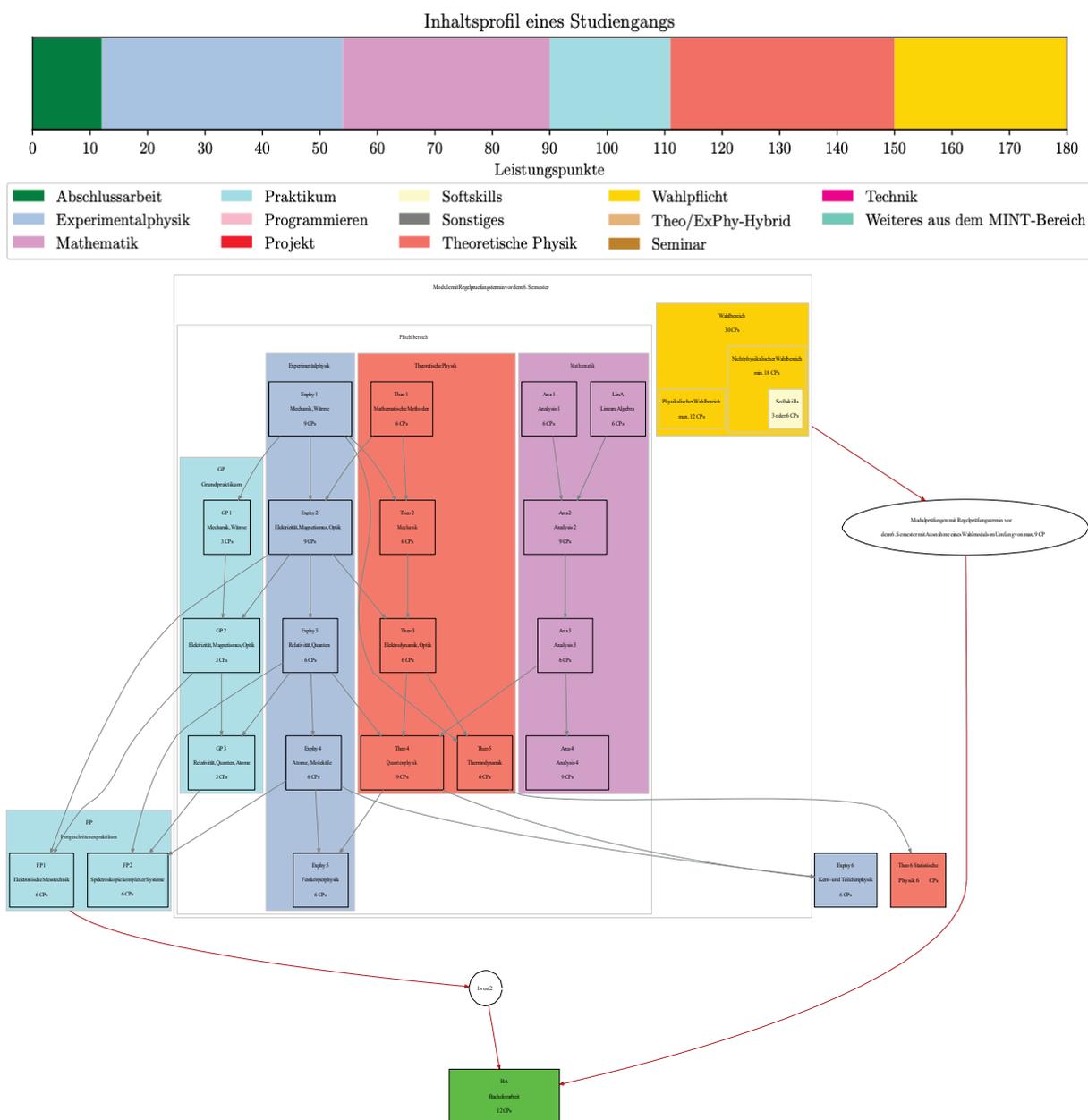
Zusätzlich wurden Kreise eingeführt. Diese symbolisieren Bedingungen, wie z.B. eine bestimmte Anzahl von Leistungspunkten, die erbracht sein müssen oder Regelungen, nach denen 2 von 3 Modulen besucht sein müssen. [3]

Zur Verbesserung der Übersichtlichkeit gibt es die Möglichkeit, Kästen zu gruppieren. Dies soll die Anzahl der Pfeile reduzieren, wenn beispielsweise mehrere Module die selben Vorkenntnisse oder eine gemeinsame Prüfung haben.

Es wurden 14 Bachelor Physikstudiengänge ausgewertet, wobei nur einfache Bachelor Studiengänge und keine Lehramts- oder Nebenfachstudiengänge berücksichtigt wurden.

Nach dem Studienatlas Physik [5] gibt es in Deutschland 71 Hochschulstandorte, die Physik bzw. physiknahe Studienfächer anbieten. In Österreich gibt es fünf weitere Standorte.

Damit sind 14 Studiengänge noch eine recht kleine, aber signifikante Stichprobe insbesondere im Ver-



gleich mit Rückläufen und Datenqualität von vorangegangenen Umfragen.

3. Ergebnisse und Interpretationen

3.1. Summenformel

Neben der graphischen Darstellung der „Summenformeln“ lassen sich Auswertungen mittels Häufigkeitsverteilungen und Standardabweichungen vornehmen. Vorangegangene Analysen auf Grundlage anderer Umfragen haben jedoch gezeigt, dass diese Methodik nicht geeignet ist, um abschließend über die Ähnlichkeit von Studiengängen zu entscheiden.

Stattdessen wird die Darstellung in Abb.1 genutzt, um Beobachtungen über die Studiengänge der Stichprobe zu formulieren.

Es ist auffällig, dass nur die Uni Heidelberg ein Projektmodul im Physik Bachelor anbietet. Die Größe der Bachelorarbeiten schwankt zwischen 7 und 15 Leistungspunkten, ohne dass einzelne Standorte besonders auffällig sind. Das größte Experimentalphysikgebiet bietet die Uni Leipzig mit 50 Leistungspunkten an. Die Mathematik schwankt zwischen 24 und 39 Leistungspunkten und die theoretische Physik zwischen 32 und 43 Leistungspunkten, wobei die TU Darmstadt den größten Theorieanteil hat. Das Praktikum hat einen Umfang zwischen 8 Leistungspunkten (an der TU Wien) und 29 Leistungspunkten.

Nur ca. die Hälfte der Standorte bietet eigene Veranstaltungen zum Thema Programmieren/Computerphysik an. Diese schwanken in ihrem Umfang zwischen 4 und 11 Leistungspunkten.

3.2. Strukturformeln

Zur Interpretation der „Strukturformeln“ werden die folgenden Strukturelemente betrachtet: rote Pfeile, „Säulen“, „Kreuzungen“ und „Nadelöhre“, vgl. [5].

3.2.1. Formale Modulvoraussetzungen

Bei der Analyse der vorliegenden Studiengänge fallen im Wesentlichen drei Funktionen von formalen Voraussetzungen:

- Vor der Bachelorarbeit: 3 Standorte haben explizite Angaben, welche Module vor der Bachelorarbeit abgeschlossen (manchmal nur begonnen) sein müssen. Die überwiegende Mehrheit der Studiengänge hat Angaben, wie viele Leistungspunkte vor Beginn der Bachelorarbeit erbracht sein müssen. Die Angaben schwanken zwischen 90 und 141 Leistungspunkten. Es gibt einen Studiengang, in dem die Bachelorarbeit formale Voraussetzung für das Bachelorarbeitskolloquium ist.
- Vor Praktika: Gut die Hälfte der ausgewerteten Studiengänge hat einzelne formale Voraussetzungen vor Praktikumsmodulen. Teilweise sind auch Experimentalphysikmodule formale Voraussetzung für einzelne Praktika. Es handelt sich zu meist um Fortgeschrittenenpraktika.
- Studienstrukturierende Prüfungen. Aufgrund einer gesetzlichen Vorschrift haben sowohl die Uni Wien wie auch die TU Wien mit der „Studieneingangs- und Orientierungsphase“ (STEOP) eine studienstrukturierende Prüfung in der Studieneinstiegsphase. Es ist nicht erlaubt, weitere

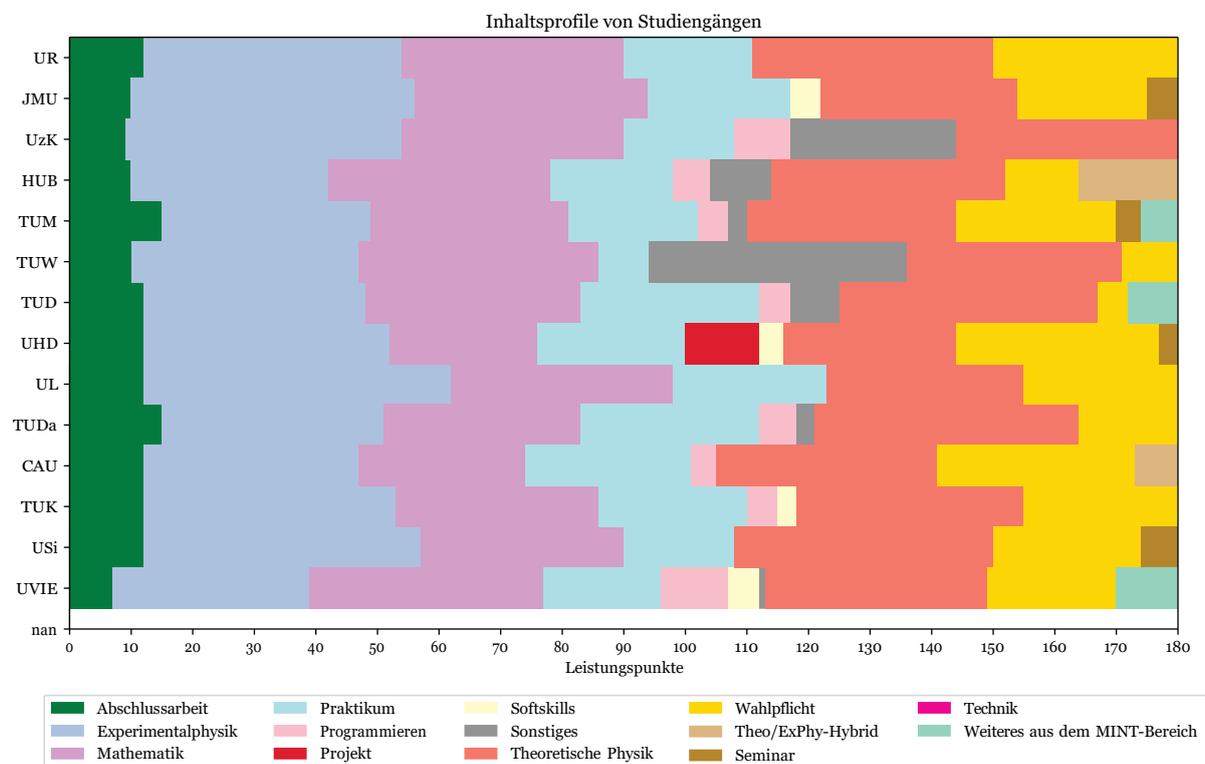


Abb.2: Inhaltsprofile von 14 Physik Bachelor Studiengängen.

Module zu belegen, solange diese Prüfungen nicht bestanden sind. Die TU München hat mit den beiden „Grundlagen- und Orientierungsprüfungen“ (GOP) ein ähnliches Konzept. Die TU Darmstadt hat mit dem Modul „Allgemeine und übergreifende Konzepte der Experimentalphysik“, welches Praktika und Experimentalphysikvorlesungen als formale Voraussetzung hat, eine studienstrukturierende Prüfung im späteren Studienverlauf.

Die Besonderheit der GOP und einiger ähnlicher Regelungen besteht darin, dass sie keine Abhängigkeit unter Modulen darstellt, sondern eine Abhängigkeit zwischen Modulen und Studiensemestern, zum Beispiel, dass eine Prüfung bis zum x-ten Semester abgeschlossen sein muss. Solch eine Abhängigkeit kann bislang mit dem verwendeten Tool nicht adäquat abgebildet werden, hat aber dennoch in der Praxis einen massiven Einfluss auf die Studienverläufe, gerade wenn sie mit Zwangsexmatrikulationen sanktioniert ist. Deshalb gibt es derzeit Überlegungen, wie das Tool so weiterentwickelt werden kann, dass sich auch solche Restriktionen angemessen abbilden lassen.

Formale Abhängigkeiten und teils durch sie hervorgerufene Nadelöhre dienen in den verschiedenen Studiengängen verschiedenen Funktionen.

Neben eventuell inhaltlich notwendigem Vorwissen, kann auch die Absicherung eines angestrebten Niveaus für eine Veranstaltung oder eine erfolgversprechende Verteilung des Workloads über das Studium das Ziel sein.

Formale Voraussetzungen werden auch als Selektionsmaßnahmen eingesetzt oder als Versuch, auf die Lernprozesse der Studierenden einzuwirken, indem früh im Studium bestimmte Hürden genommen werden müssen. Diese Intention liegen vor allem dann nahe, wenn weiterführende Module nicht ohne erfolgreichen Abschluss vorangegangener belegt werden können, obwohl sie nicht inhaltlich darauf aufbauen.

In der vorliegenden Stichprobe fallen STEOP und GOP in diese Kategorie.

Neben der intendierten Funktion solcher Regelungen ist auch der Einfluss auf die Kultur am Fachbereich zu beachten. Auf der Ebene der Studienverläufe haben sie die gleichen Auswirkungen wie formale Abhängigkeiten, die aus inhaltlichen Gründen festgelegt sind. (vgl. [2]).

3.2.2. Nadelöhre

Die bereits erwähnten studienstrukturierenden Prüfungen sind im Allgemeinen Nadelöhre.

An der Universität Heidelberg und an der Humboldt Universität Berlin gibt es in der Studieneinstiegsphase Module, die im Diagramm als Nadelöhr auftreten (Einstieg Physik bzw. Elementare Hilfsmittel der Physik.). An der Universität Würzburg gibt es im

späteren Studienverlauf mit dem Modul „Synergien Quantenphysik“ ein Nadelöhr.

Wenigstens drei Hochschulen haben entsprechend der Analyse, dass Mathematikmodule allgemeinere Voraussetzungen sind, einzelne oder kleinere Gruppen von Mathematikmodulen als Nadelöhre.

Die Ergebnisse zeigen aber auch, dass manche Nadelöhre die Flexibilität der Studiengestaltung weniger einschränken als andere. Rücksprache mit Studierendenvertreter*innen einzelner Standorte im Rahmen der ZaPF ergab, dass nur wenige Standorte bekannt sind, bei denen Nadelöhre bewusst eingebaut sind. Im Kontrast dazu werden in manchen Studiengangskommissionen Nadelöhre aber auch als zu entschärfendes Problem diskutiert. Neben dem Versuch, Nadelöhre insgesamt zu reduzieren, sind die Autor*innen vor allem auf zwei Strategien gestoßen, Nadelöhre zu entschärfen:

- a) Mehrere Hochschulen bieten Nadelöhr-Module jedes Semester an, wohingegen die meisten anderen Module nur jährlich angeboten werden. Teilweise werden auch in Nadelöhr-Modulen mehr Prüfungstermine / -versuche angeboten als in anderen Modulen. Ein Beispiel für ein Nadelöhr das jedes Semester angeboten ist ist die Einführung in das Experimentelle Arbeiten an der Uni Wien, das eine formale Voraussetzung für die Laborpraktika I & II darstellt.
- b) Studienverlaufspläne können so gestaltet werden, dass zwischen einem Nadelöhr-Modul und den darauf aufbauenden Modulen ein zeitlicher Abstand von einem oder mehreren Semestern vorgesehen ist. Dieser Abstand wird durch leicht verschiebbare „Joker“-Module erzeugt und erlaubt Studierenden ggf. diese Joker-Veranstaltungen in spätere Semester zu verschieben und das Nadelöhr-Modul zu wiederholen, ohne dass der weitere Studienverlauf blockiert ist. Es ist dadurch möglich „wieder aufzuholen“ und den Anschluss an eine gemeinsame Lerngruppe für die weiterführenden Module nicht zu verlieren.

3.2.3. Säulenstruktur

Als „Säule“ bezeichnen wir Veranstaltungen, die direkt aufeinander aufbauen und im Allgemeinen wenig Abhängigkeiten zu Veranstaltungen außerhalb der Säule haben. Typischerweise gehören Säulen einem einzigen Themengebiet an.

Nur vier der untersuchten Studiengänge lassen gar keine Säulen erkennen. Die Hälfte der Studiengänge hat mehr oder weniger ausgeprägte Säulen für Theoretische Physik oder Mathematik. Experimentalphysiksäulen und Praktikasäulen kommen seltener vor.

3.2.3.1. Physik-Säulen

Die verschiedenen Physik-Säulen (Experimentalphysik, Theoretische Physik, Praktika) zeichnen sich unter anderem durch typische Methodik und Werkzeuge aus (vgl. z.B. Modulhandbuch Bachelor Physik

Humbolt Universität Berlin). Diese werden weitgehend unabhängig von den anderen Säulen entwickelt.

Dabei bearbeiten die verschiedenen Module innerhalb der Säule meist verschiedene Themenbereiche der Physik, die nur schwach voneinander abhängen. So ist es sicher nützlich, in der theoretischen Elektrodynamik schon einmal etwas von Kräften und Potenzialen gehört zu haben, aber es wird nicht unbedingt vorausgesetzt, dass die analytische Mechanik verstanden wurde. Die Abhängigkeiten innerhalb der Säulen kommen vor allem dadurch zu Stande, dass ein erfahrener Umgang mit spezifischen Methoden der jeweiligen Säule aus den vorhergehenden Modulen vorausgesetzt wird. Manche Hochschulen entschärfen diese Abhängigkeit, wobei wir auf Mischungen folgender idealtypischer Varianten gestoßen sind:

- a) Auslagerung methodischer Grundlagen der jeweiligen Säule in eigene Veranstaltungen, die zuerst studiert werden müssen, sodass der Rest der Säule danach relativ frei angeordnet werden kann.
- b) Erarbeitung Säulen-spezifischer Methoden/Zugänge jedes Mal, wenn sie gebraucht werden (Exkurse). Dabei kommen gemäß der Idee eines Spiralcurriculums [6] diese Methoden mehrmals vor, allerdings typischerweise von verschiedenen Perspektiven her aufgerollt, sodass auch Studierende, die mit der Methode bereits bekannt sind, noch etwas Neues lernen bzw. neue Bezüge herstellen. Diese Exkurse fallen dann den Studierenden leichter, die schon mehr Veranstaltungen derselben Säule studiert haben, ohne dass andere Veranstaltungen dadurch zur Voraussetzung würden. Teilweise wird dies dadurch kompensiert, dass die Veranstaltungen, die klassischerweise später gehört werden, mit höherem Tempo voranschreiten, was die gewonnene Flexibilität zumindest relativiert.
- c) Viele Konzepte wie z.B. Quasiteilchen, Zusammenhang Symmetrie \leftrightarrow Erhaltungsgrößen, Koordinatentransformation zur Entkopplung gekoppelter Systeme lassen sich an verschiedenen physikalischen Inhalten entwickeln. In einigen Studiengängen (z.B. in der Theorie-Säule in Wien) sind die Inhalte, an denen solche Konzepte entwickelt werden, so ausgewählt, dass es innerhalb der Säule (ähnlich wie bei der Strategie (b) zur Entschärfung von Nadelöhren oben) zeitliche Abstände zwischen aufeinander aufbauenden Modulen vorgesehen sind, sodass etwa Theorie III auf Theorie I aufbaut, aber nicht Theorie II zur Voraussetzung hat, und Theorie IV nur auf Theorie I-II, nicht aber auf Theorie III aufbaut.

Abweichend davon gibt es innerhalb der Experimentalphysik-Säulen zum Ende hin oft eine Schwerpunktverlagerung der Voraussetzungen zur Kenntnis physikalischer Themenkomplexe. So wird in einer

Ex-III-Optik- oder einer Ex-II-E-Dynamik-Experimental-Vorlesung nicht vor allem die schiefe Ebene aus der Ex-I-Vorlesung vorausgesetzt, sondern der educated guess beim Aufstellen einer DGL; in der Festkörperphysik-Vorlesung ist der entscheidende Punkt aber eher, dass Kenntnisse sowohl aus der Theormodynamik, der E-Dynamik und Quantenmechanik zusammengebracht werden und dafür zur Verfügung stehen sollen.

Im Gegensatz zu Abhängigkeiten innerhalb von Säulen beruhen Abhängigkeiten zwischen den verschiedenen Physik-Säulen in der Regel darauf, dass eine Vertrautheit mit physikalischen Themenbereichen vorausgesetzt wird.

Auffallend bei den Physik-Säulen ist, dass bei einige Hochschulen gar keine Abhängigkeiten zwischen der Experimentalphysik- und der Theorie-Säule bestehen (z.B. Bonn), sondern die physikalischen Themenbereiche im Sinne eines Spiralcurriculums unabhängig voneinander mit verschiedenen Zugängen erarbeitet werden. Es gibt aber auch Hochschulen wie die Uni Kiel, bei denen die Theorie die physikalischen Inhalte nicht von vorne erarbeitet, sondern explizit auf die thematisch entsprechenden Experimentalphysik-Vorlesungen aufbaut. Es ist zu klären, ob dieses Modell Vorteile bietet, welche die Abhängigkeiten rechtfertigen. Nicht unerwähnt bleiben soll hier aber auch ein interessanter Spezialfall (Dresden und Düsseldorf), bei dem (in Teilen) die Theorie nicht von der Experimentalphysik-Säule abhängt, sondern umgekehrt. Diese Konzeption sollte noch weiter untersucht werden, zumal in manchen asiatischen und lateinamerikanischen Studiengängen Experimentalphysik nicht so sehr wie im deutschsprachigen Raum Ausgangspunkt zum Erlernen der Physik ist, wenn sie dort im Bachelor überhaupt vorkommt.

Ein prinzipiell ähnliches Bild findet sich bei den Praktika: Auch hier gibt es Studiengänge, bei denen die Praktikums-Säule weitgehend unabhängig von den anderen Physik-Säulen ist, im Gegensatz zur Theorie wird bei der großen Mehrheit der Studiengänge im Praktikum aber vorausgesetzt, dass die jeweiligen Themengebiete bereits in Experimentalphysik-Veranstaltungen erarbeitet wurden.

Systematische Abhängigkeiten zwischen den Praktika- und den Theorie-Säulen konnten nirgends gefunden werden.

3.2.3.2. Mathematik

Bei den Verknüpfungen zwischen den Säulen zeigen sich deutliche Unterschiede in der Anordnung der Mathematikveranstaltungen:

- a) **Mathematik als Voraussetzung:** Einzelne Mathematikveranstaltungen sind Voraussetzung für eine Vielzahl andere Module (sowohl theoretischer wie auch experimenteller Physik).
- b) **Verschränkung mit Theoretischer Physik:** Analog dazu, wie teilweise Experimentalphysik-

module Voraussetzung für Praktika sind, sind Mathematikmodule Voraussetzung für theoretische Physikmodule.

- c) **Unabhängig:** Es gibt eine unabhängige Mathematiksäule, die keine Abhängigkeiten mit anderen Modulen hat.

Angesichts der Tatsache, dass viele Hochschulen die Mathemodule zu Beginn des Studiengangs anordnen und mehr oder weniger zur harten Voraussetzung für eine große Zahl an Physik-Modulen machen, ist die Frage, wieso bei einer Reihe von Studiengängen die Physik-Module überhaupt nicht von den Mathematik-Modulen abhängen, besonders spannend, zumal das „Lernen [der Mathematik] auf Vorrat“ ein verbreiteter Kritikpunkt am Physikstudium ist (vgl. [7] und insbesondere auch [8]).

Bei der Diskussion dieses Phänomens an Hand der diesem Beitrag zu Grunde liegenden Diagramme mit Studierendenvertreter*innen im Rahmen der ZaPF im Sommer 2022 konnten im Wesentlichen folgende idealtypischen Modelle herausgearbeitet werden, wobei sich letztlich an allen Hochschulen Mischformen davon finden:

- a) **Mathematik (für Physiker*innen) vorab:**

Hierbei wird sehr kompakt in den ersten Semestern des Studiums Mathematik in ihrer eigenständigen Systematik, oft mit reduzierten Beispielen, erarbeitet, um darauf aufbauend Physik zu lernen. Dieses Modell ist fachsystematisch sehr naheliegend und ermöglicht in der Physik von Anfang an, auf die gesamte Mathematik zurückzugreifen. Es funktioniert anscheinend sehr Standort- und Dozierenden-abhängig unterschiedlich gut. Systematische Schwierigkeiten dabei sind, dass die Mathematik in reduzierter Form teils bezugslos und trocken wird und gleichzeitig das hohe Abstraktionsniveau sehr früh im Studium (typischerweise früher als in einem Mathematik-Studiengang) viele Studierende überfordert. Diese Konzeption führt typischerweise dazu, dass die Mathematik-Veranstaltungen ein Nadelöhr darstellen.

- b) **Low level number crunching vorab und Mathematik parallel:**

Dieses Modell umgeht die Schwierigkeiten des ersten Modells, indem es die Mathematik vor den Physik-Modulen ersetzt durch einen Crashkurs im rezeptartigen Anwenden bestimmter Rechenmethoden, der auf reine Reproduktion angelegt ist und kaum Verbindungen zwischen den einzelnen Rechenmethoden herstellt. Verzichtet wird insbesondere auch auf Begriffsbildung und Beweise, dafür wird eine hohe Anzahl an Beispielen schematisch durchgerechnet, was für Studierende teilweise nicht besonders motivierend ist. Mathematik wird dann quasi wie ein eigener Studiengang mit Muße und in ihrer eigenen Systematik parallel zum gesamten Mathematik-Studium betrieben. Die Idee ist: Die Studierenden nehmen „das Netz der aufzu-

bauenden Beziehungen [parallel von verschiedenen Zipfeln her] auf und entfalten es schrittweise“ [9]. Teilweise bleibt es den Studierenden dann selbst überlassen, den Bezug zwischen den verschiedenen Teilnetzen herzustellen, was vielen nicht gelingt, teilweise geschieht dies in höheren Semestern z.B. in Veranstaltungen zur „Mathematischen Physik“. Diese Konzeption führt typischerweise dazu, dass das low level number crunching ein Nadelöhr darstellt.

- c) **Mathematische Exkurse in der Physik und Mathematik parallel:**

In diesem Modell werden Mathematik und Physik zunächst unabhängig voneinander begonnen, was ermöglicht, dass die Physik deutlich langsamer voranschreiten kann. Was an Rechenmethoden in der Physik gebraucht wird, wird zur gegebenen Zeit als Exkurs eingebaut. Dabei werden mehr oder weniger systematisch Bezüge hergestellt zum Mathematik-Parallelstudium. Eine Schwierigkeit hierbei kann darin bestehen, dass Studierende die Bezüge zwischen den verschiedenen Mathematik-Exkursen nicht herstellen können.

- d) **Mathematik eingebettet in die Theoretische Physik:**

Diese Variante baut die Idee der Exkurse massiv aus und verzichtet dazu auf eigenständige Mathematik-Veranstaltungen. Dabei verschiebt sich der Schwerpunkt über die Semester typischerweise von „aufregende Beispiele der Mathematik, an denen man gut Physik lernen kann“ zu „Theoretische Physik mit mathematischen Exkursen“. Dieses Modell findet sich z.B. in manchen der bisher nicht systematisch ausgewerteten, aber schon im Webtool erfassten Lehramtsstudiengängen. Eine Schwierigkeit kann dabei sein, dass die Mathematik so langsam voranschreitet, dass den Studierenden in der Experimentalphysik Handwerkszeug fehlt. [10]

Es scheint derzeit einen Trend zu geben, verschiedene Mischungen dieser Konzepte parallel anzubieten und den Studierenden ein Stück weit die Wahl zu geben. Eine Schwierigkeit dabei wie beim Vergleich verschiedener Studiengänge ist, dass die Bezeichnungen oft nicht besonders hilfreich sind. So gibt es etwa in fast allen Studiengängen Veranstaltungen „Mathematische Methoden“, hinter denen sich aber teils völlig verschiedene Konzepte verbergen.

3.2.4. Kreuzungen

Kreuzungen sind wechselseitige Voraussetzungen, die das Verschieben von Modulen erschweren, während Nadelöhre Veranstaltungen sind, die abgeschlossen sein müssen, bevor eine ganze Reihe anderer Module besucht werden kann.

Solche Kreuzungen kommen insgesamt wenig vor. Im Prinzip gibt es dabei drei verschiedene Arten:

- a) Säulen, die über mehrere Semester hinweg durch einzelne Abhängigkeiten mehr oder weniger aneinander gekettet werden, sodass sie sich nur par-

allel studieren lassen. (Wo die Abhängigkeit zwischen Säulen dagegen nur in eine Richtung geht, lassen sich – etwa für ein Teilzeitstudium – die Säulen auch nacheinander studieren

- b) Verkettung von zwei Modulen, die faktisch gleichzeitig studiert werden müssen. Solche Konstruktionen finden sich z.B., wenn Theorie und Mathematik in engem Bezug und in Absprache der Dozierenden erarbeitet werden.
- c) Sehr selten: Studiengänge, bei denen die Abhängigkeit faktisch gar nicht erfüllt werden können. Rücksprache mit Studierenden dieser Standorte haben ergeben, dass man dies eigentlich als einen Fehler im Studiengangdesign interpretieren kann, der auch zu systematischen Schwierigkeiten führt.

Stichprobenartige Rücksprachen mit Studierendenvertreter*innen, an deren Standorten es Kreuzungen gibt, und teilweise auch zum Start im Sommersemester haben zu folgenden Hypothesen geführt:

Bei Kreuzungen kann die Abhängigkeit in eine Richtung sehr stark sein, in die andere Richtung aber nur auf Grund eines einzigen Themas bestehen, das im einen Modul erarbeitet und im anderen vorausgesetzt wird. Dies legt die Vermutung nah, dass sich solche Kreuzungen potenziell leicht auflösen lassen, indem nur wenige Inhalte zwischen zwei Modulen getauscht werden.

Bei Kreuzungen zweiter Art liegt die Vermutung nahe, dass es sich um zwei Module handelt, die quasi integriert sind, an anderen Hochschulen also an derselben Stelle ein großes Modul mit mehreren Veranstaltungen angeboten würde. Ein zu überlegender Entwicklungsschritt wäre, die Module zusammen zu legen und z.B. durch eine gemeinsame Prüfung und/oder einer längeren Übung für beide Vorlesungen, statt zwei getrennter Übungen diesen Zusammenhang auch institutionell mehr abzurunden.

4. Zusammenfassung und Ausblick

Es konnte gezeigt werden, dass die gemeinsame Erfassung von Inhalten und Zusammenhängen eine umfassendere Analyse von Studiengängen erlaubt. Nach aktuellem Stand ist hierbei vor allem die Rolle der Mathematik und die Verschiebbarkeit von Modul(-gruppen) sehr unterschiedlich.

Es konnten verschiedene idealtypische Modelle herausgearbeitet werden, welche Rolle die Mathematik in Physikstudiengängen hat, wie die Abhängigkeit zwischen den in Physikstudiengängen verbreiteten Säulen zu Stande kommt und wieso manche Studiengänge mit geringeren Abhängigkeiten auskommen. Auch konnten Strategien herausgearbeitet werden, wie Abhängigkeiten innerhalb der Säulen und Nadelöhre entschärft werden können. Zu betonen ist allerdings, dass dies idealtypische Modelle sind, die sich in Reinform kaum in den analysierten Studiengängen finden.

In der Anwendung des Webtools hat sich aber auch eine Schwachstelle herausgestellt, und zwar dass Selektionshürden, die an bestimmte Semester gebunden sind trotz ihrer hohen Bedeutung in den (wenigen) betroffenen Studiengängen nicht adäquat abgebildet werden können. Die Autor*innen arbeiten derzeit an einer geeigneten Implementierung.

Neben ihrer Verwendung zur Analyse von Physikstudiengängen können die Diagramme auch zur Identifikation von Hürden im Studium und zur individuellen Beratung herangezogen werden. Alle diskutierten Diagramme und einige weitere sind frei verfügbar unter: <http://studiengang-diagramm.de>

5. Literatur

- [1] Brackertz, Stefan; Donocik, Niklas; Kern-Michler, Daniela; Längle, Manuel; (2019) Forum Studienreform 3: „Auf Vorrat lernen oder Fragen nachgehen?“ – Podiumsdiskussion: In: PhyDid B 2019: <https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phydid-b/article/view/996> (Stand: 6/2022)
- [2] <https://studienreform-forum.de/de/forum-2019/beitraege-2019/2019/03/13/entschulung-ist-mehr-als-das-aufheben-von-restrictionen/> (Stand: 6/2022)
- [3] Brackertz et al. 2021: Wie sieht die Struktur des Physikstudiums aus? In: PhyDid B 2021 <https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phydid-b/article/view/1178>
- [4] Studiengangdiagramm Tool: <http://studiengang-diagramm.de> (Stand: 6/2022)
- [5] <https://www.studienatlas-physik.de> (Stand: 06/2022)
- [6] Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen 2008: Pädagogische Fachbegriffe in der beruflichen Bildung – Glossar <https://web.archive.org/web/20130609191208/http://www.berufsbildung.schulministerium.nrw.de/cms/bildungsganguebergreifende-themen/paedagogische-fachbegriffe/glossar/spiralcurriculum.html> (abgerufen am 15.6.2022)
- [7] Brackertz et al. 2019: Forum Studienreform In: PhyDid B 2021 <https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phydid-b/article/view/996>
- [8] <https://studienreform-forum.de/de/forum-2019/beitraege-2019/2019/03/22/mathematische-methoden-und-theoretische-physik-fuers-lehramt-nur-fuers-lehramt/> (abgerufen am 15.6.2022)
- [9] Hans Aebli: Grundformen des Lernens; Klett, 1977, 10. Auflage, S. 201 ff.

- [10] Alexander Altland & Jan von Delft 2019: Teaching mathematics to physicists — can we do better?
<http://www.cambridgeblog.org/2019/01/teaching-mathematics-to-physicists-can-we-do-better/>
(abgerufen am 15.6.2022)

Workshop: Konsequenzen aus drei Jahren Studienreformforschung – Ein Beitrag des Studienreform Forums –

Stefan Brackertz¹, Amr El Miniawy², Jeanette Gehlert³, Daniela Kern-Michler⁴, Manuel Längle⁵

¹Universität zu Köln, Fachschaft Physik, Zulpicher Straße 77, 50937 Köln

²Humboldt-Universität zu Berlin, Fachschaft Physik, Newtonstraße 15, 12489 Berlin,

³Universität Hamburg, Fakultät für Rechtswissenschaften, Rothenbaumchaussee 33, 20148 Hamburg

⁴ZaPF e.V., c/o Goethe Universität Frankfurt, Raum __.208, Max-von-Laue-Str. 1, 60438 Frankfurt / Main,

⁵Boltzmannngasse 5 1090 Wien
studienreformforum@zapf.in

Kurzfassung

Das Studienreform-Forum sammelt seit drei Jahren Materialien zur Dokumentation, Diskussion und Analyse von Studiengängen im deutschsprachigen Raum. Der diesjährige Workshop diente der Diskussion der Themen, die in den Vorjahren bereits so weit durchgearbeitet wurden, dass nach Einschätzung der Organisator*innen alle wesentlichen Argumente herausgearbeitet sind. Dieser Artikel dokumentiert die Debatte. Kernthemen dabei waren die Flexibilisierung von Studiengängen und Prüfungsversuchsbeschränkungen. Auch angesichts der Erfahrungen mit Sonderregelungen während der Corona-Pandemie konnten überraschend viele Konsense in Fragen erreicht werden, die in den Vorjahren noch strittig waren.

1. Einleitung

Das Studienreform-Forum begann 2018 während der Zusammenkunft aller Physik-Fachschaften (ZaPF) mit einer Frage: Wenn wir Studienreform machen - lokal an unseren jeweiligen Universitäten – was ist unsere wissenschaftliche Grundlage? Gesammelt und ausgetauscht wird häufig Anekdotisches, aber an Fachliteratur und einer ernsthaften wissenschaftlichen Herangehensweise schien es damals zu mangeln. Die Hochschuldidaktik der Physik sei relativ klein, und beziehe sich oft eher auf Einzelveranstaltungen als auf den Aufbau von Studiengängen. Ein Ruf nach Daten und ein jährlicher Call-for-Paper wurden gestartet.

Materialien wurden sowohl von Studierenden als auch von Dozierenden eingereicht: konkrete Reformansätze, empirische Befunde, Meinungsartikel, auch satirische Beiträge. Vieles war universitätsspezifisch, einiges von übergreifender Bedeutung.

Auf der DPG-Frühjahrstagung 2019 (Aachen) veranstaltete das Forum einen Workshop, in dem die ersten Arbeiten präsentiert und diskutiert wurden. 2021 wurde das (digital) wiederholt mit neuen Materialien und einem gesonderten Blick auf die Pandemie [1, 2]. Der hier dokumentierte Folgeworkshop ist als Weiterentwicklung dieser beiden Veranstaltungen zu verstehen. Denn zunehmend drängte die Frage: Wir haben jetzt vieles gesehen und gelernt, aber welche Konsequenzen sind nun daraus zu ziehen?

Vier Themenkomplexe wurde vorbereitet und vorge schlagen, die bereits mehrfach und relativ breit im

Rahmen des Studienreform-Forums diskutiert wurden:

- a) Flexibilisierung von Studienverläufen
- b) Beschränkung von Prüfungsversuchen
- c) Informelle Kommunikation
- d) Systematische Kommunikation

Das Konzept des Workshops bestand darin, Positionen bezüglich dieser Themen zu formulieren und die wesentlichen Argumente dazu als Diskussionsgrundlage zu präsentieren. Diese Argumente wurden aus den Diskussionen der letzten drei Jahre gesammelt und ihr Entstehungskontext ist im entsprechenden PhyDidB Artikel nachzulesen. Das Ziel der Veranstaltung: direkt in die Analyse von Argumenten einzusteigen, um die Diskussion der Konsequenzen in den Mittelpunkt zu stellen.

Aus Zeitgründen wurden die Debatte zur Kommunikation nur kurz angerissen und im Wesentlichen verschoben. Herausgearbeitet wurde lediglich, dass es wichtig ist, dass Kommunikation sowohl vertikal zwischen den Hierarchieebenen der Hochschulen als auch horizontal innerhalb dieser Hierarchieebenen, und zwar immer in beide Richtungen stattfinden muss.

Ausführlich diskutiert wurden die Flexibilisierung von Studiengängen und die Beschränkung von Prüfungsversuchen.

2. Flexibilisierung von Studiengängen

2.1. Aspekte

Als gemeinsamer Ausgangspunkt für die Debatte wurden die verschiedenen Aspekte der Flexibilisierung bzw. die verschiedenen Stellen, an denen sie greifen kann, dargestellt.

- Die Kommunikation über den Studienverlauf und die im Studium existierenden Abhängigkeiten kann angepasst werden. Damit werden vorhandene Möglichkeiten, den Studiengang eigenständig zu gestalten, vermittelt, bzw. in der Universitätskultur lebendig vertreten. (z.B. das Sammeln und Veröffentlichen alternativer Studienverläufe)
- Inhaltlich begründete Modulzulassungsbeschränkungen können aufgehoben werden. (Beschränkungen wie: theoretische Physik I muss erfolgreich absolviert werden bevor die theoretische Physik II begonnen werden darf)
- Anderweitig begründete Modulzulassungsbeschränkungen können aufgehoben werden. (Beschränkungen wie: 120 Leistungspunkten werden gebraucht um die Bachelorarbeit anzumelden.)
- Der in Modulen behandelte Stoff kann verändert werden. Hier geht es also um die Verteilung des vermittelten Inhalts. (z.B. Ein Exkurs zur Vektoranalysis wird während der Elektrodynamik angeboten. Das erlaubt das Besuchen der Veranstaltung ohne vorher notwendigerweise einen bestimmten Mathekurs belegt zu haben.)

Die Argumente für und gegen diese Flexibilisierungsaspekte sind in Abbildung 1 zu finden.

2.2. Diskussion

2.2.1. Analyse und Gewichtung der Argumente

Zunächst ging es viel um die Argumente selber: welche sind sinnvoll, welche weniger? Konkrete Beispiele wurden zur Diskussion gestellt. Die präsentierten Argumente wurden sich zu eigen gemacht, kritisiert, verglichen und teils individuell gewichtet.

Die Selbstständigkeit der Studierenden und ihr Lebensbild

Mit „In meinem Studium konnte ich damals viel mehr selber entscheiden“ wurde in die Diskussion eingestiegen. Die Wichtigkeit das Argumentes, vor allem innerhalb der Wissenschaften sich selber mit dem Stoff auseinanderzusetzen, wurde betont. Was muss ich wissen, um Quantenmechanik anzugehen? Was empfehlen mir dazu die verschiedene Bücher? Das könne man selber angehen. Die Position, Studierende seien somit in der Lage ihren Weg selber zu finden, fand Anklang.

Als kritisches Beispiel wurde eingebracht, dass Menschen, die z.B. eine Prüfung ganz ans Ende des Studiums verschieben, sich einen sehr hohen Druck damit aufbauen. Zwar entscheidet sich die Person in dem Moment selber dafür, doch vor allem ganz jun-

gen Studienanfänger:innen, die immer mehr aufzufinden seien, müsste manchmal auch mit externen Maßnahmen geholfen werden. Wenn man weiß, es existiert ein „Dead-End“, warum würde man da nicht eingreifen?

Eingeräumt wurde von allen Diskutierenden, dass es (auch insbesondere bei jüngeren Menschen) sehr wichtig ist, das Leben außerhalb vom oder im breiten Universitätskontext zu berücksichtigen. Entdeckt eine Person mit 20, sie will in die Biologie reinschnuppern, so solle es kein Problem sein, das zu tun. Auch den Menschen, die neben dem Studium arbeiten, oder Zeit für ihnen wichtige Aktivitäten wollten, solle prinzipiell nichts im Weg stehen. Es sei eine traurige Feststellung, dass Menschen, die motiviert und neugierig an die Universität kommen (auch mit gutem Abitur, so die eine Mitdiskutierende) diese Haltung verlören und irgendwann scheiterten.

Das Tempo variabel machen: Alternative zur oder Facette der Flexibilisierung?

Es kam das Argument auf, Flexibilisierung von Studiengängen sei nachrangig im Vergleich zur Möglichkeit, dass Menschen in ihrem eigenen Tempo studieren. Letzteres reiche oft sogar schon aus, und eine weitere Flexibilisierung sei gar nicht notwendig. Deshalb sei die Einrichtung zusätzlicher Studiengänge, die auf eine längere Regelstudienzeit ausgelegt seien, hilfreich. In entschleunigten Semesterplänen könne man mit ergänzenden Tutorien, Umsortierungen und Praktika auch viel für leistungsschwächere Studierende machen, was (dennoch für alle) die Motivation und den Spaß erhöhe. Auch leistungsstärkere Studierende, nutzten z.B. im Falle Aachen den 8-Semester-Bachelorstudiengang, um ein breiteres Spektrum an für Sie interessanten Fachgebieten zu erschließen. Dennoch gelte: Der Erwerb von Basiswissen sei zum Studienanfang unausweichlich, was die Möglichkeiten zur Umordnung der Inhalte stark einschränke. Wenn Studierende zu stark von der fachsystematisch begründeten klassischen Reihenfolge abwichen, müssten sie deshalb faktisch Basiswissen später selbständig nachholen. Gerade Studierende, die aus dem Tritt gekommen seien, seien damit typischerweise überfordert.

Dem wurde der Einwand entgegengehalten, dass motivierte Studienanfänger*innen mit guten Voraussetzungen auch scheiterten, wenn Vorstellungen bzw. ihre Hoffnungen zunächst systematisch enttäuscht würden. So hätten z.B. viele Studienanfänger*innen noch keinen Bezug zur Mathematik, müssten sich aber hauptsächlich damit auseinandersetzen und würden bezüglich der Themen, für die sie sich eingeschrieben haben, um mehrere Semester vertröstet. Studierende erlitten oft eine schwierige Anfangszeit, weil sie nicht direkt Resonanz finden mit den Sachen, die sie tatsächlich interessieren, auch wenn es diese später im Studium gibt. Die lan-

Flexibilisierung von Studienverläufen

4 Aspekte:

A Kommunikation

C andere Beschränkungen

B inhaltliche Beschränkungen

D Inhalte

Pro

- Flexible Studiengänge fördern aktive, interessenorientierte Gestaltung des eigenen Studiums (ABCD)
- Verschiebung des Fokus von Prüfung auf Inhalt (BC)
- Sonst hat man starre Studienverlaufspläne, die (AC):
 - inhaltlich unnötigen Druck erzeugen
 - keine Hilfe sind, wenn man aus dem Plan rausfällt
 - wenig hilfreich für Teilzeitstudierende sind
 - die Selbstständigkeit hindern
- Abweichung von Musterstudienverlauf führt in Studiengängen, die auf Flexibilität ausgerichtet sind, zu weniger Problemen bei Vorwissen (BD)
- Lerngruppen können erhalten bleiben, auch wenn jemand durchfällt (BC)

Kontra

- Die Fachsystematik ist wichtig (BD)
- Studierende benötigen eine Anleitung, denn (ABC):
 - sie sind i.d.R. unerfahren
 - sie orientieren sich in ihrer Kurswahl nach Kosten-Nutzen und nicht nach der Fachsystematik
 - sie sind überfordert durch zu viel Freiheit
 - wird zu viel über unregelmäßige Studienverläufe gesprochen, werden sie vom Einzelfall zur Normalität erhoben, was die Moral untergräbt
- Flexible Studiengänge sind aufwändiger:
 - Veranstaltungen müssen häufiger angeboten werden (D)
 - mehr Studienberatung (A)

Abb.1: Die Argumente wurden den Flexibilisierungsaspekten A,B,C,D zugeordnet und hier vollständig aufgeführt.

ge Wartezeit erschöpfe die Motivation und Neugier und schaffe Distanz zur ursprünglichen Begeisterung. Hier sei eine Entschleunigung nicht unbedingt das richtige Hilfsangebot.

Ein Blick auf konkrete Studiengänge im Rahmen des Studienreformforums habe zeigt, dass es oft „Säulen“, also in sich abgeschlossene Abhängigkeitsketten gebe, die man gegeneinander gut verschieben könne [3]. In Aachen wurden Dozierende ausführlich befragt, welche Vorkenntnisse tatsächlich relevant sind für die jeweilige Vorlesungen. In der Tat seit das Ergebnis auch hier gewesen, dass die zwei Säulen „Theoretische Physik“ und „Experimentelle Physik“ in sich abgeschlossen seien, mit Ausnahme der Quantenmechanik. Ein echtes Potential zur Flexibilisierung existiere also über die Entschleunigung hinaus.

Angemerkt wurde noch, dass je nach Ziel, Flexibilisierung anders aussehen müsse. So habe z.B. eine Person, die durchgefallen ist, andere Probleme mit einem starr aufgebauten Studium als eine Person, die theoretische Physik den experimentellen Vorlesungen vorziehe. Dies traf auf Zustimmung, mit dem

Einwand, es könne dennoch Minimalziele geben, die in allen diesen Fällen etwas brächten.

Lokalität

Gegen Ende der Diskussion wurde noch die Frage aufgeworfen, ob man in der Frage der Flexibilisierung unübergreifend überhaupt weiterkommen könnte? Sei die Flexibilisierung in ihrer Essenz nicht sehr universitätslokal? Man könne zum Beispiel nicht gut Universitäten mit Zwischenprüfungen (wie oft in Süddeutschland zu finden) vergleichen mit welchen, an denen im Prinzip alle Module (ob sinnvoll oder nicht) in beliebiger Reihenfolge und ohne Prüfungsversuchsbeschränkungen studiert werden dürften. Es müsse sehr lokal gearbeitet werden mit dem, was man vor Ort hat. Auch wenn hier grundsätzlich Konsens herrschte, dürfte man dabei nicht unterschätzen, dass der Austausch zwischen Universitäten die verschiedenen Möglichkeiten sichtbar mache, die Inhalte der Physik zu gestalten, so das Fazit. Man sehe durch diesen Austausch oft Freiräume, wo man vorher keine gesehen habe. Zudem könne man weit verbreitete Restriktionen, die Flexibili-

sierungskonzepten im Wege stünden, so gut gemeinsam angehen.

2.3. Konsequenzen der Argumente und Diskussion dieser

Wenn auch nicht explizit, so induzierte die obige Analyse, zumindest bei den konsensualen Punkten, folgenden Handlungsappell:

- a) Die Frage der Flexibilisierung sei explosiv vielfältig. Durch die Verschmelzung der verschiedenen Gründe für Flexibilisierung ist es schwierig, die einzelnen Handlungsstränge auseinanderzuhalten. Verschiedene Ziele erforderten dennoch verschiedene Mittel und die Universitäten sind so divers, dass der sinnvollste Startpunkt in einem Flexibilisierungsprozess das eigene Modulhandbuch sei. Obsolete Zusammenhänge könnten aufgefunden werden, und es lohne sich, an der eigenen Universität die Revision von intermodularen Abhängigkeiten anzugehen. Die Befragung von Dozierenden, was sie tatsächlich für ihre Vorlesung brauchen, und der Vergleich mit dem Rahmen der Studienordnung liefere oft überraschende Spielräume zur Aufweichung von veralteten oder tautologischen Strukturen.
- b) Wichtig sei dabei der Austausch. Man finde, wenn man auch in andere Modulhandbücher schaue, immer Möglichkeiten der Umgestaltung. Das bedürfe intensiver Auseinandersetzung mit fremden Studiengängen, liefere aber auch z.B. hier im Forum Einsichten. Dies bestätigte den mit den Studiendiagrammen [4] eingeschlagenen Weg.
- c) Durch das Aufweichen von (lokal und empirisch aufgefundenen) Abhängigkeiten, die eigentlich nicht (mehr) notwendig sind, könnten Lerngruppen erhalten bleiben, auch wenn ein Teil davon z.B. durch eine Prüfung falle. Durch die differenzierte Kommunikation der empfohlene Studienreihenfolge könne eine Entmutigung Studierender vermieden werden, die z.B. innerhalb einer „Säule“ (Theoretische Physik, Experimentelle Physik) doch gut klargekommen wären.
- d) Entschleunigung stelle ein wichtiges Werkzeug der Flexibilisierung dar. Das Studierenkönnen im eigenen Tempo sei – so habe auch die Corona-Pandemie zum Vorschein gebracht (s. Forum 2021, [2]) – wichtig und etwas, was in den Blick genommen werden muss. Dabei bedürfe es mit BAFöG und Ähnlichem kompatibler Lösungen.
- e) Über die Entschleunigung hinaus müsse geprüft werden, wie durch Veränderung der Stoffaufteilung auf die einzelnen Module, Abhängigkeitsketten reduziert werden könnten. Inhaltlich alternativen Studienstarts könnten der Motivation und den Interessen der Studierenden entgegenkommen. In Köln werde beispielsweise in Erwägung gezogen, verschiedene Einstiege anzubieten: bspw. einer, was mathematisch orientierter ist,

und einer, der Praktika und Experimentalphysik vorzieht.

Im Vergleich zu 2019 erwies sich eine Atmosphäre, die deutlich offener gegenüber verschiedenen Ideen der Flexibilisierung war. Dies kann sicherlich an der Stichprobe der (aktiven) Anwesenden liegen. Doch der Wille, diversere Studienverläufe zu erlauben, und die Meinung, dass dies auch gewinnbringend und sinnvoll ist, schien stärker vertreten. Kleinere Dissense gab es vor allem über die Modi (z.B. Entschleunigung vs. Umordnung). Artikuliert wurde eine Skepsis, ob man alle Beweggründe (Nebenjob, Neugier) gleichzeitig bedienen könne. Dennoch: Dass Studierende real „auf jeden Fall flexibilisiert“ studieren, also in der Regel und nicht im Ausnahmefall von von Studienverlaufsplänen abweichen (Aachen: es schließen nur 7% der Maschinenbaustudierende in Regestudienzeit ab), sei eine Tatsache, der Universitäten berücksichtigen müssten. Eine lebensnähere Gestaltung des Studiums sei im Sinne der Universität. Während der Pandemie habe sich diese Haltung sicherlich weiterentwickelt.

3. Beschränkte Klausurversuche

Die Argumente, die für oder gegen die Beschränkung von Prüfungsversuchen sprechen und als Input präsentiert wurden, wurden im Wesentlichen bereits im Forum 2019 [1] herausgearbeitet. Sie finden sich in Abbildung 2.

3.1. Diskussion

3.1.1. Unterstützung für die Abschaffung

Konträr zur Erfahrung beim Forum 2019 herrschte bei diesem Thema auf Anhieb Konsens, obwohl viele Teilnehmer*innen dabei waren, die 2019 entgegengesetzte Positionen vertreten hatten: die Klausurversuchsbeschränkungen können abgeschafft werden. Das Ressourcenargument sähe man aus dem Grund nicht, dass es ohnehin um wenige Fälle gehe, die in einer 4., 5., usw. Prüfung überhaupt kommen würden. Zudem sei das Argument der „harten Berufswelt“ dadurch entkräftet, dass man sich ja immer neu orientieren könne, z.B. bei einer Kündigung; ein Analogon zum endgültigen Nichtbestehen existiere in der Berufswelt nicht. Die Corona Pandemie habe „die größte Studie“ bezüglich der Abschaffung induziert, und man habe überall die Erfahrung gemacht, dass niemand die Prüfungsversuchsbeschränkungen vermisste.

Im Wesentlichen wurden zwei Argumentationsstränge vertieft:

Angst vor aufgeschobene Prüfungen

In Aachen beobachte man viele Studierende, die die Klausurzulassung erwerben aber nicht antreten. Das sei auch ein wachsender Anteil. Während der Pandemie habe man allerdings „anekdotische Evidenzen“ dafür gesammelt, dass eine Aufhebung der Beschränkung hier helfe. Leute, die eine psychologische Barriere bezüglich einer Prüfung haben, konn-

Beschränkte Klausurversuche

Pro

- Klausuren werden ernst genommen. Dies verhindert:
 - unnötige Mehrarbeit für Dozierende (durch Korrekturen z.B.)
 - Verschlechterung von Statistik (durch z.B. Langzeitstudierende)
 - Frustration bei Studierenden die sich aufbaut, wenn sie nur halbherzig Prüfungen angehen
- Aufzeigen, dass bestimmte Studierende nicht für dieses Studium geeignet sind
- Vorbereitung auf die harte Berufswelt
- Aussagekraft der Prüfung wird geschwächt, wenn man durch viel Probieren und Zufall mal eine Prüfung bestehen kann

Kontra

- Beschränkung fördert (Prüfungs-)Angst:
 - Angstresistenz wird statt Physik geprüft
 - Führt zu Aufschieben
 - Man geht absicherungsorientiert bei der Themenwahl vor (Kosten-Nutzen)
- Beschränkungen können zu Zwangsexmatrikulation führen:
 - Die Berufsfreiheit wird im Falle des endgültigen Nichtbestehens massiv eingeschränkt
 - Das Prinzip des Lebenslanges Lernen wird verletzt
 - große Verantwortung für Prüfende bei der Bewertung von Drittversuchen
- Empirie
 - In Bielefeld uniweit seit 2002 abgeschafft, gute Erfahrungen damit
 - Kölner Physik seit 2015 abgeschafft, Durchfallquoten, Mitschreibende konstant geblieben
 - Die Ausnahmeregelung während der Corona-Pandemie zeigte, wie hilfreich die Abschaffung wäre

Abb.2: Die verschiedenen Argumente für und gegen die Beschränkung der Klausurversuchsbeschränkungen

ten die Prüfung dann einfach ablegen. Man habe zudem erfahren, dass einzelne Langzeitstudierende sich die Ausnahmeregelung zu Nutze machen konnten, um für sie problematische Prüfungen endlich anzugehen und dann auch zu absolvieren. Es wurde von Studierenden darauf hingewiesen, dass Fälle existieren, wo das Studium vor einem etwaigen Drittversuch sogar abgebrochen wird, um sich „die Chance nicht zu verderben“, irgendwann im Leben nochmal etwas Ähnliches studieren zu können.

Es wurde auf das Bielefelder Modell hingewiesen, in dem seit 2002 uniweit keine Prüfungsbeschränkungen mehr existieren. In dem dürfe man sogar auch bestandene Prüfungen zur Notenverbesserung wiederholen, was die Angst vor der Prüfung weiter reduziere. Diese Möglichkeit würde je nach Fachbereich auch in Anspruch genommen, führe aber nicht zu erheblichen Mehrbelastungen der Dozierenden; insgesamt seien die Bielefelder Zahlen sehr ermutigend [5].

Für alle relevant

Vor dem Hintergrund der Einigkeit im Workshop über die Abschaffung der Beschränkung kam die

Frage auf, was denn an Universitäten die Gegenargumente seien, die die Abschaffung hemmten. In Österreich sei es im Hochschulgesetz geregelt. In Köln habe es lange beim Argument geblieben, dass sehr wenige Betroffen wären, und eine Neuausrichtung nicht relevant wäre. Entscheidend sei allerdings die Einsicht gewesen, dass die Universitätskultur bei der Abschaffung der Beschränkungen im Breiten verbessert werde. Es würde insgesamt mehr entwicklungs- und weniger absicherungsorientiert studiert und Studierende weniger in die Kosten-Nutzen Überlegungen gedrängt, die für die Lernatmosphäre toxisch seien.

3.2. Konsequenzen

Bis auf eine Stimme, die sich eine nähere Betrachtung der Daten wünschte (aber prinzipiell zustimmte), herrschte eine erstaunlich leidenschaftliche Einigung darüber, dass Klausurversuchsbeschränkungen abgeschafft werden sollten. Sie seien von wenig Nutzen und befeuerten nur Ängste. Der Wunsch wurde artikuliert, in größeren Kreisen, z.B. mit der KFP oder DPG, auch mit Unterstützung des Biele-

felder Projektes, die Debatte zu führen. Zweierlei Appelle wurden den Anwesenden mitgegeben:

- a) Man solle Statistiken führen, wie viele Studierende die Klausurzulassung erwerben, aber nicht antreten. Dies sei eine Messgröße der (wachsenden) Klausurangst.
- b) Auch wenn die Daten Aufgrund vieler paralleler Änderungen mit Vorsicht zu genießen seien, solle man sich die Auswirkungen der Corona-Sonderregelungen in den Statistiken bzgl. Modulabschlüssen anschauen. Deren Auswertung würde eine weitere wissenschaftliche Grundlage schaffen für die Debatte über die Abschaffung von Klausurversuchsbeschränkungen.

Es wurde die Verschriftlichung und Verbreiterung dieses Standpunktes zu Prüfungsversuchsbeschränkungen gefordert.

4. Literatur

- [1] Brackertz et al.: Forum Studienreform. In: PhyDid B 2019
<https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phydid-b/article/view/996>
(Stand: 6/2022)
- [2] Brackertz et al.: Workshop: Hochschuldidaktische Konsequenzen aus zwei Semestern Krisenlehre. In: PhyDid B 2021
<https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phydid-b/article/view/1176>
(Stand: 6/2022)
- [3] Brackertz et al.: Wie sieht die Struktur des Physikstudiums aus? In: PhyDid B 2021
<https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phydid-b/article/view/1178/0>
(Stand: 6/2022)
- [4] Webtool zur Erstellung von Studiengangs-Diagrammen:
<http://studiengang-diagramm.de>
- [5] Bergische Universität Wuppertal, ZIM: Mitschnitt Tag des Studiums 17.11.2021:
<https://www.youtube.com/watch?v=0imjS-H1w9U4>

ered new sources of light, which shows students' tendency to simplify difficult parts of physics and their lack of understanding of the Huygens-Fresnel principle [6]. Slits are also sometimes considered to have polarizing characteristics [2, 9].

Application of the wave model of light is a source of some other difficulties, too. For example, students struggle with expressing distances in terms of wavelength [5], and some of them do not understand that the path length difference, not just the total path length, is a crucial condition for determining the type of interference that will occur [2]. Introducing modern physics concepts, such as photons and the quantum model of light in the following physics lessons, results sometimes in the common student (wrong) idea that photons move through space following sinusoidal paths [6].

Usually, students are not able to distinguish or predict basic wave optics patterns that are observed on the screen in typical school experiments [10-12], and they have difficulties with explaining basic wave optics phenomena [2-11].

3. The Rasch model

To quickly assess students' understanding of some topics, teachers and researchers often use multiple-choice diagnostic instruments (tests). Students' choices of answers on carefully designed items can give an important insight to their teacher, or researcher, about how well students understood the topic and what difficulty students are facing. Multiple-choice format enables easy administration to many students at once and easy grading. An ideal diagnostic instrument (test) should serve as a *ruler* that will enable us to estimate students' abilities regarding the investigated topic and to compare them. But, if the markings on this ruler are expressed in raw scores, there are some problems because not every raw point has the same weight. For example, in a math test, one can be asked to sum two one-digit numbers, to multiply two two-digit numbers, or to divide two multiple-digit numbers. If each correct response yields the same number of points, which is often the case on multiple-choice tests, we cannot conclude much from just raw scores, because it is obvious that answers for some items are much more complicated than the answers to the others [13-15].

In order to avoid the problem with raw scores, many researchers use the Rasch model, one of the most used statistical models that helps (and guides) researchers in the process of test construction and evaluation. This statistical model is capable of evaluating each item in the test, and also to evaluate the test as a whole [16].

The basic role of the Rasch model is to transform non-linear raw scores (number of points on the test that students achieved) into linear measures of student ability and item difficulty expressed in the mathematical unit defined by the model, called *logit* [17].

Some of the assumptions of the Rasch model used to construct the CSWO were unidimensionality, meaning that the test should investigate only one variable or construct (here: understanding of basic phenomena of wave optics) and local independence of items, meaning that the answer to one item should not influence the answer to some other item [18].

4. Methodology

4.1. CSWO development and validation

The new instruments' (CSWO) development and validation were conducted in a period of slightly over a year. More than 700 high school students from Croatia and Austria took part in five cycles of testing, where more than 60 items were probed. After the final cycle of testing, we obtained 26 coherent and well-functioning items, that are distributed across five following learning outcomes (LO) [1]:

LO1. Demonstrate knowledge of basic wave concepts and the wave model of light

LO2. Apply mathematical conditions for the interference of light from two sources

LO3. Reason about school experiments in wave optics (interference of light on two slits, interference on an optical grating, diffraction of light on a single slit, and polarization of light with polarizers or by reflection on different media)

LO4. Differentiate patterns of basic interference and diffraction phenomena introduced in high school physics

LO5. Explain wave optics phenomena and apply them to real-life situations.

The items in LO1 are expected to be the easiest group of items for students, while items in LO5 are expected to be the most difficult group of items for the students. Each learning outcome (from LO1 to LO5) is expected to be more and more complex for students.

The CSWO is focused only on basic wave optics phenomena: interference of light on two slits and on optical grating, diffraction of light on a single slit and polarization of light. In high schools, the CSWO should be used only as a posttest.

4.2. Sampling

The testing of Austrian high school students was conducted in the school year 2020/21. Considering that most of the schools were having online teaching at that time, the CSWO could not be administered to students in paper form, so an online questionnaire was created on the UNIPark platform [19]. At the beginning of the 2021, the invitation for participation in the study was sent via an e-mail to several Austrian high school (gymnasium) teachers. Interested teachers, who responded to our invitation received a link to the online questionnaire containing all CSWO items in the multiple-choice format. After finishing lectures on wave optics, teachers forwarded the link to their students and students mostly solved the CSWO during Physics lessons. The online questionnaire was

open until the end of June 2021, and there were 167 respondents from nine Viennese gymnasiums. At the beginning of the questionnaire, students were assured that their participation in this study was purely voluntary and that they were allowed to stop responding to the survey at any time, without penalty.

5. Results

The maximum score that the students could achieve on the CSWO was 26, and the average score that Austrian students achieved was 10 points (38%). Cronbach alpha (the measure of internal consistency of the test) of this test was 0.5.

The Cronbach alpha coefficient corresponds to Rasch model parameter person reliability $prel = 0.56$ (where $prel = 1$ is the maximum value). The person reliability index indicates the replicability of person ordering if this sample was given another set of items that is measuring the same construct (here understanding the basic wave optics phenomena) [13]. Item reliability index here is very high, $irel = 0.93$ (where $irel = 1$ is the maximum value). This index indicates the replicability of the order of items according to their difficulty, had these items been given to another same sized sample, that behaved in the same way [13]. Item reliability is usually higher than the person reliability index because we know more about items (each item was solved by 167 persons) than we know about persons (each person was probed by 26 items).

The item-person map (shown in Fig. 1, sometimes also called the Wright map) is the standard output of Winsteps [20], the software that was used in this study for analyzing data with the Rasch model. It offers a comparison of the distribution of persons (on the left-hand side of the map) and the distribution of items (on the right-hand side of the map). In the middle of the item-person map, there is a vertical line that represents the underlying variable of the test, the measured construct (here students' understanding of wave optics). On the right-hand side of the item-person map, there is the distribution of the items, where the easiest items are at the bottom of the map, and the most difficult items are at the top of the map. The item of average difficulty has measure of 0.0 logits. Easier items have negative estimated measures, and harder items have positive estimated measures [13, 14]. On the left-hand side of the map, there is the distribution of students according to their estimated ability in wave optics (which should not be confused with any general ability indicators, such as e.g. intelligence), from the least able students at the bottom (with negative values of the estimated measures of ability) to the most able students at the top of the map (with positive values of the estimated measure of ability).

It is noticeable that there is a gap between the means of the two distributions, which indicates that this test was too difficult for this sample. There are some gaps between the difficulties of the items on the right-hand side of the map, meaning that adding some easier items would be beneficial. There are many students

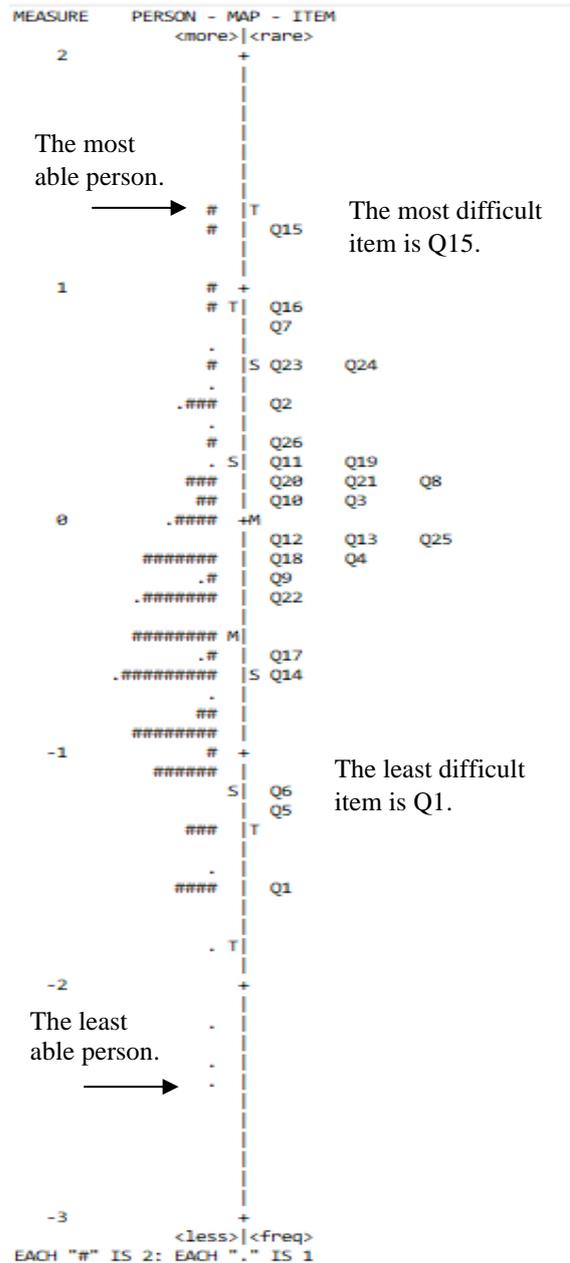


Fig.1: Item-person map.

with the estimated ability of around -1 logit, but there are no items whose difficulty corresponds to students' estimated ability. Nevertheless, most of the students have items that are in the range ± 1 logit of their estimated ability, which is the range that allows good measurement [21].

5.1. Students' achievements on LO1-LO5

At the beginning of the process, we expected on the basis of our previous results with Croatian students [1] that LO1 would be the group of items that is the easiest for the students, and that the LO5 would be the most difficult for the students. In order to validate our predictions (the theoretical construct), we conducted the partial credit analysis of the data [1, 22]. For each student that solved the test, we added up their raw scores (points that students achieved) for each of the

groups of items and each group was then analyzed as a new item. There were five groups of items (LO), so now each LO was represented as a single item, that had different maximum score (corresponding to the number of items in the group). For example, in LO4 there were 3 items, so the maximum score that a student could achieve on the *item_group* LO4 was 3.

	LO1	LO2	LO3	LO4	LO5
measure	-0.56	-0.11	-0.03	0.37	0.33
error (3SE)	0.24	0.27	0.18	0.3	0.27

Tab.1: Data from the partial credit analysis that were used to create Fig. 2. Data are expressed in logits.

Empirical validation of the theoretical construct is shown in Fig. 2. The group of items belonging to the LO1 is, as expected, the easiest group of items for the students in this sample. The difference in the difficulty of groups of items LO2 and LO3 seems to be statistically insignificant, and the same is true for groups of items LO4 and LO5.

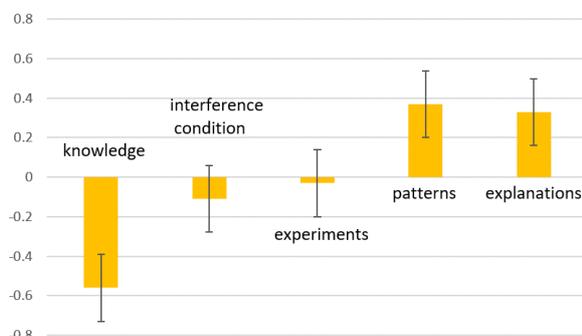


Fig.2: Partial credit score for five *item_groups*, where each *item_group* corresponds to a group of items probing a single LO. The vertical scale is in logits (0 logits corresponds to the average item difficulty, negative values to less difficult, and positive values in logits to more difficult items).

5.1.1. LO1²:

The easiest item for this sample was the first item of the test, Q1, where students were asked to count how many wavelengths is there on a sine wave. The majority of students (N=123) knew this. The second easiest item, Q5, was solved by 112 students, who knew that light diffraction shows us that light is a wave. Interestingly, 31 students thought that light diffraction shows that light is a transversal wave. Item about calculating path length difference from sources to point T, Q8, seemed to confuse the students, because only 59 students knew what path length difference was (the difference of the distances of each light source to the point T). The most frequently chosen distractor

was that the path length difference is the difference of the wavelengths of the waves.

5.1.2. LO2:

Items Q3 and Q13 showed that the majority of the students knew that for destructive interference to occur, troughs of one wave must meet with the crests of another wave. On item Q3, 63 students knew how to express this condition by words (the path length difference equals an odd number of half-wavelengths.), while 54 of them simplified this to the path length difference being equal to an *odd number of wavelengths*. On item Q13, the majority of the students (N=97) recognized that at a given point there would be a destructive interference, but 31 of them miscalculated the path length difference for this point.

5.1.3. LO3:

Item Q10 asked students about the pattern on the screen if the width of the 1 cm wide slit was narrowed to 1 millimeter. The majority of the students knew that this would result in a wide central maximum and multiple horizontally aligned minima and maxima, but the second most prevalent option was that on the screen there would be only a fraction of the initial laser dot.

Item Q11 asked students to predict which optical grating would produce maxima that are more apart on the screen: grating with 100 or grating with 300 lines per millimeter. The majority of the students (N=61) thought that the grating with 100 lines per millimeter would produce maxima that are more apart than maxima produced by the grating with 300 lines/mm (N=55).

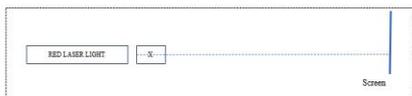
5.1.4. LO4:

The most difficult item (Q15), as shown in Fig. 1, is the item probing the learning outcome LO4. Students were expected to recognize that a given pattern is obtained with laser light incident on a double slit (Fig. 3). Only 29 students knew how the pattern was produced, while most of the students (71) thought this pattern was obtained with laser light incident on an optical grating. In item Q18, students should have recognized the pattern that laser light produces on optical grating, and they were offered four different patterns to choose from (narrow slit diffraction pattern, double-slit interference pattern, less narrow diffraction pattern, optical grating pattern). Here, the majority recognized the correct pattern (73), but it is interesting to point out that the most frequent wrong choice, that 39 students have chosen, was the double-slit interference pattern (the same pattern used for Q15).

² The English version of CSWO with distribution of Croatian high school students' answers can be found on this web page:

<https://journals.aps.org/prper/abstract/10.1103/PhysRevPhysEducRes.18.010103>

Q15. The figure shows an experimental setup with an unknown optical element X.



The following image was obtained on the screen with that setup:



What was used as element X in the experimental setup?

- A. An optical grating.
- B. A very wide slit.
- C. A very narrow slit.
- D. Two very narrow slits.

Fig.3: Item 15, the most difficult item for students.

5.1.5. LO5:

Item Q9 examined student knowledge of real life application of wave optics and asked students for the reason behind colors on the soap bubbles. The majority of the students knew that interference of light is involved in creating these colors (N=75), but the second most prevalent option was that the refraction of light creates these colors because the soap bubble acts like a glass prism (N=54).

Item Q22 asked students for the explanations of the pattern produced by the optical grating, and the majority of the students (N=77) knew that each slit on the grating was considered to be a new point source of the waves that interfere and create the pattern on the screen, but some students (N=39) thought that each slit produces its own maximum on the screen or that (N=32) light is refracted on the optical grating.

6. Discussion

It is evident that students confuse geometrical optics with wave optics (i. e. connecting every case of dispersion of white light to glass prism or invoking geometrical optics phenomena (such as refraction of light) to explain wave optics phenomena (optical grating pattern). Conditions for the destructive interference are sometimes simplified: the path length difference is equal to the odd number of wavelengths instead of the odd number of half wavelengths, and students struggle with defining and calculating the path length difference.

Recognition of the patterns seems to cause difficulties for the students. The reason could be that, in a very short time, students are shown multiple patterns that are quite alike to the untrained eye. If features of the patterns are not properly observed and discussed, they might not be perceived as important. Also, patterns of basic wave optics phenomena are quite dependent on

the equipment used. For example, if laser light is incident on a double slit, there will be multiple maxima on the screen, equally spaced and with similar intensity. If white light is incident on a double slit, the obtained pattern is not something that can be easily connected to the previously mentioned pattern: white central maximum and multiple colorful spectra on each side of the central maximum. Even though the main characteristics of such patterns should be the same, they cannot be easily spotted at all. Also, in the double slit experiment, we usually have a pattern that is a combination of two patterns: interference on two slits, and diffraction on each slit. Depending on the width of each slit, the diffraction pattern is more, or less noticeable.

Since this is the continuation of our research of students' difficulties with wave optics, it is interesting to stress out the similarities and differences between Austrian and Croatian samples, which can be best seen when examining the graph with estimated difficulties of groups of items belonging to the same LO (for Austrian students this is shown in Fig. 5 and for Croatian students the data can be found in the [1] or in the footnote³).

For the Austrian sample, the items belonging to the LO1 were the easiest group of items, and the same is for the Croatian sample. For both samples, items belonging to the LO2 and LO3 are more difficult than items belonging to LO1, and for both samples items belonging to the LO4 and LO5 are the most difficult groups of items. However, for the Austrian sample, we cannot differentiate the mean difficulties of LO2 and LO3, and LO4 and LO5.

The trend of the increasing difficulty of groups of items is evident for both samples, but for Croatian students, we can differentiate five different levels of difficulties, while for Austrian sample we can differentiate only three. Those differences might be explained by the differences in physics curriculums of the two countries. In Croatia, teachers are mostly oriented toward numerical exercises, so there is not much time to properly conduct experiments during the class. In Austria teachers usually dedicate more time to experiments, than to numerical exercises. Secondly, the timing of teaching might have influenced the results too because Croatian students took the test before the pandemic, and Austrian students took the test during the pandemic, when they had remote teaching. Preparing and showing students basic experiments from wave optics (i.e. Young's experiment) is difficult even during contact teaching (for example, appropriate darkening of the room), but during remote teaching it is even more difficult.

³ <https://journals.aps.org/prper/article/10.1103/PhysRevPhysEducRes.18.010103/figures/5/medium>

7. Conclusion and implication for teaching

The CSWO is a new diagnostic instrument that has been, for now, applied to two populations of high school students in two countries in two very different settings: one pre-pandemic (in Croatia) and one during the pandemic (in Austria). The school year 2020/21 was very difficult because (most of the) teaching was remote and online due to the pandemic, especially during winter and early spring, when teaching of wave optics usually took place.

Regardless of the way of teaching (online or contact), the test results showed that basic phenomena of wave optics are very challenging topic for high school students. The most difficult items for students seemed to be the items where students should have recognized basic wave optics phenomena and items with explanations of those phenomena.

One way to tackle these difficulties is putting more emphasis on experiments. If students are asked for detailed observations of basic wave optics patterns during teaching, their attention will be directed to the most prominent features of patterns, thus making it easier to differentiate between very similar patterns later. Asking students to predict the outcome before an experiment might also increase students' curiosity, thus making them observe the pattern more carefully. It is also possible to create a teaching environment where students' hands-on experiments can be included (or giving students the chance to independently explore appropriate simulations or animations in online or remote teaching). Students' hands-on experiments can be used as experiments to test hypotheses or to investigate relation between variables, and the results of these experiments can serve as a basis for the explanations of phenomena, that will be created with guidance and help of the teacher. If students are included in all these steps, perhaps their understanding of basic wave optics phenomena will increase and deepen.

8. References

- [1] K. Matejak Cvenic, M. Planinic, A. Susac, L. Ivanjek, K. Jelcic, M. Hopf, Development and validation of the conceptual survey on wave optics, *Phys. Rev. Phys. Educ. Res.* 18, 010103 (2022).
- [2] B. S. Ambrose, P. S. Shaffer, R. N. Steinberg, L. C. McDermott, An investigation of student understanding of single-slit diffraction and double-slit interference *Am. J. Phys.* 67, 146. (1999a).
- [3] B. S. Ambrose, P. R. L. Heron, S. Vokos, L. C. McDermott, Student understanding of light as an electromagnetic wave: Relating the formalism to physical phenomena *Am. J. Phys.* 67, 891 (1999b).
- [4] K. Vosilait, P. R. L. Heron, P. S. Shaffer, L. C. McDermott, Addressing student difficulties in applying a wave model to the interference and diffraction of light, *Am. J. Phys.* 67, S5 (1999).
- [5] M. Kryjevskaja, M. R. Stetzer, P. R. L. Heron, Student difficulties measuring distances in terms of wavelength: Lack of basic skills or failure to transfer?, *Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res.* 9, 010106 (2013).
- [6] L. Maurines, Geometrical reasoning in wave situations: The case of light diffraction and coherent illumination optical imaging, *Int. J. Sci. Educ.* 32, 1895 (2010).
- [7] P. Hubber, Year 12 students' mental models of the nature of light, *Res. Sci. Educ.* 36, 419 (2006).
- [8] V. Mešić, E. Hajder, K. Neumann, N. Erceg, Comparing different approaches to visualizing light waves: An experimental study on teaching wave optics, *Phys. Rev. Phys. Educ. Res.* 12, 010135 (2016).
- [9] K. Matejak Cvenic, L. Ivanjek, M. Planinic, K. Jelcic, A. Susac, M. Hopf, Analyzing high school students' reasoning about polarization of light, *Phys. Rev. Phys. Educ. Res.* 17, 010136 (2021).
- [10] K. Matejak Cvenic, L. Ivanjek, M. Planinic, A. Susac, K. Jelcic, M. Hopf, C. Srnka, Exploring secondary school students' understanding of basic phenomena relating to wave optics, *J. Phys. Conf. Ser.* 1929, 012007 (2021).
- [11] A. Susac, M. Planinic, A. Bubic, L. Ivanjek, M. Palmovic, Student recognition of interference and diffraction patterns: An eye-tracking study, *Phys. Rev. Phys. Educ. Res.* 16, 020133 (2020).
- [12] A. Susac, M. Planinic, A. Bubic, K. Jelcic, L. Ivanjek, K. Matejak Cvenic, M. Palmovic, Effect of students' investigative experiments on students' recognition of interference and diffraction patterns: An eye-tracking study, *Phys. Rev. Phys. Educ. Res.* 17, 010110 (2021).
- [13] T. G. Bond, C. M. Fox, *Applying the Rasch Model : Fundamental Measurement in the Human Sciences* (Mahwah, NJ: L. Erlbaum, 2015).
- [14] W. J. Boone, *Rasch Analysis for Instrument Development: Why, When, and How?*, *CBE—Life Sciences Education*, 15, 4, (2016).
- [15] M. Planinic, W. J. Boone, A. Susac, L. Ivanjek, Rasch analysis in physics education research: Why measurement matters, *Phys. Rev. Phys. Educ. Res.* 15, 020111 (2019).
- [16] G. Rasch, *Probabilistic Models for Some Intelligence and Attainment Tests* (Danmarks Paedagogiske Institut, Copenhagen, 1960).
- [17] X. Liu, *Using and Developing Measurement Instruments in Science Education. A Rasch Modeling Approach*, by edited by Xiufeng Liu (Information Age Pub, Charlotte, NC, 2010).
- [18] P. Baghaei, The Rasch model as a construct validation tool. *Rasch Measurement Transactions*, 22(1), 1145-1146, (2008).
- [19] UNIPark platform for online surveys: <https://www.unipark.com/>

- [20] WINSTEPS & Facets Software for Rasch Measurement and Rasch Analysis <https://www.winsteps.com/index.htm>.
- [21] J. M. Linacre, A user's guide to Winsteps Ministep Rasch model computer programs, 2018, <https://www.winsteps.com/a/Winsteps-Manual.pdf>.
- [22] J. M. Linacre, Number of Person or Item Strata: $(4 * \text{Separation} + 1) / 3$, <https://www.rasch.org/rmt/rmt163f.htm>.

Appendix

Acknowledgement

This work has been fully supported by Croatian Science Foundation's funding of the project IP-2018-01-9085.

Bedeutung des non-formalen Lernens für die MINT-Bildung

Interviewstudie mit Stakeholdern

Kai Bliesmer*, Michael Komorek⁺

*Universität Koblenz-Landau, Campus Koblenz, Universitätsstraße 1, 56070 Koblenz

⁺ Universität Oldenburg, Carl-von-Ossietzky-St. 9-11, 26129 Oldenburg
kai-bliesmer@uni-koblenz.de, michael.komorek@uni-oldenburg.de

Kurzfassung

Das non-formale Lernen an außerschulischen Lernorten wie Science Centern, Nationalparkhäusern, Wissenschaftsmuseen, Schülerlaboren und weiteren Einrichtungen differenziert sich zusehends aus und bereichert die MINT-Bildungslandschaft in Deutschland. Dennoch sind die Bildungsangebote dieser Lernorte bisher unvernetzt, was Kindern und Jugendlichen einen systematischen Kompetenzaufbau unter Nutzung mehrerer Lernorte erschwert. Um die Angebote in Nordwesten Deutschlands weiterzuentwickeln und deren Vernetzung zu erhöhen, ist der MINT-Cluster AHOI_MINT entstanden, der vom BMBF gefördert wird. Für die zielgerichtete Bewältigung dieser Aufgaben ist flankierende Forschung notwendig. Ein Part ist dabei eine Interviewstudie mit Stakeholdern, also Personen, die sich aus einer einflussreichen und herausgehobenen Position heraus ideell und/oder finanziell für das non-formale Lernen einsetzen. Fragen, die mit der Interviewstudie beantwortet werden sollen, sind: Welche Bedeutung hat die MINT-Bildung für die Gesellschaft sowie für das Individuum? Wie wird das Image der MINT-Disziplinen in der Gesellschaft eingeschätzt? Welches Potenzial hat das non-formale Lernen, um die MINT-Bildung in der Gesellschaft zu verbessern, und wo stoßen non-formale Lernangebote dabei an Grenzen? Ergebnisse der Studie werden eingesetzt, um den Entwicklungsarbeiten im MINT-Cluster neue Impulse zu geben, dienen aber auch dazu, Generalisierungen zur Bedeutung des non-formalen Lernens sowie zu dessen Entwicklungsperspektiven aus Stakeholdersicht vornehmen zu können.

1. Einleitung

Das non-formale Lernen an außerschulischen Lernorten differenziert sich stetig weiter aus und bereichert die Bildungslandschaft in Deutschland. Mittlerweile bieten eine Vielzahl von Science Centern, Nationalparkhäusern, Wissenschaftsmuseen, Schülerlaboren etc. Menschen die Möglichkeit, sich außerhalb der Schulzeit freiwillig mit Themen aus dem MINT-Bereich auseinanderzusetzen. Non-formales Lernen steht gemäß einer Definition der UNESCO (UIL 2012) in einer Begriffstria mit den Begriffen des formalen und informellen Lernens:

Das non-formale Lernen bezeichnet Lernprozesse in strukturierten Arrangements, wo Bildungsangebote wie Versuche, Exponate, Exkursionen etc. ganz bewusst entwickelt worden sind, um bei den Nutzerinnen und Nutzern Lernprozesse auszulösen. Ob die Lernprozesse angeregt wurden, wird jedoch nicht durch Prüfungen evaluiert und daher auch nicht zertifiziert. Außerdem zeichnet sich das non-formale Lernen durch einen hohen Grad an Freiwilligkeit aus, denn die Lernenden können selbst entscheiden, welches Bildungsangebot sie in Anspruch nehmen und wie lange sie sich damit beschäftigen möchten.

Formales Lernen bezeichnet zwar auch das Lernen in strukturierten Lehr-Lern-Arrangements, allerdings werden dort ausgelöste Lernprozesse durch Prüfungen evaluiert und z. B. durch Zeugnisse zertifiziert.

Das formale Lernen dient somit der Qualifikation. Formal gelernt wird u. a. von Schülerinnen und Schülern in der Schule, von Studierenden in der Universität oder von Auszubildenden in einem Betrieb. Auch Weiter- und Fortbildungen zählen hinzu.

In Ergänzung bezeichnet der Begriff des informellen Lernens zwar auch bewusste Lernsituationen; diese sind jedoch nicht institutionalisiert wie das Lernen durch den Austausch in einer Peer-Group oder am Arbeitsplatz. Ausgelöste Lernprozesse werden hier weder geprüft, noch zertifiziert. Um insbesondere den Aspekt der Freiwilligkeit im Vergleich zum formalen Lernen zu unterstreichen, bezeichnet Falk (2001) das non-formale und informelle Lernen zusammenfassend als free-choice learning.

Um non-formale free-choice Bildungsangebote stärker miteinander zu vernetzen, aufeinander zu beziehen und dabei zudem weiße Flecken auf der Themen-Landkarte zu identifizieren und ggf. zu beseitigen, wurde der BMBF-MINT-Cluster Nordwest eingerichtet (<https://www.ahoi-mint.de/>). Damit die beschriebenen Aufgaben geleistet werden können, ist empirische Forschung nötig. Zum einen werden die Bedarfe an non-formalen Bildungsangeboten in der Allgemeinbevölkerung untersucht (s. Beitrag von Komorek et al. in dieser Ausgabe). Zum anderen wird eine Interviewstudie mit sog. Stakeholdern durchgeführt und in diesem Beitrag vorgestellt.

2. Stakeholder: Auswahl und Charakterisierung

Der Begriff des Stakeholders bezeichnet Personen bzw. Gruppen, die ein Interesse daran haben und Ansprüche daran stellen, in welche Richtung sich ein gesellschaftlicher Bereich entwickelt. Der Begriff wird häufig im Kontext der Gesundheitswissenschaften eingesetzt (z.B. Brugha & Varvasovszky 2000; Schmeer 1999), passt aber auch im vorliegenden Projekt exzellent, da es sich beim non-formalen Lernen um einen gesellschaftlichen Bereich handelt, der sich schnell verändert und an den viele Hoffnungen gerichtet werden (Falk & Dierking 2010). Im vorliegenden Projekt werden daher Personen als Stakeholder bezeichnet, die sich bereits finanziell und/oder ideell für das non-formale Lernen einsetzen oder es aufgrund ihrer herausgehobenen und einflussreichen Position tun könnten. Bei dieser Personengruppe mehr über Ihre Sicht auf die Potenziale des non-formalen Lernens für die MINT-Bildung der Allgemeinbevölkerung und Wünsche zur Weiterentwicklung des non-formalen Bildungssektors in Erfahrung zu bringen, ist insofern wichtig, als dessen Weiterentwicklung stark vom Vertrauen der Stakeholder in das bildende Potenzial non-formaler Lernorte abhängig ist. Denn dies bestimmt, inwiefern der non-formale Bildungssektor künftig finanzielle und/oder ideelle Unterstützung genießen wird.

Es sind ist im Vorfeld der Studie für die Suche nach Stakeholdern die folgende Kategorisierung nach Wirkungsbereichen erstellt worden (Abbildung 1).



Abb. 1: Kategorien von Stakeholdern mit Bezug zur non-formalen Bildung

Mit Blick auf die Politik wurden vornehmlich Personen ins Auge gefasst, deren Ressort für Bildung zuständig ist und die sich persönlich für Bildung engagieren. Im Bereich Wirtschaft existiert das Phänomen, dass sich mittlerweile viele Firmen für die MINT-Bildung engagieren, indem sie bspw. selbst Orte des non-formalen Lernens (z. B. Schülerlabore,

Ausstellungsräume etc.) betreiben. Deshalb fungieren die Leitungen solcher Firmen ebenfalls als für diese Studie relevante Stakeholder. Der Bereich der Medien ist deswegen von Interesse, weil hier die Aspekte der Wissenschaftskommunikation und der Information über MINT-Bildung in der Öffentlichkeit tangiert werden. Die weiteren aufgeführten Bereiche partizipieren naturgemäß an Fragen formaler und/oder non-formaler Bildung, sodass ausgewiesene Personen auch hier als Stakeholder einzuordnen sind.

3. Forschungsfragen

Aus den Zielen und Aufgaben des BMBF-MINT-Clusters AHOI_MINT und dem Bedarf, generalisierbare Erkenntnisse über die Sicht von Stakeholdern auf die Funktion non-formaler Bildungsorte für die MINT-Bildung der Allgemeinbevölkerung zu gewinnen, sind folgende Forschungsfragen abgeleitet worden:

- F1) Aspekt Bildungswert: Inwiefern ist MINT-bezogene (insb. naturwissenschaftliche bzw. physikalische) Bildung aus der Sicht von Stakeholdern wichtig für Individuum und Gesellschaft?
- F2) Aspekt Wahrnehmung: Wie schätzen Stakeholder das 'Image' von MINT (insb. Naturwissenschaft bzw. Physik) in der Gesellschaft ein; auch im Vergleich zu anderen Disziplinen?
- F3) Aspekt Zukunftspotentiale: Welche Potenziale weisen Stakeholder non-formalen Lernorten für die MINT-Bildung generell und für die Beeinflussung des Images von MINT in der Bevölkerung im Besonderen zu und weshalb?
- F4) Aspekt Veränderungen: Wie müssten sich non-formale Bildungsangebote aus der Sicht von Stakeholdern weiterentwickeln und wohin?

Um das Potenzial non-formalen Lernens für die MINT-Bildung aus Stakeholdersicht eruieren zu können, bedarf es der ersten Forschungsfrage (F1), mit der erhoben werden kann, was Stakeholder unter MINT-Bildung verstehen und wie sie deren Bildungswert begründen. Die zweite Forschungsfrage (F2) reagiert auf ein wichtiges Charakteristikum non-formaler Lernangebote: Die Freiwilligkeit der Inanspruchnahme. Als wie attraktiv entsprechende non-formale MINT-Bildungsangebote von der Bevölkerung wahrgenommen werden, hängt vom 'Image' der Angebote ab, das entsprechend von den Stakeholdern eingeschätzt werden soll. Die dritte Forschungsfrage (F3) bezieht sich dann schließlich auf die Potenziale non-formaler Lernorte für die Verbesserung der MINT-Bildung und für die Stärkung des Images von MINT-Bildungsangeboten. Ihre beratende Funktion nehmen die Stakeholder schließlich in der vierten Forschungsfrage (F4) ein; hier sind wünschenswerte Entwicklungslinien und Entwicklungsziele des non-formalen Lernens aufzuzeigen und zu begründen.

4. Forschungsdesign

Da es sich um ein neues Forschungsfeld im Kontext non-formalen Lernens handelt, wurde beschlossen, eine leitfadengestützte und teilstandardisierte Interviewstudie (Niebert & Gropengießer 2013) durchzuführen. Der Leitfaden hat hierbei die Funktion, gesprächsgenerierende Impulse zu setzen und die Forschungsfragen aus unterschiedlichen Perspektiven zu beleuchten. Dabei gibt die Teilstandardisierung den Interviewenden die Möglichkeit, im Gespräch spontan auf die Antworten der Stakeholder reagieren und nachhaken zu können. Dies erscheint insofern notwendig, als Stakeholder als routiniert in Befragungssituationen einzuschätzen sind und ggf. schnell auf erprobte Antwortelemente zurückgreifen. Hier ist die Aufgabe, sie durch individuelle Nachfragen in Situationen zu bringen, in denen sie gedanklich neu gefordert werden. Ein Mittel ist, die Stakeholder mit ihnen bislang unvertrauten Widersprüchen und Inkonsistenzen zu konfrontieren, die im Gesprächsverlauf zunächst identifiziert und dann als gesprächsgenerierender Impuls strategisch eingesetzt werden.

In den Interviews werden die Stakeholder im Hinblick auf ihre herausgehobene und einflussreiche Position sowie ihre Fähigkeit zum strategischen Denken zunächst als Expertinnen bzw. Experten angesprochen, deren Rat gesucht wird. Dies spricht für die Durchführung sogenannter Experteninterviews (Bogner, Littich & Menz 2005). Allerdings verfügen die Interviews aufgrund ihrer Konturierung durch die Forschungsfragen auch über den Charakter eines problemzentrierten Interviews (Witzel & Reiter 2012), da es konkret um Entwicklungslinien non-formalen Lernen geht. Deshalb strukturieren wir die leitfadengestützten, teilstandardisierten Stakeholder-Interviews als Kombination aus Experteninterview und problemzentriertem Interview.

4.1. Entwicklung eines Leitfadens

Da die Forschungsfragen selbst zu verdichtet (Niebert & Gropengießer 2013), um sie den Befragten zu stellen, werden sie in Form von Interviewfragen operationalisiert. Im Folgenden werden einige der Interviewfragen vorgestellt.

4.1.1. Interviewfragen: Aspekt Bildungswert

- a) Wie stellen Sie sich einen im Bereich MINT gut gebildeten Laien vor? Was muss er oder sie heutzutage können bzw. wissen und warum?
- b) Inwiefern ist MINT-Bildung wichtig für die Gesellschaft? Was hat die Gesellschaft von gebildeten Menschen im Bereich MINT?
- c) Inwiefern ist MINT-Bildung wichtig für das Individuum? Was hat das Individuum davon, sich im Bereich MINT zu bilden?
- d) Welchen Anteil haben naturwissenschaftliche bzw. physikalische Bildung an der MINT-Bildung? Weshalb sind sie wichtig?

4.1.2. Interviewfragen zum Aspekt Wahrnehmung

- a) Wie schätzen Sie das 'Image' von MINT in der Gesellschaft ein – auch im Vergleich zu anderen Disziplinen wie z. B. Sprachen?
- b) Wie schätzen Sie das 'Image' von Naturwissenschaften und speziell von Physik in der Bevölkerung ein?
- c) Wie kommen Sie zu dieser Einschätzung? Was sind Ursachen für diese Wahrnehmung/das Image von MINT? Wie kann man das Image aus Ihrer Sicht verbessern?

4.1.3. Interviewfragen zum Aspekt Zukunftspotentiale

- a) Welche Situationen/Orte sind Ihnen bekannt, in bzw. an denen non-formales Lernen stattfindet? Haben Sie selbst bereits Erfahrung mit diesen Orten/Situationen gemacht?
- b) Wie stellen Sie sich eine ideale non-formale Lernsituation vor? Was zeichnet diese aus? Welcher Rahmen muss dafür gegeben sein? Was wäre umgekehrt eine ungeeignete non-formale Lernsituation?
- c) Welche Bedeutung hat non-formales Lernen für die naturwissenschaftliche Bildung der Allgemeinbevölkerung? Wieso braucht es non-formales Lernen, um naturwissenschaftliche Bildung besser oder überhaupt erreichen zu können?
- d) Wie schätzen sie die Wirkung solcher Angebote auf das 'Image' von MINT bzw. Naturwissenschaften und Physik in der Bevölkerung ein?

4.1.4. Interviewfragen zum Aspekt Veränderungsbedarfe

- a) Was wünschen Sie sich hinsichtlich non-formaler MINT-Bildung an außerschulischen bzw. außeruniversitären oder außerbetrieblichen Einrichtungen für die Zukunft?
- b) Wie müssten sich non-formale Lernorte hierfür weiterentwickeln? Was müsste Ihrer Meinung nach dafür passieren? Welche Probleme sind dabei zu überwinden?

4.2. Durchführung der Interviews

Alle Stakeholder wurden mit einer offiziellen Einladung der Physikdidaktik über die Ziele und den Nutzen des Interviews, ihre Einstufung als Stakeholder (bzw. als Expert:innen) und den Wunsch nach einem Gespräch informiert. Es bestand die Zusicherung, dass Anonymität gewahrt wird und das Interview ca. 60 Minuten in Anspruch nehmen wird. Gemäß dem Wunsch der Befragten wurden die Gespräche entweder in Präsenz oder digital per BigBlue-Button geführt. Die Interviews wurden nach der Entwicklung eines Leitfaden-Prototypens in zwei Phasen durchgeführt, die durch eine Zwischenauswertung zur Optimierung des Leitfadens getrennt sind. Abbildung 2 zeigt den schematischen Ablauf der Studie.

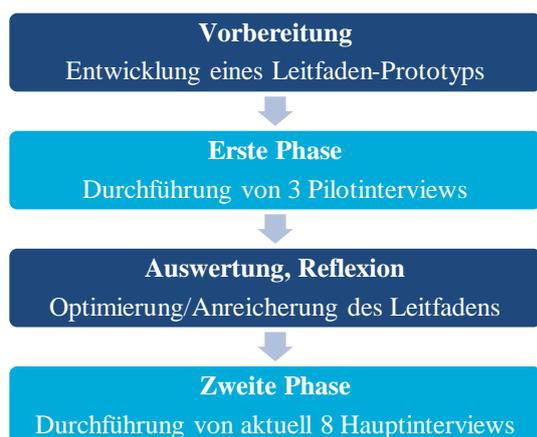


Abb. 2: Gliederung der Studie in zwei Phasen zur Entwicklung und Optimierung eines Interviewleitfadens

In der Pilotierung (erste Phase) mit drei Stakeholdern wurde die prototypische Version des entwickelten Leitfadens erprobt. Den Probeinterviews wohnten beide Autoren dieses Artikels bei: Einer führte hierbei das Interview und zeichnete es mit einem Diktiergerät auf. Von der zweiten Person wurden Notizen über den Verlauf des Gesprächs erstellt. Ziel dieses Vorgehens war der anschließende Austausch zwischen den Autoren über die Eignung des Leitfadens und eine Einschätzung hinsichtlich des Gehalts der generierten Gesprächsdaten mit Blick auf die Forschungsfragen. Die aufgezeichneten Probeinterviews wurden transkribiert und im Anschluss ausgewertet (s. Kap. 4.3). Ziel der Auswertung war es, den Leitfaden besser auf die Forschungsfragen abzustimmen. Im Abschnitt 4.1 sind Fragen des überarbeiteten Leitfadens dargestellt.

Der optimierte Leitfaden wurde in der zweiten Phase mittlerweile (Frühjahr 2022) in acht Interviews mit Stakeholdern eingesetzt. Weitere Interviews werden aktuell durchgeführt. Diese Interviews führte einer der Autoren (Bliesmer).

4.3. Auswertung der Interviews

Alle Interviews wurden mit Erlaubnis der Befragten digital aufgezeichnet und im Anschluss transkribiert. Die Transkripte der Interviews wurden streng anonymisiert, um die Identität der Interviewten zu schützen, indem jegliche Bezüge entfernt wurden, die Rückschlüsse auf die teils öffentlich bekannten Personen erlauben. Diese Rohdaten wurden leicht redigiert, um den Lesefluss bei der eigentlichen Auswertung zu erhöhen. Hierzu wurden beispielsweise mehrfache aufeinanderfolgende Wortnennungen geglättet. Die redigierten Interviewfassungen wurden einer qualitativen, kategoriengenerierenden Inhaltsanalyse nach Kuckartz (2018) unterzogen. Die Auswertung erfolgte hierbei zunächst fallbasiert und dann generalisierend.

4.3.1. Fallbasierte Auswertung

Im ersten Schritt wurde eine fallbasierte Analyse vorgenommen: Jedes Stakeholder-Interview wurde

zunächst unabhängig von den anderen ausgewertet. Hierbei wurden die vier Forschungsfragen als Suchraster eingesetzt. Die Inhalte der Forschungsfragen repräsentieren in gewisser Weise einen Satz deduktiver Kategorien, durch deren Brille das Datenmaterial betrachtet wurde, um dann auf Basis der Äußerungen induktiv Subkategorien zu formulieren. Die Subkategorien repräsentieren Muster in der Denk- und Erfahrungswelt der/des jeweiligen Befragten und unterstützen dabei, die Beantwortung der Forschungsfrage stückweise weiter auszuschärfen und anzureichern. Ergänzt wurde dies durch eine rein induktive Durchsicht des Transkriptmaterials, um Argumentationsmuster in den Äußerungen der Stakeholder zu identifizieren, die zunächst nicht durch die Forschungsfragen antizipiert wurden und daher bei einer reinen Durchsicht der Transkripte durch die Brille der Forschungsfragen verloren gingen.

Die auf diese Weise zusätzlich gebildeten induktiven Kategorien tragen dann im Umkehrschluss dazu bei, die Beantwortung der Forschungsfragen weiter anzureichern bzw. zu flankieren. Die gebildeten Kategorien wurden systematisch so benannt, dass sie präzise den Fällen und ihrem Beitrag zur Beantwortung der jeweiligen Forschungsfrage zugeordnet werden können. Die Art der Nummerierung ist in Abbildung 3 zu erkennen, die das fallbasierte Auswertungsschema grafisch zusammenfasst.

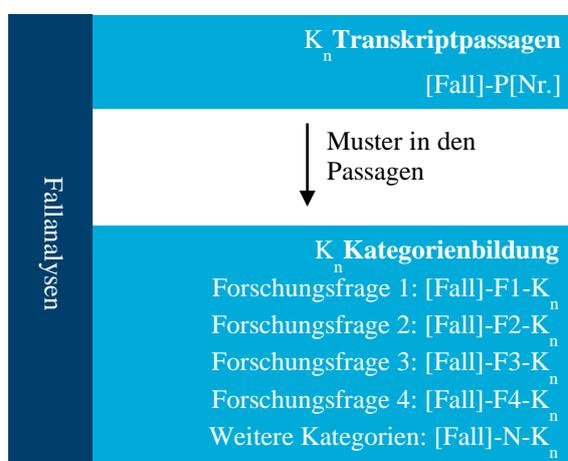


Abb. 3: Auswertungsschema und Benennung der Kategorien bei der fallbasierten, qualitativen Inhaltsanalyse

4.3.2. Generalisierende Auswertung

Im zweiten Schritt folgt die vergleichende Analyse der Fälle. Hierfür werden die zuvor generierten Kategorien herangezogen und aufeinander bezogen. Es wird nach wiederkehrenden Mustern in den Äußerungen der Stakeholder gesucht, die eine Generalisierung über mehrere Fälle hinweg erlauben. Aber auch die Identifikation von Kontrasten bzw. eines Meinungsspektrums in den induktiven (Sub-)kategorien ist ein Ziel dieses Auswertungsschritts. Der insgesamt gebildete Kategoriensatz stellt dann die Basis dar, um die Forschungsfragen zu beantworten.

In Abbildung 4 ist das Schema des Generalisierungsprozesses zusammenfassend dargestellt.



Abb. 4: Auswertungsschema und Benennung der Kategorien bei der generalisierenden, qual. Inhaltsanalyse

5. Exemplarische Ergebnisse

Da die Interviewstudie noch läuft, sind die im Folgenden vorstellten Ergebnisse vorläufig und können hier nur exemplarisch sein. Sie basieren auf den bisher gebildeten Fallkategorien sowie bisher erkennbaren Mustern im Vergleich der Kategorien mehrerer Fälle, geben aber schon einen Einblick in die Stakeholdersicht zum Potenzial non-formaler Lernorte für die MINT-Bildung der Allgemeinbevölkerung.

5.1. Ergebnisse: Aspekt Bildungswert

In den meisten Fällen beziehen sich die Stakeholder mit Blick auf die Nützlichkeit von MINT für Individuum und Gesellschaft auf die Sparten Technik und Digitalisierung. Beide sind in den Gesprächen dominant. Dass wir in einer technisierten Welt leben, die sich zusehends stärker digitalisiert, ist der Kern ihrer Ausführungen, die Kompetenzen in beiden Sparten als Voraussetzung für die Teilhabe des Individuums an einer modernen Gesellschaft einstuft.

Dabei gibt es in den Ausführungen von mehreren Befragten Indizien dafür, dass sie Naturwissenschaften mit Technik und Digitalisierung vermischen bzw. gleichsetzen, sodass Angebote, die sich auf Technik und Digitalisierung beziehen, aus ihrer Sicht zugleich naturwissenschaftliche sind. Zwar trenne auch einige der Befragten Naturwissenschaften von Technik bzw. Digitalisierung, diese haben jedoch Schwierigkeiten dabei, die Nützlichkeit naturwissenschaftlichen Wissens zu begründen. In mehreren Fällen schwenken die Befragten schließlich zum Konzept Nature of Science um. Hier können sie die Nützlichkeit mit vielen Argumenten belegen und untermauern. Kompetenzen rund um

naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung scheint aus ihrer Sicht also das größte Argument für den Bedarf eines naturwissenschaftlichen Anteils an der MINT-Bildung darzustellen.

5.2. Ergebnisse: Aspekt Wahrnehmung

Aus Sicht der Stakeholder haben die MINT-Disziplinen, und insbesondere die Naturwissenschaften, ein ambivalentes Image in der Gesellschaft: Zwar bestehe in der Bevölkerung die Auffassung, dass Personen mit Expertise im Bereich MINT dringend benötigt werden, aber dennoch sei die Bereitschaft von Einzelpersonen, sich selbst mit MINT zu beschäftigen oder einen entsprechenden Beruf zu ergreifen, tendenziell gering. Als eine mögliche Erklärung für dieses Spannungsfeld zwischen der Nützlichkeit von MINT und einer eher geringen Bereitschaft, sich diesem Bereich zu widmen, wird angeführt, dass es in der Gesellschaft eine Vorstellung von MINT gäbe, die wir als „MINT-Prädispositionsvorstellung“ interpretieren. Damit ist gemeint, dass die Bevölkerung die Vorstellung habe, MINT könne nur von Personen verstanden und entschlüsselt werden, die über ein entsprechendes Talent verfügen; reine Anstrengung reiche nicht aus.

Hieran ist auch ein weiteres soziales Phänomen geknüpft, das von den Stakeholdern beschrieben wird: Sie erklären, dass es mit Blick insbesondere auf die Naturwissenschaften sozial akzeptiert sei, öffentlich Unkenntnis bzw. Unvermögen zu bekennen, da dies nicht auf eine fehlende Anstrengungsbereitschaft zurückgeführt werde, sondern im Sinne der Prädispositionsvorstellung auf fehlendes Talent, dessen Veränderung nicht von der Person beeinflusst werden könne. Ganz anders sei dies bspw. in Disziplinen wie Wirtschaft, Politik und Literatur. Hier bestehe in der Bevölkerung die Vorstellung, diese Disziplinen durch ausreichende Anstrengungsbereitschaft beherrschen zu können. Entsprechend sei das öffentliche Bekenntnis von Unkenntnis bzw. Unvermögen in diesen Feldern sozial eher nicht akzeptiert. Daraus resultiere, dass sich Menschen tendenziell stärker in den genannten Disziplinen bilden als in den MINT-Disziplinen, insbes. in den Naturwissenschaften.

5.3. Ergebnisse: Aspekt Zukunftspotentiale

Der Beitrag non-formaler Lernorte für die MINT-Bildung der Allgemeinbevölkerung wird von den Befragten als hoch eingeschätzt. Fallübergreifend wird zur Begründung die Fähigkeit der Lernorte unterstellt, durch eine vermeintlich individuelle Betreuung der Besucherinnen und Besucher besonders gut individualisiert bilden zu können; und dies in Hinblick auf Leistungsfähigkeit, Autonomiebedürfnis oder Interessen. Diese Fähigkeit zur Differenzierung und Individualisierung könne sorgen dafür, dass an non-formalen Lernorten besonders gut für MINT-Inhalte und -Methoden begeistert werden kann. Um ihre Äußerungen zu unterstreichen, ziehen die Stakeholder häufig den Schulunterricht heran, der sich eher durch Lernen 'im Gleichschritt' auszeichne und

daher im Hinblick auf Differenzierung den non-formalen Lernorten unterlegen sei.

Ein weiterer Vorteil der non-formalen Lernorte wird in ihrer guten Ausstattung und der Professionalität des Personals gesehen, wodurch beeindruckendere Möglichkeiten zum Experimentieren, Programmieren, Gestalten etc. entstünden, als dies im Schulunterricht möglich sei. Bei den Mitarbeitenden an non-formalen Lernorten wird davon ausgegangen, dass diese sehr gut qualifiziert seien und durchaus auch außerhalb des Bildungsbereichs beste Beschäftigungsmöglichkeiten hätten. Denn dass sie sich trotzdem für eine Tätigkeit am Lernort entschieden haben, zeuge von einer besonderen Motivation und Affinität im Hinblick auf Bildung, was wiederum für qualitativ hochwertige Bildungsangebote Sorge.

Die Ausführungen der Stakeholder sind vor allem vor dem Hintergrund interessant, dass mehrere Befragte auf nur von wenigen eigenen Erfahrungen mit non-formalen Lernorten berichten können. Kaum einer kennt solche Orte aus eigener Anschauung, so dass hier eine gewisser Vertrauensvorschluss erkennbar ist.

5.4. Ergebnisse: Aspekt Veränderungen

Entwicklungspotenziale non-formaler Lernorte werden von den Stakeholdern insbesondere am Problem deutlich gemacht, dass aktuelle MINT-Angebote zumeist nur für Personen attraktiv seien, die sich bereits für den Bereich interessieren. Hierdurch resultiere eine Tendenz zur Selbstverstärkung: Interessierte Menschen suchen Lernorte auf, wodurch sich ihr Interesse weiter verstärke. Im Gegensatz hierzu werden Menschen, die sich (noch) nicht für non-formale Lernorte insbesondere mit MINT-Angeboten interessieren, nicht gut erreicht. Ein Wunsch der Stakeholder besteht demnach darin, diese Personengruppen durch geeignete Angebote ebenfalls zu erreichen. Konkrete Vorschläge können sie jedoch nur insofern machen, als sie Kontexte für die MINT-Bildung nennen, die üblicherweise einen hohen Grad an Interessantheit und persönlichem Bezug aufweisen wie der Sport, der menschliche Körper oder speziell die Medizin.

Es wird kritisiert, dass es sich bei der Nutzung non-formaler Angebote häufig um singuläre und losgelöste Ereignisse handle, deren Inanspruchnahme i. d. R. auf Zufälligkeiten beruhe, wodurch das beschriebene Potenzial der Lernorte nicht gut ausgeschöpft werden könne. Viele der positiven Effekte, die durch die Lernorte hervorgerufen werden, seien daher nur kurzfristig und nicht nachhaltig. Die Stakeholder konstatieren, neue Formate zu entwickeln, die z. B. auf die systematische Verzahnung mit dem Schulunterricht setzen, sodass die Lernorte zu ganz bestimmten Zeitpunkten mit gutem Grund aufgesucht werden.

6. Diskussion

Die bisherigen Ergebnisse der Studie sind sowohl bezüglich ihrer Implikationen für Forschung und Entwicklung im MINT-Cluster AHOI_MINT als auch hinsichtlich genereller Entwicklungen non-formalen Lernens zu diskutieren.

6.1. Vertrauensvorschluss bedenken

Dass die Stakeholder in non-formalen Lernorten ein großes Potenzial für die notwendige MINT-Bildung der Allgemeinbevölkerung sehen, ist für deren Weiterentwicklung zunächst positiv zu werten. Allerdings scheint das ihnen entgegenbrachte Vertrauen nicht auf direkten Erfahrungen oder Studien zum non-formalen Lernen zu basieren, die den Stakeholdern bekannt sind. Offenbar genießen die Lernorte einen hohen Vertrauensvorschluss. Das Vertrauen in die Potenziale der non-formalen Lernorte scheint sich in den Gesprächen vor allem aus den von ihnen bemühten Vergleichen mit dem Schulunterricht herauszuschälen. Letzterer wird vor allem hinsichtlich der Adaption an individuelle Bedürfnisse von Lernenden (Differenzierung) als defizitär wahrgenommen. Insofern vermischen sich in den Äußerungen der Befragten formulierte Potenziale mit Erwartungen und Hoffnungen. Durch den Vertrauensvorschluss besteht dann auch die Gefahr von Enttäuschungen und einer möglichen Entzauberung der Lernorte, wenn empirische Untersuchungen zeigen sollten, dass diese das ihnen entgegengebrachte Vertrauen nicht vollständig rechtfertigen können. Entsprechende Untersuchungen im Graduiertenkolleg *GINT* (<https://uol.de/gint>) haben genau dies gezeigt: die non-formalen Lernorte verfügen zwar über ein hohes Potenzial für das Lernen im Bereich MINT, schöpfen dies jedoch nicht immer aus und werden den an sie gesteckten Erwartungen auch nicht durchgängig gerecht (Beyer et al. 2021).

Es stellt sich in diesem Zusammenhang die Frage, wie es gelingt, die Potentiale non-formaler Lernorte zu fördern, dies forschungsseitig zu flankieren, ohne durch Forschung ausschließlich eine Entmystifizierung zu erreichen, die die Potentiale schmälert. Aufseiten der Lernorte dürfen keine Aversionen gegenüber Forschungsvorhaben entstehen, die als Resultat mögliche Weiterentwicklungen blockieren würden.

6.2. MINT-Disziplinen ausbalancieren

Bemerkenswert ist zudem, dass bei der Diskussion der Rolle non-formaler Angebote für die MINT-Bildung der Allgemeinbevölkerung bei den Stakeholdern vor allem Technik, Informatik und Digitalisierung im Vordergrund stehen, entsprechende Angebote aber von ihnen trotzdem auch als naturwissenschaftliche Angebote eingestuft werden. Es liegt bei ihnen nur eine geringe kategoriale Trennschärfe vor. Dadurch besteht die Gefahr einer gewissen informatorisch-technischen Schlagseite bei künftigen non-formalen MINT-Angeboten, die aber von den Beteiligten nicht gesehen wird.

Unter der Prämisse, dass MINT für interdisziplinäre und nicht für Disziplin-auflösende (transdisziplinäre) Zugänge steht, sind daher in den Angeboten naturwissenschaftliche und insbesondere physikalische Perspektiven zu stärken, damit diese Disziplinen im non-formalen Sektor nicht abgehängt werden. Ähnliche Anzeichen waren bereits in einer Interviewstudie mit Verantwortlichen für non-formale Bildungsangebote in Meeresforschungsinstituten zu erkennen (Bliesmer 2016). Es zeigte sich, dass bei der Konzeption neuer Angebote biologische Zugänge bevorzugt werden, da chemische und insbesondere physikalische Themen bei Besuchenden Aversionen hervorrufen würden.

Gemäß den Ausführungen der Stakeholder in der vorliegenden Studie bietet sich die Integration einer naturwissenschaftlichen Perspektive mit besonderem Fokus auf Nature of Science an, kontextualisiert an Themen, die gleichermaßen für Laien interessant sind und zudem das Potenzial haben, auch den Aufbau physikalischer Kompetenzen zu unterstützen (z. B. Kontexte wie Medizinphysik oder Physik des Sports).

6.3. Stärkung von Selbstwirksamkeit anstreben

Unter Berücksichtigung von Äußerungen zum Image der MINT-Disziplinen lässt sich folgern, dass der Fokus in Bildungsangeboten an non-formalen Lernorten nicht primär auf dem Erwerb von Fachkompetenzen in den MINT-Disziplinen liegen sollte, sondern auf der Stärkung der MINT-bezogenen Selbstwirksamkeit von Besuchenden: Die Angebote sollten vor allem die Funktion haben, den Besuchenden zu zeigen, dass auch sie in der Lage sind, einen MINT-Inhalt zu entschlüsseln oder eine MINT-Aufgabe bewältigen zu können. Gelingen kann dies durch adressatengerechte Differenzierungen, die im Idealfall von den Lernorten selbst, aber auch durch die Zusammenarbeit von Fachdidaktik und Lernorten geleistet werden können. Damit lässt sich durch positive eigene Erfahrung an den Lernorten einer MINT-Prädispositionsvorstellung begegnen, wonach sich nur solche Menschen mit MINT-Themen befassen, die schon ein Grundinteresse haben, während andere sich als weiterhin als ungeeignet wahrnehmen.

6.4. Neue Angebotsformate entwickeln

Damit die Angebote ihr beschriebenes Potenzial entfalten können, muss es gelingen, Menschen (wiederkehrend) zu erreichen, die nicht bereits über eine Affinität hinsichtlich MINT verfügen. Dies sei aus Stakeholdersicht mit den bisherigen Angebotsformaten schwierig. Um hier einen Beitrag zu leisten, ist in der Physikdidaktik der Universität Oldenburg das Projekt phymobil ins Leben gerufen worden. Hierbei handelt es sich um ein mobiles Schülerlaborangebot, das sich vor allem an bildungsbenachteiligte Menschen richtet, die direkt in ihrem vertrauten Umfeld aufgesucht werden. Geplant sind hierbei wiederkehrende Angebote mit denselben Personen, sodass es

nicht bei singulären Erlebnissen bleibt, sondern eine systematische Stärkung der Selbstwirksamkeit im Hinblick auf Physik angestrebt wird.

7. Reflexion des Interviewformats

Die Interviews mit Stakeholdern haben sich als gewinnbringend erwiesen, da die Befragten in der Lage sind, komplex zu denken und ihre Denkfiguren präzise zu verbalisieren. So ergibt sich ein sehr guter Zugang zu ihrer Denk- und Erfahrungswelt. Umgekehrt sind die Interviews jedoch auch eine große Herausforderung, da die Stakeholder viele Gedanken in kurzer Zeit versprachlichen und auch ihre üblichen Erklärungsversatzstücke nutzen, sodass im Interview schnell viele Informationen generiert werden, die teilweise auch vom Forschungsinteresse wegführen. Für die Interviewenden besteht die Herausforderung, diese Vielzahl von Informationen gedanklich noch während des Interviews zu sortieren und zu entscheiden, ob die Äußerungen schon zu weit vom Leitfaden wegführen oder ein Nachhaken erfordern. Hier bedarf es eines gut strukturierten Leitfadens, der das Arbeitsgedächtnis entlastet. Ferner ist in besonderem Maße die Durchführung von Probeinterviews angezeigt, um die Dynamik in Stakeholder-Interviews kennenzulernen und zugleich provokante Äußerungen aufzuspüren, die dann wiederum in nachfolgenden Interviews als gesprächsgenerierende Impulse eingesetzt werden können.

Es ist zudem nötig, den Mut aufzubringen, bei der recht dominanten Auswahlstichprobe nachzuhaken und einzuhaken, zumal die Gespräche auf Wunsch der Befragten meist recht kurz sind. Für die meisten der Gespräche konnten die Stakeholder nur 45-60 Minuten an freier Zeit aufbringen. Diese Zeitspanne hätten die Stakeholdern vermutlich bereits mit Antworten auf drei bis vier Fragen füllen können, wenn der Interviewer sie nicht unterbrochen hätte.

Nach einer erfolgten Erprobung dieses Interviewformats sind die Befragungen der Stakeholder jedoch ein probates Mittel, um in einem Projekt zeiteffizient über den Tellerrand der eigenen Erfahrungen blicken zu können und so neue Anregungen zu erhalten.

8. Literatur

- Beyer, L., Gorr, C., Kather, C., Komorek, M., Röben, P. & Selle, S. (2021). *Orte und Prozesse außerschulischen Lernens erforschen und weiterentwickeln* (= Außerschulische Lernorte – Beiträge zur Didaktik, Bd. 6). Lit-Verlag.
- Bliesmer, K. (2016). *Fachdidaktische Analyse von Bildungsangeboten norddeutscher Meeresforschungsinstitute*. Masterarbeit: Universität Oldenburg.
- Bogner, A., Littich, B. & Menz, W. (2005). *Das Experteninterview. Theorie, Methode, Anwendung*. VS Verlag für Sozialwissenschaften.

- Brugha, R. & Varvasovszky, Z. (2000). Stakeholder analysis: a review. *Health Policy and Planning*, 15(3), 239–246.
- Falk, J. H. (2001). *Free choice science education: How we learn science outside of school*. Teachers College Press.
- Falk, J. H. & Dierking, L. D. (2010). The 95 Percent Solution. School is not where most Americans learn most of their science. *American Scientist*, 98, 486-493.
- Kuckartz, U. (2018). *Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung*. Weinheim, Basel: Beltz Juventa.
- Niebert, K. & Gropengießer, H. (2013). Leitfadengestützte Interviews. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (121-132). Springer Spektrum.
- Schmeer, K. (1999). *Guidelines for Conducting a Stakeholder Analysis*. Partnerships for Health Reform, Abt Associates Inc.
- UIL (2012). *UNESCO Guidelines for the Recognition, Validation and Accreditation of the Outcomes of Non-formal and Informal Learning*. UNESCO Institute for Lifelong Learning. Online verfügbar unter: <http://unesdoc.unesco.org/images/0021/002163/216360e.pdf> [Zugriff: 21.04.2022].
- Witzel, A. & Reiter, H. (2012). *The Problem-Centred Interview: Principles and Practice*. Sage Publications.

Danksagung

Wir danken allen Stakeholdern, die an der Studie teilgenommen haben, ganz herzlich für ihre Offenheit und ihre anregenden Gedanken!

Climate Escape – Entkommen aus der Klimakatastrophe?!

- Gestaltung einer Escape-Room-Umgebung für den Physikunterricht -

Timo Graffe*, Johannes F. Lhotzky*, Uwe Oberlack*, Filip Sirrenberg*, Klaus Wendt*

*Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Institut für Physik, Staudingerweg 7, 55128 Mainz
timo.graffe@uni-mainz.de

Kurzfassung

„Climate Escape“ ist ein interaktives Schülerlabor in Form eines Escape Rooms zu den Themen „Klimawandel“ und „Nachhaltigkeit“. Schulklassen können das Escape Game mit Modellversuchen im NaTLab Physik der Johannes Gutenberg-Universität (JGU) Mainz durchleben. Der Escape-Game-Ansatz bietet eine Möglichkeit, physikalische Inhalte spielerisch zu vermitteln, um auf diese Weise eine kontextbezogene motivierende Lernumgebung zu gestalten. Dieser Beitrag soll das Konzept des Escape Games als Lernumgebung exemplarisch am Schülerlabor „Climate Escape“ veranschaulichen und dabei vermitteln, welche Schritte bei der Entwicklung eines Escape Games für den Physikunterricht beachtet werden müssen.

1. Einleitung und didaktische Rahmung

Die Zeit drängt, nur noch 5 Minuten bis der Timer klingelt und die versteckte Geheimakte, die dringend für die nächste Klimakonferenz benötigt wird, gefunden sein muss. Die Schülergruppe einer neunten Klasse gibt nochmal alles, um die Zahlenkombination der letzten Kiste zu entschlüsseln und so den fehlenden Teil des Geheimcodes der letzten Station zu erhalten.

Dies ist ein typisches Szenario aus dem „Climate Escape“ des Schülerlabors NaTLab Physik der Johannes Gutenberg-Universität Mainz. Hierbei handelt es sich um das erste Schülerlabor an diesem Standort, das einen Gamification-Ansatz verfolgt. Unter Gamification ist „die Einbettung der Lerninhalte in einen umspannenden Spielekontext“ [1] zu verstehen. Eine spezielle Variante von Gamification stellen Escape Games dar. Das konzipierte „Climate Escape“ bietet eine solche Umsetzung. Escape Rooms sind üblicherweise als kommerzielle Unterhaltungsangebote bekannt, die nicht unbedingt darauf abzielen, einen bestimmten Bildungsinhalt zu vermitteln. „Der Escape Room ist ein realitätsgetreu nachgebauter thematischer Raum, in dem die Spieler in der vorgeschriebenen Zeit [...] unterschiedliche Rätsel lösen müssen, um den Raum als Sieger verlassen zu können [...] Die Rätsel sprechen verschiedene Fähigkeiten an – benutzt werden müssen Köpfe, Phantasie, Geschick, Logik und Kombinationsgabe. Wie im echten Leben gibt es niemanden, der alles weiß und kann [...] Einzelkämpfer und einsame Helden haben wenig Chancen – nur wenn die Gruppe als Team zusammenarbeitet, kann sie gewinnen“ [2]. Anhand dieser Beschreibung wird das Potential eines didaktischen Einsatzes im Lernkontext deutlich. Daher bietet sich der Ansatz her-

vorrangend an, in Verbindung mit Bildungsinhalten interaktive Lernumgebungen zu gestalten.

Escape Games bieten didaktische Potentiale im Lernkontext in Form von folgenden Aspekten:

- Durch die Arbeit in Kleingruppen wird das kooperative Lernen gefördert [3].
- Das Setting der Lernumgebung mit Rätseln, Quizen und unerwarteten Fragestellungen macht das Lernen zum Erlebnis.
- Durch die Kopplung von Rätseln mit naturwissenschaftlichen Fragestellungen wird die Problemlösekompetenz der Schülerinnen und Schüler trainiert [4].
- Der Austausch in und zwischen den Kleingruppen fördert die Kommunikationsfähigkeit, die notwendig ist, um gemeinsam im Escape Room zu bestehen [3].
- Die Einbettung der fachlichen Inhalte in ein sinnstiftendes, nicht-fachliches Setting mit realitätsnaher Gestaltung erzeugt eine authentische Kontextorientierung [5].

Insgesamt wirken sich diese Punkte positiv auf das Interesse und die Motivation der Schülerinnen und Schüler aus und führen zu einer kognitiven Aktivierung bei den Teilnehmenden [6][7].

Auch aus didaktisch-struktureller Perspektive kann der Escape-Game-Ansatz vorteilhaft sein. Wird das didaktische Triplet betrachtet (s. Abb.1), steht auf der einen Seite die fachliche Perspektive in Form eines Bildungsinhaltes und auf der anderen Seite die Lebenswelt der Schülerinnen und Schüler [8]. Escape Rooms können in kontextualisierten gamifizierten Ansätzen beide Perspektiven miteinander verbinden und diese in eine sinnvolle didaktische Rahmenstruktur integrieren. Die einzelnen Elemente bauen dabei aufeinander auf und setzen sich wie Puzzleteile zu einem Ganzen zusammen.

Der Escape Room startet mit einer zentralen Problemstellung, die in eine Story eingebettet ist. Um dieses Problem zu lösen, müssen die Spielerinnen und Spieler verschiedene Teilherausforderungen absolvieren, die zusammen eine Lösung für das Ausgangsproblem ergeben. Hier werden Grundzüge zur Didaktik deutlich, bei der eine kontextualisierte Problemstellung den Ausgangspunkt einer Lerneinheit bietet, woran sich die weitere Erarbeitung anschließt [9]. Hierbei besteht die Charakteristik des Escape Rooms aus seinem fremdartigen, abgeschlossenen Raum, seiner limitierten Zeitspanne, einer (ggf.) spezifischen Gruppenzusammensetzung und seinem partizipativ fiktiven Kontext [10].

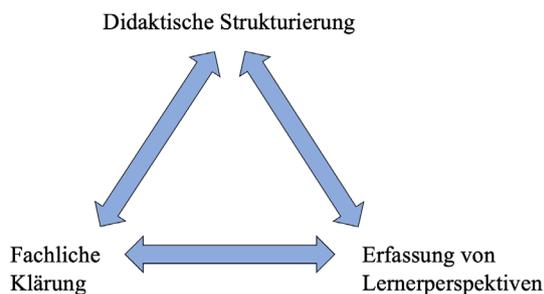


Abb.1: Fachdidaktisches Triplettdiagramm, Abb. nach [8]

In der konkreten Umsetzung eines Escape Rooms in Form des vorgestellten „Climate Escape“ werden diese Ansätze genutzt, um die Lernenden zu einer fachlich-kritischen Auseinandersetzung mit den Themen des anthropogenen Klimawandels und mit den daraus resultierenden naturwissenschaftlichen sowie gesellschaftlichen Konsequenzen anzuregen. Das Escape-Szenario ist für Gruppengrößen von bis zu 30 Schülerinnen und Schülern der Jahrgangsstufen acht bis zehn ausgelegt. Dafür wurden sechs Stationen mit einer Spieldauer von jeweils 90 Minuten konzipiert, welche sowohl die naturwissenschaftlichen Grundlagen des Klimawandels thematisieren als auch Aspekte eines nachhaltigen und klimafreundlichen Handelns ansprechen. Die Schülerinnen und Schüler bearbeiten dabei jeweils zwei Stationen in ihren Kleingruppen, so dass jede Station mindestens von einer Schülergruppe bearbeitet wird und damit das Ausgangsproblem durch die in den Kleingruppen erarbeiteten Teilergebnisse gelöst werden kann.

In Tabelle 1 sind die thematischen Inhalte der einzelnen Stationen dargestellt. Dabei wird ersichtlich, dass das „Climate Escape“ zwar einen deutlichen Fokus auf die Physik legt, aber auch Bezüge zu anderen Disziplinen hergestellt werden: Die Station „Ozeanversauerung“ behandelt biologische und chemische Inhalte; humangeographische Themen sind Bestandteil der Station „Nachhaltigkeit“. Zudem stellen die einzelnen Stationen immer wieder Bezüge zu politikwissenschaftlichen Themen her, etwa am Beispiel des Pariser Klimaabkommens. Dieser multiperspektivische Ansatz wurde bewusst gewählt, da die Klima-Problematik eine intrinsisch

interdisziplinäre Thematik darstellt. Der Escape Room wird damit abgeschlossen, dass die Gesamtgruppe der Schülerinnen und Schüler einen Geheimcode aus allen Teilergebnissen aller Stationen zusammensetzt, um eine Geheimakte zu finden und dazu eine Einsicht in die Klimawandelthematik zu gewinnen.

Station 1	Albedo (Reflexionsvermögen der Solarstrahlung)
Station 2	Treibhauseffekt
Station 3a	Eigenschaften von Treibhausgasen
Station 3b	Anthropogener Treibhauseffekt und Kippelemente
Station 4	Gletscherschmelze und Meeresspiegelanstieg
Station 5	Ozeanversauerung und -erwärmung
Station 6	Nachhaltigkeit und klimafreundliches Verhalten

Tab.1: Übersicht der Stationen des „Climate Escape“

2. Aufbau eines Escape Rooms exemplarisch an der Station 1 „Albedo“ des „Climate Escape“

Nachfolgend werden Anregungen gegeben, um eine Grundlage zur Konzeption eines eigenen Escape Games im Lehr-Lern-Kontext zu schaffen:

- Festlegung der theoretischen Umrahmung und der Lernziele (Einordnung in die Lernziele) (Didaktische Rekonstruktion [8])
- Entwicklung des Grundgerüsts der Lerneinheit und Konzeption des Versuchs
- Entwicklung eines Kontextes und Einbettung in eine ansprechende Geschichte (Storytelling)
- Erarbeitung geeigneter Aufgaben und Herausforderungen zum Entschlüsseln von verschlossenen Kisten, Geheimcodes und Verstecken
- Materiale und/oder personale Planung der Moderation des Lernprozesses

2.1. Festlegung der theoretischen Umrahmung und der Lernziele

Im ersten Schritt werden die fachwissenschaftlichen Inhalte herausgearbeitet. Im Fall der Station der Albedo sind für die Lernumgebung folgende fachliche Inhalte relevant: Unter der Albedo der Erdoberfläche ist das „Verhältnis des Anteils der an der Erdoberfläche reflektierten Solarstrahlung zu der einfallenden Intensität“ [11] zu verstehen. Dabei hängt die Albedo von der Wellenlänge und dem Einfallswinkel der Strahlung sowie von der Beschaffenheit und der Oberflächenfarbe der bestrahlten Fläche ab. Landschaften mit den Oberflächeneigenschaften von (hauptsächlich) Eis, Vegetation, Acker und Siedlung, die eine unterschiedliche Oberflächenfarbe besitzen, weisen dementsprechend eine unterschiedliche Albedo auf; aufgrund der Energieerhaltung können sich die dortigen Oberflächentemperaturen stark unterscheiden. Bei Veränderungen der landschaftlichen Begebenheiten, die beispielsweise durch Abholzung von Vegetation, Bebauung

oder Eisschmelze künstlich verursacht werden, hat dies Auswirkungen auf das Mikro-, Meso- sowie Makroklima [12].

Aufbauend auf dieser theoretischen Grundlage werden die Lernziele festgelegt. Die Station befähigt die Schülerinnen und Schüler zu verstehen, was die Ursachen der Albedo sind und wie ihr Wert bestimmt wird, sowie den Einfluss der Albedo auf den Klimawandel erläutern zu können. Dazu wird ein Zusammenhang zwischen Oberflächenfarbe, Albedo und Oberflächentemperatur hergestellt.

2.2. Entwicklung des Grundgerüsts der Lerneinheit und Konzeption des Versuchs

Nachdem der theoretische Rahmen und die Lernziele festgelegt worden sind, erfolgen die didaktische Rekonstruktion und Phasierung. Für die Phasierung des Unterrichts werden das Lehr-Lern-Modell von Leisen sowie der experimentelle Algorithmus als Grundlage genutzt. Auf diese Schritte wird im Folgenden nicht näher eingegangen, da sie analog zur Konzeption von herkömmlichen Lernumgebungen sind und somit in der fachdidaktischen Literatur nachvollzogen werden können, vgl. [8][13][14]. Nachfolgend soll ein Überblick gegeben werden, welche Herausforderungen die Escape-Room-Umgebung besitzt und wie diese gelöst werden können:

a) Phase 1: Einführung in den Lernkontext

Für die Einführung in den Lernkontext eignet sich ein informierender Einstieg, der die Schülerinnen und Schüler in die Geschichte einführt [15]. Das Entwickeln einer problemorientierten Fragestellung kann nicht so offen gestaltet werden, wie es im lehrkraftgelenkten Unterricht üblich ist. Eine große Einschränkung beim Escape Game entsteht durch die Tatsache, dass für Lernaufgaben nur geschlossene bzw. halbgeschlossene Aufgabenformate gewählt werden können [16]. Das bedeutet, dass es eine fest definierte Lösung oder eine endliche Anzahl an Lösungen geben muss. Auch wenn die Schülerinnen und Schüler eine Fragestellung im herkömmlichen Sinne nicht selbst entwickeln können, kann trotzdem die Lernumgebung so gestaltet sein, dass sie zu dieser Fragestellung hinführt. So identifizieren die Schülerinnen und Schüler beispielsweise an der Albedo-Station verschiedene Auffälligkeiten durch Landnutzungsänderungen und werden zur zentralen Fragestellung der Station „Warum verursachen großflächige Veränderungen in der Landschaft einen lokalen Anstieg der Lufttemperaturen?“ hingeführt.

b) Phase 2: Vorwissen aktivieren und Vorstellungen entwickeln

Multiple-Choice-Aufgaben und Zuordnungsaufgaben bieten sich an, um bereits bekannte schulische Inhalte zu aktivieren. In der Station „Albedo“ werden beispielsweise die Begriffe „Reflexion“, „Emission“ und „Absorption“ wiederholt.

Auch Instruktionsphasen können in die Escape-Room-Umgebung in Form von Texten oder Videos eingebunden werden. Ein Erklärvideo zur „Albedo“ sowie zu deren Berechnung gibt den Schülerinnen und Schülern im „Climate Escape“ einen erforderlichen Input, sodass diese bei der späteren Versuchsdurchführung die Albedo eigenständig bestimmen können. Dabei kann der Escape-Game-Ansatz gezielt genutzt werden, um das neue Wissen des Inputs direkt im Anschluss anzuwenden. Nachfolgend wird eine Aufgabe zur Berechnung der Albedo gestellt.

c) Phase 3: Erarbeitungsphase

In der Erarbeitungsphase stellt die sinnvolle Einbindung des Versuchs in die Lernumgebung die größte Herausforderung für den Escape-Room-Ansatz dar. Dafür existieren je nach Versuchsart verschiedene Möglichkeiten. Bei qualitativen Versuchen kann anschließend an den Versuch eine Frage mit vorgegebenen Antwortmöglichkeiten gestellt werden, die nur beantwortet werden kann, wenn der Versuch richtig durchgeführt wurde. Die richtige Lösung führt dann zur nächsten Aufgabe. Bei der Station „Albedo“ wurde dagegen ein quantitativer Versuch konstruiert (siehe Abb.2). Dieser besteht aus vier Kästen mit jeweils einer Modelllandschaft („Eis“, „Vegetation“, „Acker“ und „Siedlung“), die von einer Halogenleuchte als „Sonne“ bestrahlt wird. Mithilfe eines Albedometers, bestehend aus zwei Luxmetern, welche die einfallende und die reflektierte Strahlung messen, kann die Albedo bestimmt werden. Das Albedometer ist dabei direkt an einem Schwenkarm am Versuchsaufbau aus Gründen der Reproduzierbarkeit der Messung montiert (siehe Abb.2). Nacheinander können alle Dioramen unterschiedlicher Beschaffenheiten unter identischen Bedingungen gemessen werden. Für den Versuch existieren verschiedene Variationsmöglichkeiten. Zum einen kann ein Deckel mit der jeweiligen Landschaftsfarbe auf die Kiste gelegt werden. Zum anderen kann anstelle des Albedometers eine Wärmebildkamera an den Schwenkarm montiert werden, um Temperaturunterschiede der verschiedenen Landschaften zu messen. Die Messergebnisse des Versuchs können in diesem Fall direkt als Lösung genutzt werden, um zur nächsten Aufgabe auf einer webbasierten Plattform zu gelangen (siehe Abb.3). Dafür sollte die Lehrperson im Vorfeld mehrere Messreihen durchführen sowie einen Fehlerbereich bestimmen und festlegen, dass alle sich in diesem Fehlerbereich befindlichen Werte als korrekte Lösung angezeigt werden. Mithilfe dieses Versuchs kann der Zusammenhang zwischen Oberflächenfarbe, Albedo und Oberflächentemperatur erarbeitet werden.



Abb.2: Versuchsaufbau Station 1 „Albedo“ – Bestrahlung von vier Modelllandschaften mit Halogenleuchten und Messung der Albedo mithilfe zweier Luxmeter

Einsatzleiter:
Oh nein, die Messwerte von Herr Ledderbogen fehlen. Diese werden dringend benötigt. Zum Glück habt ihr die Messung der **Modelllandschaften** wiederholt und die Albedo berechnet.

Bitte gebt eure Messwerte (als ganze Zahl) im Anschluss ein:

Eis (in %):

Acker (in %):

Siedlung (in %):

Vegetation (in %):

Abb.3: Beispielaufgabe auf der webbasierten Plattform

d) Phase 4: Sicherung

Die Sicherungsphase lässt sich nur bedingt in der Escape-Room-Umgebung gestalten, da in dieser Phase eine Vernetzung des neugelernten Wissens stattfinden soll. Aus diesem Grund eignen sich geschlossene Aufgabenformate nur bedingt. Eine Möglichkeit der Sicherung über ein geschlossenes Format stellt ein Wirkungsgefüge dar, bei dem die einzelnen inhaltlichen Aspekte in Form von Kärtchen bereits vorgegeben sind. Auf diese Weise können die Kärtchen mit Zahlen versehen werden, die bei korrekter Anordnung einen Code ergeben. Alternativ wird für die Sicherung ein offenes Aufgabenformat verwendet, was im Anschluss mit den Schülerinnen und Schülern diskutiert werden kann. Da die Sicherung in der Regel den Abschluss des Escape Games oder einer Escape-Game-Station bildet, wird das Ergeb-

nis der Sicherung nicht benötigt, um weitere Aufgaben der Lerneinheit freizuschalten. Die Sicherung der Station „Albedo“ erfolgt in einem offenen Aufgabenformat, indem die Schülerinnen und Schüler einen „Forschungsbericht“ verfassen

2.3. Storytelling

Ein wichtiges Element des Escape Rooms ist die Geschichte, in die die Lernumgebung eingebettet wird. Das „Climate Escape“ erzählt eine übergeordnete Geschichte und besitzt eine Kontextualisierung über alle Stationen hinweg: „In den Kellerräumen der Universität Mainz befindet sich ein streng geheimes Forschungslabor. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler dieses Labors haben sich zur Aufgabe gemacht, den anthropogenen Klimawandel und dessen Auswirkungen zu untersuchen. Sie stellen wichtige Forschungsergebnisse für den nächsten Klimakongress zusammen. Leider kommt es zu einem Zwischenfall im Labor. Eine Organisation aus militanten Klimawandelleugnern hat das Labor gestürmt. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler haben versucht, einen Teil ihrer Forschungsdaten vor den Angreiferinnen und Angreifern zu verstecken. Aber leider wurde ein Großteil der Daten vernichtet und die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler wurden verschleppt. Aus diesem Grund wurde eine Gruppe von Nachwuchswissenschaftlerinnen und -wissenschaftlern in das Labor geschickt, um die Forschungsdaten zu rekonstruieren.“ Jede Station erzählt jeweils eine in dieses Szenario eingebettete Nebengeschichte. Die Station „Albedo“ stellt eine Überwachungszentrale für Wetterstationen des Forschungslabors dar. Der fiktive Leiter Dr. Ledderbogen hat vor dem Überfall noch einen auffälligen Temperaturanstieg an drei Wetterstationen gemessen. Die Aufgabe der Schülerinnen und Schüler ist es, eine Erklärung für diese Auffälligkeiten zu finden.

2.4. Erarbeitung geeigneter Aufgaben und Herausforderungen zum Entschlüsseln von verschlossenen Kisten, Geheimcodes und Verstecken

Die digitale Lernumgebung kann mit der physischen Welt verknüpft werden, wozu bei „Climate Escape“ Holzkisten, die mit Zahlenschlössern versehen sind (siehe Abb.4), Geheimcodes und Verstecke gewählt wurden. In den Kisten, die erst mit der Eingabe der passenden Zahlencodes geöffnet werden können, sind Versuchsgegenstände wie das Albedometer oder die Wärmebildkamera, QR-Codes und Hinweise versteckt. Geheimcodes, meistens in Form von Zahlenkombinationen, können in der Escape-Room-Umgebung versteckt werden. UV-Lampen werden beispielsweise genutzt, um mit UV-Stiften geschriebene Codes sichtbar zu machen. Eine weitere Möglichkeit bieten Verstecke, wie falsche Thermometer, Batterien, künstliches Obst etc.



Abb.4: Ausschnitt aus der Station mit Zahlenschloss gesicherte Holzkisten und Batterie mit Geheimversteck

2.5. Materiale und/oder personale Planung der Moderation des Lernprozesses

Bei der Moderation des Lernprozesses steht die Frage im Vordergrund, wie die Schülerinnen und Schüler dazu motiviert werden, den Escape Room vollständig in einer bestimmten Reihenfolge zu absolvieren und nicht beliebig Aufgaben zu überspringen. Damit dies nicht passiert, können die Schülerinnen und Schüler im „Climate Escape“ erst nach dem erfolgreichen Lösen einer Aufgabe die nächste Aufgabe bearbeiten. Hierfür kommt eine digitale Moderation zum Einsatz. Dafür steht eine Webseite mit einzelnen Aufgabenstellungen zur Verfügung, die mit HTML und PHP programmiert wurde und von den Schülerinnen und Schülern über ein iPad aufgerufen wird. Der Link zur Seite der nächsten Aufgabe wird erst dann freigegeben, wenn der dafür benötigte Code richtig eingegeben worden ist.

Zu den Startwebseiten gelangen die Schülerinnen und Schüler mithilfe von QR-Codes, die entweder offen auf dem Tisch liegen oder erspielt werden müssen. Sollte es bei der eigenen Umsetzung einer Escape-Game-Idee an Programmierkenntnissen oder an einer passenden Website fehlen, kann alternativ eine Decodierscheibe als einfacher analoger Ersatz dienen. Dies sind runde Scheiben aus Papier, mit denen verschiedene Zahlencodes eingestellt werden können.

3. Möglichkeiten der Binnendifferenzierung im Escape Room

In dem „Climate Escape“ wurden mittels der digitalen Moderation gezielt Elemente zur Binnendifferenzierung integriert. Hierbei wird zwischen einer Differenzierung der Qualität und der Quantität der Lernaufgaben unterschieden [17]. Im Hinblick auf die Qualität werden die Lernaufgaben nach den unterschiedlichen Leistungsniveaus der Schülerinnen und Schüler differenziert. Dies wird in Form von gestuften Hilfen bei den einzelnen Lernaufgaben umgesetzt. Die Website wurde dabei so programmiert, dass die Schülerinnen und Schüler unterhalb der Aufgabenstellung die Möglichkeit haben, bis zu drei Tipps anzuklicken (siehe Abb.5). Während der erste Tipp lediglich eine kleine Hilfestellung darstellt, wird mit dem letzten Tipp eine präzise Hilfestellung gegeben, wodurch das Schwierigkeitsniveau der Aufgabenstellung vereinfacht und das Erreichen des Aufgabenziels sichergestellt werden.

Zudem muss davon ausgegangen werden, dass sich das Vorwissen der einzelnen Kleingruppen teilweise stark unterscheidet. Um dem entgegenzuwirken, wurden gezielt Zusatzinformationen, etwa in Form von Erklärvideos, bereitgestellt, die bei Bedarf abgerufen werden können. Auf diese Weise wird versucht, das Ausgangsniveau der verschiedenen Lerngruppen zu nivellieren und an die Erwartungen des Escape Rooms anzupassen.

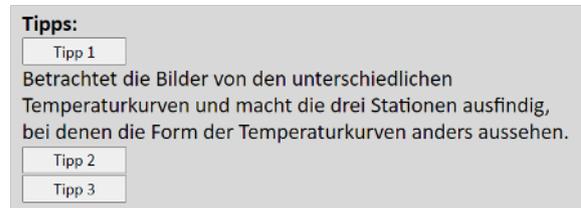


Abb.5: Beispiel für eine gestufte Hilfestellung aus Station 1 „Albedo“, bei der Tipp 1 ausgewählt wurde

Eine quantitative Differenzierung ist vor allem aufgrund der Tatsache notwendig, dass der Escape Room ein Spiel auf Zeit ist. Das heißt für die Schülerinnen und Schüler, dass sie ein gewisses Zeitbudget besitzen, welches durch einen Timer an der Station angezeigt wird. In diesem Zusammenhang können zwei Differenzierungsmöglichkeiten umgesetzt werden. Zum einen hat jede Gruppe die Möglichkeit, eine Zusatzaufgabe zu bearbeiten, wenn sie am Ende der Station angelangt ist und noch über Restzeit auf ihrem Timer verfügt. Auf diese Weise kann sich die Gruppe zusätzliche Punkte dazu verdienen. Zum anderen wurden in die digitale Moderation „Überspringerseiten“ integriert, die zwischen den Lernaufgaben eingebaut sind und abfragen, ob die Zeit auf dem Timer unter einer gewissen Mindestzeit liegt. Ist das der Fall, werden automatisch Übungs- bzw. Anwendungsaufgaben, die für den weiteren Lernprozess nicht zwingend relevant sind, ausgelassen. So können auch leistungsschwächere

Schülerinnen und Schüler die Station erfolgreich abschließen und mit einem Erfolgserlebnis verlassen.

4. Fazit und Ausblick

Mithilfe des Escape-Room-Ansatzes wurde mit dem „Climate Escape“ ein Schülerlabor konzipiert, das die naturwissenschaftlichen Grundlagen des Klimawandels betrachtet sowie Impulse zum nachhaltigen Handeln setzt und diese miteinander zu einer interaktiven und kontextbezogenen Lernumgebung verknüpft. Bei einer Reihe von Durchläufen des „Climate Escapes“ mit Schulklassen wurde ersichtlich, dass diese Form der Gamification bei den Schülerinnen und Schülern auf Begeisterung, hohes Interesse und Motivation stößt, so dass hier Potenzial für kognitive Aktivierung und für eine emotionale Einbindung in diese Thematik zu verzeichnen ist.

Insgesamt wiegen die Vorteile des Escape-Room-Ansatzes, wie kooperatives, kontextbezogenes Lernen, Motivationssteigerung, Förderung der Problemlösekompetenzen und Partizipation an der Klimawandelthematik, die Nachteile, wie einen hohen Zeitaufwand für die Erstellung und Durchführung, die entstehenden Kosten, die benötigten Programmierkenntnisse sowie die Verfügbarkeit einer Website, was aber ggf. auch „analog“ umgangen werden kann, auf. Der Ansatz bietet sich damit ideal für Projektwochen, AGs und interdisziplinäre Lernumgebungen an.

Im NaTLab Physik der JGU Mainz wird der Ansatz weiterverfolgt, indem das „Climate Escape“ zukünftig um zusätzliche Stationen erweitert wird. Es sind u.a. Stationen geplant, welche die erneuerbaren Energien in den Fokus stellen und klimapolitische Aspekte vertiefen. Zudem werden aktuell einige der bereits bestehenden Versuche mithilfe von Arduino und Co. stärker digitalisiert und an die Bedürfnisse des Einsatzes in der Sekundarstufe II angepasst.

5. Literatur

- [1] Cornelsen Verlag (2018): Gamification: Was es ist und was es bringt. In: Unterricht gestalten, Url: <https://www.cornelsen.de/magazin/beitraege/was-bringt-gamification-im-unterricht> (Stand 05/2022).
- [2] Escape Rooms Gießen (o. J.): Was ist ein Escape Room? Url: <https://www.escaperooms-giessen.de> (Stand 05/2022).
- [3] Haug, Reinhold (2013): Kooperatives Lernen aus fachdidaktischer Sicht. In: Beiträge zum Mathematikunterricht, Jahrestagung der Gesellschaft für Didaktik der Mathematik, 47 (2013).
- [4] Krabbe, Heiko; Fischer, Hans E. (2020): Gestaltung von Unterricht. In: Kircher, Ernst; Girwidz, Raimund, Fischer, Hans E. (2020). Physikdidaktik. Grundlagen. S. 117 – 153. Berlin: Springer.
- [5] Duit, Reinders; Mikelskis-Seifert, Silke (o. J.): Kontextorientierter Physikunterricht. Url: http://www.mathphys.uni-freiburg.de/physik/filk/public_html/InfoLehramt/FD17_QhxBz/pikobrief_kontext.pdf (Stand 05/2022).
- [6] Hemmer, Ingrid; Hemmer Manfred (2010): Wie kann Schülerinteressen im Geographieunterricht berücksichtigen? Empfehlungen für die Lehrplanarbeit und den Unterrichtsalltag. In: Hemmer, Ingrid; Hemmer Manfred, Schülerinteresse an Themen, Regionen und Arbeitsweisen des Geographieunterrichts. Band 46 (2010). S. 273 – 280. Weingarten.
- [7] Leuders, Timo; Holzäpfel, Lars (2011): Kognitive Aktivierung im Mathematikunterricht. In: Unterrichtswissenschaft, 39, S. 213 – 230.
- [8] Kattmann, Ulrich et al. (1997): Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion – Ein Rahmen für naturwissenschaftsdidaktische Forschung und Entwicklung. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften 3, 3, S. 3 – 18.
- [9] Leisen, Josef (2010): Lernprozesse mithilfe von Lernaufgaben strukturieren. Informationen und Beispiele zu Lernaufgaben im kompetenzorientierten Unterricht. In: Unterricht Physik, 117/118, S. 9 – 13.
- [10] Haubrich, Hartwig (2006): Geographie unterrichten lernen. Die Didaktik der Geographie konkret. München: Oldenbourg.
- [11] Weischet, Wolfgang; Endlicher, Wilfried (2012): Einführung in die Allgemeine Klimatologie. Berlin. Stuttgart: Borntraeger.
- [12] Schönwiese, Christian-Dietrich (2020): Klimatologie. Stuttgart: Ulmer.
- [13] Leisen, Josef (2018) Was Lehrkräfte brauchen – ein praktikables Lehr-Lern-Modell. Url: <http://www.josefleisen.de/downloads/lehrenlernen/00%20Was%20Lehrkräfte%20brauchen%20-%20Ein%20praktikables%20Lehr-Lern-Modell%202018.pdf> (Stand 05/2022).
- [14] Girwidz, Raimund (2019): Experimente im Physikunterricht. In: Kircher, Ernst; Girwidz Raimund; Fischer, Hans E. (2020). Physikdidaktik. Grundlagen (2020). S. 263 – 292. Berlin: Springer.
- [15] Rinschede, Gisbert (2003): Geographiedidaktik. Paderborn: Schöningh.
- [16] Hieber, U. (2011): Aufgabentypen – die Vielfalt macht’s. Abwechslungsreiche Aufgabenstellung im Geographieunterricht. In: Geographie heute, 291/292, S. 16 – 19.
- [17] Bahr, Matthias (2013): Der Vielfalt mit Vielfalt begegnen – Binnendifferenzierung im Geographieunterricht. In: Praxis Geographie, 6, S. 4 – 10.

Closing the science-action gap: Kann ein Schülerlabor zur Verbesserung von Fachwissen und Klimawandel-Bewusstheit beitragen?

Jonathan Grothaus, Markus Elsholz, Thomas Trefzger

Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Lehrstuhl für Physik und ihre Didaktik
jonathan.grothaus@uni-wuerzburg.de

Kurzfassung

Die Klimakrise ist eine der großen gesellschaftlichen Herausforderungen, die die Schülerinnen und Schüler, die den Physikunterricht besuchen, zukünftig lösen müssen. Der naturwissenschaftliche, und damit auch physikalische Unterricht scheitert aber bislang daran, die Lücke zwischen Problembewusstheit und gesellschaftlichen Handeln zu schließen.

Hier sollen anhand zweier Modelle aus der Umweltpsychologie Ansätze erkundet werden, wie Unterricht vom Wissen zum Handeln kommen kann.

1. Von welcher Zukunft erzählen wir beim Unterrichten: Das Zukunftsbild in Labs4Future

“Every bit of warming matters, every year matters, every choice matters” (IPCC, 2019)

Die Menschheit kann über globale Prozesse, die durch ihre Aktivitäten ausgelöst werden, reflektieren, sie als Problem bewerten und wirkungsvolle Maßnahmen einleiten. Das zeigt das Montreal Protokoll zum Schutz der Ozonschicht vor zersetzenden Chemikalien (UN environment programme, 2022) oder die COP 21 in Paris mit der Entscheidung deutlich unter 2°C Erderwärmung relativ zum vorindustriellen Zeitalter zu bleiben. (United Nations, 2022)

Weiterhin haben alle unterzeichnenden Staaten, also auch Deutschland, das Ziel erklärt, die Erwärmung besser („preferably“) unter 1.5°C zu halten. Es bleibt aber häufig eine Kluft zwischen dem Wissen, und sogar Absichtserklärungen (psychologisch also Intentionen), und dem tatsächlichen Handeln.

Die Auswirkung der Menschheit auf den Planeten Erde lassen sich auch - und meist auch naheliegender - auch aus einer pessimistischen Perspektive betrachten:

Im Anthropozän, eingeläutet durch die erste Atom-bombe, hat die Spezies Mensch endgültig so viel naturwissenschaftlich-technische Macht angesammelt, um das gesamte System Erde zu stören und mindestens seinen aktuellen Zustand sogar zu zerstören.

Menschliche Aktivitäten drohen das Erdsystem über eine Reihe planetarer Stabilitätsschwellen (siehe Abb. 1) zu stoßen. (Steffen et al., 2015)

Die Klimakrise, deren umfassende Folgen sich wie Arme eines Tumors in alle Sphären des Erdsystems ausbreiten und vielerorts das Gleichgewicht der Naturprozesse stört, verstärkt dabei etliche der identifizierten Grenzen.

Ökologische Belastungsgrenzen

nach Will Steffen et al. 2015 / Linn Persson et al. 2022 / Wang-Erlandsson et al. 2022

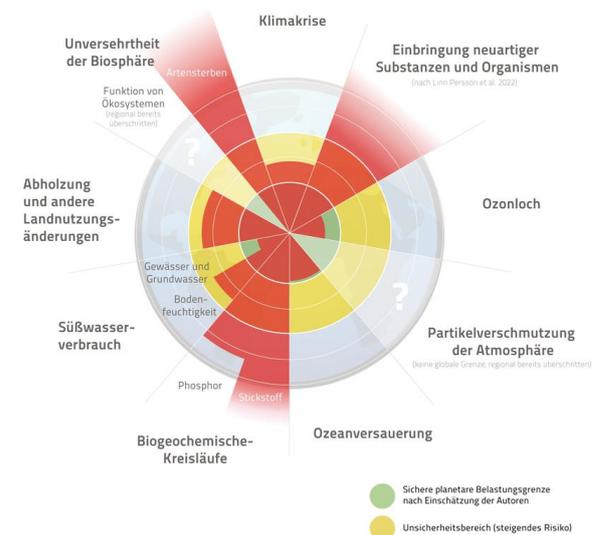


Illustration: Felix Müller (www.klimawandel-selbstmord.de) | Lizenz: CC-BY-SA 4.0

Abb. 1: Planetare Grenzen, (Müller, 2022),
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Planetare_Belastungsgrenzen_2022.png
<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>

Der Begriff der Krise wird hier bewusst in Abgrenzung zum fast schon euphemistisch-positiv klingenden Klimawandel benutzt.

Eine menschengemachte Krise lässt sich aber, und das ist die Abgrenzung zur Klimakatastrophe, durchaus bewältigen. Ohnmacht im Angesicht der Gefahr (freeze) ist daher nicht angebracht:

„It's not so much a technical issue - it's a political one” (Stoevesandt, 2019)

Die Symptome einer sich immer weiter erwärmenden Erde werden immer klarer, und langsam werden auch die gesellschaftlichen Reaktionen grundsätzlich selbstbewusster und wirksamer. Ob im weltpolitischen Maßstab mit der langsamen Abkehr der G7

Staaten von der Kohleenergie (FAZ/dpa, 2022), oder aus den Forderung der globalen Fridays For Future Streiks, die grand challenge (Reid et al., 2010) Klimakrise in ihrer Bedeutung angemessen zu adressieren.

Wissenschaftlich ist die Bedrohungslage geklärt, und Wege aus der Krise vom IPCC gezeichnet (IPCC, 2019, 2022) – nur geht die gesellschaftliche Transformation in Deutschland viel zu langsam, wenn man das naturwissenschaftlich abgeleitete und völkerrechtlich bindend ratifizierte Paris Ziel ernst nimmt.

Es droht die Integralfalle, nämlich dass ein zu langsamer Start der Treibhausgasreduktionen, einen immer steiler abfallenden und damit schwierigeren Reduktionsverlauf nötig machen würde, um im 1,5°C Emissionsbudget zu bleiben.

Jedes Unterrichtshandeln, das das Thema naturwissenschaftlich behandeln will, bewegt sich auch im Spannungsfeld der politischen Fragen. Frei nach Watzlawick (Watzlawick et al., 1969) gilt: Physikunterricht kann nicht nicht politisch sein..

2. Vom ohnmächtigen zum mündigen Bürger

Das Kernanliegen eines naturwissenschaftlichen Unterrichts ist die mündige Bürger:in. Was heißt das für die Unterrichtsgestaltung? Was macht eine Schüler:in mündig, im Kontext der Klimakrise?

Das demokratische, auf Interessensausgleich beruhende System, kann Entscheidungen zur Reaktion auf diese Krise nur treffen, wenn sich die Bürger:innen der eigenen Betroffenheit, also der eigenen Interessen bewusst werden - auch wenn sich diese bei der Klimakrise erst in Jahrzehnten in ihrem vollen Ausmaß manifestieren. Wissenschaftlich erkannte Probleme sind noch lange nicht gelöst: Die Bewältigung der Klimakrise erfordert die Kompetenzen der Individuen, das heißt:

Kompetenzen zur Bewertung von politischen Entscheidungen hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf das globale Erdsystem und zur Auswahl und Durchführung von individuellen Handlungsoptionen. (Frick et al., 2004)

Der Physikunterricht bietet dazu hervorragende Voraussetzungen zum Erlernen dieser Kompetenzen: Die wissenschaftliche Denkweise, die Bewertung anhand elementarisierter Modelle der Welt. Der Unterricht ist eine langfristige, geplante, geschützte Lerngelegenheit, die unter pädagogischen, psychologischen und didaktischen Überlegungen entsteht.

Keimzelle also für eine gesellschaftliche Transformation, für eine Ausbildung der nächsten, keineswegs letzten, Generation zu einer, die sich an die Folgen

der Klimakrise anpasst und an ihrer Lösung arbeiten kann.

3. Physikunterricht zwischen Gesellschaft und Naturwissenschaft

Wenn Unterricht nun also sowohl die fachlichen als auch affektiven Voraussetzungen der Lernenden berücksichtigen will, ist es hilfreich, sich erst einmal bewusst zu machen, welche Fehler Physikunterricht nicht machen will.

Die erste wichtige Erkenntnis ist, dass nur das Wissen um das Problem Klimawandel, und seine Folgen, nicht genügt.

Das Lehren des (Fach)Wissens ist zwar notwendig, aber noch nicht hinreichend um Individuen und mit ihnen Gruppen, zum Handeln zu aktivieren.

Das problematische information deficit model geht davon aus, dass nur Informationen und Erklärungen ausreichend sind, um Menschen zum Handeln zu bewegen. Dieser Zusammenhang wird in der Literatur aber grundsätzlich in Frage gestellt. (Moser & Dilling, 2012; Roczen et al., 2013; Tasquier & Pongiglione, 2017)

Eine solide Fachwissensgrundlage sollte Individuen aber in der Tat weniger anfällig für Fakenews, Desinformation oder, wie sie im bayerischen Lehrplan bezeichnet werden, „alternative Erklärungsansätze“ machen. (ISB, 2022)

Die Behandlung des Themas Desinformation erfordert dennoch gewisse Vorüberlegungen, denn das Aufgreifen und Widerlegen einer Falschinformation kann dazu führen, dass sich die Falschinformation verfestigt (Bumerang Effekt) (Lewandowsky et al., 2020), oder das selbst eine widerlegte Falschinformation noch weiter Einfluss auf Entscheidungen hat (Effekt des anhaltenden Einflusses). (Johnson & Seifert, 1994) Die Konsequenz sollte aber NICHT sein, nicht mehr zu widerlegen.

Soll die Wahrheit, die häufiger vor allem eine differenzierte und vielschichtige Betrachtung der Situation ist, kognitiv gesichert werden, bietet sich ein Vierschritt an (siehe Abb.2):

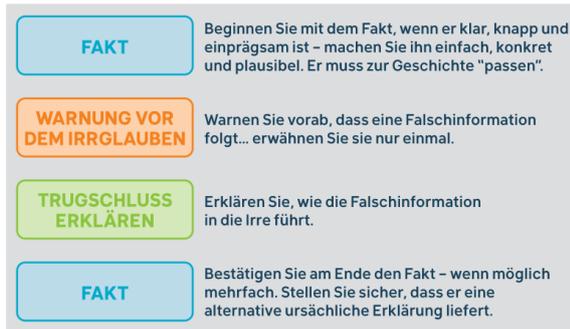


Abb. 2: Vierschritt zum Widerlegen (Lewandowsky et al., 2020)

Die anthropogene Verursachung des Klimawandels ist gesellschaftlich zu 75% anerkannt. (Umweltbundesamt, 2021) Gesellschaftlich ist die Science-Action-Gap ein viel größeres Problem. (Chiari et al., 2016; Moser & Dilling, 2012) Zwar sind die Folgen des aktuellen Handelns bekannt, aber die Gesellschaft zieht keine Konsequenzen.

Der bisherige Unterricht, der gewissermaßen die ausführlichste und institutionalisierte Form der Wissenschaftskommunikation ist, scheitert hier an der Vermittlung der Konsequenzen.

Trotz des in der Bevölkerung anerkannten Sachverhalts reichen die individuellen und politischen Entscheidungen aber bei weitem nicht aus, um die demokratisch selbst gesetzten Ziele des Paris 1.5°C Ziels zu erreichen. (Scientists for Future, 2019)

4. Ein Exkurs in umweltpsychologische Modelle zum Handeln

Um die Science-Action Gap zu verstehen, ist ein Exkurs in die Umweltpsychologie nötig.

Die Ursachen für fehlendes Handeln im Sinne einer Erhaltung der stabilen klimatischen Lebensgrundlagen sind vielschichtig und individuell verschieden. Sie reichen vom Gefühl fehlender Selbstwirksamkeit, bis hin zu Fatalismus oder Ohnmacht im Angesicht der dramatischen wissenschaftlichen Prognosen. Menschen verbleiben, fast schon apathisch, in Gewohnheiten, deren Konsequenzen sie sich zwar auf einer tieferen Ebene mehr oder weniger bewusst sind, aber die in der lebenssituationsgegebenen Realität tatsächlich oder vermeintlich nicht zu ändern sind.

Handeln hat sowohl eine individuelle als auch eine gesellschaftlich bzw. politische Komponente. Ein beträchtlicher Anteil der individuellen Emissionen entsteht aus Entscheidungen, die sich als Gewohnheiten im Leben in Wohlstand etabliert haben, und über deren energetische bzw. Ressourcen bezogene Ineffizienz nicht mehr reflektiert wird: regelmäßiger Fleischkonsum, Mobilität mit Auto und Flugzeug, Wegwerfökonomie.

Auch gesellschaftlich ist man in gewohnten, stabil geglaubten Strukturen (Kohleverstromung, Erdgas zur Wärmeversorgung) verblieben, obwohl deren

Widerspruch zu den eigenen CO₂ Reduktionszielen wissenschaftlich klar war. (Scientists for Future, 2019)

Der Physikunterricht muss nicht allein die Lösungen für eine solche gesellschaftliche Großtransformation entwickeln. Das Ziel kann aber die in Systemen denkende Bewertung von Optionen und Lösungsansätzen, hinsichtlich sozialer, ökonomischer und ökologischer Bewertungskriterien sein. (Bormann & Haan, 2008)

Solche Lösungsansätze sind dabei nicht als abstrakt oder entfernt zu verstehen: Sie gelten genauso im Kleinen: In der Berufswahl, oder in der Auseinandersetzung mit dem Thema mit den eigenen Peers.

4.1 Wissensarten nach Frick et al. (2004)

Welche psychologischen Modelle geben also Aufschluss über das umweltbezogene Verhalten? Wie passen diese Modelle zum Physikunterricht?

Zum Einstieg werden die Modelle hinsichtlich der Ansatzpunkte für Fachwissen erkundet. Der nächste Abschnitt widmet sich dann der affektiven Perspektive.

Die Vermittlung von Fachwissen ist eine der Kernaufgaben des Physikunterrichts. Eine reine Informationsvermittlung zur Handlungsaktivierung reicht nicht aus. (Problematik des information deficit model (Moser & Dilling, 2012; Tasquier & Pongiglione, 2017))

Einen ersten Hinweis auf eine Weiterentwicklung gibt die Aufteilung in drei Wissensarten (siehe Abb. 3):

Systemwissen, Handlungswissen und Effektivitätswissen (Frick et al., 2004; Roczen et al., 2013)

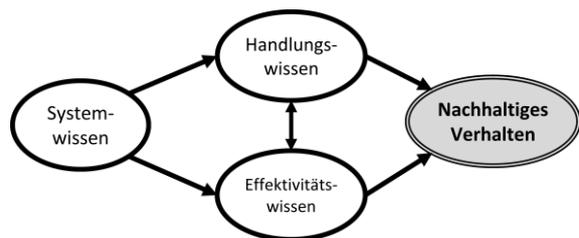


Abb. 3: Knowledge Structure Model nach Frick et al. (2004)

Unter Systemwissen versteht die Autorin dabei Fragen über die (Wechsel)Wirkungen im System, beispielsweise wie CO₂ das Klimasystem beeinflusst. Handlungswissen betrifft die Handlungsoptionen: Was kann man tun, um den Energiebedarf beim Heizen zu verringern? Effektivitätswissen bewertet dann die verschiedenen Optionen anhand ihrer Effizienz: Welchen energetischen Unterschied macht eine um 3°C geringere Raumtemperatur?

Das Systemwissen liefert die Grundlage für die anderen beiden Wissensarten. Erst Handlungs- und

Effektivitätswissen wirken sich in diesem Modell dann direkt auf das Verhalten aus.

Welche weiteren psychologischen Konstrukte gibt es, die Handeln bestimmen? Wie beeinflusst Wissen diese affektiven Persönlichkeitsmerkmale?

4.2 Modell von Bamberg und Möser (2007)

Das erste vorgestellte Modell von Bamberg und Möser (2007) versucht anhand der Literatur verschiedene Variablen zu identifizieren die umweltpositives Verhalten bestimmen. Aus zwei etablierten psychologischen Verhaltensmodellen synthetisieren die Autoren ein Modell und überprüfen in einer Metaanalyse die vermuteten Korrelationen. Grundlage der Synthese sind das Norm Activation Model (NAM) von Schwartz (1977), das Verhalten als pro-sozial motiviert betrachtet, sowie die Theory of planned behaviour (TPB) von Ajzen (1991) die einen rationalen, am Eigeninteresse geleiteten Blick auf Verhalten annimmt.

Zusammen ergeben die beiden Modelle ein Abbild des Menschen als soziales Wesen, mit eigenen Interessen. (Zusammengefasst nach Bamberg und Möser (2007))

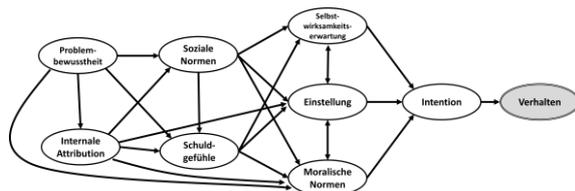


Abb. 4: Modell nach Bamberg und Möser (2007) (eigene Darst.)

Die beiden Modelle und ihre Verbindung zum Wissen werden etwas genauer vorgestellt:

Das Norm Activation Model (NAM) versteht Normen als direkte Determinanten von pro-sozialem Verhalten. Normen bilden und aktivieren sich dabei als Wechselspiel aus kognitiven, emotionalen und sozialen Faktoren. Hier wird das vermittelte (Fach)Wissen relevant:

“Awareness of and knowledge about environmental problems are probably important cognitive preconditions for developing moral norms.” (Bamberg, 2013)

Nach der Theory of Planned Behaviour (Ajzen) wird eine Haltung zu einer Verhaltensoption durch einen Abwägungsprozess zwischen wahrgenommenen positiven und negativen Verhaltenskonsequenzen gebildet. Aus dieser Haltung entsteht anschließend erst nur eine Verhaltensintention.

Neben der Haltung (Attitude) werden solche Verhaltensintentionen noch von der Selbstwirksamkeits-

erwartung (perceived behavioural control, PBC) und Sozialen Normen bestimmt.

Soziale Normen spielen bei der Bewertung der Verhaltenskosten auch in diesem Modell eine wichtige Rolle: Menschen wollen soziale Ablehnung vermeiden und verhalten sich wie sozial erwartet.

Zu tatsächlichem Verhalten kommt es erst, wenn eine Verhaltensintention sich - in Abhängigkeit von situationalen Bedingungen – realisiert bzw. sich realisieren lässt.

Für die weitere Argumentation hinsichtlich Unterrichtens dient nun das synthetisierte Modell von Bamberg & Möser, 2007. (siehe Abb. 4)

Die Autoren fassen Selbstwirksamkeitserwartung (PBC), Haltung (Attitude) und Moralische Normen (Moral Norm) als die direkten Determinanten von Verhaltensintentionen auf. (siehe Abb. 5)

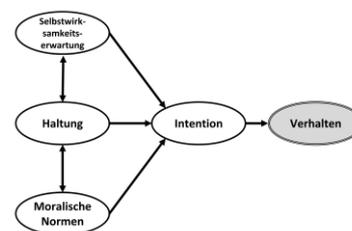


Abb. 5: Determinanten von Verhaltensintentionen nach Bamberg und Möser (2007)

Für den Fachunterricht wichtig ist die Erkenntnis der Bedeutung der Problem Awareness:

“Awareness/knowledge is not only associated with the internal attribution of responsibility, social norms, and feelings of guilt, but also directly influences the degree of PBC over as well as the attitude toward choosing a pro-environmental behaviour.” (Bamberg, 2013)

Wissen ist also nötig und auch einflussreich und wirkt sich über andere Konstrukte auf das Handeln aus.

Einschränkend muss man sich zum Modell von Bamberg bewusst machen, dass die Effektgrößen von der Validität des postulierten Modells abhängen, sich also bei einer anderen Theoriebasierung ändern würden.

In Geiger et al. (2019) wird weiterhin kritisiert, dass bei Bamberg unter Problem Awareness eine problematische Zusammenfassung von subjektiven Einschätzungen (im Sinne einer selbsteingeschätzten Bewusstheit) und objektivem Wissen erfolgt. Diese Typen des Wissens sind aber zu unterscheiden (siehe Abb. 6), wie eine Studie (Passafaro et al., 2016) über wahrgenommene und tatsächliche Fähigkeiten zum Recycling zeigt:

“perceived skills are indicative of if people are likely to act at all (motivation), and actual skills relate to how well they will perform (accuracy).” (Geiger et al., 2019)

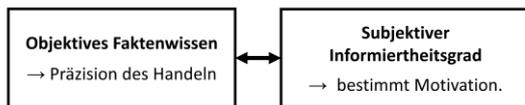


Abb. 6: Wissen und Bewusstheit nach Initiative Psychologie im Umweltschutz (2020)

Bevor die affektiven Ansatzpunkte für Unterricht thematisiert werden, wird noch ein weiteres Modell vorgestellt und in Zusammenhang mit dem Fachwissen gebracht.

4.3 Integrative Einflusschema umweltgerechten Alltagshandelns von Matthies (2005)

Dieses Modell (siehe Abb. 7) bringt einige weitere für den Unterricht beachtenswerte Perspektiven ein:

1. Vor dem Verhalten (Aktion) stehen mehrere Prozessphasen, die Individuen durchlaufen und an denen Unterricht jeweils ansetzen kann.
2. Gewohnheiten beeinflussen alle Phasen des Prozesses und sind somit eine wirkmächtige Komponente.

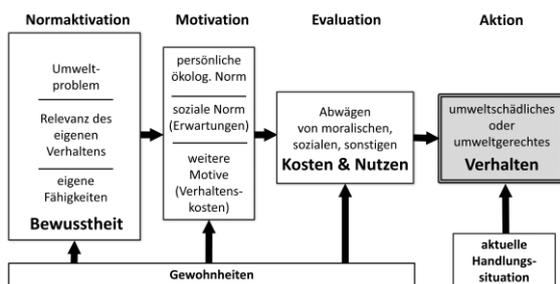


Abb. 7: Abwandlung des Integrative Einflusschema umweltgerechten Alltagshandelns nach Matthies (2005) (eigene Darst.)

Fachwissen setzt in Matthies Modell vor allem an der ersten Phase der Normaktivierung an. Kernziel ist es Bewusstheit zu schaffen. Das Wissen über das Umweltproblem, der Zusammenhang des eigenen Verhaltens mit dem Problem aufzuzeigen, und die eigenen Fähigkeiten zu einer Lösung sind alles Wissens-ebenen, die sich ähnlich auch in der Aufteilung der Wissensarten (Frick et al., 2004; Roczen et al., 2013) finden.

Das Modell von Matthies fasst nur vorhandene Modelle zusammen, wurde, nach Kenntnis des Autors, aber bisher nicht empirisch validiert.

5. „Didaktisierung“ der Erkenntnisse der Umweltpsychologie

Aus der umweltpsychologischen Theorie lässt sich für den Physikunterricht also schließen:

Die Vermittlung von Fachwissen ist durchaus ein wichtiger Hebel, um das Umweltverhalten zu beeinflussen. Der Unterricht adressiert dabei sowohl die wahrgenommenen als auch die tatsächlichen Fähigkeiten. Er sollte sich also sowohl auf Handlungsmotivation als auch auf die Präzision (Passafaro et al., 2016), also eine Effektivität des Handelns, auswirken.

Fachwissen ist das Fundament, auf dem weiterer Unterricht zu Handlungskompetenz aufbauen kann.

Welches pädagogisch-didaktische Gebäude auf dieses Fundament aufgebaut werden soll, um tatsächlich vom Wissen zum Handeln zu kommen, wird nun im letzten Teil analysiert.

Laut Bamberg und Möser (2007) beeinflussen Bewusstheit bzw. Wissen die folgenden Konstrukte: Internale Attribution, soziale Normen, Schuld und damit Moralische Normen sowie die Selbstwirksamkeitserwartung.

Der Einfluss von Wissen auf Schuld und Moralische Normen ist besonders groß.

Es ist ratsam diese Konstrukte, die den Zwischenschritt zum Handeln gehen, im Unterricht direkt mitzudenken:

Wird der anthropogene Treibhauseffekt unterrichtet, kann daran unmittelbar die Internale Attribution bzw. Relevanz des eigenen Verhaltens bei Matthies (2005) mit thematisiert werden. Es bietet sich an, direkt die Einflüsse des eigenen Verhaltens auf die Treibhausgasemissionen und damit der Klimaerwärmung aufzuzeigen.

An der Schuld und der moralischen Norm kann ein Blick auf ganze Erdsystem ansetzen. Das menschliche Handeln bewirkt eine globale Störung von seit tausenden Jahren stabilen Gleichgewichtszuständen. Die Thematik der Kippunkte behandelt genau diese Perspektive. Es ist für zukünftige Generationen praktisch unmöglich, etliche dieser Effekte (Abtauen der Eisschilde, Freiwerden von Methan aus dem Permafrost) umzukehren. (Scientists for Future, 2019)

Bei der Beschreibung der Folgen liegt aber auch eine pädagogische Herausforderung. Der Prozess und die Folgen der Klimakrise sind in ihrem vollen Umfang schier unfassbar und beängstigend. Angst wirkt aber NICHT als Motivator:

“Fear appeals or images of overwhelmingly big problems without effective ways to counter them frequently result in denial, numbing, and apathy, i.e. reactions that control the unpleasant experience of fear rather than the actual threat.” (Moser & Dilling, 2012)

Herrers Anspruch ist die Dramatik der Folgen ehrlich zu beschreiben, ohne dabei eine „apocalypse fatigue“ (Moser & Dilling, 2012) auszulösen. Um Schuld und Angst aufzufangen, ist ein Ansatz, immer konstruktiv Auswege und mögliche Lösungsansätze aufzeigen.

Gerade bei schon engagierten SuS muss eine weitere negative Emotion berücksichtigt und adressiert werden: Frustration über die Langsamkeit der gesellschaftlichen Maßnahmen. Die SuS erleben das eigene Engagement als wenig wirksam, und verzweifeln angesichts der prognostizierten dramatischen Folgen der resultierenden Erwärmung.

Dieses Dilemma wird man kaum ganz auflösen, denn in der Wissenschaft herrscht Einigkeit, dass die bisher getroffenen Maßnahmen für das 1.5°C Ziel nicht genügen. (Scientists for Future, 2019) Ein Ansatz kann es sein, über in Gruppen erfahrene Selbstwirksamkeitserfahrungen Mut zu schöpfen, und die Wirksamkeit des Engagements zu erhöhen. (Scorza et al., 2021)

Um der Gewohnheit, auch an wissenschaftlich ungenügenden Veränderungen oder Maßnahmen entgegenzutreten, ist eine Option im Unterricht auf der Metaebene die Stabilität von Gewohnheiten im psychologischen Sinne zu thematisieren. Ein Ansatz kann auch ein - von physikalischer Ehrlichkeit geleitetes - Utopiedenken sein: Welche Lösungswege, die sich mit aktueller Technik realisieren lassen, bieten sich an? Unerforschte Technik darf dabei aber nicht zum zukünftigen Heilsbringer oder zur Wunderlösung verklärt werden. Ohne Effizienzsteigerungen und auch Verzicht sind die in Deutschland verfügbaren erneuerbaren Energien nicht ausreichend, um den aktuellen Primärenergiebedarf zu decken. (Holler & Gaukel, 2018)

Neben den engagierten SuS gibt es aber auch Menschen, die die Konsequenzen beiseiteschieben wollen. (Kuthe, 2019) Eine solche Reaktanz (also ein Abblocken) lässt sich dadurch kontern, dass mittels des Handlungs- und Effektivitätswissens (siehe Abb. 3) sofort die Lösungsmöglichkeiten und die Selbstwirksamkeit gesteigert wird. In diesen Situationen sind auch Soziale Normen ein wirkmächtiger Einfluss, den die eigene Klasse ausüben kann. Die Moderation solcher Dynamiken und das ehrliche Anerkennen individueller Interessen (bzw. Emissionsgründe) ist aber von essenzieller Wichtigkeit - im Klassenkontext, wie auch im echten Leben.

Soziale Normen entstehen im gemeinsamen Aushandlungsprozess, der keine Spaltung hervorrufen darf.

Zur Adressierung der Selbstwirksamkeit gibt es zwei Ebenen von Handlungsoptionen: Die Ebene des Individuums und die der Gesellschaft. In diesem Kontext bieten sich hinsichtlich der Effizienz die Konzepte Persönlicher Fußabdruck (Umweltbundesamt et al.,

2022) und Handabdruck (Centre for environmental education, 2022; Klimafakten, 2022) an. (ein Beispiel, das diese beiden Ebenen adressiert in Abb. 8)

Ersterer beschreibt die persönlichen Emissionen, die sich aus den Komponenten des eigenen Lebensstils ergeben. Der Handabdruck nimmt die eigene Wirksamkeit auf Andere, auf externe Einsparprozesse in den Blick.

Beide Ebenen müssen aktiv werden, um zu einer dekarbonisierten Lebensweise zu kommen.

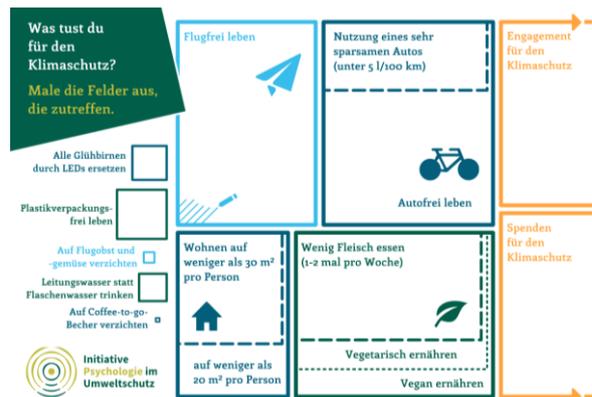


Abb. 8: Die Postkarte "Was tust du für den Klimaschutz?" (Initiative Psychologie im Umweltschutz, 2022)

In Matthies Modell lässt sich jede Phase als Ansatzpunkte für einen handlungsorientierten Unterricht be-greifen.

In den Phase der Normaktivierung und der daraus folgenden Motivation kann Unterricht die Aktivierung der Normen durch die Fachinhalte fundieren: Die oben thematisierten Wissensarten nach Frick et al. (2004) machen auf das Problem mit seinen Folgen aufmerksam (Systemwissen) und weisen auf das Individuum als Mitverursacher der Emissionen hin. Handlungs- und Effektivitätswissen thematisieren dann die Relevanz des eigenen Handelns, sowie die Bewusstheit der eigenen Fähigkeiten.

Motivation kann auch aus dem Eigeninteresse gezogen werden. Denn durch externalisierte Kosten und zeitverzögerte Prozesse, die vielen SuS von Unterricht erst bewusst gemacht werden müssen, hat das aktuelle gesellschaftliche Handeln negative Konsequenzen bzw. Kosten, die die SuS erst in ihrer Zukunft erleben werden.

Die Evaluationsphase schafft einen Rahmen für eine Auseinandersetzung mit Transformationsprozessen: Exemplarische und differenzierte Abwägungsent-scheidungen zu Beispielen des eigenen und gesellschaftlichen Verhaltens zeigen die Komplexität und Diversität der beteiligten Interessen auf. Es stellen sich dabei auch grundlegende Fragen nach der Bewertungsgrundlage: Realistisches Ziel kann nicht ein asketisches Leben ohne jegliche Emissionen sein,

sondern eher ein Gesellschaftsmodell, das Glück bei Minimierung der Emissionen anzustreben versucht.

Nach der Evaluation bildet sich in der Aktionsphase wieder eine Intention, die dann aber an der aktuellen Handlungssituation scheitern kann: Hier kommt der Unterricht an der Stelle an, wo Ziele oder Ansprüche an ein neues System formuliert werden, das dem erklärten Anspruch des 1,5°C Paris Ziel entspricht. Die wissenschaftliche Eindeutigkeit des Problems (Scientists for Future, 2019) erweist sich hier nochmal als schlagkräftiges Argument.

„Die Klimakrise ist nicht ein weiteres Problem auf der Bühne. Sie bedroht die ganze Bühne.“ (Dohm & Schurmann, 2021)



Abb. 9: (Deutsches Klimakonsortium, 2021) nach Anthony Leiserowitz

6. Ein neues Paradigma für den Physikunterricht?

Einem Physikunterricht, der weiterhin den Anspruch erfüllen will, die Welt zu erklären, und mündige Bürger:innen auszubilden muss ein neues Paradigma zugrunde liegen:

Um vom Wissen zum Handeln zu kommen, muss sich Unterricht als Ansatz zur Lösung verstehen. Das erfordert systemdenkendes Fachwissen, aber genauso eine Diskussion und Bewertung der individuellen und gesellschaftlichen Handlungsoptionen.

Anhand der im Artikel beschriebenen theoretischen Grundlagen wird aktuell vom Autor ein zweitägiges



LABS 4 FUTURE

Abb. 10: Logo Labs4Future Schülerlabor

Schülerlabor Labs4Future für SuS der 9. Klasse entwickelt.

Dabei wird versucht, die hier gestellten Ansprüche und Ziele sowohl in Grundkonzeption als auch in den konkreten Stationen bzw. Lernaktivitäten umzusetzen.

Das Schülerlabor wird mit einem mixed-methods Ansatz beforscht. In einer quantitativen Studie im Pre-Post-Follow-Up Design sollen die durch Labs4Future gewonnene Fachwissenszunahme (Wackermann et al., 2021) und die Veränderung der Umwelthaltung (Baierl et al., 2022) untersucht werden. Weiterhin wird in leitfadengestützten Interviews (Mayring, 2008) mit anhand der Daten ausgewählten SuS, der Versuch unternommen, die didaktischen Ideen zu validieren. Ziel ist die Entwicklung einer Handreichung, die die Konstrukte der Umweltpsychologie anhand von Planungstipps und Materialien für den Unterricht umsetzt.

Die gesellschaftliche Transformation wird ohne klimakompetente Schülerinnen und Schüler nicht gelingen. Widmen wir uns also dieser Aufgabe!

7. Literatur

- Ajzen, I. (1991). The theory of planned behavior. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 50(2), 179–211. [https://doi.org/10.1016/0749-5978\(91\)90020-T](https://doi.org/10.1016/0749-5978(91)90020-T)
- Baierl, T.-M., Kaiser, F. G. & Bogner, F. X. (2022). The supportive role of environmental attitude for learning about environmental issues. *Journal of Environmental Psychology*, 81, 101799. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2022.101799>
- Bamberg, S. (2013). Changing environmentally harmful behaviors: A stage model of self-regulated behavioral change. *Journal of Environmental Psychology*, 34, 151–159. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2013.01.002>
- Bamberg, S. & Möser, G. (2007). Twenty years after Hines, Hungerford, and Tomera: A new meta-analysis of psycho-social determinants of pro-environmental behaviour. *Journal of Environmental Psychology*, 27(1), 14–25. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2006.12.002>
- Bormann, I. & Haan, G. de. (2008). *Kompetenzen der Bildung für nachhaltige Entwicklung: Operationalisierung, Messung, Rahmenbedingungen, Befunde* (1. Aufl.). VS Verlag für Sozialwissenschaften.

- Centre for environmental education. (2022). *Handprint : Positive Actions Towards Sustainability*. https://www.handprint.in/the_handprint_idea
- Chiari, S., Völler, S. & Mandl, S. (2016). Wie lassen sich Jugendliche für Klimathemen begeistern? Chancen und Hürden in der Klimakommunikation. *GW-Unterricht, 1*, 5–18. <https://doi.org/10.1553/gw-unterricht141s5>
- Deutsches Klimakonsortium. (September 2021). *Die Deutsche Klimaforschung Informiert: Kompaktinformation aus der Klimaforschung*. https://www.deutsches-klima-konsortium.de/fileadmin/user_upload/pdfs/Publikationen_DKK/Deutsche_Klimaforschung_informiert_zum_Klimawandel.pdf
- Dohm, L. & Schurmann, S. (2021). *Die Klimakrise ist nicht ein weiteres Problem auf der Bühne. Sie bedroht die ganze Bühne*. <https://uebermedien.de/62847/die-klimakrise-ist-nicht-ein-weiteres-problem-auf-der-buehne-es-bedroht-die-ganze-buehne/>
- UN environment programme. (2022). *The Montreal Protocol*. <https://www.unep.org/ozonaction/who-we-are/about-montreal-protocol>
- FAZ/dpa. (2022). *G7 mit „konkreten Vereinbarungen“ zum Kohleausstieg*. FAZ. <https://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/g7-mit-konkreten-vereinbarungen-zum-kohleausstieg-laut-steffi-lemke-18062013.html>
- Frick, J., Kaiser, F. G. & Wilson, M. (2004). Environmental knowledge and conservation behavior: exploring prevalence and structure in a representative sample. *Personality and Individual Differences, 37*(8), 1597–1613. <https://doi.org/10.1016/j.paid.2004.02.015>
- Geiger, S. M., Geiger, M. & Wilhelm, O. (2019). Environment-Specific vs. General Knowledge and Their Role in Pro-environmental Behavior. *Frontiers in psychology, 10*, 718. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.00718>
- Holler, C. P. a. & Gaukel, J. P. a. (2018). *Erneuerbare Energien: Ohne Heiße Luft / Christian Holler, Joachim Gaukel*.
- Initiative Psychologie im Umweltschutz. (2020). *Psychologie des sozial-ökologischen Wandels*. <https://www.va-bne.de/index.php/en/veranstaltungen/312-psychologie-des-sozial-oekologischen-wandels>
- Initiative Psychologie im Umweltschutz. (2022). *Die Postkarte "Was tust du für den Klimaschutz?"*. <https://ipu-ev.de/postkarte/>
- IPCC (2019). *Global Warming of 1.5°C.: An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*.
- IPCC. (2022). *Climate Change 2022 Mitigation of Climate Change: Summary for Policymakers*.
- ISB. (2022). *Lehrplan Gymnasium – Physik – 9.Klasse*. RL: <https://www.lehrplan-plus.bayern.de/fachlehrplan/gymnasium/9/physik>
- Johnson, H. M. & Seifert, C. M. (1994). Sources of the continued influence effect: When misinformation in memory affects later inferences. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 20*(6), 1420–1436. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.20.6.1420>
- Klimafakten. (2022). *"Handabdruck" statt "Fußabdruck" - ein Konzept für mehr Optimismus im Klimaschutz?* klimafakten.de. <https://www.klimafakten.de/meldung/handabdruck-statt-fussabdruck-ein-konzept-fuer-mehr-optimismus-im-klimaschutz>
- Kuthe, A. (2019). How many young generations are there? - A typology of teenagers' climate change awareness in Germany and Austria.
- Lewandowsky, S., Cook, J. & Lombardi, D. (2020). *Debunking Handbook 2020*. <https://doi.org/10.17910/b7.1182>
- Matthies, E. (2005). Wie können PsychologInnen ihr Wissen besser an die PraktikerIn bringen? Vorschlag eines neuen integratives Einflusschemas umweltbewussten Alltagshandelns. *Umweltpsychologie, 9*(1), 62–81.
- Mayring, P. (Hrsg.). (2008). *Pädagogik. Die Praxis der qualitativen Inhaltsanalyse* (2. Aufl.). Beltz.
- Moser, S. C. & Dilling, L. (2012). *Communicating Climate Change: Closing the Science-Action Gap*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199566600.003.0011>
- Müller, F. (2022). *Graphik Planetare Grenzen: Planetare Belastungsgrenzen 2022*. Wikimedia. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Planetare_Belastungsgrenzen_2022.png <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>

- Passafaro, P., Bacciu, A., Caggianelli, I., Castaldi, V., Fucci, E., Ritondale, D. & Trabalzini, E. (2016). Measuring individual skills in household waste recycling: Implications for citizens' education and communication in six urban contexts. *Applied Environmental Education & Communication*, 15(3), 234–246.
<https://doi.org/10.1080/1533015X.2016.1181016>
- Reid, W. V., Chen, D., Goldfarb, L., Hackmann, H., Lee, Y. T., Mokhele, K., Ostrom, E., Raivio, K., Rockström, J [J.], Schellnhuber, H. J. & Whyte, A. (2010). Environment and development. Earth system science for global sustainability: grand challenges. *Science (New York, N.Y.)*, 330(6006), 916–917.
<https://doi.org/10.1126/science.1196263>
- Roczen, N., Kaiser, F., Bogner, F. & Wilson, M. (2013). *A competence model for environmental education*.
- Schwartz, S. H. (1977). Normative Influences on Altruism. In *Advances in Experimental Social Psychology*. *Advances in Experimental Social Psychology Volume 10* (Bd. 10, S. 221–279). Elsevier.
[https://doi.org/10.1016/S0065-2601\(08\)60358-5](https://doi.org/10.1016/S0065-2601(08)60358-5)
- Scientists for Future (2019). The concerns of the young protesters are justified: A statement by Scientist for Future concerning the protests for more climate protection.
- Scorza, D. C., Lesch, P. H., Strähle, M. & Sörgel, D. (2021). *Handbuch Klimakoffer: Der Klimawandel: verstehen und handeln: Ein Bildungsprogramm für Schulen der Fakultät für Physik der LMU München*. Mit Experimenten im Klimakoffer.
- Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J [Johan], Cornell, S. E., Fetzer, I., Bennett, E. M., Biggs, R., Carpenter, S. R., Vries, W. de, Wit, C. A. de, Folke, C., Gerten, D., Heinke, J., Mace, G. M., Persson, L. M., Ramanathan, V., Reyers, B. & Sörlin, S. (2015). Sustainability. Planetary boundaries: guiding human development on a changing planet. *Science (New York, N.Y.)*, 347(6223), 1259855.
<https://doi.org/10.1126/science.1259855>
- Stoevesandt, B. (2019). *Science for Future*. 36C3.
https://media.ccc.de/v/36c3-10991-science_for_future
- Tasquier, G. & Pongiglione, F. (2017). The influence of causal knowledge on the willingness to change attitude towards climate change: results from an empirical study. *International Journal of Science Education*, 39(13), 1846–1868.
<https://doi.org/10.1080/09500693.2017.1355078>
- Umweltbundesamt. (2021). *Repräsentativumfrage zum Umweltbewusstsein und Umweltverhalten im Jahr 2020: Klimaschutz und sozial-ökologische Transformation*.
- Umweltbundesamt, Klimaktiv & ifeu. (2022). *CO₂ Fußabdruck Rechner*. https://uba.co2-rechner.de/de_DE/
- United Nations. (2022). *The Paris Agreement*. <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>
- Wackermann, R., Schubatzky, T., Wöhlke, C., Haagen-Schützenhöfer, C., Lindemann, H. & Cardinal. Kai. (2021). *Ergebnisse der Item-Entwicklung für einen Klimawandel-Konzepttest. GDCP Tagungsband*.
- Watzlawick, P., Beavin, J. & Jackson, D. (1969). *Menschliche Kommunikation*. Huber.

Mädchenförderung in der Physik

Christiane Richter, Michael Komorek

Didaktik der Physik und Wissenschaftskommunikation, Carl v. Ossietzky Universität Oldenburg,
christiane.richter@uni-oldenburg.de, michael.komorek@uni-oldenburg.de

Kurzfassung

Der Frauenanteil am Institut für Physik an der Universität Oldenburg (UOL) liegt durchschnittlich bei 25%. Um diesen Anteil auf allen Qualifikationsebenen zu erhöhen, wurden zwei markante Stellen identifiziert, an denen Maßnahmen ansetzen sollen. Zuerst soll es bereits in der Schule gelingen, mehr Schülerinnen für das Fach Physik zu begeistern. Cimpian et al. (2020) bringen dabei den Aspekt, vor allem die durchschnittlich Begabten in den Blick zu nehmen, denn bei ihnen ist das Defizit jener am größten, die sich von Physik abwenden und sich nicht zutrauen, aufgrund eines niedrigem Fähigkeitsselbstkonzept ein MINT-Studium aufzunehmen. Die Universität Oldenburg hat einen Maßnahmenkatalog entwickelt, der am Fähigkeitsselbstkonzept von Mädchen hinsichtlich der MINT-Disziplinen ansetzt, dieses zu unterstützen sucht und für Physik begeistern möchte. In einem dieser Maßnahmen werden Mädchen in einem Dreischritt aus individueller Vorbesprechung eines Experimentiertages, dem Experimentiertag an einem außerschulischen Lernort und der individuellen Nachbesprechung mit Beratung zum Weiterlernen längerfristig unterstützt. Begleitet durch zwei Bachelor-Arbeiten wurde diese Maßnahme in Kooperation mit dem Projekt AHOI_MINT im WiSe 21/22 erprobt und evaluiert.

1. Frauen am IfP in Oldenburg - Blick auf die Zahlen

Der Anteil an weiblichen Studierenden liegt in den Physikstudiengängen der Universität Oldenburg durchschnittlich bei rund 25%. Da Frauen ihr Studium eher abschließen als Männer, steigt der Prozentsatz an weiblichen Absolventinnen auf bis zu 35% an. Werden die höheren Qualifikationsebenen betrachtet, so ist ein stetiger Abfall der Zahlen an weiblichen Beteiligten zu erkennen (vgl. Abb. 1).

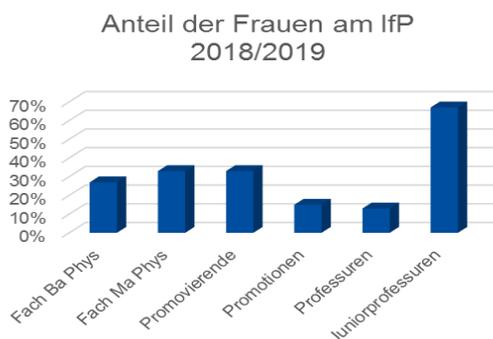


Abb. 1: Anteil Frauen über alle Qualifikationsstufen

Der Anteil an weiblichen Physik-Studierenden ist in Oldenburg damit zwar etwas höher als im Bundesdurchschnitt, was durch einen hohen Anteil an weiblichen Studierenden im Zwei-Fach-Bachelor und Master of Education begründet ist. Trotzdem besteht Handlungsbedarf, den Frauenanteil zu erhöhen.

An zwei markante Stellen muss daher angesetzt werden. Zum einen sollen Mädchen schon in der Früherziehung und in der Schule für Physik begeistert wer-

den. Hier gilt es, einen besonderen Fokus auf die normalbegabten Mädchen zu richten (Cimpian, Kim & McDermott 2020). Zum anderen sollen Frauen nach der Promotion unterstützt werden, um in der Wissenschaft zu bleiben.

2. Was hindert Mädchen, Physik zu studieren?

Warum wählen Mädchen so selten Physik als Studienfach? Nach Stadler (2004, S.36) führen bestimmte Formen der Sozialisation von Mädchen in der Gesellschaft zu diesem Effekt.

2.1 Selbstbild

Die Gesellschaft lebt den Mädchen vor, dass sie im technischen und mathematischen Bereich weniger talentiert sind. Ihr Lebenskonzept entspricht weitestgehend den von der Gesellschaft an sie gerichteten Erwartungshaltungen (Stadler, 2004) Die weitere Orientierung durch Elternhaus und Peer-Groups verstärkt dieses Selbstkonzept.

2.2 Rollenbilder

Physik oder auch Technik assoziiert die Gesellschaft vor allem mit Männern. Häufig werden Wissenschaftler(:innen) als (bärtige) Männer in weißen Kitteln dargestellt, Wissenschaft wird als männlich konnotierte Aktivität wahrgenommen (Koballa, 1995). Diese Art der Darstellung in den Medien nimmt eine zentrale Rolle ein (Koballa 1995; Stadler 2004). Mädchen fehlen dadurch weibliche Vorbilder und Jugendliche entwickeln stereotype Vorstellungen (Jörissen 2010; Baker & Leary 1995). Mädchen, die eine wissenschaftliche Laufbahn in Physik anstreben, haben häufig (weibliche) Verwandte, die diesen Beruf bereits ausüben (ebd.).

2.3 Work-Life-Balance

Mädchen klammern Physik und Technik schon früh als Berufswunsch aus (Häußler & Hoffman 1995)! Diese Berufswahl bringt keinen Prestigegewinn, sondern führt eher in ein Außenseitertum und wird mit einem Mangel an Weiblichkeit gleichgesetzt. Die dadurch verursachte Einsamkeit von Frauen in typischen Männerberufen ist ein unterschätztes Problem (Tophoven, du Prel Peter & Kretschmer 2014; Baker 1998). Aber auch die höhere Einschätzung gesellschaftliche Ziele als zum Beispiel das Gehalt führt zu einer anderen Work-Life-Balance von Frauen (Diekman, Steinberg, Brown, Belanger & Clark, 2017).

2.4 Fähigkeitsselbstkonzept

Das Vertrauen in die eigene Leistungsfähigkeit im Fach Physik ist bei Mädchen eher gering. (Günther 2015) Baumert und Lehmann erkennen hier einen direkten Zusammenhang zwischen „Vertrauen in die eigene Leistungsfähigkeit“ und „Interesse“ (Baumert & Lehmann, 1997; Sax, Kanny, Riggers-Piehl, Whang & Paulson, 2015, Duchardt, Bossmann & Denz 2019).

Leslie, Cimpian, Meyer und Freeland kreierten 2015 den Begriff „Stereotyp der Brillanz“. Sie stellen die Hypothese auf, „dass Frauen über das gesamte akademische Spektrum hinweg in den Bereichen unterrepräsentiert sind, in denen die Praktiker glauben, dass natürliche, angeborene Talente die Hauptvoraussetzung für den Erfolg sind, weil Frauen stereotypisiert werden, dass sie solche Talente nicht besitzen.“ (Leslie, Cimpian, Meyer & Freeland, 2015; Napp & Breda, 2022). Besteht also die Überzeugung, dass Erfolg in bestimmten Fachgebieten nur durch angeborenes Talent oder Brillanz erzielt werden kann und das Talent bzw. die Brillanz nur Männer besitzen, hat das erheblichen Einfluss auf das Fähigkeitsselbstkonzept von Mädchen und Frauen. Hartnäckige Vorurteile verhindern eine Universitätskarriere, das Vorurteil, Mädchen seien weniger begabt als Jungen, ist verletzend.

Physikerinnen kommen aus diesem Grund häufig aus Familien mit hohem Bildungsniveau (Günther 2015). Grund könnte hier eine frühe Förderung innerhalb der Familie sein, da Mädchen hier ermutigt werden sich etwas zuzutrauen (ebd.).

2.5 Andere Karriereziele

Bedingt durch das so entwickelte Fähigkeitsselbstkonzept wählen Mädchen andere MINT-Kurse als Physik in der High School bzw. am Gymnasium als Jungen (Friedman-Sokuler & Justman, 2016) und haben aufgrund eines daraus resultierenden Vorteils, wie z.B. bessere Noten in anderen Fächern, andere berufliche Optionen (Breda & Napp, 2019). Dadurch ergeben sich zwangsläufig andere Karriereziele (Morgan, Gelbgiser & Weeden, 2013). Mädchen möchten ihre in der Schule erworbenen Kenntnisse für den zukünftigen Beruf nutzen können (Hoffman, Häußler, Lehrke 1998).

2.6 Interessen

Es ist nicht so, dass Mädchen kein Interesse an Physik hätten, Mädchen finden Physik wichtig, aber sie sehen in der Physik wenig bis keine Relevanz für sich und ihr eigenes Leben (Holstermann & Bögeholz 2007; Häußler & Hoffmann 1995). Das Interesse kann dadurch positiv beeinflusst werden, dass Mädchen versuchen, Physik im großen Kontext zu sehen und sie stark in alltägliche Phänomene einbetten (Stadler, 2004; Hoffman, Häußler, Lehrke 1998). Dies kann genutzt werden, um Mädchen für Physik zu begeistern.

3. Kann Mädchen der Zugang zur Physik erleichtert werden?

Brauchen Mädchen andere Zugänge zur Physik als Jungen? Die Förderung naturwissenschaftlicher Interessen durch Eltern (und Lehrkräften) ist deutlich vom Geschlecht abhängig (Körper-Stiftung acatech 2014). In der Schule gelten Jungen als interessierter und werden von den Lehrkräften häufiger aufgefordert zu sprechen. Häufig werden unterschiedliche Fragestellungen für Mädchen und Jungen formuliert (Günther 2015). Mädchen werden weniger wertgeschätzt (ebd.). Zusammengenommen bringen Mädchen weniger Vorwissen mit, auf das sie aufbauen können. An diesen Stellen kann angesetzt werden. (Angehende) Lehrkräfte müssen sensibilisiert werden, diesen Stereotypen entgegenzuwirken.

Das Bild der Physik als harte, maskuline Wissenschaft hat Frauen weitestgehend ausgeschlossen, wie Erlemann (2004) ausführt:

„Die Stilisierung der Physiker-Community als eine Gemeinschaft maskuliner, vernunftgeleiteter, sozial desinteressierter Helden des Geistes schließt Frauen, sofern sie sich nicht bewusst von jeglichen sozial erwarteten Geschlechterstereotypen distanziert haben, emotional aus. Dieser Schritt der emotionalen Initiation ist für Physikstudentinnen ungleich schwieriger, wenn nicht gar unmöglich. Dies ist denn auch einer der Faktoren, die es Frauen erschweren sich der Physik-Community zugehörig zu fühlen bzw. als Mitglied akzeptiert zu werden.“

Frauen fehlen die Komponenten der „Relationship“ und „Connectedness“ (Stadler 2014). Sie fühlen sich nicht zugehörig, sondern eher als Sidekick, der geduldig ertragen wird. In der Wissenschafts-Community hat sich in den letzten Jahren einiges getan, aber sie ist immer noch angesprochen, dieses Verhalten zu überdenken.

4. Mädchengerechtes Lernen als Form der Differenzierung

Die Schule ist der Ort, an dem Mädchen der Zugang zu Physik geebnet werden kann. Und damit spielen die Lehrkräfte eine herausragende Rolle in diesem Prozess, das Interesse am Objekt, die Freude am Forschen und letztendlich die Begeisterung für ein bestimmtes Fach anzufachen und am Leben zu halten.

Wird mädchengerechtes Lernen als Form der Differenzierung von allen Lehrkräften akzeptiert, sollte es gelingen, mehr Mädchen für Physik zu interessieren. Dies erfordert Sensibilität, denn Mädchen lernen nicht anders, aber sie brauchen andere Anreize (Uhlenbusch 1992; Stadler 2004)! Sie schätzen Diskussionen und kooperative Lernformen. Sie experimentieren genauso gern wie Jungen, möchten eigenständig arbeiten und forschen (Osborne & Collins, 2001). Mädchen reagieren sensibel auf für sie sinnstiftende Kontexte, in denen das Thema eingebettet wird (Kircher et al. 2010). Gendersensibler Unterricht ist notwendig, um alte Stereotype zu erkennen, das Selbstkonzept entsprechend zu beeinflussen, um dann neue Wege zu beschreiten.

- Für Lehrkräfte bedeutet es, diese Konzepte zu erkennen, umzudenken und als Vorbild zu fungieren.

- Ein mädchengerechter Unterricht sollte so gestaltet sein, dass Neugier, Interesse und Liebe zum Fach geweckt sowie Selbständigkeit, Konzentrationsfähigkeit, Energie, Disziplin und Ausdauer gefördert werden (nach Uhlenbusch 1992).

Unterricht muss Spaß machen, muss Interesse wecken und zeigen, dass Mädchen fähig sind, physikalische Probleme zu verstehen und zu lösen. Durch das Anknüpfen an Vorwissen, Auswählen gendergerechter Themen und sinnstiftende Kontextorientierung sowie kooperatives Lernen und praktisch-konstruktive Tätigkeiten kann dies gelingen. (Stadler, 2004; Günther, 2015)

Aber wichtig ist, daran anschließend die vorhandenen Stereotype aufzubrechen und die Mädchen eigene Wege zu gehen zu lassen!

5. Schülerinnen gewinnen – aber nicht nur die Besten

In dem Zusammenhang muss ein weiterer Aspekt angesprochen werden. Der Artikel „Understanding persistent gender gaps in STEM¹ – Does achievement matter differently for men and women?“ von Cimpian, Kim und McDermott (2020) beleuchtet einen Aspekt, der für die Frauenförderung eine große Rolle spielen könnte. Tenor dieses Artikels ist es, dass, wer mehr Frauen für MINT/PECS²-Fächer interessieren will, der sollte sich nicht nur an die Besten, sondern auch an die durchschnittlich Begabten richten, denn bei Letzteren sei das Frauendefizit am größten.

Dazu wurden Daten über einen Zeitraum von sieben Jahren von knapp 6000 repräsentativ ausgewählten amerikanischen Schülern und Schülerinnen ab der neunten Klasse gesammelt. Diese Daten erlaubten, die Entwicklung der Berufswünsche und Leistungen während der Schul- und Studienzeit zu untersuchen. Nach dem Highschool-Abschluss streben viermal so viele Jungen ein Studium in PECS-Fächern an als Mädchen. Wird jedoch in Leistungsgruppen differenziert, verändert sich die Geschlechterverteilung. In

der Gruppe der Leistungsträger wurde eine Geschlechtergleichverteilung festgestellt, bei den durchschnittlich und schwach Talentierten überwiegen deutlich die Männer. Daraus lässt sich schließen, dass sich Mädchen mit niedrigerem Fähigkeitsselfkonzept ein PECS/ MINT-Studium nicht zutrauen. Interventionen mit Role-Models und die Förderung starker Peer-Netzwerke funktionieren nur bei den Mädchen/Frauen, die hohe Leistungen zeigen.

Das bedeutet, dass es von entscheidender Wichtigkeit ist zu erkennen, dass das Ungleichgewicht zwischen den Geschlechtern über die Leistungsverteilung hinweg variiert, um wirksame Interventionen für die Gleichstellung der Geschlechter zu entwickeln und die Gesamtqualität der Studierenden in PECS zu erhöhen. Und es eröffnet den Blick auf ein weiteres schon genanntes Problem: Da sich nur die talentiertesten Frauen in PECS-Fächern durchsetzen, fehlten den normal begabten Frauen einfach Vorbilder (Anderl, 2020).

Die Quintessenz ist: Um Mädchen/Frauen für PECS-Fächer zu gewinnen, müssen...

...Begeisterung und das Interesse für die Wissenschaft früh geweckt werden,

... gezeigt werden, wie die Sozialisation reflektiert und Stereotype aufgebrochen werden können,

... das Selbstbild und Fähigkeitsselfkonzept geändert werden,

... und erkannt werden, dass Schulen und damit Lehrkräfte eine herausragende Rolle in diesem Prozess spielen und gendersensibler Unterricht letztendlich Katalysator sein kann.

6. Maßnahmen des IfP, um Schülerinnen für Physik zu begeistern

Die Universität kann ebenfalls dabei behilflich sein, Schülerinnen für die Naturwissenschaften und insbesondere für die Physik zu gewinnen, zum einen durch eine gendersensible Ausbildung angehender Lehrkräfte, aber auch durch Maßnahmen für Schülerinnen wie Arbeitsgemeinschaften, Seminare oder Kooperationen mit Schulen und außerschulischen Lernorten. Die Freude und das Interesse für die Wissenschaft können so auch durch Projekte der Universität früh geweckt werden.

Für die Frauenförderung am Institut für Physik der Universität Oldenburg wurden zur Mädchenförderung folgende Maßnahmen umgesetzt:

Forschen als Wissenschaftlerin

physiXs on Tour

Astronomie AG Stardust

Meet a Professorin

Frühstudium

Freiwilliges wissenschaftliches Jahr (FWJ)

¹ Science, Technology, Engineering, Mathematics

² Physics, Engineering, and Computer Science

Die ersten drei Maßnahmen dienen der unterschiedlichen Förderung von Schülerinnen. Das Format „Forschen als Wissenschaftlerin“ soll Mädchen ansprechen, die sich einfach einmal in technisch-physikalischen Bereichen ausprobieren wollen. „PhysiXs on Tour“ richtet sich an Mädchen, die gefördert werden möchten, z.B. um nach dem Corona-Schulabschluss spielerisch Stoff aufzuholen. Für Mädchen, die sich längerfristig mit einem für sie interessanten Themenbereich der Physik befassen möchten, wird die Astronomie AG der Universität wiederbelebt.

Die Maßnahmen "Meet a Professorin“ und das Frühstudium richten sich an besonders interessierte Schülerinnen, während Mädchen, die ihren Schulabschluss in der Tasche haben und sich in ihrer Studien-/ Berufswahl noch nicht sicher sind, ein FWJ durchlaufen können.

Das Projekt „Forschen als Wissenschaftlerin“ soll an dieser Stelle stellvertretend vorgestellt werden.³ Diese Maßnahme zielt darauf...

...Physik für Mädchen erlebbar zu machen,

...sie bei physikalischen Projekten zu fördern und zu unterstützen

...und ihnen zu helfen, ihre Sozialisation zu reflektieren und ggf. umzudenken.

6.1 Forschen als Wissenschaftlerin

Mit einem der im BMBF-MINT-Netzwerk AHOI_MINT eingebundenen außerschulischen Lernorte, dem Zentrum für Natur und Technik (znt) in Aurich wurde eine Kooperation vereinbart und das Konzept erarbeitet (Poppe, 2021). Die AG Didaktik der Physik und Wissenschaftskommunikation ist Mitglied bei AHOI_MINT und damit in Kontakt mit zahlreichen außerschulischer MINT-Lernorten (Schülerlabore, Science Center, Wissenschaftsmuseen, Nationalpark-Häuser, Umweltbildungszentren, Maker Spaces). Es besteht das Ziel, bestimmte Angebote dieser Lernstandorte speziell nur für Mädchen und junge Frauen zu öffnen und vorhandene Angebote an die besonderen Belange und Interessen der Zielgruppe anzupassen.

Das Projekt „Forschen als Wissenschaftlerin“ wurde durch zwei studentischen Abschlussarbeiten begleitet. In der Arbeit „Förderung von Mädchen in der Physik – Entwicklung eines mädchengerechten Schülerlaborangebots für außerschulische Lernorte“ (Poppe 2021) wurden zusammen mit dem Lernort Leitlinien für ein mädchengerechtes Angebot erstellt, sodass andere außerschulische Lernorte daran ansetzen können. Eine Experimentiersequenz zu Halbleitern und Leuchtdioden wurde als Hybridangebot geplant, mit folgenden Durchführungskonzept: Zunächst treffen sich die Kursleitenden mit den teilnehmenden Mädchen (Alter ca. 15 Jahre) online oder in Präsenz, um den Kurs vorzubespochen, aber auch um

generell mit den Mädchen ins Gespräch über ihre Interessen, ihre Erfahrungen mit Physikunterricht und ihre Selbstwahrnehmung hinsichtlich physikalischer Aktivitäten zu sprechen. Dieses Vorgespräch ermöglicht es, das konkrete Lernangebot, das an einem Nachmittag in Präsenz angeboten wird, auf die Lerngruppe abzustimmen. Ein Nachgespräch folgt ebenfalls in Präsenz oder auch online, um der Situation Rechnung zu tragen, dass im Flächenland Niedersachsen Entfernungen oft groß sind. Im Nachtermin werden die gesammelten Erfahrungen reflektiert und es wird das Thema der Berufsorientierung angesprochen, Wissensbedarf der Mädchen und Beratung durch die Kursleitenden kommen hier zusammen.

In der zweiten Arbeit wurde das Projekt mit neun Mädchen eines NaWi-Kurses im Jahrgang 9 einer integrierten Gesamtschule durchgeführt (Pfeiffer, voraussichtlich beendet im Aug. 2022).

Erfahrungen mit dem Pilotprojekt sind ermutigend:

6.1.1 Vorgespräch:

Das Vorgespräch fand an der IGS Ihlow in Präsenz statt. Es waren neun Mädchen des Jahrgangs 9 beteiligt, die an einer Naturwissenschafts-AG teilnahmen.

Zur Evaluierung des Durchlaufs wurden Befragungen und leitfadengestützte Interviews genutzt. Die Interviews wurden von Frau Pfeiffer einer Inhaltsanalyse nach Mayring unterzogen.

Im Vorgespräch wurden die Mädchen von der Studentin dazu befragt, welche Vorstellungen sie in Bezug auf Frauen in der Physik haben. Dazu wurde als Bildimpuls das Bild der Solvay-Konferenz von 1927 genutzt.

Von den Mädchen wurde sofort Einstein auf dem Bild entdeckt und auch Madame Curie als einzige Frau erkannt. Da durch Einstein der Bezug zu Physik hergestellt wurde, empfanden die Mädchen eine Frau als Teil dieser Chemie/Physik-Konferenz für das Jahr 1927 schon bemerkenswert, da damals „Männer Geld reingebracht haben und Frauen für den Haushalt da waren.“ (Zitat Teilnehmerin).

Auf die Frage, wie viele Frauen heute bei einer solchen Physik-Konferenz dabei wären, war man gesamtheitlich der Meinung, dass der Anteil an Frauen zwar höher, aber immer noch unter 50% liegen wird. Auf die Frage nach Gründen, warum sich Frauen auch heute nicht für einen naturwissenschaftlichen Beruf entscheiden, wurde wie folgt geantwortet (eine Auswahl):

„Frauen denken, dass sie nicht so gut ankommen werden, weil da ja schon so viele Männer sind und es eine Männerdomäne ist und sie da eh nicht angenommen werden.“

„Weil Frauen haben eher andere Interessen, wie zum Beispiel Kochen oder im Büro.“

³ Die anderen Maßnahmen werden im Bericht zu „Möglichkeiten der Frauenförderung für das Institut für Physik“ ausführlich beschrieben (Richter 2022)

„Frauen denken einfach immer noch, dass das nicht typisch Frau ist, und entscheiden sich dann dagegen. Weil, oft wird gesagt, sowas gehört sich nicht für eine Frau und dann lassen sie es lieber.“

Keine der Mädchen würde sich dazu entschließen, selbst Physikerin zu werden. Aber auf die Frage zu ihrer eigenen Einstellung zum Thema entgegneten sie:

„Ich finde, wenn es so ist, dass sie einfach denken, dass sie das nicht können, dass sie sich das dann zutrauen sollten und über ihren Schatten springen sollten. Aber wenn es wegen der Interessen der Frau ist, dann finde ich, dann ist das so. Weil, jeder hat ja andere Interessen und dann muss man sich das auch nicht aufzwingen.“

„Ich finde auch, dass sich Frauen viel mehr trauen sollten, was sowas angeht.“

Allen am Kurs teilnehmenden Mädchen ist eine geschlechtsspezifische Alltagsdiskriminierung schon bereits begegnet. Auf die Frage nach Diskriminierung im Alltag wurde Folgendes ausgesagt:

„Es gibt viele Menschen, die Frauen bei ganz vielen Sportarten anders behandeln als Männer. Wenn man jetzt reiten geht als Junge, heißt es direkt, das darf man nicht. Oder viele Freundinnen von mir spielen Fußball und denen wird dann auch oft gesagt, dass das was für Jungs ist.“

„Bei bestimmten Berufen ist das auch so. Frauen werden auch keine Maurerin oder Fliesenlegerin, sondern eher Erzieherin oder machen so Büroarbeit.“

„Zuhause müssen die Jungs immer nur den Müll rausbringen bei uns (3 Brüder, 2 Schwestern) und die Mädchen müssen viel mehr im Haushalt machen; abwaschen, staubsaugen, Spülmaschine. Und das ist voll unfair, denn Jungs können auch Staubsaugen.“

„Mädchen dürfen auch nachts nicht rausgehen und Jungs eher schon. Dabei kann denen auch sowas passieren.“

Die Ergebnisse der Vorbesprechung bestätigen insgesamt die aus der Literatur bekannten Aussagen zum Selbstbild und Fähigkeitsselbstkonzept der Mädchen. (Stadler 2004, Günther 2015, Erlemann 2004). Die geschlechtsspezifische Alltagsdiskriminierung sehen die Mädchen durchaus kritisch, sehen aber kein Problem darin, kein Interesse an Physik zu haben.

6.1.2 Experimentiertag:

Der Experimentiertag fand vier Tage nach der Vorbesprechung am znt in Aurich statt. Die Mädchen konnten selbständig eine Kurbelleuchte herstellen (s. Poppe 2021). Im Anschluss wurden drei Mädchen der Gruppe interviewt. Ihre Eindrücke und ihre persönliche Meinung zum Thema wurden hinterfragt.

Ein Mädchen macht das allgemein niedrige Interesse von Mädchen an Physik abhängig von der Akzeptanz in der Gesellschaft.

„Aber ich selber denke vielleicht wirklich, dass es doch vielleicht einige Frauen gibt, die sowas interessiert, aber sich vielleicht einfach nicht trauen, weil sie vielleicht irgendwie Angst haben, dass von anderen dann irgendwie so komische Kommentare kommen oder sie nicht so akzeptiert werden [...], weil da ja doch schon immer eher gesagt wird, dass ja eher immer Männer sowas eigentlich toll finden.“

Sie sieht aber auch, dass, wenn Interesse vorhanden ist, dies entsprechend gefördert werden muss.

„Manche mögen's halt oder manche nicht. Und zum Beispiel die, die da interessiert (...) dran sind, könnte man halt vielleicht noch weiter fördern und unterstützen, wenn die sich dafür interessieren, damit sie dann auch vielleicht später sagen können, ja ok, das interessiert mich wirklich, dass die dann auch dem Ziel näher kommen, vielleicht irgendwas mit Physik zu studieren.“

Bei den Mädchen dieser Gruppe spiegelt sich auch die Kritik am eigenen Unterricht, der die Lust am Fach vergehen lässt und in dem kein Interesse aufkeimen kann.

„Ich denke, würde man mehr ausprobieren, das man sich's auch wirklich bildlich vorstellen kann, wie das wirklich abläuft. Ich denke, dadurch würde der Unterricht halt interessanter und abwechslungsreicher gestaltet werden und dadurch würd man das vielleicht auch ein bisschen besser lernen. Und dadurch, dass man's vielleicht doch auch einfacher versteht, ist es auch einfach interessanter, weil man schon vom Denken her halt weiter denken kann, anstatt dass man sich immer noch dran festmacht und überlegt wie geht das jetzt.“

„... das ganze Schriftliche und so ist halt sehr viel Theorie im Unterricht (...) und wir haben einfach nur Buchseiten gelesen und dazu Aufgaben bearbeitet.“

Monoedukation, wie in dieser Maßnahme eingesetzt, wird von den Mädchen positiv gesehen, denn auf die Frage, wie sie es fanden, ohne Jungen arbeiten zu können, antworteten sie:

„... weil Jungs sind ja auch teilweise n bisschen lauter und dass Mädchen vielleicht Angst haben, ausgelacht zu werden, aber das kann natürlich auch genauso bei Mädchen passieren.“

„Weil Jungs (...) also das soll jetzt nicht böse sein. Aber manchmal wenn man mit denen arbeitet, die stören dann irgendwie. Weil die dann irgendwie immer dumme Sprüche ziehen oder die kommen einfach so, die sind einfach manchmal so nervig. Ich finde, ich kann mit denen nicht arbeiten.“

Ja ich denke mal, vielleicht haben viele Mädchen Angst, wenn Jungs dabei sind, irgendwie was zu sagen. Also irgendwas falsch zu machen, weil Jungs also doch vielleicht schon eher auch sich dafür interessieren und vielleicht, dass bei Mädchen auch nicht so verstehen können. Oder auch so sagen 'Ihr seid ja n Mädchen, warum interessiert euch das denn'. Und

ich denke vielleicht, dass Mädchen da sich vielleicht son bisschen eingeschüchtert auch sind.“

6.1.3 Nachbesprechung

Drei Tage nach dem Experimentiertag fand die Nachbesprechung wieder in Präsenz an der IGS Ihlow statt. Neben dem überwiegend positiven Feedback der Mädchen zum Projekt wurde auch mitgeteilt, wie gut es war zu erkennen, die eigenen Fähigkeiten falsch eingeschätzt zu haben und zu sehen, auch auf diesem handwerklich technischen Gebiet etwas zu können.

„Ich habe damals ja meinem Papa ein bisschen in der Garage geholfen. Ich hätte jetzt trotzdem nicht gedacht, dass ich jetzt irgendwie was Eigenes bauen kann.“

„Also man hat das gemerkt, du kannst das eigentlich ganz schön gut und dann hat Frau M. ja gesagt 'Du wirst keine Sozialpädagogin, du muss irgendwie mit Technik machen'.“

Ein Mädchen der Gruppe brachte es auf den Punkt: „Ich finde es hat ziemlich deutlich dargestellt, dass Frauen das genauso gut können wie Männer. Und das ist ja für uns selbst jetzt so ne Erkenntnis, die wir auch weiterbringen. Also zu anderen Menschen auch sagen, dass wir das auch können, dass das nicht unbedingt daran liegt, dass man ein Mann ist, dass man jetzt Physiker wird.“

Insofern kann auch bereits vor Abschluss der vollständigen Evaluierung des Projekts gesagt werden, dass diese kleine Maßnahme das Potential hat, Mädchen erkennen zu lassen, dass sie auch auf den Gebieten Physik und Technik durchaus talentiert sind. Das Projekt gibt den Teilnehmenden Anstoß dazu, das eigene Fähigkeitsselbstkonzept und damit die eigene Sozialisation zu überdenken.

7 Fazit und Ausblick

Der Frauenanteil an den deutschen Universitäten ist in der Physik mit unter 25% auf fast allen Qualifikationsebenen sehr niedrig. Den Frauenanteil zu erhöhen, ist eine Aufgabe auf vielen Ebenen. Bedingt durch eine Sozialisation, die Frauen schon früh damit konfrontiert, nicht zum „Stereotyp der Brillanz“ zu gehören, muss ebenso früh angesetzt werden, um Mädchen zu helfen, diesen Stereotypen nicht auf den Leim zu gehen. Lehrkräfte haben die besondere Aufgabe, Mädchen durch entsprechende mädchengerechte Differenzierung zu fördern, indem sie diese Stereotype erkennen und dagegen an arbeiten durch Anknüpfen an vorhandenes Vorwissen, sinnstiftende Kontexte, kooperative Lernmöglichkeiten und praktische Tätigkeiten im Unterricht, wenn möglich auch monoedukativ. Die Universitäten sind aufgerufen, angehende Lehrkräfte dahin gehend zu sensibilisieren und auszubilden. Damit werden keine Stereotype bedient, sondern es wird daran angeknüpft, um sie letztendlich aufzubrechen!

Es ist noch ein langer steiniger Weg, bis Frauen in der Physik (und in vielen anderen Bereichen) wirklich gleichberechtigt gesehen und behandelt werden und

sie gleichgestellt arbeiten können. Es ist jedoch nie zu spät, damit anzufangen.

8. Literatur:

- [1] Acatech, Körber Stiftung MINT Nachwuchsbarometer 2014. München: acatech und Körber Stiftung.
<https://www.acatech.de/publikation/mint-nachwuchsbarometer-2014/download-pdf/?lang=de> (Stand 2/2022)
- [2] Baker, D., Leary, R. (1995). Letting Girls Speak Out about Science. *Journal of Research in Science Teaching* vol. 32, Number 1, 3-28.
- [3] Baker, D. R. (1998). Equity issues in science education. In B. J. Fraser & K. G. Tobin, (Eds.), *International handbook of science education*, 869-895. Boston: Kluwer.
- [4] Baumert, J. & Lehmann, R. (1997): TIMSS – Mathematisch-Naturwissenschaftlicher Unterricht im internationalen Vergleich. Deskriptive Befunde. Opladen.
- [5] Breda, T. & Napp, C. (2019): Girls' comparative advantage in reading can largely explain the gender gap in math-related fields. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 116, 15435
- [6] Cimpian, J. R., Kim, T. H. & McDermott Z. T. (2020): Understanding persistent gender gaps in STEM. (*Science, Technology, Engineering and Math*)
<https://www.science.org/doi/10.1126/science.a7377> (Stand 5/2022)
- [7] Diekmann, A.B., Steinberg, M., Brown, E. R., Belanger, A. L. & Clark, E.K. (2017): A Goal Congruity Model of Role Entry, Engagement, and Exit: Understanding Communal Goal Processes in STEM Gender Gaps. *Pers. Soc. Psychol. Rev.* 21, 142.
- [8] Duchardt, D., Bossmann, A. & Denz, C. (2019): *Vielfältige Physik: Wissenschaftlerinnen schreiben über ihre Forschung*. Heidelberg: Springer
- [9] Erlemann, M. (2004): *Inszenierte Erkenntnis. Beobachtungen zur Wissenschaftskultur im universitären Lehrkontext*. In: Arnold, M. (Hrsg.), *Disziplinierungen*. Publisher: Turia und Kant
- [10] Friedman-Sokuler, N. & Justman M. (2016): Gender streaming and prior achievement in high school science and mathematics, *Econ. Educ. Rev.* 53, 230 (2016).
- [11] Günther, B. (2015): *Mädchenförderung im Physikunterricht*. online:
[www.physikdidaktik.info/data_uploaded/DeltaPhi_B/2015/Guenther\(2015\)Maedchenfoerderung_im_Physikunterricht_DeltaPhiB.pdf](http://www.physikdidaktik.info/data_uploaded/DeltaPhi_B/2015/Guenther(2015)Maedchenfoerderung_im_Physikunterricht_DeltaPhiB.pdf) (Stand 2/2022)
- [12] Häußler, P. & Hoffmann, L. (1995). Physikunterricht – an den Interessen von Mädchen und Jungen orientiert. In: *Unterrichtswissenschaft* 23/2 (1995), 107 – 126.
<https://www.pedocs.de/volltexte/2013/8124/pdf>

- [/UnterWiss_1995_2_Haeussler_Hoffmann_Physikunterricht.pdf](#) (Stand Mai 2022)
- [13] Holstermann, N., & Bögeholz, S. (2007). Interesse von Jungen und Mädchen an naturwissenschaftlichen Themen am Ende der Sekundarstufe I, *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 13,71-86.
- [14] Jörissen, B. George Herbert Mead: Geist, Identität und Gesellschaft aus der Perspektive des Sozialbehaviorismus (2010): In Schlüsselwerke der Identitätsforschung, Jörissen & Zierfuß (Hrsg.), VS Verlag für Sozialwissenschaften, S.87 – 108
- [15] Koballa, T. R. (1995): Children’s attitudes toward learning science. In: S. W. Glynn & R., Duit: *Learning Science in the Schools: Research Reforming Practice*. Mahwah, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates. 59-84.
- [16] Leslie, S.-J., Cimpian, A., Meyer, M. & Freeland, E. (2015): Expectations of brilliance underlie gender distributions across academic disciplines. *Science* 347, 262–265
- [17] Morgan, S. L., Gelbgiser, D. & Weeden K. A.: (2013): Feeding the pipeline: Gender, occupational plans, and college major selection *Soc. Sci. Res.* 42, 989 (2013).
- [18] Napp, C. & Breda, T. (2022): The stereotype that girls lack talent: A worldwide investigation. In *Science Advanced* Vol 8 No. 10 online: <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.abm3689> (Stand 2/2022)
- [19] Osborne, J. & Collins, S. (2001). Pupil’s views of the role and value of the science curriculum: a focus-group study. *International Journal of Science Education*, 443 – 467.
- [20] Pfeiffer, C. (vorauss. 2022): Mädchen an außerschulischen Lernorten - Auswertung eines Konzeptes für ein mädchengerechtes Lernlabor. Bachelorarbeit in Vorbereitung: Universität Oldenburg.
- [21] Poppe, W. (2021): Förderung von Mädchen in der Physik – Entwicklung eines mädchengerechten Schülerlaborangebots für außerschulische Lernorte. Bachelorarbeit. Oldenburg: Universität Oldenburg.
- [22] Richter, C. (2022): Möglichkeiten der Frauenförderung für das Institut für Physik. Oldenburg: Universität Oldenburg, Institut für Physik
- [23] Sax, L. J., Kanny, M. A. Riggers-Piehl, T. A., Whang, H. & Paulson L. N. (2015): Gendered Pathways: How Mathematics Ability Beliefs Shape Secondary and Postsecondary Course and Degree Field Choices *Res. High. Educ.* 56, 813
- [24] Stadler, H. (2004): Physikunterricht unter dem Genderaspekt. Dissertation. Verlagsort: Verlag, online: https://lise.univie.ac.at/artikel/Diss_stadler.pdf
- [25] Tophoven, S.; du Prel, J-P.; Peter, R.; Kretschmer, V. (2014): Working in gender-dominated occupations and depressive symptoms: findings from the two age cohorts of the lidA study. Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung 2014. Published online 25.07.2014. https://doku.iab.de/zaf/2015/2015_3_Tophoven_DuPrel_Peter_Kretschmer.pdf (Stand Mai 2022)
- [26] Uhlenbusch, L. (1992): Mädchenfreundlicher Physikunterricht. Motivation, Exempla, Reaktionen. Verlagsort: Peter Lang.

MINT-Begeisterung wecken, fördern und halten - zwei Beispiele für außerschulische Lernangebote

Dina Al-Kharabsheh*, Anne Geese*, Rainer Müller*

*TU Braunschweig, Institut für Fachdidaktik der Naturwissenschaften,
Abteilung Physik und Physikdidaktik, Bienroder Weg 82, 38106 Braunschweig
a.geese@tu-braunschweig.de

Kurzfassung

Außerschulische MINT-Aktivitäten sind aktuell wenig populär. Sie können aber für mehr Bildungsgerechtigkeit sorgen, indem sie sich an benachteiligte Gruppen wenden. Dies sind z.B. Mädchen und junge Frauen, deren Weg in die MINT-Fächer durch gesellschaftliche Rollenzuschreibungen erschwert wird, aber auch Kinder aus bildungsfernen Regionen, die außerhalb der Schule keine Berührungspunkte mit naturwissenschaftlichen Themen haben. Wir stellen zwei Beispiele für außerschulische Lernangebote vor, die genau diese beiden Zielgruppen ansprechen: Der Forschungsclub changING richtet sich an Mädchen und junge Frauen und bietet seit 2019 in zweiwöchentlichen Gruppentreffen Einblicke in die Luftfahrt der Zukunft. Angekoppelt an den Exzellenzcluster zur nachhaltigen Luftfahrt SE²A möchte er jungen Frauen den Weg in ein ingenieurwissenschaftliches Studium ebnen. Die MINT Liga startet im Sommer 2022 und ist ein vom BMBF geförderter MINT-Cluster. An Ankerpunkten wie Jugendzentren in sozial benachteiligten Quartieren finden regelmäßig MINT-Angebote statt, wobei die verschiedenen Ankerpunkte in einer Liga gegeneinander antreten und am Ende einen MINT-Meister küren. Wir stellen diese beiden MINT-Angebote vor und betrachten ihre Gelingensbedingungen.

1. Außerschulische MINT-Bildung

Die Pandemie und ihre Bewältigung haben gezeigt, dass in der Bevölkerung eine große Lücke für wissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen besteht, die im besten Fall schon im frühen Alter geschlossen werden sollten. Im schulischen Kontext ist das unbeliebte Fach Physik besonders betroffen, auch aufgrund des Lehrermangels, der sich in mangelnder fachlicher und didaktischer Eignung niederschlägt. Außerschulische Aktivitäten können diese Lücke schließen und gleichzeitig für mehr Bildungsgerechtigkeit sorgen, indem sie sich an benachteiligte Gruppen wenden [1]. Dies sind z.B. Mädchen und junge Frauen, deren Weg in die MINT-Fächer durch gesellschaftliche Rollenzuschreibungen erschwert wird, aber auch Kinder aus bildungsfernen Regionen, die außerhalb der Schule keine Berührungspunkte mit naturwissenschaftlichen Themen haben.

2. Der Forschungsclub changING

Im Rahmen des Exzellenzcluster SE²A (Sustainable and Energy Efficient Aviation) findet seit dem Herbst 2019 der Forschungsclub changING statt. In diesem Angebot treffen sich Jugendliche ab Klasse 10 in altershomogenen Gruppen im Abstand von 2 Wochen und beschäftigen sich mit Themen der Luftfahrt, der Ingenieurwissenschaften und der Berufswahl. Der Forschungsclub erfüllt dabei mehrere Funktionen in verschiedenen Lernbereichen (vgl.[2]):

- a) sozial-kooperativ (Jugendliche untereinander),
- b) inhaltlich-fachlich (Lernen über Luftfahrt und

Technik),

c) Mentoring (studentische Gruppenleitung als Rollenvorbilder),

d) berufsbildend (Was macht ein_e Ingenieur_in?)

e) forschend-entwickelnd (Jugendliche entwickeln eigene Forschungsfragen und Projektideen)

Seit dem Beginn haben bereits über 90 Jugendliche die Angebote in drei Jahrgängen wahrgenommen. Die Begleitforschung zeigt einen großen Einfluss dieser Maßnahme auf das Selbstkonzept und die Selbstwirksamkeitserwartung der teilnehmenden Schülerinnen und Schüler. Neben diesen offenbar sehr erfolgreichen Interventionen ist ein Nachteil allerdings in der eingeschränkten Auswahl der Teilnehmenden zu sehen: Viele der Schülerinnen und Schüler im Forschungsclub kommen aus bildungsnahen, akademischen Elternhäusern aus dem städtischen Raum. Für sie kann der Übergang in ein technisches Studium erleichtert werden, zum Abbau von Bildungsungerechtigkeit trägt der Forschungsclub aber wenig bei.

3. Die MINT LIGA

Die ab Herbst 2022 geplante MINT LIGA wählt hierfür einen anderen Ansatz. Da viele außerschulische Bildungsprojekte an städtischen Standorten hauptsächlich eine bildungsnahen Zielgruppe erreichen, möchte die MINT LIGA ein aufsuchendes Bildungsangebot machen. Zu diesem Zweck werden Jugendzentren in strukturschwachen Regionen angesprochen, die für ihre Jugendliche Termine vereinbaren

können, bei den zu MINT-Themen geforscht und experimentiert werden soll. Organisiert vom Haus der Wissenschaft und mit der Expertise einer Programmschule, eines Science Centers und der Fachdidaktik der Naturwissenschaften sollen so Lerngelegenheiten geschaffen werden für Kinder und Jugendliche, in deren außerschulischen Alltag MINT-Bildung keine Rolle spielt.

In einem Liga-Konzept können die verschiedenen Jugendzentren gegeneinander antreten: Je mehr Kurse und Workshops gebucht werden, umso höher der Tabellenplatz. Am Ende jeder Saison, die jeweils über ein Schuljahr läuft, wird der Zukunftsmeister gekürt, der für seinen Standort einen Preis gewinnen kann. Ein Schwerpunkt bei der Vorbereitung und Durchführung der Kurse liegt darauf, den Kindern und Jugendlichen kreative und motivierende Erfahrungen zu ermöglichen und somit zur Stärkung ihrer Selbstwirksamkeitserwartung beizutragen (vgl. [3]) sowie das Interesse an MINT-Themen zu fördern [4]. Auch wenn es hierbei nicht um reine Mädchenförderung geht, sondern verschiedene unterrepräsentierte Zielgruppen angesprochen werden, fließen die in [5] publizierten Empfehlungen für erfolgreiche MINT-Projekte mit ein.

Nach einer Pilotphase im Herbst 2022 soll es ab Februar 2023 ein Bootcamp an 5 Standorten geben. Begleitend zu den Maßnahmen wird es quantitative und/oder qualitative Erhebungen unter den Teilnehmenden in Form von Prä-/Post Befragungen geben. Sie sollen den Einfluss und die Wirksamkeit der Maßnahmen feststellen und Hinweise für Folgeprojekte geben.

	Forschungsclub changING	MINT Liga
Inhaltlicher Schwerpunkt	Ingenieurwissenschaften, Luftfahrt	Programmierung, Chemie, Physik
Zielgruppe	Klasse 10 und Oberstufe, städtisch	Ab ca. 12 Jahren, schulformunabhängig, ländlich
Inhaltliche Gestaltung	WiMis des Exzellenzclusters	IFDN, Pheno, Codenauten
Gruppenleitung	Studentische Mentor_innen	Pädagogen in den Ankerpunkten
Verweildauer	Bis zu 4 Jahre	Bis zu 3 Jahre

Abb.1: Vergleich der beiden MINT-Angebote.

4. Vergleich der beiden Ansätze und Ausblick

Die beiden hier vorgestellten Maßnahmen nutzen ähnliche Ansätze, um Kinder und Jugendliche für MINT-Themen zu begeistern und das Interesse zu halten. Nachdem aber im Forschungsclub klar war, dass das Angebot hauptsächlich eine bereits bildungsprivilegierte Zielgruppe erreicht und somit nicht geeignet ist, Bildungsungerechtigkeiten auszugleichen, sollen mit der MINT LIGA ebenfalls von forschungsnahen, motivierenden Projekten profitieren können. Da in beiden Ansätzen Längsschnittdaten erhoben werden, können im besten Fall Gelingensbedingungen identifiziert werden.

5. Literatur

- [1] Koszuta, Anja; Werner, Ricarda; Huber, Stephan Gerhard: Aktivitäten von Akteuren in Schweizer Bildungslandschaften. Welchen potenziellen Beitrag zu mehr Chancengerechtigkeit könnten sie leisten? - In: Zeitschrift für Bildungsforschung, 11 (2021) 2, S. 255-270, URL: <https://doi.org/10.1007/s35834-021-00304-8>
- [2] Al-Kharabsheh, D., Geese, A., & Müller, R. (2020). changING- Ein Forschungsclub im Exzellenzcluster SE2A. PhyDid B - Didaktik Der Physik - Beiträge Zur DPG-Frühjahrstagung, 1. URL: <https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phydid-b/article/view/1040>
- [3] Conrady, C., Sotiriou, S. A. & Bogner, F. X. (2020). How Creativity in STEAM Modules Intervenes with Self-Efficacy and Motivation. Education Sciences, 10(3), 70, 1-15
- [4] Krapp, A. & Prenzel, M. (2011). Research on interest in science: Theories, methods, and findings. International Journal of Science Education, 33 (1), 27–50.
- [5] Augustin-Dittmann, S.; Gotzmann, H. (Hg.) (2015): MINT gewinnt Schülerinnen. Erfolgsfaktoren von Schülerinnen-Projekten in MINT. Tagung "MINT gewinnt Schülerinnen". Wiesbaden: Springer VS

Danksagung

Der Forschungsclub changING im Exzellenzcluster SE²A wird gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) im Rahmen der Exzellenzstrategie des Bundes und der Länder – EXC-Nummer: 2163/1 Sustainable and Energy Efficient Aviation (SE2A) – 390881007

Naturwissenschaftlicher Unterricht in Straßenschulen: Zu Lernvoraussetzungen von Straßenjugendlichen

Matthias Fischer, Manuela Welzel-Breuer

*Pädagogische Hochschule Heidelberg, Fakultät III – Fach Physik, Postfach 10 42 40, 69032 Heidelberg
m.fischer@ph-heidelberg.de, welzel@ph-heidelberg.de

Kurzfassung

Aufbauend auf dem SDGs „Quality Education“ und dem Right to Science aus der UN-Menschenrechtskonvention begründet sich das Recht jeder Person auf naturwissenschaftliche Bildung. Allerdings gibt es auch in Deutschland Bevölkerungsgruppen, für die dieses Recht auf hochwertige (naturwissenschaftliche) Bildung noch nicht realisiert wurde. Betrachtet man die Erfahrungsberichte der insgesamt 37000 deutschen Straßenjugendlichen zu ihrer Schulzeit und ihre (nicht) erreichten schulischen Abschlüsse, wird die Diskrepanz zwischen verbrieftem Recht und Realität besonders deutlich. Im Hinblick auf die oft misslingenden Schulkarrieren und die alles andere als gewöhnlichen Lebenslagen der Straßenjugendlichen stellt sich die Frage, welche besonderen Lernvoraussetzungen sie in eine (naturwissenschaftliche) Lernsituation mitbringen. Erst durch Beantwortung dieser Frage können Schulen und Lehrkräfte unterstützend auf ihre Bedarfe eingehen. Zur Klärung der Frage wurde eine Interviewstudie mit naturwissenschaftlichen Lehrkräften und Verantwortlichen von deutschen Straßenschulen durchgeführt, wobei besagte Schulen Straßenjugendlichen auf deren Bedürfnisse zugeschnittene Bildungsangebote anbieten.

1. Das Recht auf hochwertige (naturwissenschaftliche) Bildung

Im September 2015 wurden die 17 Ziele für nachhaltige Entwicklung (kurz SDG) von der Generalversammlung der Vereinten Nationen verabschiedet. Diese Ziele stellen einen Aktionsplan für die kommenden 15 Jahre bis 2030 dar, um die weltweit größten Herausforderungen zu bewältigen. Eines der Ziele lautet „Quality Education“, das eine „inklusive, gleichberechtigte und hochwertige Bildung [...] und Möglichkeiten lebenslangen Lernens für alle [fördern und] gewährleisten“ (Vereinte Nationen, 2015, S. 15) soll. Jedes Entwicklungsziel besitzt eine Vielzahl von Unterzielen, die das jeweilige Hauptziel operationalisieren und messbar machen. Hochwertige Bildung soll beispielsweise realisiert werden, indem „alle [...] gleichberechtigt eine [...] hochwertige [...] Sekundarschulbildung abschließen [...]“ (Vereinte Nationen, 2015, S. 18). Außerdem soll der gleichberechtigte „Zugang der Schwachen in der Gesellschaft, namentlich von [...] Kindern in prekären Situationen, zu allen Bildungs- und Ausbildungsebenen“ (Vereinte Nationen, 2015, S. 18) gewährleistet werden. In den UN-Menschenrechtskonventionen gibt es neben einem Recht auf Bildung (Artikel 26) auch das in Artikel 27 festgeschriebene Recht, „am wissenschaftlichen Fortschritt und dessen Errungenschaften teilzuhaben“ (Vereinte Nationen, 1948, S. 6). Von anderen Autorinnen und Autoren wird dieses Recht auch häufig als Right to Science bezeichnet, wobei insbesondere auch die Naturwissenschaften dazu zählen (Mancisidor, 2015; Chapman & Wyndham, 2013).

Eine Realisierung des Right to Science ist vor allem im Hinblick auf die Naturwissenschaften nicht ohne naturwissenschaftliche Grundbildung möglich (Chapman & Wyndham, 2013). Diese beiden Menschenrechte implizieren in ihrem Zusammenspiel somit auch ein Recht auf hochwertige naturwissenschaftliche Bildung (Schuck & Feser, 2022). Zusätzlich ist das Recht auf naturwissenschaftliche Bildung im siebten Unterziel des SDGs „Quality Education“ wiederzufinden, da hier gefordert wird, „dass alle Lernenden die notwendigen Kenntnisse und Qualifikationen zur Förderung nachhaltiger Entwicklung erwerben, unter anderem durch Bildung für nachhaltige Entwicklung [...]“ (Vereinte Nationen, 2015, S. 18). Laut dem Bundesministerium für Bildung und Forschung befähigt Bildung für nachhaltige Entwicklung Menschen „zu zukunftsfähigem Denken und Handeln“ (BMBF, o.D.). Eine solche Bildung ist ohne ein naturwissenschaftliches Grundverständnis und durch im naturwissenschaftlichen Unterricht vermittelte Kompetenzen nicht realisierbar.

2. Problembeschreibung

Eine Bevölkerungsgruppe in Deutschland, deren Recht auf (naturwissenschaftliche) Bildung nur ungenügend realisiert ist, ist die Gruppe der Straßenjugendlichen. Straßenjugendliche definiert Hoch als „junge Menschen unter 27 Jahren, die keinen festen Wohnsitz haben oder sich für eine nicht vorhersehbare Zeit abseits ihres gemeldeten Wohnsitzes [...] aufhalten. [...] Von Interesse sind somit alle obdach- oder wohnungslosen Jugendlichen in Deutschland“ (Hoch, 2017, S. 14f.). In Deutschland gibt es gemäß

einer mehrstufigen Schätzung circa 37.000 Straßenjugendliche (Hoch, 2017), von denen ungefähr 6.500 minderjährig sind. Diese Zahlen sind in Anbetracht der aktuellen Schätzung der Bundesarbeitsgemeinschaft Wohnungslosenhilfe (BAG W, 2021) noch konservativ. Die BAG W schätzt die Zahl der minderjährigen Wohnungslosen für das Jahr 2020 auf etwa 20.000. Dabei liegt der durchschnittliche Beginn der Straßenkarrieren in Deutschland bei ungefähr 16 Jahren, und 18 Jahre ist das häufigste Alter für die Flucht auf die Straße (Hoch, 2016).

Die oftmals sehr prekären Lebenslagen spiegeln sich auch in den schulischen Karrieren von Straßenjugendlichen wider. Befragt nach ihren Schulerfahrungen berichten sie immer wieder von Schwierigkeiten und Hindernissen, denen sie während ihrer Regelschulzeit begegnet sind. Beispielsweise erlebten Straßenjugendliche Mobbing und Ausgrenzung durch ihre Mitschülerinnen und Mitschüler und es mangelte oft an Unterstützung sowie Verständnis für die jeweiligen Lebenssituationen von Lehrkräften (Beierle 2017, Permien & Zink, 1998). Somit erfahren Straßenjugendliche häufig schon in jungen Jahren in Regelschulen die gleiche Stigmatisierung, Ablehnung und Ausgrenzung, die sie oftmals schon in ihren Herkunftsfamilien erleben mussten und die später beständiger Teil eines Lebens am Rande der Gesellschaft sind (Napolitano, 2005). Spätestens mit Beginn der Straßenkarrieren verschlechtert sich auch die individuelle Situation der Jugendlichen in der Schule. Sie fallen vermehrt durch Verhaltens- sowie Disziplinprobleme auf, vereinzelt schwänzen sie die Schule und in der Regel verschlechtern sich ihre schulischen Leistungen im Laufe der Schulzeit (Fernandez, 2018; Beierle & Hoch, 2017, Permien & Zink, 1998). Im Hinblick auf diese Abwärtsspirale ist es wenig verwunderlich, dass viele frühzeitig die Schule abbrechen. In einer Interviewstudie von Hoch (2016) lag ihre Schulabbruchrate bei ungefähr 29%, wobei der deutsche Durchschnitt im Jahr 2016 mit circa 5,5% weniger als ein Viertel davon betrug (Anger & Plünnecke, 2022). Bei der zusätzlichen Betrachtung des höchsten erworbenen Bildungsabschlusses der Straßenjugendlichen wird deutlich, dass sie in der Regel ihre Schulzeit mit unterdurchschnittlichen Ergebnissen verlassen. So gaben beispielsweise 41,5% der von Hoch interviewten Jugendlichen an, dass der Hauptschulabschluss ihr höchster Bildungsabschluss ist. Auch diese Quote ist im Vergleich zur Gesamtbevölkerung (hier sind es nur ca. 13%) überdurchschnittlich hoch (Hoch, 2016). Gestützt werden die Ergebnisse von Hoch zum Beispiel durch Erkenntnisse aus weiteren Studien von Knopp et al. (2014) oder Bieler (2006). Leider werden auch nach dem Abschluss oder Abbruch der Regelschulzeit nur noch selten (höherwertige) Schulabschlüsse nachgeholt, was unter anderem an den negativen Erfahrungen im Regelschulkontext und der Instabilität des Straßenlebens liegt (Permien & Zink, 1998). In Anbetracht

der Problembeschreibung muss festgehalten werden, dass Straßenkarrieren und Schulkarrieren nur schwer miteinander zu vereinbaren sind. Folglich ist für viele Straßenjugendliche auch das SDG „Quality Education“ nicht realisiert, da sie beispielsweise nicht immer die Sekundarschulbildung mit hochwertigen Ergebnissen abschließen. Die Defizite in der Umsetzung des Rechts auf (naturwissenschaftliche) Bildung für Straßenjugendliche werden noch deutlicher, wenn man die Ausgangssituation mit dem 4-A Schema von Tomaševski (2001) vergleicht. Mit diesem Bewertungsschema kann unter anderem entschieden werden, ob eine Lernsituation das Recht auf Bildung unterstützt und gewährleistet. Das ist der Fall, wenn die vier Bedingungen Availability, Accessibility, Acceptability und Adaptability gegeben sind. Vor allem im Punkt Adaptability müssen noch vielfältige Veränderungsprozesse stattfinden, damit Straßenjugendliche im deutschen Regelschulsystem Bildungssituationen und damit verbundene Rahmenbedingungen vorfinden, die ihre besonderen Lebenslagen und -erfahrungen berücksichtigen.

Die Zusammenhänge von Wohnungslosigkeit und deren negativer Auswirkung auf Bildungskarrieren werden unter anderem von Murphy und Tobin (2011) im Rahmen des Homelessness Impact Models beschrieben. Laut diesem haben durch das Straßenleben verstärkte Risikofaktoren, wie zum Beispiel ungesunde Lebensumstände, soziale Marginalität oder fehlende elterliche Unterstützung, einen negativen Einfluss auf die eigene Schulkarriere. Besagte Defizite und die Lebenssituation von Straßenjugendlichen haben wiederum Auswirkungen auf ihre spezifischen Lernvoraussetzungen in Lernsituationen. Um schlechte Erfahrungen und Leistungsprobleme in der Regelschule gar nicht erst aufkommen zu lassen, sollten Lehrkräfte auf diese Lernvoraussetzungen eingehen. Als Reaktion auf die beschriebene Problemlage haben sich über Deutschland verstreut sogenannte Straßenschulen gegründet, die diesen Jugendlichen unter Berücksichtigung ihrer Lebenslagen und Lernvoraussetzungen formale Bildungsangebote unterbreiten und in denen Bildungsabschlüsse gemacht beziehungsweise nachgeholt werden können. In den Straßenschulen findet unter anderem auch Unterricht in den Naturwissenschaften Biologie, Chemie und Physik statt. Eine ausführliche Beschreibung von Straßenschulen, dem dort stattfindenden Unterricht und eine Aufzählung von deutschen Straßenschulen findet sich im Beitrag von Fischer und Welzel-Breuer (2022).

3. Lernvoraussetzungen – Forschungsstand

Die vorliegende Forschung basiert auf der These, dass Straßenjugendliche bestimmte Lernvoraussetzungen besitzen, die in den Regelschulen nicht immer ausreichend berücksichtigt werden (können), was das folgende Zitat verdeutlicht: „Solchen SchülerInnen kann in der herkömmlichen Allgemeinschule mit ihrem Verwaltungsüberbau einfach nicht die

individuelle Aufmerksamkeit und Beachtung gegeben werden, die für deren schulische Motivierung erforderlich wäre“ (Blumenberg, 1999, S. 104). Dabei sind Lernvoraussetzungen „all die Bedingungen und Faktoren, die den Schüler [/ die Schülerin] in seiner Entwicklung, in seiner Lern- und Lebensgeschichte fördern, aber auch hemmen können“ (Seibert, 2003, S. 105). Lernvoraussetzungen müssen von Lehrkräften bei der Planung und Durchführung von Lernprozessen immer berücksichtigt werden, damit diese erfolgreich sein können (Maier, 2017). Sie sind in der Regel sehr individuell, können sich somit also von Person zu Person unterscheiden. Darüber hinaus können Lernvoraussetzungen bei ein und derselben Person aber auch von Tag zu Tag unterschiedlich ausgeprägt sein, je nachdem welche äußeren Umstände vorliegen und wie das persönliche Wohlbefinden ist. Außerdem können sich verschiedene Lernvoraussetzungen teilweise gegenseitig beeinflussen. Beispielsweise kann eine Erfolgserfahrung in einer Lernsituation dazu führen, dass sich die Selbstwirksamkeitserwartung erhöht und folglich kann die Motivation für zukünftige Lernsituationen in diesem Unterrichtsfach anwachsen. Diese verstärkte Motivation kann wiederum einen Einfluss auf die Aufmerksamkeit haben. In der Literatur finden sich verschiedene Kategorisierungen von Lernvoraussetzungen. Stöger und Gruber (2011) teilen Lernvoraussetzungen zum Beispiel in kognitiv, emotional, motivational, psychomotorisch und feinmotorisch, Lernschwierigkeiten und Lernstörungen sowie Tradition und Wertemuster auf.

In der deutschsprachigen Literatur finden sich erste Hinweise auf spezielle Lernvoraussetzungen von Straßenjugendlichen. Beispielsweise beobachtete Herz (2007), dass Straßenjugendliche eher negative Emotionen in Bezug auf Schule und Lernen besitzen. Beierle (2017) berichtet von häufig vorkommenden Konzentrationsproblemen. Lappe et al. (2007) ist vor allem eine geringe Selbstwirksamkeitserwartung von Straßenjugendlichen in Lernsituationen aufgefallen. Darüber hinaus ist ihre Motivation oftmals schwankend und sie sind rasch entmutigt bei ausbleibendem Erfolg. Das äußert sich teilweise in Vermeidungsverhalten und Aufgeben (Beierle, 2017; Herz, 2007).

4. Forschungsfrage und Forschungsdesign

Unseres Wissens gibt es bisher noch keine Studien im Zusammenhang mit naturwissenschaftlichen Lernsituationen für Straßenjugendliche oder über in Straßenschulen stattfindenden Unterricht. Diese Studien sind allerdings notwendig, um das Recht von Straßenjugendlichen auf hochwertige (naturwissenschaftliche) Bildung realisieren zu können. Nur mit fundiertem Wissen über die für Straßenjugendliche notwendige Unterstützung können berechnete Forderungen zur Realisierung dieses universalen Rechts an das Regelschulsystem gestellt werden. Da naturwissenschaftlicher Unterricht in Straßenschulen

stattfindet und die dortigen Lehrkräfte versuchen, die vorhandenen Lernvoraussetzungen und Lebenslagen zu berücksichtigen, stellt dieser Unterricht somit einen wertvollen Forschungskontext dar, die wir mit unserer Studie nutzen. Die verfolgte Forschungsfrage lautet:

Welche Lernvoraussetzungen von Straßenjugendlichen bezüglich naturwissenschaftlicher Lernsituationen benennen naturwissenschaftliche Lehrkräfte und Verantwortliche ausgewählter deutscher Straßenschulen?

Die Forschungsfrage wurde mit Hilfe von leitfadengestützten Experteninterviews gemäß Helfferich (2019) bearbeitet. Es wurden insgesamt 22 Interviews mit 14 naturwissenschaftlichen Lehrkräften und acht Verantwortlichen von (insgesamt acht) ausgewählten deutschen Straßenschulen, an denen es naturwissenschaftlichen Unterricht gibt, geführt. Von den interviewten Personen unterrichteten zwölf Biologie, acht Chemie und sieben Physik. Die Dauer der Mitarbeit in der Straßenschule zum Zeitpunkt der Interviews lag im Durchschnitt bei ungefähr sechs Jahren, wobei der kürzeste Zeitraum ein halbes Jahr und der längste Zeitraum 20 Jahre waren. Die Interviewtranskripte wurden mit einer inhaltlich-strukturierenden qualitativen Inhaltsanalyse gemäß Kuckartz (2018) ausgewertet.

5. Erste Forschungsergebnisse

Das bei der Inhaltsanalyse entstandene Kategoriensystem umfasst insgesamt zwei Ebenen. In der ersten Ebene der Lernvoraussetzungen gibt es insgesamt acht Kategorien, die teilweise induktiv auf der Unterteilung von Stöger und Gruber (2011) beruhen, aber auch deduktiv am Material entstanden sind. Lernvoraussetzungen werden hierbei unterteilt in kognitive, emotionale, motivationale, individuelle, soziale, schul- sowie lernspezifische, familiäre und sprachliche Aspekte. Zu den schul- und lernspezifischen Lernvoraussetzungen zählt beispielsweise das Verhalten der Jugendlichen in schulischen Kontexten, vorhandene oder fehlende lernförderliche Kompetenzen und die Vorlieben oder Abneigungen bezüglich bestimmter Unterrichts- oder Lernformen. Die Inhaltsanalyse führte zu mehr als 50 Unterkategorien in der zweiten Ebene. Um aus den Unterkategorien die für die interviewten Personen wahrscheinlich relevantesten Lernvoraussetzungen herauszukristallisieren, haben wir zudem untersucht, wie häufig eine Unterkategorie von verschiedenen Personen genannt wurde. Dabei wurden Mehrfachnennungen einer bestimmten Unterkategorie von der gleichen interviewten Person nur als eine Nennung erfasst. Somit konnten wir die vier Unterkategorien der am häufigsten genannten Lernvoraussetzungen bestimmen. Diese werden nun vorgestellt.

Als häufigste kognitive Lernvoraussetzungen wurde „naturwissenschaftliches Vorwissen“ von 20 der 22 interviewten Personen genannt. Dabei wurde immer wieder erwähnt, dass Straßenjugendliche häufig kein

oder kaum naturwissenschaftliches Vorwissen in den naturwissenschaftlichen Unterricht in Straßenschulen mitbringen. Dies verdeutlicht das folgende Zitat: „Die Grundlagen fehlen teilweise vollkommen oder sind nur sehr rudimentär vorhanden“ (Interview V5, Abschnitt 37). Das kann sogar bedeuten, dass einzelne Teilnehmende gravierende Wissenslücken in Bereichen haben, die als naturwissenschaftliches Allgemeinwissen angesehen werden können. Beispielsweise wurde in einem Interview von einer Jugendlichen berichtet, die nicht wusste, woher Milch kommt. Zu dem oftmals fehlenden naturwissenschaftlichen Vorwissen kommt hinzu, dass wenig mathematische Grundkompetenzen vorhanden sind. Diese sind aber insbesondere in den Fächern Physik und Chemie notwendig. Darüber hinaus wurden in den Interviews einzelne Teilnehmende beschrieben, die naturwissenschaftliche Fehlvorstellungen besitzen: „Ich hatte schonmal jemanden, der fest davon überzeugt war, dass die Welt eine Scheibe ist. Weil die Schülerin das einfach gelesen hat. Das war dann eine Herausforderung, sie vom Gegenteil zu überzeugen“ (Interview L9, Abschnitt 50). Eine andere Person berichtet von ähnlichen Erfahrungen: „Thema Evolution hatte ich neulich eine, die meinte so, ja das kommt ihr nicht logisch vor. Sie glaubt eher, dass Aliens die Welt befruchtet haben vor ein paar tausend Jahren“ (Interview L8, Abschnitt 48). Ein möglicher Grund für das fehlende naturwissenschaftliche Vorwissen ist die nicht genossene schulische Bildung. Viele Straßeng jugendliche brechen ihre Schulkarriere mit Beginn der Straßenkarriere in der siebten oder achten Klasse ab (teilweise bei vorherigem Schulabsentismus) und somit fehlen viele der in den Fächern Biologie, Chemie und Physik unterrichteten Inhalte (Permien & Zink, 1998). Außerdem haben Straßeng jugendliche oftmals aufgrund geringer finanzieller Mittel weder in ihrer Vergangenheit noch in ihren jetzigen Lebenssituationen Zugang zu außerschulischen naturwissenschaftlichen Lernorten. Da aber Menschen oftmals ein Verlangen haben, die wahrgenommene Welt zu verstehen, stellen sich auch Straßeng jugendliche im Laufe ihres Lebens entsprechende Fragen. Die Kombination von fehlenden naturwissenschaftlichen Grundlagen und fehlenden Medienkompetenzen können dann zu eben beschriebenen Fehlvorstellungen führen. Das zeigt auch das folgende Zitat: „Sondern dass man Leute vor sich sitzen hat, die schon seit 18, 19, 20 Jahren mit dem Internet konfrontiert sind und sich aus anderen sozialen Bereichen irgendwie Information zusammenangeln und sich daraus ein Weltbild schaffen“ (Interview L4, Abschnitt 36). Hier werden Relevanz und Notwendigkeit von naturwissenschaftlicher Bildung in einer von Naturwissenschaften geprägten Welt überaus deutlich. Des Weiteren berichten Interviewpartner aber auch davon, dass Teilnehmende naturwissenschaftliches Vorwissen in außerschulischen Kontexten erworben haben. Diese Kenntnisse können unter anderem aus besonderen

Erfahrungen im Zusammenhang mit Straßenkarrieren resultieren. Beispielsweise gibt es unter den Teilnehmenden Mütter, die sich folglich in der Thematik Schwangerschaft und Geburt sehr gut auskennen. Andere Interviewpartner berichten davon, dass insbesondere im Fach Biologie doch immer wieder auch Vorwissen vorhanden sein kann, das aber dann häufig sehr unsortiert ist und Fachbezeichnungen fehlen. Vereinzelt kann es sogar vorkommen, dass Teilnehmende Experten / Expertinnen in spezifischen naturwissenschaftlichen Bereichen sind, für die sie sich schon immer interessiert haben und sich folglich das Thema angeeignet haben.

Ebenfalls von 20 Interviewpartnern wurde die Unterkategorie „negative Emotionen in Bezug zu naturwissenschaftlichen Lernsituationen“ genannt. Hierzu gehört unter anderem, dass die Teilnehmenden eine Abneigung oder teilweise sogar Angst vor den Fächern Biologie, Chemie und Physik haben. Diese Gefühle sind nicht nur zum Schuljahresbeginn, sondern teilweise während der Lernsituationen vorhanden. Den Ursprung dieser negativen Gefühle verorten viele interviewte Personen in geringen Selbstwirksamkeitserwartungen von Teilnehmenden bezüglich naturwissenschaftlicher Lernsituationen, die wahrscheinlich das Resultat von Erfahrungen in den jeweiligen Regelschulkarrieren sind: „Es steckt noch drinnen, dass viele, die zu uns kommen, eine große Abneigung dagegen haben. Die wahrscheinlich von der Schule kommt“ (Interview V3, Abschnitt 26). Als weiterer Grund für die negative Wahrnehmung von naturwissenschaftlichen Inhalten wird in manchen Interviews der fehlende Alltagsbezug der Themen genannt. Diese sind oftmals zu abstrakt und den Teilnehmenden fällt es häufig schwer nachzuvollziehen, warum sie die Inhalte überhaupt lernen müssen. In den Interviews wird darüber hinaus auch davon berichtet, dass die Teilnehmenden sich in den naturwissenschaftlichen Lernsituationen häufig überfordert fühlen. Dieses Gefühl dürfte ebenso eng mit der eben genannten Selbstwirksamkeitserfahrung der Jugendlichen und dem nicht vorhandenen Vorwissen verknüpft sein: „Aber in der Regel haben die Teilnehmenden erstmal immer so: ‚Oh Gott. Was ist das? Ein Fremdwort. Das werde ich alles nie lernen.‘ Das ist in der Regel immer erstmal Überforderung“ (Interview L11, Abschnitt 56).

Von 19 der 22 Interviewpartnern wurde die motivationale Unterkategorie „Lernförderliche Haltung gegenüber naturwissenschaftlichen Themen“ genannt. Hier wird unter anderem davon berichtet, dass die Teilnehmenden ihre anfängliche eher abwehrende Haltung, bedingt durch die vorherigen negativen Erfahrungen, oftmals ablegen können, wenn die naturwissenschaftlichen Inhalte passend vorbereitet werden. Möglichkeiten, die Themen für Straßeng jugendliche passend aufzubereiten, sind beispielsweise ein Bezug zur Lebensrealität sowie zu den Erfahrungen der Jugendlichen oder eine möglichst anschauli-

che Darstellung. Anstelle der anfänglichen Ablehnung gegenüber naturwissenschaftlichen Inhalten tritt dann eine Offenheit für diese Themen und teilweise sogar ein erwachendes sowie wachsendes Interesse. Das wird durch folgendes Zitat verdeutlicht: „Aber in beiden Fächern fällt mir oftmals auf, dass da einfach ab einem gewissen Punkt plötzlich Interesse dafür da ist, wenn sie so die Schwierigkeit überwunden haben“ (Interview L5, Abschnitt 14). Darüber hinaus berichten Lehrkräfte davon, dass die Teilnehmenden oftmals ein Bedürfnis dafür haben, die eigene Lebenswelt mit ihren Phänomenen zu verstehen. Die dabei aufkommenden Fragen haben häufig einen naturwissenschaftlichen Bezug und sollten in den Unterricht eingebaut werden. Dies ermöglicht es den Teilnehmenden, dem Inhalt eine Gegenwartsbedeutung gemäß Klafki (2007) beizumessen:

„Ich würde sagen, Naturwissenschaften könnte man am besten unterrichten, wenn man [...] einfach mit den Fragen der Leute arbeitet. Weil was naturwissenschaftlich ist, ist ja im Prinzip einfach nur das, was wir Menschen um uns herum erleben und was in uns Fragen aufkommen lässt. Genau diese Fragen sind die Motivation, um etwas zu lernen. Und so auch bei den Teilnehmern an der Straßenschule. Die interessieren sich jetzt nicht für irgendwelche Strahlensätze in der Mathematik oder die interessieren sich nicht, ob Blätterpflanzen Chloroplasten haben. Aber sie interessieren sich sehr wohl dafür, warum die Blätter grün sind.“ (Interview L7, Abschnitt 48)

Als weitere Unterkategorie wurde „Volition und Motivation“ von 19 der 22 interviewten Personen angesprochen. Zu dieser Unterkategorie gehört zum Beispiel, dass viele Teilnehmende laut den Verantwortlichen und Lehrkräften eine Grundmotivation besitzen, das Angebot der Straßenschule erfolgreich wahrzunehmen. Sie haben trotz vielfältigen Rückschlägen in ihren bisherigen Bildungskarrieren erkannt, dass sie eine wertvolle Chance bekommen und möchten diese auch nutzen. Dementsprechend zeigen viele Straßenjugendliche auch Willen und Fleiß. Ergeben sich dann innerhalb des naturwissenschaftlichen Unterrichts erste Erfolge, kann dies auch dazu führen, dass sie eine starke intrinsische Motivation entwickeln. Diese große intrinsische Motivation bildet sich bei manchen auch aus, wenn ihr Interesse für einen naturwissenschaftlichen Inhalt geweckt wurde:

„Wenn man das eine goldene Thema findet, dann hat man schon gewonnen. Also wenn man bei jemanden merkt, das Thema ist es, das macht er von ganz allein [...]. Dann ist die Stärke auf jeden Fall, dass die Eigenverantwortung durch die Decke geht.“ (Interview L6, Abschnitt 72)

Allerdings wird in dieser Unterkategorie auch davon gesprochen, dass die Motivationslage der Teilnehmenden nicht immer stabil ist. Jene Besonderheit

begründen Interviewpartner unter anderem mit der Instabilität der Lebenslagen. Darüber hinaus berichten die interviewten Personen, dass manche Jugendliche bei ersten Problemen im Lernprozess oder bei Überforderung aufgeben. Ist eine Aufgabe beispielsweise nicht sofort lösbar oder ist nicht klar, wie man sie bearbeiten soll, führt das oftmals zur Abwendung von dieser. Ursache hiervon sind laut den Interviews unter anderem geringe Selbstwirksamkeitserwartungen in Bezug auf (naturwissenschaftliche) Lernsituationen und fehlende Selbstregulierungskräfte.

Nach den am häufigsten genannten Unterkategorien werden nun weitere Lernvoraussetzungen ausgeführt, die bei Schülerinnen und Schülern der Regelschulen eher nicht auftreten und folglich die Besonderheiten von Lernsituationen für Straßenjugendliche verdeutlichen. Eine Problematik, die immerhin in 16 Interviews genannt wird, ist die Unregelmäßigkeit der Teilnahme. Es kommt immer wieder vor, dass Jugendliche nicht zum Unterricht erscheinen. Die Abwesenheiten können sich teilweise über mehrere Tage oder Wochen ziehen und manchmal ist nicht klar, ob Teilnehmende noch einmal im Unterricht erscheinen werden. Des Weiteren wird in den Interviews auch häufig davon berichtet, dass die Teilnehmenden nicht immer pünktlich zu den Unterrichtsstunden anwesend sind. Dementsprechend ist es für Lehrkräfte herausfordernd, Lernprozesse zu planen und vorzubereiten, da nicht klar ist, wer an den jeweiligen Unterrichtstagen anwesend sein wird. Diese Teilnahmediskontinuität ist insbesondere in Verbindung mit den Prüfungsanforderungen und der begrenzten Vorbereitungszeit problematisch.

Eine Ursache für die unregelmäßige Teilnahme sind die instabilen Lebenslagen der Jugendlichen. Das Leben von Straßenjugendlichen ist häufig durch die Freiheit der Straße geprägt und dementsprechend haben sie selten einen strukturierten Alltag. Folglich ist es für sie herausfordernd, sich wieder an feste Zeitvorgaben, so lose sie auch sein mögen, anzupassen. Darüber hinaus befinden sich viele Jugendliche in prekären Lebenslagen, was in den Interviews immer wieder deutlich wird. Beispielsweise kann es bei Teilnehmenden passieren, dass sie ihren Schlafplatz von heute auf morgen verlieren, dass sie kein Geld mehr für Lebensmittel haben und sie dementsprechend hungern oder dass Sozialleistungen ausbleiben. Bevor diese akuten Probleme nicht gelöst sind, ist es für viele verständlicherweise schwierig, sich auf (naturwissenschaftlichen) Unterricht einzulassen. Des Weiteren wird in den Interviews berichtet, dass viele Teilnehmende Drogen konsumieren und teilweise auch Drogensüchte vorhanden sind. Je nachdem wie stark diese Abhängigkeiten sind oder falls Teilnehmende sogar berauscht zum Unterricht erscheinen, ist Lernen nur eingeschränkt möglich.

Eine weitere Besonderheit, die in der Gruppe der Straßenjugendlichen sehr stark ausgeprägt ist, ist das häufige Vorhandensein von psychischen Störungen:

„Das fängt an bei wirklich hochtraumatisierten Menschen, die tatsächlich Gewalt- und Missbrauchserfahrungen hatten. [...] Wir haben viele junge Menschen, die jahrelang an Depressionen leiden“ (Interview V8, Abschnitt 61). Dementsprechend kommt es immer wieder vor, dass durch eine sich verschlimmernde psychische Krankheit ein Schulbesuch nicht mehr möglich ist und zuerst eine Stabilisierung notwendig ist. Neben psychischen Störungen berichten einzelne Interviewpartner von Teilnehmenden, die an sozialen Phobien leiden und sich teilweise nicht gleichzeitig mit anderen Personen im selben Raum aufhalten können, geschweige denn an einem Gruppenunterricht teilnehmen.

Als letzte Lernvoraussetzung sollen notwendige Bedingungen diskutiert werden, ohne die eine Annahme von (naturwissenschaftlichen) Lernsituationen für Straßenjugendliche häufig nicht möglich ist. In Interviews wird davon berichtet, dass eine positive und wertschätzende Beziehung zwischen der Lehrkraft und den Teilnehmenden die Grundlage für die Annahme von Lernangeboten ist: „Und ansonsten hängt, steht und fällt auch viel mit dem Verhältnis zwischen Dozierenden und Teilnehmenden. Das ist ganz wichtig“ (Interview V8, Abschnitt 55). Diese Beziehung ist nicht immer einfach aufzubauen, da die Teilnehmenden häufig negative Erfahrungen mit vorherigen Lehrkräften und anderen erwachsenen Bezugspersonen gemacht haben. Folglich müssen Lehrkräfte immer wieder auf Jugendliche zugehen und ein aufrichtiges, Halt gebendes Beziehungsangebot machen. Diese Beziehungsarbeit muss ein signifikanter Bestandteil der täglichen Arbeitszeit sein – insbesondere zu Schuljahresbeginn: „Für mich sind das erste viertel Jahr 80 Prozent Beziehungsarbeit und 20 Prozent Lehrtätigkeit. Um dann irgendwann umzuschwenken. Im besten Falle sind das 80 Prozent Lehrtätigkeit oder Vorbereitungszeit und 20 Prozent Beziehungsarbeit“ (Interview VL10, Abschnitt 84). Diese Beziehung sollte sich auch immer in dem Umgang zwischen Lehrkraft und Teilnehmenden widerspiegeln. Lehrkräfte sollten Jugendliche in jeder Situation auf Augenhöhe begegnen und auch bereit sein, von ihnen und ihren Erfahrungen zu lernen. Sie sollten Teilnehmende und ihre teilweise fremdartige Lebensrealität annehmen und ihre Entscheidungen respektieren. Eng mit einer positiven Beziehungsgestaltung ist die Notwendigkeit einer angstfreien Atmosphäre in den Lernsituationen verknüpft. Da die Teilnehmenden häufig negative Erfahrungen in Klassenverbänden während ihrer Regelschulzeit gemacht haben, fällt es vielen schwer, aktiver Teil einer Lerngruppe zu sein. Folglich trauen sie sich nicht, ihre Vermutungen zu äußern, weil sie beispielsweise glauben, dass sie ausgelacht werden. Dementsprechend muss eine Atmosphäre der Sicherheit vorliegen, in der Vermutungen frei geäußert werden können und es kein Mobbing oder Ähnliches untereinander gibt. Das dies möglich ist, zeigt das folgende Zitat: „Was mir

auch letztens eine Teilnehmende vermittelt hat, ist, dass die eigentlich früher alle Außenseiter waren in ihren Klassen. Dass sie aber eine Klasse von Außenseitern gebildet haben. Und dass dadurch niemand mehr Außenseiter ist“ (Interview L10, Abschnitt 54). Als letzte Voraussetzung für eine Annahme von (naturwissenschaftlichen) Lernangeboten sei die Niedrigschwelligkeit genannt. Dabei umfasst Niedrigschwelligkeit sowohl die schulischen Rahmenbedingungen als auch den naturwissenschaftlichen Unterricht. Viele Teilnehmende lehnen strikte Vorgaben und Regeln ab, insbesondere wenn sie nicht verstehen, warum diese existieren. So kann es zum Beispiel für die Teilnahme förderlich sein, wenn es keine Anwesenheitspflichten gibt, sondern ein freies Kommen und Gehen zu angebotenen Zeiten. Noch wichtiger ist aber, dass die Lehrkräfte ihren Unterricht niedrigschwellig gestalten. Dies bedeutet insbesondere, dass die Teilnehmenden nicht gezwungen werden, bestimmte Aufgaben oder Inhalte zu erledigen. Andernfalls verweigern sich Teilnehmende, da hier einerseits die Interaktion nicht auf Augenhöhe stattfindet und andererseits für sie so Schule negativ reinszeniert wird. Folglich ist es sinnvoller, den Teilnehmenden freiwillige Lernangebote zu machen, die sie dann annehmen können, falls sie möchten.

6. Folgerungen aus den Ergebnissen

Die diskutierten Lernvoraussetzungen ermöglichen Rückschlüsse darauf, wie naturwissenschaftlicher Unterricht für Straßenjugendliche konzipiert sein muss, der Tomaševskis Adaptability-Forderung genügt. Dazu gehört, dass Lehrkräfte zu jeder Zeit das Vorhandensein von für einen Lernprozess notwendigem Vorwissen überprüfen sollten und dieses gegebenenfalls gemeinsam erarbeiten. Dadurch kann Überforderung verhindert werden. Ebenso sollten aus diesem Grund die Unterrichtsmethoden und das Anforderungsniveau passend gewählt werden. Somit kann sich durch ermöglichte Erfolgserlebnisse und regelmäßige Bestärkung eine Selbstwirksamkeitserwartung der Jugendlichen in den Naturwissenschaften ausbilden. Des Weiteren ist auf die Inhaltsauswahl und dessen Gestaltung zu achten. Die Themen sollten nicht zu abstrakt, sondern eher anschaulich aufbereitet werden und idealerweise mit der Lebenswelt sowie den Erfahrungen der Jugendlichen verbunden sein. Hierbei lohnt es sich insbesondere, an schon vorhandener Expertise, Interessen oder Fragen anzuknüpfen und geeignete Kontexte zu nutzen. Außerdem sollten Lehrkräfte als Grundlage für individuelles Lernen eine tragfähige und wertschätzende Beziehung etablieren sowie eine Sicherheit gebende Atmosphäre schaffen.

7. Fazit

Mit Blick auf die diskutierten Lernvoraussetzungen sind die häufigen Schulabbrüche und die überdurchschnittlich oft vorkommenden Hauptschulabschlüsse

von Straßenjugendlichen wenig verwunderlich. Viele der aufgezählten Lernvoraussetzungen beeinträchtigen Lernprozesse und hindern Straßenjugendliche an erfolgreichen Schulkarrieren. Wie anfangs beschrieben, werden die Lebenslagen und Lernvoraussetzungen von Straßenjugendlichen in Regelschulen oftmals nur unzureichend berücksichtigt. Ihnen fehlt im Regelschulsystem somit häufig die individuelle Unterstützung, die sie für erfolgreiche Lernprozesse benötigen würden. Die Tatsache, dass viele Straßenjugendliche motiviert an dem Angebot von Straßenschulen teilnehmen, zeigt insbesondere zwei Punkte: Straßenjugendliche wollen gerne lernen und sie können dies auch erfolgreich, sofern die richtigen Rahmenbedingungen gegeben sind. Nun gilt es auf Grundlage der gewonnenen Erkenntnisse, die notwendigen Rahmenbedingungen an Regelschulen zu schaffen, damit auch in Regelschulen ihr Recht auf hochwertige (naturwissenschaftliche) Bildung realisiert wird und Straßenschulen somit unnötig werden. Dabei ist aber insbesondere auch die Frage zu beantworten, ob es Lehrkräften im Regelschulsystem überhaupt möglich ist, auf die vielfältigen Anforderungen von Straßenjugendlichen im anspruchsvollen Arbeitsalltag mit überfüllten Klassen und zusätzlichen Aufgabenfeldern ausreichend einzugehen. Dies darf durchaus bezweifelt werden. Folglich müssten auch Änderungen im Regelschulsystem initiiert werden, indem weitere Unterstützungsangebote für Lehrkräfte und Straßenjugendliche geschaffen werden. Eine mögliche Inspirationsquelle könnte hierbei der in den USA eingeführte McKinney-Vento Homeless Assistance Act und Evaluationen über dessen Auswirkungen darstellen. Diese Verordnung verpflichtet amerikanische Schulen dazu, wohnungslosen Schülerinnen und Schülern zusätzliche Unterstützung zu gewährleisten, damit diese das gleiche akademische Leistungsniveau erreichen können. Zu diesen Maßnahmen gehört beispielsweise eine vereinfachte Schulleistungsbescheinigung für wohnungslose Kinder und Jugendliche, selbst wenn medizinische oder andere Dokumente (z.B. vorherige Schulunterlagen oder Impfnachweise) nicht vorliegen. Darüber hinaus müssen Schuldistrikte eine Ansprechperson für wohnungslose Schülerinnen und Schüler haben. Die Aufgabe dieser Person ist es, passende lokale Hilfsangebote zu finden sowie diese zu kommunizieren, Schulen bei der Identifikation von wohnungslosen Schülerinnen und Schülern zu unterstützen und sich für das Recht von wohnungslosen Kindern und Jugendlichen auf hochwertige Bildung einzusetzen. Darüber hinaus sind die Bundesstaaten verpflichtet, Hindernisse bezüglich der Teilhabe am Regelschulsystem zu dokumentieren und Lösungen sowie Unterstützung in Form von Maßnahmen zu implementieren. Zusätzlich muss das U.S. Department of Education regelmäßig Statistiken und Daten zur Anzahl von wohnungslosen Schülerinnen und Schülern erheben sowie Untersuchungen über deren Un-

terstützungsbedarfe veranlassen (NCHE et al., 2008). Unserer Meinung nach könnten außerdem Lehrkräfte beim Unterrichten von Straßenjugendlichen in Regelschulen unterstützt werden, indem sie durch Seminare in der Hochschulausbildung oder durch Fortbildungen für die Besonderheit des Straßenlebens und für die spezifischen Anforderungen an Lernsituationen mit Straßenjugendlichen vorbereitet werden.

8. Literatur

- Anger, C. & Plünnecke, A. (2022). *INSM-Bildungsmonitor 2022. Bildungschancen sichern, Herausforderungen der Digitalisierung meistern*. Köln: Institut der deutschen Wirtschaft. https://www.insm-bildungsmonitor.de/pdf/Forschungsbericht_2022-Langfassung.pdf (08/22)
- Beierle, S. (2017). *Praxisbericht zur Projektarbeit mit Straßenjugendlichen. Erkenntnisse aus den Modellprojekten des Innovationsfonds (des Kinder- und Jugendplans) im Bereich Jugendsozialarbeit (2014 - 2016)*. Halle / Saale: Deutsches Jugendinstitut. <https://www.dji.de/veroeffentlichungen/literatursuche/detailansicht/literatur/24664-praxisbericht-zur-projektarbeit-mit-strassenjugendlichen.html> (4/2022)
- Beierle, S. & Hoch, C. (2017). *Straßenjugendliche in Deutschland. Forschungsergebnisse und Empfehlungen*. München: Deutsches Jugendinstitut. https://www.dji.de/fileadmin/user_upload/bibs2017/25865_beierle_hoch_strassenjugendliche.pdf (04/22)
- Bielert, D. (2006). *Straßenkarrieren von Kindern und Jugendlichen: Wenn es passiert ist ...; Erklärungen aus Sicht der Jugendlichen und Hilfestellung für ihre Eltern* (Dissertation). Hamburg: Universität Hamburg. <https://ediss.sub.uni-hamburg.de/bitstream/ediss/1484/1/Bielertdissertation.pdf> (04/2022)
- Blumenberg, J. (1999). Gespräche am „Runden Tisch“: Möglichkeiten zur Entwicklung und Begleitung von Angeboten für schulisch ausgegrenzte Kinder und Jugendliche. In Dücker, U. v. (Hg.). *„Wir wollen mitreden!“ Aus Straßen-„Karrieren“ lernen; familiär und schulisch ausgegrenzte Kinder und Jugendliche gestalten ihre Schule*. Frankfurt/M.: IKO-Verlag für Interkulturelle Kommunikation.
- Bundesarbeitsgemeinschaft Wohnungslosenhilfe (BAG W) (2021). *Pressemitteilung: Steigende Zahl Wohnungsloser im Wohnungslosensektor, Wohnungslosigkeit anerkannter Geflüchteter sinkt*. Berlin. <https://www.bagw.de/fileadmin/bagw/media/Doc/>

- [PRM/PRM_2022_BAG_W_Schaetzung.pdf](#) (04/22)
- Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) (o.J.). *Bildung für nachhaltige Entwicklung*. Url: https://www.bmbf.de/bmbf/de/bildung/bildung-fuer-nachhaltige-entwicklung/bildung-fuer-nachhaltige-entwicklung_node.html (04/22)
- Chapman, A. & Wyndham, J. (2013). A human right to science. *Science*, 340(6138), 1291-1291.
- Fernandez, K. (2018). *Wohninstabile Jugendszenen: eine ethnographische Grounded-Theory-Studie zur Exploration der Verlaufsprozesse von Straßenkarrieren* (1. Auflage). Weinheim: Beltz Verlagsgruppe.
- Fischer, M. & Welzel-Breuer, M. (2022). Die Rolle von naturwissenschaftlicher Bildung in deutschen Straßenschulen. *PhyDid B – Didaktik der Physik – Beiträge zur Frühjahrstagung*, 2022.
- Helfferich, C. (2019). Leitfaden- und Experteninterviews. In: Baur, N. & Blasius, J. (Hg.). *Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung* (S. 669-686). Wiesbaden: Springer Fachmedien.
- Herz, B. (Hg.) (2007). *Lernbrücken für Jugendliche in Straßenszenen* (Studien zur Jugendhilfe, Band 5). Münster: Waxmann.
- Hoch, C. (2016). *Straßenjugendliche in Deutschland - eine Erhebung zum Ausmaß des Phänomens. Zwischenbericht - zentrale Ergebnisse der 1. Projektphase*. Halle: Deutsches Jugendinstitut. Url: https://www.dji.de/fileadmin/user_upload/bibs2016/Bericht_Strassenjugendliche_2016.pdf (04/22)
- Hoch, C. (2017). *Straßenjugendliche in Deutschland - eine Erhebung zum Ausmaß des Phänomens. Endbericht - zentrale Ergebnisse der 2. Projektphase*. Halle: Deutsches Jugendinstitut. Url: https://www.dji.de/fileadmin/user_upload/bibs2017/Strassenjugendliche_Endbericht.pdf (04/22)
- Klafki, W. (2007). *Neue Studien zur Bildungstheorie und Didaktik: zeitgemäße Allgemeinbildung und kritisch-konstruktive Didaktik*. Beltz: Weinheim.
- Knopp, R.; Bleck, C. & Rießen, Anne van (2014). *Abschlussbericht „Junge Wohnungslose U25“*. socialnet Materialien. Url: <https://www.socialnet.de/materialien/208.php> (04/22)
- Kuckartz, U. (2018). *Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung*. Weinheim, Basel: Beltz Juventa.
- Lappe, L., Bauer, K. & Brüning, C. (2007). Fallbeispiel eines Grenzfalles sonderpädagogischer Arbeit oder Lehrstück für den sonderpädagogischen Professionalisierungsprozess? In Herz, B. (Hg.) *Lernbrücken für Jugendliche in Straßenszenen* (S. 47-67). Münster. Waxmann Verlag.
- Maier, U. (2017). *Lehr-Lernprozesse in der Schule: Studium*. Stuttgart: utb GmbH.
- Mancisidor, M. (2015). Is there such a thing as a human right to science in international law? *ESIL Reflections*, 4(1), 1-6.
- Murphy, J. F. & Tobin, K. J. (2011). Homelessness comes to school: How homeless children and youths can succeed. *Phi Delta Kappan*, 93(3), 32-37.
- Napolitano, S. (2005). *Straßenkinder in Deutschland – eine Lebenssituation: Erklärungsversuche und Handlungsstrategien für ein soziales Phänomen*. Oldenburg: Paulo Freire Verlag.
- National Center for Homeless Education (NCHE), National Association for the Education of Children and Youth & National Law Center on Homelessness and Poverty (2008). *The McKinney-Vento Act at a Glance*. Url: https://www.theotx.org/wp-content/uploads/2015/03/MV_At_Glance.pdf (05/22)
- Permien, H., Zink, G. (1998). *Endstation Straße? Straßenkarrieren aus der Sicht von Jugendlichen*. München: Deutsches Jugendinstitut.
- Schuck, P. & Feser, M. S. (2022). Science Education as a Human Right: A Systematic Review of the Literature. *European Journal of Science and Mathematics Education*, 10(3), 338-14.
- Seibert, N. (2003). Das Unterrichtsprinzip der Differenzierung. In: Seibert, N. & Serve, J. H. (Hg.). *Prinzipien guten Unterrichts. Kriterien einer zeitgemäßen Unterrichtsgestaltung* (S. 97–128, 7. Auflage). München: PimS-Verlag.
- Stöger, H. & Gruber, H. (2011). Lernvoraussetzungen von Schülern. In: Kiel, E. & Zierer, K. (Hg.). *Unterrichtsgestaltung als Gegenstand der Wissenschaft. Basiswissen Unterrichtsgestaltung* (S. 265 – 283). Hohengehren: Schneider.
- Thomas, S. (2005). *Berliner Szenetreffpunkt Bahnhof Zoo: Alltag junger Menschen auf der Straße*. Wiesbaden: Verlag für Sozialwissenschaften.
- Tomasevski, K. (2001). *Human rights obligations: Making education available, accessible, acceptable, and adaptable*. Novum Grafiska AB.
- Vereinte Nationen (1948). *Allgemeine Erklärung der Menschenrechte*. Url: <https://www.un.org/depts/german/menschenrechte/aemr.pdf> (04/22)
- Vereinte Nationen (2015). *Transformation unserer Welt: die Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung*. Url: <https://www.un.org/depts/german/gv-70/band1/ar70001.pdf> (04/22)

Danksagung

An dieser Stelle sei auf die Förderung des Forschungsprojekts durch ein Promotionsstipendium der Hanns-Seidel-Stiftung aus Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) hingewiesen.

Physikalische Bildung in komplementär vernetzten non-formalen Lernangeboten

Jonas Tischer*, Christin Sajons*, Michael Komorek*

*Didaktik der Physik und Wissenschaftskommunikation, Carl von Ossietzky Universität Oldenburg
jonas.tischer@uni-oldenburg.de, christin.marie.sajons@uni-oldenburg.de, michael.komorek@uni-oldenburg.de

Kurzfassung

Außerschulische Lernorte verfügen über das Potenzial, komplexe Themen interdisziplinär zu beleuchten. Die physikalische Perspektive ist dabei eine notwendige, denn sie erlaubt Kindern und Jugendlichen, naturwissenschaftlich-technische Zusammenhänge in ihrer Vielseitigkeit nachvollziehen und anderen erklären zu können. In einer von der niedersächsischen BINGO-Umweltstiftung geförderten „Komplementären Projektwoche“ sind vorhandene Angebote verschiedener non-formaler Lernorte (Museum, Schülerlabor, Umweltbildungszentrum etc.) zum Thema ‚Herausforderung Leben im Klimawandel‘ ergänzend bzw. im Kontrast zueinander kombiniert worden. An der Projektwoche haben fünf 6. Schulklassen an vier Tagen je einen der Lernorte besucht und am fünften Tag ihre Erfahrungen reflektiert. Die physikalische Perspektive ist an den Lernorten unterschiedlich stark ausgeprägt gewesen. Die Projektwoche ist mittels Beobachtungen und Interviews mit Schüler:innen und Lehrpersonen (Schule, Lernort) empirisch begleitet worden, wobei Interviewtranskripte und Arbeitsergebnisse der Schüler:innen kategorienbasiert ausgewertet und aufeinander bezogen worden sind. Es zeigt sich, dass Schüler:innen angebotene Perspektiven (auch die physikalische) einnehmen und rekonstruieren und dabei komplexes Wissen über die Herausforderungen des Klimawandels aufbauen und anwenden können.

1. Physikalische Bildung an interdisziplinären non-formalen Lernorten

Science Center und weitere non-formale Lernorte bieten eine Vielfalt von Möglichkeiten, Phänomene der Physik einem breiten interessierten Publikum darzubieten. Dabei erlauben es außerschulische Lernorte, komplexe interdisziplinäre Themenfelder aufzugreifen und dabei auch die physikalische Perspektive einzunehmen.

In der Betrachtung komplexer Themenfelder spielen interdisziplinäre Ansätze unter Berücksichtigung unterschiedlicher Perspektiven eine entscheidende Rolle. Aktuelle Herausforderungen wie Klimawandel, Energieversorgung, Digitalisierung, Urbanisierung und Globalisierung weisen hohe Komplexität auf. Sie erfordern das Einnehmen vieler, auch sich widerstreitender Perspektiven, um Entscheidungen treffen, Handlungen begründen und Sachverhalte reflektieren zu können (Wettstädt & Asbrand, 2014). Die physikalische Perspektive tritt im allgemeinen Diskurs aber vielfach gegenüber biologischen, ökologischen, ökonomischen oder sozialen Perspektiven in den Hintergrund. Dies ist aber nicht angemessen, denn bei allen angeführten Problemkontexten ist die physikalische Perspektive notwendig, um fachliche Grundlagen und Konsequenzen zu verstehen. Fachliche Inhalte wie Temperatur und Wärme, Energie, Strahlung, Ausgleichprozesse wie etwa Strömungen zu verstehen, ist eine Voraussetzung, um z. B. das komplexe Thema des Klimawandels nachzuvollziehen, etwa die Ursachen des Treibhauseffekts oder des Meeresspiegelanstiegs sowie die Folgen des Klimawandels.

Die physikalische Perspektive hat also einen entscheidenden Anteil daran, aktuelle Schlüsselprobleme nachzuvollziehen, zu erklären und sich ihnen gegenüber zu positionieren. In der Schule jedoch werden weitgehend disziplinäre Ansätze verfolgt, die eine gewisse fachliche Enge bedeuten. Die Ergänzung der schulischen Angebote durch außerschulische Lernortangebote zwecks interdisziplinären Zugangs kann den Verstehensprozess bzgl. komplexer Themenfelder auf Seiten der Schüler:innen unterstützen (Sauerborn & Brühne, 2014).

2. Komplementäre Vernetzung von Lernangeboten

Das Bildungssystem sollte Schüler:innen auf die hohe Komplexität zahlreicher Schlüsselprobleme vorbereiten und den Umgang mit Komplexität unterstützen. Das Aushalten von und der Umgang mit Komplexität (Ambiguitätstoleranz), die belastend wirken kann, sollte ein wesentliches pädagogisches Ziel sein (Ohl, 2018). Schulen und weitere Bildungseinrichtungen sollten dies gemeinsam tragen. Der kognitiven Bereich kann dabei sehr unterstützen, indem Dilemmata, Konflikte, fachliche Zusammenhänge auf verschiedenen Ebenen durch unterschiedliche fachliche Zugriffe von Schüler:innen erfasst werden.

Da schon jeder einzelne non-formale Lernorte interdisziplinär arbeitet und die Kombination mehrerer dieser Lernorte die Interdisziplinarität noch erhöht, ist ihre kombinierte Nutzung ein möglicher Lösungsansatz, um komplexe Themen Schüler:innen nahezubringen (Sajons & Komorek, 2020). Die

Angebote werden dann 'komplementär' miteinander vernetzt. Eine Komplementäre Vernetzung meint dabei eine Vernetzung der Lernangebote und auch die der außerschulischen, non-formalen Lernorte. Sie geht über eine rein organisatorische Vernetzung hinaus. Die Angebote von Science Centern, Museen, Schülerlaboren oder Umweltbildungszentren werden dabei inhaltlich aufeinander bezogen, indem Anknüpfungspunkte geschaffen werden, um einen Beitrag zu einem gemeinsamen übergeordneten Lernziel zu leisten (Sajons & Komorek, 2020). Das Ergebnis der komplementären Vernetzung, das entstandene komplexere Bildungsangebot, soll an Tiefe und Konsistenz gewinnen, indem sich die einzelnen Lernorte fokussieren und ihre Angebote für das vernetzte Angebot ausschärfen. Komplementäre Vernetzung wird auf mehreren Wegen erreicht (vgl. Richter, Sajons, Gorr, Michelsen & Komorek, 2018).

2.1. Pfade komplementärer Vernetzung

Eine Möglichkeit dabei ist die Vernetzung über eine Produktorientierung. Dabei kann ein Produkt, das Schüler:innen am ersten Lernort anfertigen, am nächsten Lernort aus neuer Perspektive weiterentwickelt werden. Auch kann ein erzeugtes Produkt (z.B. ein solarbetriebenes Fahrzeug) an den verschiedenen Lernorten unterschiedlich weitergenutzt werden.

Weitere Möglichkeiten bietet die Vernetzung über gemeinsame Bildungsziele oder über die Orientierung an bestimmten aufzubauenden Kompetenzen. Dies können unterschiedliche Kompetenzen in ähnlichen Themenfeldern sein oder bei unterschiedlichen Themen dieselben anzuzielenden Kompetenzen. In den meisten Fällen bietet sich eine thematische Vernetzung an.

2.2. Die thematische Vernetzung

Kern der thematischen Vernetzung ist es, dass die Lernorte ein Thema aus unterschiedlichen Perspektiven betrachten. Diese Perspektiven können einander ergänzen oder explizit im Gegensatz zueinander stehen, um ein Dilemma oder einen Konflikt zu verdeutlichen. Angewendet auf das Thema Klimawandel könnte in diesem multiperspektivischen Ansatz also ein Lernort eine eher globale, klimatische Perspektive einnehmen, während ein anderer Lernort eine lokale und ökologische Perspektive einnimmt. Die Lernorte ergänze sich in diesem Beispiel durch ihre Perspektiven, indem Zusammenhänge zwischen lokalen und globalen Aspekten hergestellt werden können. Wiederum ein anderer Lernort könnte eine technische Perspektive mit dem Ziel zur Entwicklung nachhaltiger Lösungen einnehmen und sich dabei auf bereits erarbeitete Lösungen beziehen.

Wichtig ist bei allen Vernetzungspfaden, dass die Schüler:innen auch eine reflexive Haltung gegenüber den Besuchen an beteiligten Lernorten einnehmen, sodass die unterschiedlichen Lernortangebote und einzelnen Perspektiven aufeinander bezogen

werden, dass Verbindungen, Zusammenhänge und Widersprüche ausgearbeitet werden und dass damit ein vielschichtiges Bild des Themenfelds entstehen kann. Gerade dann entfaltet das Konzept mit seinen Angeboten seine volle Stärke. Eine solche Reflexion wird in mehrfacher Hinsicht umgesetzt, indem an den Lernorten konkrete Zusammenhänge zu weiteren Angeboten herausgearbeitet werden und in der Schule die Besuche aufgearbeitet werden und das Oberthema unter den erarbeiteten Perspektiven reflektiert wird.

3. Umsetzung der komplementären Vernetzung in einer Projektwoche

Die komplementäre Vernetzung non-formaler Lernorte über den Pfad der thematischen Vernetzung wurde im September 2019 in einer von der BINGO-Umweltstiftung geförderten Projektwoche erprobt, bei der fünf teilnehmende Lernorte unterschiedliche Perspektiven auf das Oberthema ‚Herausforderung Leben im Klimawandel‘ einnahmen.

Das Themenfeld weist eine hohe Komplexität und ein hohes Konfliktpotential zwischen verschiedenen Perspektiven auf, wodurch vielerlei Herausforderungen entstehen. Klimaschutz steht dem Umweltschutz teilweise konträr gegenüber und es existiert ein Zielkonflikt zwischen Klimaschutz, sozialer Gerechtigkeit und Wirtschaftlichkeit. Damit bietet sich für die komplementäre Vernetzung ein thematisch vernetzender Pfad an, auf dem das Thema vielseitigen beleuchtet wird.

3.1. Beschreibung des in der Projektwoche teilnehmenden Netzwerks

Bereits 2017 fanden sich fünf außerschulische Lernorte aus der Region Wilhelmshaven/Friesland, das Küstenmuseum, der Botanische Garten mit dem Verein grün&bunt, der Lernort Technik und Natur, das Wattenmeer Besucherzentrum und das regionale Umweltzentrum Schortens in Kooperation mit der Physikdidaktik der Universität Oldenburg zusammen. Gemeinsames Ziel war die komplementäre Vernetzung ihrer Angebote, die unterschiedliche Herangehensweisen und Perspektiven verfolgen, was eine Stärke des Netzwerks darstellt. Beispielsweise wählt das Küstenmuseum einen lokalen und historische Ansatz, während der Botanische Garten mit grün&bunt eine ökologische Perspektive einnimmt. Die Lernorte zusammen mit der Arbeitsgruppe Didaktik der Physik und Wissenschaftskommunikation haben bislang komplementär vernetzte Angebote zu den Themen ‚Herausforderung Leben im Klimawandel‘, ‚Kunststoffe – Fluch und Segen zugleich‘ und ‚Nachhaltig im Küstenraum‘ entwickelt. Die Lernorte haben dafür bereits existierende inhaltlich passende Angebote angepasst und weiterentwickelt und auch neue Angebote entwickelt. Diese Angebote wurden analysiert, Schnittstellen und Anknüpfungspunkte herausgearbeitet und so angepasst, dass sie sich aufeinander beziehen. Entstanden sind jeweils Handreichungen für Lehr-

kräfte und für Lehrpersonen an den Lernorten, in denen alle Informationen zur Planung und Durchführung der Angebote aufbereitet sind.

3.2. Planung, Struktur und Durchführung der Projektwoche

An der durchgeführten Projektwoche haben 130 Schüler:innen der sechsten Klassenstufe teilgenommen. Dabei haben die einzelnen Schulklassen an den ersten vier Tagen jeweils einen der fünf oben genannten Lernorte besucht und am fünften Tag, zurück in der Schule, die Besuche reflektiert. Die Angebote an den Lernorten waren so aufgebaut, dass sowohl zu Beginn als auch zum Ende ein „Vernetzungselement“ geplant ist, in dem die vorherigen und nachfolgenden Lernortbesuche mit dem aktuellen Besuch in Verbindung gesetzt wurde. Dabei wurden einleitend der zurückliegende Lernortbesuch besprochen und Anknüpfungspunkte herausgearbeitet sowie in der „Ausleitung“ neben einer Reflexion des Erlebten eine Überleitung zum nächsten Lernort vorgenommen.

Am fünften Tag bestand die Aufgabe, dass die Schüler:innen eine Ausstellung planen und aufbauen, die die an den Lernorten eingenommen Perspektiven dargestellt, Inhalte übergreifend strukturiert und ein Überblick über die gesamte Projektwoche gibt. Die Ausstellung sollte an Parallelklassen und weitere Jahrgänge gerichtet sein.

Für jeden einzelnen Schritt an der Schule und den Lernorten wurde vor der Projektwoche ‚Herausforderung Leben im Klimawandel‘ je eine Handreichung mit Informationen und Übersichten zu Anknüpfungspunkten und Inhalten der Angebote für Lernortbetreibende und Lehrkräfte erarbeitet (Zinn, 2019). Sie enthielt Ideen, wie die Angebote in ihrer Vernetzung strukturiert sein können und wie der fünfte Tag ablaufen kann.

4. Empirische Begleitstudie der Projektwoche

Die Kognitionen und Handlungen der teilnehmenden Schüler:innen wurden bezüglich der Abläufe am Lernort und dem Umgang mit Komplexität empirisch begleitet. Insgesamt wurde sechs Forschungsfragen zur allgemeinen Situation der Projektwoche, dem Verständnis der fachlichen Inhalte sowie dem Verständnis um die Perspektiven und deren komplementäre Verknüpfung in der Projektwoche nachgegangen:

- Welche Erwartungen haben die Schüler:innen bezogen auf die Projektwoche?
- Inwieweit können die Schüler:innen nachvollziehen und wiedergeben, was mit Klimawandel gemeint ist? Wie entwickelt sich das Verständnis vom Konzept des Klimawandels während der Projektwoche?
- Inwiefern können die Schüler:innen ihre Handlungen an den Lernorten rekonstruieren (erinnern und wiedergeben), reflektieren und begründen?

- Inwiefern können sie die Perspektiven, die die Lernorte einnehmen, nachvollziehen und formulieren?
- Inwiefern können sie diese Perspektiven aufeinander beziehen und Unterschiede und Gemeinsamkeiten herausarbeiten? Inwiefern können sie Konflikte oder Dilemmata formulieren, die sich aus den verschiedenen Perspektiven potenziell ergeben?
- Und inwiefern können die Schüler:innen die Komplexität der Herausforderungen nachvollziehen, denen die Bewohner der Küste im Klimawandel gegenüberstehen? Wie formulieren sie selbst diese Herausforderungen?

Zur Beantwortung dieser Fragen wurde ein qualitatives Vorgehen gewählt, bei dem die Schüler:innen in qualitativen, problemzentrierten Leitfadenterviews (nach Witzel, 1985) mit offenen Fragen konfrontiert waren. Ergänzt wurden die Daten um Beobachtungsbögen dazu, wie an den einzelnen Lernorten in die Angebote eingeleitet wurde und wie dabei an das Angebot vom Vortag angeknüpft wurde. Auch die Vorausschau am Ende eines Projektwochentages wurde aufgenommen. Ziel war es, die Verknüpfungsleistung der Lernortbetreibenden zu erfassen, die als wesentliche Voraussetzung für das Zusammenhangsverständnis der Schüler:innen angenommen wurde.

Die Interviewdaten umfassen Aussagen von 30 Schüler:innen bzw. Schülergruppen, wovon zwei Schülergruppen über den gesamten Zeitraum der Projektwoche begleitet wurden. Diese Schüler:innen wurden im Projekt teils bis zu 16mal befragt. Zusätzlich wurden am Lernort Technik und Natur wechselnde Schülergruppen begleitet und ebenfalls leitfadengestützt interviewt. Ziel war es, die Vorerfahrungen bezogen auf einen Lernortbesuch zu ergründen. In insgesamt 19 Beobachtungsbögen wurden ein- und überleitende Ausschnitte der Lernortangebote notiert.

Ergänzt werden diese Daten durch Beobachtungen des fünften Tags an der Schule. Zur Beantwortung der Forschungsfragen wurden die aufgenommenen und transkribierten (Dresing & Pehl, 2015) Interviewdaten in einer qualitativen Inhaltsanalyse (Kuckartz, 2018) ausgewertet. Dafür wurden theoriegeleitet und an den Forschungsfragen orientierte deduktive Kategorien aufgestellt und aus dem Datenmaterial zusätzlich induktive Kategorien entwickelt. Zur Interpretation der Ergebnisse wurden die Beobachtungsdaten zusätzlich herangezogen.

In einer parallelen Erhebung (Zinn, 2019) wurden auch Lehrkräfte zur Nachvollziehbarkeit und zu Stärken und Schwächen der komplementären Projektwoche und zum Nutzen der Handreichung befragt. Auch wurden Eindrücke und Beobachtungen des an der Durchführung beteiligten pädagogischen Personals an den Lernorten zur Umsetzbarkeit des Formats befragt.

5. Ergebnisse der Begleitstudie

In der die Schüler:innen begleitenden Studie (Tischer, 2020) wurde entsprechend der Forschungsfragen zunächst kein spezifischer Fokus auf die physikalische Bildung gelegt, was aber im vorliegenden Beitrag nachgeholt wird (vgl. auch Tischer, Sajons & Komorek, 2022). Von Interesse ist, welchen Anteil physikalische Bildung bei der Bewältigung komplexer Probleme in komplementär vernetzten non-formalen Angeboten hat. Deshalb werden im Folgenden die Ergebnisse der Studie mit Blick auf Aspekte physikalischer Bildung diskutiert.

5.1. Erwartungen und Handlungen in der Projektwoche

Bezüglich der Erwartungen (FF1) wurden sowohl die Vermutungen („Was glaubst du, wirst du machen?“) als auch die Wünsche („Was würdest du gern lernen?“) an die Projektwoche und die Lernortbesuche erhoben. Es ist dabei deutlich geworden, dass die Schüler:innen erwarten, fachliches Wissen über den Klimawandel, seine Ursachen und Auswirkungen angeboten zu bekommen. Dabei ist aufgefallen, dass sie davon ausgegangen sind, dass sie diese Wissensbestände an den Lernorten behandeln werden. Mit der Betonung auf die Ursachen (und Folgen) des Klimawandels könnten auch physikalische Aspekte gemeint sein, diesbezügliche konkrete Aussagen bezüglich der physikalischen Perspektive wurden jedoch nicht geäußert. Auffällig hingegen ist, dass der Bedarf bestand, einen Blick in die Zukunft des Klimawandels bzw. des Lebens auf der Erde mit dem Klimawandel einzunehmen. Diese Erwartung hängt vermutlich damit zusammen, dass im Angebot des Küstenmuseums eine historische Perspektive eingenommen wird, wodurch die Schüler:innen für die zeitlichen Aspekte sensibilisiert werden. Auch spielen die Wünsche zu erfahren, „wie es mit der Erde weitergeht“ eine Rolle. Auf die 'zeitlichen Perspektive' wird im Abschnitt 5.3 eingegangen.

Bezüglich der Handlungen der Schüler:innen (FF3) konnten zwei deduktive Kategorien gebildet werden, die die Rekonstruktion als auch für die Begründung der Handlungen an den Lernorten abdeckt. Die Äußerungen zur Rekonstruktion der Handlungen lassen sich drei Kategorien zuordnen: Zum einen wurden Handlungen lediglich mit einem einzigen Begriff, z.B. „Wir haben dort experimentiert.“ geäußert. Es ist für die Handlung also jeweils eine Art Oberkategorie von den Schüler:innen gefunden worden, in der die Handlung beschrieben wurde. In der nächsten Kategorie wurden im Gegensatz dazu sehr detailliert und genau die einzelnen Aspekte der Tätigkeit aufgeführt. Eine dritte Kategorie der Rekonstruktion von Handlungen hat eine deutliche Abstraktion der Schüler:innen zur Voraussetzung. So haben Schüler:innen hier ihre Handlungen beispielsweise als „Untersuchung des Klimawandels“ beschrieben. Diese dritte Kategorie grenzt sich insofern zur ersten

ab, dass eine deutliche Abstraktion vorliegt und vor allem das Ziel der Handlungen beschrieben wurde.

Bezüglich der Begründung von Handlungen konnten zwei Argumentationslinien ausgemacht werden. Einerseits wurde sehr konkret am Produkt argumentiert, indem bestimmte Entscheidung begründet wurden wie beispielsweise folgendes Zitat am Lernort Technik und Natur zeigt: „[...] ich dachte mir, wenn das gerade ist und da Ecken sind, dass das das Wasser ein bisschen aufhält [...].“ Andererseits argumentieren die Schüler:innen bzgl. des konkreten Kontexts wie dem Klimawandel, indem beispielsweise für denselben Lernort begründet wird, dass die Entwicklung des Produkts mit Solarzellen deutlich umweltfreundlicher ist (Tischer, 2020).

Es ist in der oben genannten Darstellung zu berücksichtigen, dass aus den Aussagen und Begründungen der Schüler:innen auf einer weniger komplexen Ebene nicht immer darauf geschlossen werden kann, dass die Schüler:innen nicht auch eine komplexere Darstellung der Sachverhalte formulieren könnten.

5.2. Verständnis der fachlichen Inhalte

Bezüglich der in der Projektwoche vermittelten fachlichen Inhalte wurden vor allem das Verständnis und die Entwicklung des Verständnisses um den Klimawandel (FF2) und den Herausforderungen, die sich aus dem Klimawandel für den Menschen ergeben (FF6), untersucht.

Das Verständnis des Klimawandels setzt ein umfangreiches Vorwissen über die Begriffe Wetter und vor allem Klima voraus. Auch physikalisches Wissen ist eine wichtige Voraussetzung für das Verständnis. Es ist Aufgabe der Projektwoche, dieses Wissen, also die (physikalischen) Grundlagen, sowie über die Begriffe Wetter, Klima und Klimawandel weiterzuentwickeln bzw. aufzubauen.

Es hat sich gezeigt, dass die Aussagen über das Klima, bzw. den Klimawandel eine große Bandbreite aufweisen. Dabei ist aufgrund des Lernprozesses zu berücksichtigen, zu welchen Zeitpunkten die Aussagen getätigt wurden. Es fällt auf, dass Schüler:innen unter dem Klimawandel zunächst vor allem den Aspekt der Erwärmung der Erde sehen, diese Vorstellung im Laufe der Projektwoche jedoch stärker ausdifferenziert wird und sich ein vielschichtigeres Bild des Klimawandels ergibt. Es lässt sich damit feststellen, dass sich das Wissen um den Begriff Klimawandel im Verlauf der Projektwoche positiv entwickelt hat. Die Aussagen der Schüler:innen umfassen am Ende deutlich mehr Details, die sich in vielen Fällen auch eindeutig auf die Lernortangebote zurückführen lassen. So wurde beispielsweise in der Projektwoche für eine Differenzierung zwischen dem natürlichen und dem anthropogenen, also dem menschengemachten Klimawandel unterschieden.

Es wurden weiterhin der Aspekt des Klimas als „Durchschnitt über das Wetter“ in vielen Aussagen erst gegen Ende der Projektwoche gefunden,

wodurch sich Rückschlüsse auf das Lernen in den Lernortangeboten machen lassen. Dabei ist jedoch in einigen Aussagen nicht der Durchschnitt, sondern die Differenz zwischen zwei Zuständen gemeint, obwohl Äußerungen ähnlich klingen.

Es fällt weiterhin auf, dass die Schüler:innen nur selten in der Lage waren, differenziert zwischen den Begriffen Wetter, Klima und Klimawandel zu unterscheiden. Dabei ist diese Differenzierung wichtig, da das Verständnis des Klimabegriffs eine Grundlage für das Verständnis des Klimawandelbegriffs ist. Gleichzeitig ist auch Wetterverständnis wiederum eine Voraussetzung für das Klimaverständnis. Es zeigen sich gerade zu Beginn der Projektwoche Vorstellungen der Schüler:innen zu den Begriffen Klima und Klimawandel, die sich auch in weiteren Studien (z.B. Schuler, 2011) wiederfinden. Es fällt dabei auf, dass auch Schüler:innen, die Begriffe wie den Klimawandel oder das Klima auf Nachfrage nicht vollständig beschreiben (können), dennoch Folgen oder Ursache des Klimawandels korrekt benennen. Das Wissen über die Ursachen und Folgen ist also möglicherweise unabhängig vom detaillierten Verständnis um Klima und Klimawandel.

Die Aussagen der Schüler:innen bezüglich der Herausforderungen, die sich im Klimawandel stellen (FF6), lassen sich in drei Kategorien einteilen. Es werden zum einen Herausforderungen genannt, die darauf abzielen, ein Fortschreiten des Klimawandels einzudämmen. Hier werden vor allem konsumreduzierende Herausforderungen wie das Verzicht auf Fleisch oder lange Flugreisen zur Reduktion von Kohlenstoffdioxidemissionen formuliert.

Einer zweiten Kategorie werden Äußerungen zugeordnet, die Herausforderungen benennen, die sich auf das Eindämmen der Folgen des Klimawandels beziehen. In diese Kategorie fallen viele Äußerungen, die sich darauf konzentrieren, Folgen des Meeresspiegels abzuwenden und vorhandene Deiche zu erhöhen oder auch neue Deiche zu bauen.

Die dritte Kategorie der Herausforderungen bezieht sich auf das Leben mit den Folgen des Klimawandels. Hier ist vor allem ein Umgang mit den Folgen gemeint, ohne die Folgen einzudämmen. Das kann beispielsweise sein, mit Überflutungen infolge verstärkter Starkwetterereignisse leben zu müssen.

Die genannten Herausforderungen beziehen sich vor allem auf eine persönlich Ebene, also Herausforderungen, die auf die Schüler:innen selbst, ihre Familien oder Freundeskreise zutreffen oder von ihnen bewältigt werden können. Die genannten Herausforderungen unterliegen dabei eher einer niedrigen Komplexität, wie sie von Kindern/Jugendlichen in der 6. Klassenstufe erfassbar und formulierbar sind (Tischer, 2020).

5.3. Perspektiven und ihre Verknüpfungen

Es hat sich gezeigt, dass die Schüler:innen in Perspektiven denken können und die verschiedenen angebotenen Perspektiven auch einnehmen können.

Dabei werden verschiedene Perspektiven unterschiedlich stark betont. Grundsätzlich lässt sich feststellen, dass es den Schüler:innen möglich ist, die von den Lernorten angebotenen Perspektiven zu übernehmen. Dabei können sie zahlreiche der Perspektiven explizit benennen und formulieren, darunter beispielsweise die 'globale', die 'ökologische', die 'technische', die 'historische' und die 'naturwissenschaftliche' Perspektive. Die Erläuterungen fallen oft aber nur kurz aus, bspw. „[...] die globale Sicht ist von der ganzen Welt [...]“. Andere Perspektiven, z.B. die 'ethisch/moralische' oder 'ökonomische' Perspektive, können von den Schüler:innen nicht explizit formuliert werden.

In einigen Fällen werden von den Schüler:innen auch Perspektiven genannt, die die Lernorte gar nicht expliziert haben. Vor allem ist hier die „Zukunftsperspektive“ zu nennen, in der die Schüler:innen einen Blick auf zukünftige Ereignisse und die Entwicklung des Klimawandels werfen. Die Schüler:innen aktivieren also während der Lernortbesuche weitere Perspektiven, die von den Lernorten gar nicht explizit angezielt werden. Hier ist zu unterstellen, dass die Wünsche und Erwartungen der Schüler:innen, etwas über die Entwicklung des Klimas zu erfahren, sie dazu bringt, eine zeitlich Perspektive von selbst mit einzubringen.

Auch bezüglich der Verknüpfung der Perspektiven haben sich einige Auffälligkeiten gezeigt. So wird deutlich, dass Schüler:innen dazu fähig sind, die Perspektiven miteinander zu verknüpfen. Dies vor allem hinsichtlich des Oberthemas Klimawandel, aber auch zu Themen wie Umwelt oder Kohlenstoffdioxid. Die Schüler:innen nehmen die Perspektiven dabei in einigen Aussagen als sich ergänzend wahr, indem beispielsweise beschrieben wird, dass erst bei der Betrachtung aller Perspektiven ein Gesamtverständnis der Themenfelds gelingen kann. Auch werden in einigen Aussagen Perspektiven konkret aufeinander bezogen, z.B. die ökonomische, ökologische und globale Perspektive, indem der Lebensmittelkonsum (Fleischkonsum) mit Transportwegen, biologischer Herstellung und entstehenden Kosten in Bezug gesetzt werden. Im genannten Beispiel klingt bereits ein Dilemma (Kosten vs. Klimaschutz) an. Vielfach formulieren die Schüler:innen Dilemmata, wobei dort vor allem zwei Ebenen auftreten. Zum einen werden Dilemmata geäußert, in denen der Konflikt zwischen Bezahlbarkeit eines Produkts, der günstigen (oft klimaschädlichen), bzw. teuren (oft klimafreundlicheren) Herstellung deutlich werden. Zum anderen das Dilemma zwischen Mobilität/Luxus und Klimaschutz, indem Flugreisen oder das Autofahren thematisiert werden. Dilemmata sind damit häufig auf die eigene Person und eigene Wünsche bezogen.

Bezüglich der Verknüpfungen der Perspektiven fällt vor allem der fünfte Tag der Projektwoche, an dem die Lernortbesuche reflektiert werden und eine Ausstellung zum Oberthema entwickelt wurde, ins Ge-

wicht. Es wird deutlich, dass die Schüler:innen in allen Interviews, die am fünften Tag oder im Anschluss an die Projektwoche stattgefunden haben, auf die Verknüpfung zwischen den Perspektiven eingegangen sind. Die didaktische Strukturierung des fünften Tags scheint folglich hilfreich für die Verknüpfung der Perspektiven zu sein (Tischer, 2020), was ja auch beabsichtigt war.

5.4. Konsequenzen für eine Neustrukturierung der Projektwoche

Basierend auf den Ergebnissen zeigen sich Änderungsbedarfe für die erneute Durchführung der Projektwoche. Vor allem in den Bereichen der Perspektivität, der Einbettung in den schulischen Unterricht und einer vertieften Thematisierung grundlegender Begrifflichkeiten haben sich Konsequenzen für eine Weiterentwicklung gezeigt.

In der parallel zur hier beschriebenen Studie stattgefundenen Lehrkräftebefragung (Zinn, 2019) haben Lehrkräfte geäußert, die Projektwoche im Unterricht kaum vorbereitet zu haben. Eine zielgerichtete Einbettung kann allerdings einen positiven Effekt auf den Lernerfolg am Lernort (z.B. Guderian, 2006; Klees & Tillmann, 2015) und damit auf die Projektwoche haben. Eine Nachbereitung der Besuche ist durch den fünften Tag der Projektwoche an der Schule schon gegeben, könnte jedoch in einigen Aspekten trotzdem noch verbessert werden, da sie in ihrem Angebot etwas zu umfangreich für einen Schultag war. Es wird damit jedoch vor allem deutlich, dass insbesondere die Vorbereitung ein noch stärkeres Gewicht haben sollte. Zudem wird vorgeschlagen, fächerübergreifend in die entsprechenden Schulfächer Einbettungsmöglichkeiten zu integrieren (vgl. Abschnitt 6).

Ein weiterer Aspekt ist die vertiefte Thematisierung diverser grundlegender Begrifflichkeiten wie beispielsweise dem Wetter, Klima oder Klimawandel. Dies kann bereits in der Vorbereitung an den Schulen passieren, aber auch in den einzelnen Lernortangeboten. Die in 5.2 beschriebenen Unterschiede im Verständnis ließen sich bei einer detaillierteren Betrachtung möglicherweise minimieren. Gerade das Verständnis von Begriffen wie Klima, welches wiederum das Verständnis des Wetters voraussetzt, ist eine wichtige Voraussetzung, um Klimawandel im gesamten überhaupt erst verstehen zu können. Unabhängig davon lässt sich jedoch über die Folgen und Ursachen des Klimawandels diskutieren. Tiefgreifende Begründungen von Folgen und Ursachen sind jedoch erst möglich, wenn das entsprechende Verständnis dafür aufgebaut wird. Aus diesem Grund soll für eine erneute Durchführung auf eine stärkere Thematisierung dieser Begrifflichkeiten geachtet werden.

Weiterhin beziehen sich die Konsequenzen für die Weiterentwicklung auf drei Bereiche der Perspektivität: Deren stärkere Thematisierung, Reduzierung und Kategorisierung. So ist aufgefallen, dass die

genannten und beschriebenen Perspektiven zeitweise von denjenigen Perspektiven abweichen, die die Lernorte für ihre Angebote ursprünglich nennen. Aber diese zusätzlichen Perspektiven, die durch die Äußerungen der Schüler:innen deutlich werden, sollten an den Lernorten stärker expliziert werden. Zwar war ursprünglich jedem Lernort ein Satz an Perspektiven zugeordnet worden, der weitgehend aus einer Selbstzuordnung der Lernorte resultierte. Aber die von den Schüler:innen wahrgenommenen sollten in Zukunft ebenso thematisiert werden, was dazu beiträgt, die Angebote weiterzuentwickeln. Gerade die Querverbindungen und die vielseitige Perspektivität machen die komplementär vernetzten Angebote kognitiv wertvoll.

Besonders wichtig ist zu lernen, dass solch komplexe Themenfelder von verschiedenen Perspektiven betrachtet werden können und diese vielseitige Betrachtung hilft, die Themen vollumfänglich verstehen zu können bzw. im entsprechenden komplexen Themenfeld Entscheidungen treffen zu können. Darin sind naturwissenschaftliche Perspektiven ebenso wichtig wie gesellschafts- oder geisteswissenschaftliche Perspektiven.

5.5. Fokus: Physikalische Bildung

In diesem Projekt, welches sich durch seine sehr starke interdisziplinäre Ausrichtung auszeichnet, ist deutlich geworden, dass physikalische Bildung eine Wichtigkeit hat, um die im Klimawandel ablaufenden Prozesse nachvollziehen und erklären zu können. Es stellt sich jedoch die Frage, wie stark die physikalische Perspektive fokussiert werden sollte. Die Schüler:innen haben die physikalische Perspektive nicht direkt erwartet, doch haben sie von den Lernorten erwartet, Ursachen und Folgen des Klimawandels kennenzulernen, was unbedingt physikalisches Wissen einschließt, da dieses grundlegend ist, um die Abläufe nachvollziehen und erklären zu können. Diese physikalischen Effekte werden in der Projektwoche auch kennengelernt (einige sind den Schüler:innen bereits bekannt), nicht jedoch unbedingt die physikalischen Ursachen von verschiedenen Phänomenen verstanden. Das Ausdehnen von Wasser beispielsweise und die damit verbundene Erhöhung des Meeresspiegels in Folge der Erwärmung der Erde ist ein Aspekt, den Schüler:innen in der Projektwoche gelernt haben. Es scheint jedoch problematisch, dass die Schüler:innen zwar die (physikalischen) Effekte oberflächlich kennenlernen, die physikalischen Hintergründe und Ursachen jedoch nur selten erläutern.

Letztlich steht die Frage im Raum, wie tief das physikalische Wissen der Schüler:innen in solchen vernetzten Angeboten greifen muss, um die interdisziplinären und komplexen Sachverhalte verstehen und anwenden zu können. Im Beispiel des Meeresspiegelanstiegs ließe sich argumentieren, dass neben dem Abschmelzen der Gletscher auch die Ausdehnung des Wassers einen essenziellen Anteil hat und

dieser Aspekt gelernt werden muss. Die Effekte auf molekularer Ebene sind zwar wichtig, um das Phänomen der Ausdehnung von Wasser im Detail zu verstehen, nicht jedoch für das Wissen über den Meeresspiegelanstieg infolge der Erwärmung der Erde. Wie tief das Wissen letztlich greifen soll, ist damit auch vom Ziel des Formats abhängig. In dem hier beschriebenen interdisziplinären Format zu Herausforderungen im Klimawandel ist ein solch tiefgreifendes Wissen auf molekularer Ebene sicherlich hilfreich, jedoch nicht notwendig für Argumentationen für oder gegen bestimmte Maßnahmen im Klimaschutz. Dies legen auch die erhobenen Daten nahe, denn die Schüler:innen äußern vor allem den Aspekt des Meeresspiegelanstiegs infolge der Abschmelzung von Landeis und der Ausdehnung von Wasser und sind damit dazu befähigt in Themenfeldern wie Küstenschutz und Deichbau oder Handlungen gegen die globale Erwärmung zu argumentieren.

6. Fazit und Ausblick

Basierend auf den Ergebnissen der begleitenden Studien (Zinn, 2019; Tischer, 2020) soll die Arbeit im Netzwerk, sowie die komplementäre Vernetzung weiterentwickelt werden. Ergebnisse der Studie von Zinn (2019) waren, dass die Projektwoche ihre Ziele zwar erreichen konnte, durch die enge zeitliche Taktung jedoch Schwierigkeiten entstanden sind. Gleichzeitig waren (mitunter aufgrund der engen zeitlichen Taktung) Vor- und Nachbereitung an den Schulen nicht in allen Fällen ausreichend, um das komplexe Themenfeld allumfassend lernen zu können. Als eine Konsequenz wurde eine konkretere Einbettung in einzelne Schulfächer gefordert. Dies ist innerhalb einer einzigen Projektwoche jedoch nur schwer umsetzbar.

Aus diesen Gründen ist geplant, eine entzerrte, damit längere und auch intensivere Umsetzung zu erproben. Die Deutsche Telekom Stiftung fördert das Projekt ReBiS – Regionales MINT-Bildungsökosystem, in dem das Konzept der komplementären Vernetzung über einen Zeitraum von zwei Schuljahren erprobt werden soll. In diesem Zeitraum werden vier bis fünf Lernortbesuche durchgeführt und die einzelnen Besuche gezielt in den Fachunterricht integriert. Dabei wird die Stärke verschiedener Fächer und damit Perspektiven genutzt, indem beispielsweise der Besuch eines Museums im Geschichts- und Physikunterricht vor- und nachbereitet werden könnte. Ein paar Wochen bis Monate später könnte dann der Besuch eines Umweltbildungszentrums im Biologieunterricht eingebettet sein. Durch die gezielte Vor- und Nachbereitung und den stark entzerrten Ablauf wird ein nachhaltigeres und vertieftes Lernen auf Seiten der Schüler:innen erhofft. Ziel ist eine starke Integration der Lernortangebote in den Unterricht, wodurch auch interdisziplinäre Zugänge in den Fachunterricht gelangen können. Besondere Stärken der Lernorte wie Ausstattung, Authentizität und fachliche Kompetenz unterstreiten

den dabei den Nutzen und das große Potenzial der Lernortbesuche für eine gezielte Einbettung in den Fachunterricht.

Durch ein solches Konzept wäre es zudem möglich, Schulen und Lehrkräfte bei der Umsetzung von festgeschriebenen Bildungszielen zu unterstützen, wie beispielsweise dem BNE-Erlass (Niedersächsisches Kultusministerium, 2021).

In einer begleitenden Studie werden die fachbezogenen Handlungen und Kognitionen der Schüler:innen im komplementär vernetzten Bildungssystem ReBiS ebenso untersucht wie die Bedingungen für erfolgreiche Lernprozesse im Bildungsökosystem. Weiterhin werden Zielsetzung, Planung und Umsetzung auf Seiten der Lernortbetreibenden und Lehrkräfte untersucht, um letztlich eine Aussage darüber machen zu können, welchen Nutzen das Zusammenspiel zwischen außerschulischen Lernorten und Schulen bei der Bearbeitung komplexer Themenfelder hat. Dabei sollen quantitative Methoden (u. a. Fragebögen) genutzt werden, um Lernerfolge zu messen, sowie qualitative Methoden (Interview, Beobachtung), um tiefgehende Beweggründe und Prozesselemente zu ergründen.

7. Literatur

- Dresing, T. & Pehl, T. (2015). *Praxisbuch Interview, Transkription & Analyse – Anleitung und Regelsysteme für qualitativ Forschende*. Marburg: Eigenverlag.
- Guderian, P. (2007). *Wirksamkeitsanalyse außerschulischer Lernorte Der Einfluss mehrmaliger Besuche eines Schülerlabors auf die Entwicklung des Interesses an Physik*. Dissertation. Berlin: Humboldt-Universität.
- Klees, G. & Tillmann, A. (2015). Design-Based Research als Forschungsansatz in der Fachdidaktik Biologie. In *Journal für Didaktik der Biowissenschaften* (6). S. 91-110.
- Kuckartz, U. (2018). *Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung*. Weinheim: Beltz Juventa.
- Niedersächsisches Kultusministerium (2021). *Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE) an öffentlichen allgemeinbildenden und berufsbildenden Schulen sowie Schulen in freier Trägerschaft*. Hannover: Kultusministerium.
- Ohl, U. (2018). Herausforderung und Wege eines systematischen Umgangs mit komplexen Themen in der schulischen Nachhaltigkeitsbildung. In T. Pyhel (Hrsg.) *Zwischen Ohnmacht und Zuversicht? Vom Umgang mit Komplexität in der Nachhaltigkeitskommunikation* (S. 131-146). München: Oekom.
- Richter, C., Sajons, C., Gorr, C., Michelsen, C. & Komorek, M. (2018). Vernetzung außerschulischer GINT-Lernorte. In C. Maurer (Hrsg.), *Tagebandband GDCP 2017: Qualitätsvoller*

- Chemie- und Physikunterricht – normative und empirische Dimension* (Bd. 38, S. 648-651). Regensburg: GDCP.
- Sajons, C. & Komorek, M. (2020). Außerschulische Lernangebote komplementär vernetzen und evaluieren. In S. Habig (Hrsg.), Tagungsband GDCP 2019: *Naturwissenschaftliche Kompetenzen in der Gesellschaft von morgen*. (Bd. 40, S. 709-712). Wien: GDCP.
- Sauerborn, P. & Brühne, T. (2014). *Didaktik des außerschulischen Lernens*. Baltmannsweiler: Schneider.
- Schuler, S. (2011). *Alltagstheorien zu den Ursachen und Folgen des globalen Klimawandels – Erhebung und Analyse von Schülervorstellungen aus geographiedidaktischer Perspektive*. Berlin: Europäischer Universitätsverlag.
- Tischer, J. (2020). *Schülerkognitionen in einer komplementär vernetzten außerschulischen Lernumgebung – Die Projektwoche „Herausforderung Leben im Klimawandel“*. Masterarbeit. Oldenburg: Universität Oldenburg.
- Tischer, J., Sajons, C. & Komorek, M. (2022). Außerschulische Lernortangebote komplementär vernetzen. In S. Habig & H. van Vorst (Hrsg.), Tagungsband GDCP 2021: *Unsicherheit als Element von naturwissenschaftsbezogenen Bildungsprozessen*. (Bd. 42). GDCP.
- Wettstädt, L. & Asbrand, B. (2014). *Handeln in der Weltgesellschaft. Zum Umgang mit Handlungsaufforderungen im Unterricht zu Themen des Lernbereichs Globale Entwicklung*. In: ZEP Zeitschrift für internationale Bildungsforschung und Entwicklungspädagogik (37, 1, S. 4-12).
- Witzel, A. (1985). Das problemzentrierte Interview. In G. Jüttemann (Hrsg.), *Qualitative Forschung in der Psychologie: Grundfragen, Verfahrensweisen, Anwendungsfelder* (S. 227-255). Weinheim: Beltz.
- Zinn, I. (2019). *Konzeption und empirische Begleitung einer komplementären Projektwoche „Herausforderung Leben im Klimawandel“*. Masterarbeit. Oldenburg: Universität Oldenburg.

Zur Rolle von naturwissenschaftlicher Bildung in Straßenschulen

Matthias Fischer, Manuela Welzel-Breuer

*Pädagogische Hochschule Heidelberg, Fakultät III – Fach Physik, Postfach 10 42 40, 69032 Heidelberg
m.fischer@ph-heidelberg.de, welzel@ph-heidelberg.de

Kurzfassung

In Deutschland leben circa 37000 Straßenjugendliche. Ihre Lebenslagen sind häufig ebenso prekär wie ihre Bildungssituation. Viele haben negative Schulerfahrungen gesammelt. Sie brechen überdurchschnittlich oft die Schule ab und geben häufiger als Peers einen Hauptschulabschluss als höchsten Schulabschluss an. Unter anderem aufgrund ihrer negativen Erfahrungen erwerben sie auch später keinen (höherwertigeren) Schulabschluss mehr. Als Antwort darauf wurden in Deutschland Straßenschulen gegründet, die Straßenjugendlichen unter Berücksichtigung ihrer Lebenslagen das Nachholen von Abschlüssen ermöglichen. Naturwissenschaftliche Bildung hat dabei das Potential, die Lebensumstände von Straßenjugendlichen (langfristig) zu verbessern. Dementsprechend stellt sich die Frage, welche Rolle naturwissenschaftlicher Unterricht in den Straßenschulen einnimmt. Diese Studie sucht systematisch nach Straßenschulen, kategorisiert diese und erfasst, ob naturwissenschaftliche Fächer unterrichtet werden. Mittels Experteninterviews werden Gründe für fehlende naturwissenschaftliche Bildung erhoben und die Inhaltsauswahl in den naturwissenschaftlichen Fächern sowie die Ziele bei deren Vermittlung untersucht.

1. Problemaufriss und Definitionen

Laut einer Hochrechnung von Hoch (2017) gibt es in Deutschland circa 37000 Straßenjugendliche, von denen ungefähr 6500 minderjährig sind. Diese Zahlen erscheinen sogar noch recht niedrig im Vergleich zu der aktuellen Schätzung der Bundesarbeitsgemeinschaft Wohnungslosenhilfe (2021), die im Jahr von etwa 20000 wohnungslosen Minderjährigen ausging. Da die Gesamtzahl aller Wohnungslosen in Deutschland zwischen den Jahren 2018 und 2020 um etwa acht Prozent gestiegen ist, kann davon ausgegangen werden, dass auch die Zahl der Straßenjugendlichen in Deutschland zunimmt (BAG W, 2021). Unter Straßenjugendlichen versteht Hoch sowohl Minderjährige als auch „(junge) Volljährige bis zum Alter von 27 Jahren [...] ohne festen Wohnsitz, also sowohl [...] Obdachlose als auch [...] Wohnungslose“ (Hoch, 2017, S. 40). Im sechsten Armuts- und Reichtumsbericht der Bundesregierung sind wohnungslose Personen dadurch definiert, dass sie „nicht über einen eigenen mietvertraglich abgesicherten Wohnraum oder Wohneigentum verfügen und institutionelle Hilfe benötigen, um sich eine normale Wohnung zu beschaffen und diese zu erhalten“ (Deutsche Bundesregierung, 2021, S. 349). Sie kommen also beispielsweise bei Freunden unter oder schlafen für eine begrenzte Zeit in Unterbringungen von Wohlfahrtsorganisationen. Obdachlosigkeit wiederum ist eine besondere Form von Wohnungslosigkeit, wobei obdachlose Personen auf öffentlichen Plätzen schlafen (Finnerty, 2021). Straßenkarrieren beginnen durchschnittlich mit 16 Jahren, wobei 18 Jahre das häufigste Alter bei der Straßenflucht ist (Hoch, 2016). Darüber hinaus ist die

Mehrheit der Straßenjugendlichen männlich (ca. 62%). Das deckt sich mit der Geschlechterverteilung von volljährigen Wohnungslosen, von denen etwa 67% männlich sind (Hoch, 2016; BAGW, 2021).

Die Gründe für den Beginn der Straßenkarrieren sind vielfältig und komplex, unterscheiden sich teilweise erheblich und haben oftmals auch negative Auswirkungen auf die momentanen Lebenslagen. Befragt nach den Hauptursachen für ihre Straßenkarriere gaben in einer Studie von Hoch (2016) ungefähr 45% der 278 Jugendlichen an, dass diese in den Herkunftsfamilien liegen. Hierzu zählen beispielsweise Konflikte mit den Eltern oder schwierige Wohnverhältnisse im Elternhaus. Auch andere Autorinnen und Autoren berichten, dass die Jugendlichen häufig von ihren Eltern vernachlässigt wurden, es oft Streit mit sowie zwischen den Eltern gab und sich die Herkunftsfamilie immer wieder Herausforderungen gegenüber sah, zum Beispiel Armut, Süchte oder Krankheiten. Teilweise erlebten die Straßenjugendlichen sexuellen Missbrauch und körperliche Gewalt (Fernandez, 2018; Mögling et al., 2015; Bielert, 2006; Permien & Zink, 1998). Die Lebenslagen der Straßenjugendlichen sind oftmals prekär und dementsprechend stehen sie zahlreichen Herausforderungen gegenüber. Beispielsweise sind sie häufig von finanzieller Armut betroffen, was zeitweise sogar zu Hunger führt: „Also der eine kommt hier her, hat wirklich tatsächlich nichts zu essen. [...] Weiß nicht, wie er eine Fahrkarte bezahlen soll [...]. Geschweige denn, was er als nächstes zu Essen auf dem Tisch hat.“ (Interview V8, Abschnitt 27). Als Haupteinnahmequelle gibt die Mehrheit der von Hoch (2016) befragten Jugendlichen (ca. 36%) staat-

liche Unterstützung an, gefolgt von legalem Gelderwerb auf der Straße (ca. 23%), beispielsweise durch Schnorren oder Sammeln von Pfandflaschen. Leider gibt es auch zahlreiche Hinweise darauf, dass die körperliche und insbesondere die psychische Gesundheit vieler besorgniserregend ist. Zu den häufig genannten psychischen Krankheiten und Störungen zählen Depressionen, suizidale Tendenzen oder PTSD (Flick & Röhsch, 2008; Trott, 2011). Im Anbetracht der schwierigen Lebenslagen kann der mitunter starke Konsum von Drogen und Alkohol der Straßenjugendlichen als Mittel zur Realitätsflucht und Selbstmedikation interpretiert werden. Der Drogenmissbrauch führt bei nicht wenigen zur Abhängigkeit (Flick & Röhsch, 2008).

Die schwierigen Lebenslagen von Straßenjugendlichen spiegeln sich auch in ihren Bildungskarrieren wider. Ihre Schulzeit verbinden sie meist mit negativen Erfahrungen (Herz, 2007). Sie berichten zum Beispiel von erlebtem Mobbing durch Peers sowie fehlender Unterstützung von Lehrkräften. Als Folge der negativen Erlebnisse blieben die Jugendlichen immer häufiger dem Unterricht fern, fielen vermehrt durch Verhaltensprobleme auf und ihre schulischen Leistungen wurden schlechter (Beierle & Hoch, 2017; Blumenberg, 1999). Bei manchen führte dies schließlich zum Schulabbruch. In einer Interviewstudie von Hoch (2016) gaben 59 von 205 befragten Jugendlichen an, dass sie keinen Schulabschluss erlangt hatten. Im Vergleich dazu lag die durchschnittliche Schulabbruchrate in Deutschland im Jahr 2016 bei circa 5,5 Prozent (Anger & Plünnecke, 2022), also bei weniger als einem Viertel der eben genannten Abbruchrate. Bei dem höchsten erreichten Bildungsabschluss gaben 41,5 Prozent der Straßenjugendlichen einen Hauptschulabschluss an. Im gesellschaftlichen Durchschnitt ist dagegen nur bei etwa 13 Prozent der Hauptschulabschluss der höchste Bildungsabschluss (Hoch, 2016). Diese Funde werden auch durch eine Studie von Knopp et al. (2014) bestätigt. Hier gaben 21 von 91 befragten Straßenjugendlichen (ca. 23%) an, dass sie keinen Schulabschluss erworben haben, während für 48 der 91 Jugendlichen (ca. 53%) der Hauptschulabschluss der höchste erworbene Schulabschluss darstellt. Des Weiteren berichten Permien und Zink (1998), dass viele Straßenjugendliche zu späteren Zeitpunkten Schwierigkeiten haben, (höherwertigere) Schulabschlüsse nachzuholen und folglich oft auch keine Ausbildung beginnen. Zusammenfassend kann man also sagen, dass Straßenkarrieren häufig einen negativen Einfluss auf Schulkarrieren haben und teilweise zum Schulabbruch führen.

Ohne (höherwertigen) Schulabschluss bleibt den meisten Straßenjugendlichen aber der Zugang zu einer ausreichend vergüteten und attraktiven Beschäftigung häufig ein Leben lang verwehrt. Die fehlenden oder schlechten Zukunftsaussichten schmälern wiederum die Chancen auf einen Ausstieg aus der Straßenkarriere (Mögling et al., 2015).

Für die Schulabbrüche und Leistungsprobleme sind nicht etwa Begabungsprobleme verantwortlich, sondern Schwierigkeiten bei der Anpassung an schulische Regeln und Disziplinierungen (Beierle & Hoch, 2017; Blumenberg, 1999). Straßenjugendlichen „kann in der herkömmlichen Allgemeinschule [...] einfach nicht die individuelle Aufmerksamkeit und Beachtung gegeben werden, die für deren schulische Motivierung erforderlich wäre“ (Blumenberg, 1999, S. 104). Somit wird klar, dass eine Reintegration in das Regelschulsystem oft scheitern wird. Vielmehr müssen alternative Beschulungsmöglichkeiten realisiert werden, damit auf die Bedürfnisse und Lebenslagen von Straßenjugendlichen eingegangen werden kann. Zudem muss das momentane Schulsystem auf eine solche Weise reformiert werden, dass alternative Beschulungsmöglichkeiten unnötig werden, da jeder im Regelschulsystem nach den eigenen Bedürfnissen lernen kann. In Deutschland gibt es mittlerweile sogenannte Straßenschulen, die mit ihrem Angebot diese Problematik lösen möchten. Dabei verstehen wir unter Straßenschulen Organisationen, die Straßenjugendlichen unter Berücksichtigung ihrer Lebenslagen Bildungsangebote unterbreiten und den Erwerb von Bildungsabschlüssen ermöglichen.

2. Naturwissenschaftliche Bildung für Straßenjugendliche

Straßenschulen werden insbesondere im Hinblick auf das Sustainable Development Goal (SDG) „Quality Education“ wichtig, da mit ihnen die Realisierung von diversen Unterzielen für Straßenjugendliche erst möglich wird. Zu den relevanten Unterzielen von „Quality Education“ zählt unter anderem, dass „alle [...] gleichberechtigt eine [...] hochwertige [...] Sekundarschulbildung abschließen, die zu brauchbaren und effektiven Lernergebnissen führt“ (Vereinte Nationen, 2015, S. 18). Zusätzlich soll der gleichberechtigte „Zugang der Schwachen in der Gesellschaft, namentlich von [...] Kindern in prekären Situationen, zu allen Bildungs- und Ausbildungsebenen“ (Vereinte Nationen, 2015, S. 18) gewährleistet werden. Betrachtet man die Unterziele im Hinblick auf die Schwierigkeiten, denen Straßenjugendliche im Regelschulsystem begegnen, dann wird deutlich, dass solche Alternativen notwendig sind, bis das Regelschulsystem hochwertige Bildungsangebote auch für Straßenjugendliche mit ihren Bedürfnissen und Lebensumstände realisiert.

Das Recht auf eine hochwertige Bildung beinhaltet immer auch ein Recht auf naturwissenschaftliche Bildung (Kultusministerkonferenz, 2004). In Fächerkanons weltweit sind die naturwissenschaftlichen Fächer Biologie, Chemie und Physik ein fester Bestandteil. Das zeigt beispielsweise das international anerkannte Abitur International Baccalaureate (ibo, o.J.). Naturwissenschaftliche Kenntnisse als Teil hochwertiger Bildung sind heutzutage in nahezu allen Lebensbereichen unabdingbar, etwa als Zu-

gangsvoraussetzung zu diversen Berufen oder zur Gesunderhaltung des eigenen Körpers und der Natur (Welzel-Breuer & Breuer, 2018). Im siebten Unterziel von „Quality Education“ wird gefordert, „dass alle Lernenden die notwendigen Kenntnisse [...] zur Förderung nachhaltiger Entwicklung erwerben, unter anderem durch Bildung für nachhaltige Entwicklung“ (Vereinte Nationen, 2015, S. 18). Dabei befähigt laut BMBF (o.J.) Bildung für nachhaltige Entwicklung Menschen zu zukunftsfähigem Handeln und Denken. Eine solche Bildung ist ohne vermittelte naturwissenschaftliche Kenntnisse nicht realisierbar (Kircher, 2020). Zudem können insbesondere Straßenjugendliche von naturwissenschaftlicher Bildung profitieren. Beispielsweise leben sie häufig im Hier und Jetzt und beschäftigen sich deswegen kaum mit ihrer Zukunft (Wolfer, 2019). Die Fähigkeit des konkreten Planens kann hingegen ein Beenden der Straßenkarrieren unterstützen (Fernandez, 2018). Naturwissenschaftlicher Unterricht schult Kompetenzen im Vorhersagen von Ereignissen oder im Umgang mit Ungewissheiten und fördert somit Planungskompetenzen (EU, 2015). Des Weiteren gibt es auch Straßenjugendliche, die naturwissenschaftliche Interessen oder Talente besitzen und somit ein Recht auf deren Förderung und Entfaltung durch naturwissenschaftliche Bildung haben (Kircher, 2020; Fischer & Welzel-Breuer, 2021).

3. Forschungsfragen

Im Hinblick auf die Erkenntnisse des letzten Abschnittes ist es wichtig herauszufinden, ob naturwissenschaftliche Bildung in deutschen Straßenschulen überhaupt eine Rolle spielt und inwiefern das Potential der naturwissenschaftlichen Fächer – also Biologie, Chemie und Physik – in den Straßenschulen genutzt wird. Dies wollen wir durch die folgenden Forschungsfragen genauer untersuchen:

- 1) Wie viele Straßenschulen gibt es in Deutschland? Wie könnte man die gefundenen Straßenschulen sinnvoll kategorisieren?
- 2) Inwieweit werden die Fächer Biologie, Chemie und Physik in den gefundenen Straßenschulen in Deutschland unterrichtet?
- 3) Wie werden die naturwissenschaftlichen Inhalte in den Straßenschulen ausgewählt?
- 4) Welches sind Gründe für eventuell fehlenden naturwissenschaftlichen Unterricht?
- 5) Mit welchen Zielen werden die naturwissenschaftlichen Bildungsinhalte in den Straßenschulen unterrichtet?

4. Methodisches Vorgehen

Zu Beginn haben wir Auswahlkriterien für Straßenschulen aufgestellt, die sich an der Definition einer Straßenschule orientieren. Somit konnten wir entscheiden, ob ein gefundenes Projekt als Straßenschule eingeordnet werden kann. Die Auswahlkriterien sehen wie folgt aus:

- a) (Ehemalige) Straßenjugendliche machen einen beträchtlichen Teil der Gruppe der Teilnehmenden aus.
- b) Das Bildungsprojekt ist mitunter für (ehemalige) Straßenjugendliche konzipiert, indem es die Rahmenbedingungen an die vorhandenen Lebensumstände der Jugendlichen anpasst. Hierzu gehört beispielsweise eine fortlaufende sozialarbeiterische Begleitung.
- c) Die Schule ist für das Altersspektrum der Straßenjugendlichen zugänglich.
- d) Das Nachholen eines Schulabschlusses ist möglich.

Anschließend haben wir die Suche nach ersten Straßenschulen in Deutschland mit einer einfachen Internetrecherche begonnen, wobei wir die Suchbegriffe „Straßenschule“, „Schule & wohnungslos“, „Schulabschluss & wohnungslos“ nutzten. Falls die so gefundenen Bildungsprojekte nicht durch eine erste Betrachtung der Internetauftritte ausgeschlossen wurden, haben wir ein Telefonat mit den Verantwortlichen der Projekte geführt. So konnten wir über eine Einordnung als Straßenschule entscheiden. Darüber hinaus wurden mit dem Telefonat noch weitere Informationen zu dem Projekt mit Hilfe vorformulierter Fragen gesammelt, beispielsweise welche naturwissenschaftlichen Fächer unterrichtet werden und wie das Lernen normalerweise abläuft. Zu den Telefonaten wurden Mitschriften angefertigt. Falls ein gefundenes Projekt als Straßenschule eingeordnet wurde, haben wir anschließend leitfadengestützte Experteninterviews gemäß Helfferich (2019) mit naturwissenschaftlichen Lehrkräften und den Verantwortlichen geführt. Am Ende der Interviews wurde außerdem gefragt, ob den interviewten Personen noch ähnliche Bildungsprojekte für (ehemalige) Straßenjugendliche bekannt sind. Durch die Nutzung dieses Schneeballsystems identifizierten wir weitere potenzielle Straßenschulen, die dann nach dem eben beschriebenen Schema wiederum überprüft wurden. Insgesamt wurden Interviews mit vierzehn naturwissenschaftlichen Lehrkräften und zehn Verantwortlichen von Straßenschulen geführt. An den Interviews nahmen alle zehn Straßenschulen teil, die bis zum 31.12.2021 gefunden wurden. Nach Abschluss der Datensammlung wurden die Mitschriften der Telefonate analysiert, um so eine Kategorisierung der Straßenschulen hinsichtlich der Art des Lernens vornehmen zu können. Die in den jeweiligen Straßenschulen unterrichteten naturwissenschaftlichen Fächer haben wir über die Interviews und die Telefon-Mitschriften bestimmt, wobei wir uns dabei auf die jeweils aktuelleren Daten bezogen haben. Darüber hinaus wurden die Experteninterviews transkribiert und mit einer inhaltlich-strukturierenden qualitativen Inhaltsanalyse gemäß Kuckartz (2018) bezüglich der Forschungsfragen 3) bis 5) untersucht.

Kategorisierung	Straßenschule	Ort	Biologie	Chemie	Physik
Überwiegend Lernen in festen Gruppen	Gangway	Hamburg	X	X	X
	Haus der Lebenschancen	Stuttgart			
	Manege-Schule	Berlin			
	HASA (keine Interviews)	Sindelfingen			
Lernen in festen Gruppen & individuelles Lernen	Straßenschule der Treberhilfe Dresden	Dresden	X	X	X
	BIX von Rampe e.V.	Nürnberg	X	X	X
	Freezone	Mannheim	X	X	X
	Das andere SchulZimmer	Mannheim	X	X	
Überwiegend individuelles Lernen	PREJOB Dortmund	Dortmund	X		
	PREJOB Köln (keine Interviews)	Köln	X		
	Lernlabor des Street Colleges	Berlin	X	X	X
	JobKontor der Jugendsozialarbeit Schanzenviertel e.V.	Hamburg	X	X	X

Abb. 1. Übersicht der Straßenschulen mit Kategorisierung und angebotenen naturwissenschaftlichen Fächern

5. Ergebnisse der Forschungsfragen 1) bis 2)

Wir konnten insgesamt zwölf Straßenschulen in Deutschland gemäß der Auswahlkriterien finden (siehe Abb. 1.). In neun der zwölf Straßenschulen findet Unterricht in den Fächern Biologie, Chemie und/oder Physik statt. Dabei wird Biologie in jeder dieser neun Straßenschulen, Chemie sieben Mal und Physik nur sechs Mal unterrichtet. In beiden Standorten von PREJOB gibt es außerdem das Fach Allgemeinwissen, in dem vereinzelt auch chemische und physikalische Grundlagen behandelt werden. Da in beiden Fächern aber keine Abschlussprüfungen abgelegt werden können, wurden die Fächer Chemie und Physik nicht im Angebot der PREJOB-Schulen markiert. Der Grund für ihr Fehlen liegt in der Zusammenarbeit der beiden PREJOB-Standorte mit der Flex-Fernschule. Die Flex-Fernschule stellt auf Grundlage der Ergebnisse von zum Schuljahresbeginn durchgeführten Lernstandserhebungen individualisierte wöchentliche Lernpakete zur Verfügung. Dabei sind die angebotenen Fächer vorgegeben und orientieren sich an den für die externen Abschlussprüfungen notwendigen Fächern. Im anderen Schulzimmer wird kein Physik angeboten, da es hier keine Lehrkraft gibt, die dies unterrichten könnte. In den drei Straßenschulen Haus der Lebenschancen, Manege-Schule und HASA findet kein naturwissenschaftlicher Unterricht statt, wobei im Haus der Lebenschancen ein Projekt mit Naturwissenschaftsbezug existiert. Innerhalb dieses Projekts sollen die Jugendlichen dazu befähigt werden, sich der gesundheitlichen Auswirkungen ihrer Handlungen bewusst zu werden und sich somit besser um ihre eigene Gesundheit kümmern zu können. Beispielsweise werden hier die Themen Alkohol- und Drogenkonsum und ausreichend Schlaf behandelt. Bei den Ergebnissen muss beachtet werden, dass sich die Fächersituation in den einzelnen Straßenschulen von Schuljahr zu Schuljahr ändern kann. Unsere Ergebnisse verteilen sich über einen Datenerhebungszeitraum zwischen August 2021 und März 2022. Mittlerweile (Mai 2022) wird beispielsweise im anderen Schulzimmer auch Physik unterrichtet.

Auf Grundlage der Telefon-Mitschriften konnte außerdem eine Einteilung der gefundenen Straßenschulen in drei verschiedene Kategorien vorgenommen werden (siehe Abb. 1.). In der ersten Kategorie befinden sich alle Straßenschulen, in denen die Teilnehmenden überwiegend in festen Gruppen lernen und arbeiten. Beispielsweise gibt es an der Gangway verschiedene Gruppen, denen die einzelnen Jugendlichen zugeordnet werden. Innerhalb dieser Gruppen findet dann Unterricht statt und folglich gibt es dort feste Stundenpläne. Die Straßenschulen der Kategorie „Überwiegend individuelles Lernen“ besitzen eine solche Gruppenstruktur hingegen nicht und der Lernalltag ist vor allem durch individuelles Arbeiten und an dem jeweiligen Wissensstand orientierten Inhalten geprägt. Im Lernlabor findet der Unterricht in bestimmten Fächern sogar nur auf Wunsch von einzelnen Teilnehmenden statt, wobei eine Lehrkraft anwesend sein muss, die Lernen in diesem Fach begleiten kann. In den PREJOB-Standorten zeichnet sich die Individualisierung vor allem durch die individualisierten Lernpakete der Flex-Fernschule aus, an denen die Teilnehmenden jeweils arbeiten. Die Straßenschulen in dieser Kategorie sind dadurch gekennzeichnet, dass sie in der Regel keinen Stundenplan haben (mit Ausnahme des Lernlabors, da es hier Zeiten gibt, in denen die Fächer auf Wunsch angeboten werden). In der dritten Kategorie befinden sich alle Straßenschulen, in denen die Jugendlichen teilweise in Gruppen als auch individualisiert lernen. Ob Gruppenunterricht oder individualisiertes Lernen stattfindet, hängt unter anderem vom unterrichteten Fach und den Wünschen der einzelnen Teilnehmenden ab. In BIX von Rampe e.V. kann beispielsweise jeder Jugendliche selbst gemäß seinen / ihren Bedürfnissen entscheiden, ob Unterricht einzeln oder in einer Gruppe stattfinden soll. Dementsprechend hat dort auch jede/r Teilnehmende einen eigenen Stundenplan, der sich innerhalb des Schuljahres verändern kann. Ähnlich handhaben das auch Freezone und die Dresdner Straßenschule, die sowohl Lernen in Kleingruppen als auch Einzelunterricht anbieten (Treberhilfe Dresden, o.J.). Das

andere SchulZimmer beschreibt den Unterricht auf seiner Homepage wie folgt: „Der Unterricht setzt sich aus einer Kombination aus den Elementen Einzelunterricht, Unterricht in Kleingruppen, Eigenarbeit und ‚SchülerInnen unterrichten SchülerInnen‘ zusammen.“ (Das andere SchulZimmer, o.J.). Dadurch können die Teilnehmenden in vielen Fächern ihr eigenes Lerntempo bestimmen und bei Bedarf eine Lehrkraft um Hilfe bitten.

6. Ergebnisse der Forschungsfragen 3) bis 5)

Die Gründe für den fehlenden naturwissenschaftlichen Unterricht wurden für das Haus der Lebenschancen und die Manege-Schule durch Interviews (jeweils mit den Verantwortlichen) und bei HASA mit den Telefon-Notizen erhoben. In keiner der drei Straßenschulen ist ein naturwissenschaftliches Fach für die externen Abschlussprüfungen notwendig. Die Vorgaben hierfür stammen in der Regel von den jeweils zuständigen Schulbehörden. In der HASA und dem Haus der Lebenschancen können die Teilnehmenden nur den Hauptschulabschluss nachholen. Für diesen besteht im Raum Stuttgart die Wahlmöglichkeit zwischen einem naturwissenschaftlichen Fach oder dem Fach Gemeinschaftskunde. Das Haus der Lebenschance hat entschieden, Gemeinschaftskunde anzubieten, weil dieses mehr lebens- und gesellschaftsrelevante Kenntnisse beinhaltet. Dazu gehören beispielsweise die Themen Versicherungen, Arbeitsrecht und Ausbildungen. Darüber hinaus gaben sowohl das Haus der Lebenschancen als auch HASA an, dass sie nicht genug Räumlichkeiten haben, um zusätzlichen Unterricht neben Gemeinschaftskunde anzubieten, und dass ihnen dafür Lehrkräfte mit passenden Kompetenzen fehlen. Die Begründung, dass aufgrund von finanziellen Grenzen keine naturwissenschaftlichen Fächer angeboten werden können, ist wahrscheinlich direkt mit der Einstellung von neuen Lehrkräften verbunden (Haus der Lebenschancen & Manege-Schule).

Mit Hilfe der Experteninterviews (14 naturwissenschaftliche Lehrkräfte und acht Verantwortliche von Straßenschulen mit naturwissenschaftlichem Unterricht) kann die Frage beantwortet werden, wie in den naturwissenschaftlichen Fächern die Inhalte ausgewählt werden. Dabei gaben alle 22 interviewten Personen an, dass sich die Inhaltsauswahl an den Vorgaben zu den Prüfungsinhalten der Abschlussprüfungen orientiert, wobei hierzu auch die Lehrpläne in den einzelnen Fächern gezählt wurden. Oftmals werden die Abschlussprüfungen von kooperierenden Regelschulen abgenommen. In manchen Bundesländern können diese Schulen auch entscheiden, welche Inhalte in den naturwissenschaftlichen Prüfungen behandelt werden. Beispielsweise bekommt BIX von einer Kooperationsschule in Nürnberg jedes Jahr eine Liste mit möglichen Prüfungsthemen, die dann am Ende des Schuljahres von dieser Schule geprüft werden. Gangway in Hamburg orientiert sich an den Vorgaben der Schulbehörde,

die regelmäßig neue Themenlisten für die Abschlussprüfungen herausgibt. Sechs interviewte Personen gaben außerdem an, dass sie zusätzlich für die Prüfungsinhalte notwendige Grundlagen vermitteln: „[...] es bringt nichts, wenn ich mit den Themen anfangen, die gefordert sind, und die verstehen gar nicht die Basics“ (L1, Absatz 14). Des Weiteren gaben sieben Interviewpartner an, dass sie auf die geäußerten Bedarfe und Wünsche der Jugendlichen eingehen, selbst wenn diese Themen nicht Teil der Prüfung sind.

Es gibt welche, die einfach nur Physik machen wollen, weil sie es interessiert. Also wo das dann auch darüber hinausgeht über das, was für die Prüfung überhaupt notwendig ist. Aber das ist genau das, was bei uns möglich sein soll. Dass man lernen kann, soviel man will und so wenig wie man nötig empfindet auch. (V3, Abschnitt 4)

Darüber hinaus möchten sieben Personen durch den naturwissenschaftlichen Unterricht Zusatzwissen vermitteln, das keinen Prüfungsbezug besitzt. Das kann beispielsweise Allgemeinwissen oder Inhalt mit Bezug zu aktuellen oder gesellschaftlich relevanten Themen sein. Einer naturwissenschaftlichen Lehrkraft war es beispielsweise wichtig den Teilnehmenden zu erklären, was beim Impfen passiert und wie uns Impfungen vor Krankheiten schützen können. So sollte eine etwaige Impfstoffvorgebeugt werden. Ein weiteres von den Lehrkräften genanntes aktuelles Thema ist der Klimawandel und seine Folgen. Insbesondere Themen mit Bezug zur eigenen Lebenswelt wecken das Interesse und folglich auch die Motivation der Teilnehmenden, weswegen manche Lehrkräfte auch bewusst solche Thematiken mit in den Unterricht einbeziehen. Das verdeutlicht das folgende Zitat: „Zum Beispiel die Veränderung unserer Atemluft durch Industrie und Autoabgase. [...] die bekommen da einfach dann einen besseren Bezug dazu, entwickeln tatsächlich teilweise dann auch mehr Interesse und Freude an dem Ganzen“ (L13, Abschnitt 8).

Auf die Frage, mit welchem Ziel die naturwissenschaftlichen Inhalte an den Straßenschulen vermittelt werden, antworteten alle interviewten Personen (14 naturwissenschaftliche Lehrkräfte und acht Verantwortliche), dass die Jugendlichen gut auf die Abschlussprüfungen in diesen Fächern vorbereitet sein sollen. Acht interviewte Personen gaben an, dass durch die vermittelten Inhalte die Allgemeinbildung der Jugendlichen gefördert werden soll und die Jugendlichen einen Nutzen durch die Inhalte in ihrem (späteren) Leben haben sollen. Hier wurde unter anderem genannt, dass die Teilnehmenden auf Grundlage dieses Wissens sich später möglichst selbst informieren können, sich selbst Fragen beantworten können und eigene Entscheidungen treffen können, beispielsweise bezüglich der Berufswahl. Außerdem sollen die Jugendlichen in der Lage sein, sich in unserer Welt mit Hilfe der naturwissenschaftlichen Kenntnisse zurechtzufinden und sie (zumin-

Ziele bei der Vermittlung von naturwissenschaftlichen Inhalten	Anzahl der Nennung von versch. Interviewpartnern ($n_{ges} = 22$)
Prüfungsvorbereitung	22
Wissensvermittlung für Allgemeinbildung & zum persönlichen Nutzen	8
Eingehen auf Wünsche & Interessen	6
Förderung von Persönlichkeitseigenschaften	4
Förderung des Interesses & positiver Emotionen für Naturwissenschaft und Schule	4
Berufsvorbereitung	3
Verstehen des Stoffs	2
Initiieren von Gesprächen zu Problemen im Straßenleben	1

Abb. 2. Häufigkeit der genannten Ziele bei der Vermittlung von naturwissenschaftlichem Inhalt

dest grundlegend) zu verstehen. Darüber hinaus soll den Jugendlichen Wissen zu alltäglichen und relevanten naturwissenschaftlichen Themen vermittelt werden. Dabei kann es, wie im vorherigen Abschnitt beschrieben, beispielsweise um die Themen Impfen, Klimawandel oder auch Sexualität sowie Verhütung gehen. Sechs interviewte Personen sagten, dass sie naturwissenschaftliche Inhalte mit dem Ziel vermitteln, auf genannte Bedarfe der Jugendlichen, also Wünsche oder Interessen, einzugehen. Die Förderung von Persönlichkeitseigenschaften wird von vier Interviewpartnern als Ziel verfolgt, wobei die Persönlichkeitseigenschaften hierbei keinen Bezug zu den Naturwissenschaften haben müssen. Einer Lehrkraft war es beispielsweise wichtig, dass die Jugendlichen lernen, für sich und den eigenen Lernprozess Verantwortung zu übernehmen und dabei Selbstwirksamkeit zu erfahren. Darüber hinaus gaben Interviewpartner an, dass die Selbstmotivation der Jugendlichen gefördert werden soll und sie auch eigene Stärken entdecken können. Eine weitere Lehrkraft sagte, dass sie durch die Vermittlung von naturwissenschaftlichen Inhalten auch teilweise vorhandene Meinungen der Jugendlichen abbauen möchte:

Was wir zum Beispiel im Schullalltag immer wieder mitbekommen [...], ist Sexismus und Rassismus. Und gerade beim Rassismus bietet sich das ganz komischer Weise an: wenn man in der Natur immer dieses Bestreben nach Ausgleich und Balance feststellt. Und das Extreme eigentlich jedem System auf lange Sicht schaden. (L13, Absatz 12)

Das Fördern von positiven Emotionen und Interesse für naturwissenschaftliche Inhalte sowie von positiven Emotionen gegenüber Schule und Lernen wurde von vier Interviewpartnern als weiteres Ziel angegeben. Dazu gehört ebenso eine Förderung von versteckten oder noch nicht entwickelten Interessen. Dieses Ziel wird durch folgendes Zitat aus dem Interview mit einer naturwissenschaftlichen Lehrkraft verdeutlicht: „Von meiner Seite ist es aber auch immer wichtig, dass ich meinen Schüler*innen so ein bisschen versuche, Liebe zum Fach zu vermitteln. Weil ich finde, Naturwissenschaften sind sowas Wichtiges in unserer Gesellschaft“ (L9, Abschnitt

12). Drei interviewte Personen verfolgen bei der Vermittlung von naturwissenschaftlichen Inhalten das Ziel, die Teilnehmenden auf mögliche spätere Berufe vorzubereiten, indem sie für das Berufsleben wichtige Kompetenzen schulen. Für zwei Interviewpartner ist ein zusätzliches Ziel, dass die Jugendlichen nicht nur für die Prüfungen auswendig lernen, sondern die Inhalte auch tatsächlich verstehen. Ein Interviewpartner möchte durch die Vermittlung von naturwissenschaftlichen Inhalten Gespräche mit den Jugendlichen über häufige Schwierigkeiten im Straßenleben anstoßen. Bei der Behandlung des Themas Ernährung kann so beispielsweise thematisiert werden, wie eine gesunde Ernährung aufgebaut ist und wie diese auch mit relativ wenig Geld realisiert werden kann. Ein anderes Beispiel ist der Drogenkonsum von Straßeng jugendlichen, der ebenfalls im Biologieunterricht aufgegriffen werden kann, wobei hier mögliche Auswirkungen und Gefahren thematisiert werden können. So sollen persönliche Betreuungsgespräche mit Hilfe geeigneter naturwissenschaftlicher Themen initiiert werden.

7. Einordnung der Ergebnisse

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Fächer Biologie, Chemie und Physik während des Erhebungszeitraums nur eine nebensächliche Rolle in den gefundenen Straßenschulen gespielt haben. Biologie wird am häufigsten von den naturwissenschaftlichen Fächern unterrichtet, was teilweise daran liegt, dass keine Lehrkräfte für Physik vorhanden sind. Beim Unterrichten dieser Fächer liegt der Fokus in erster Linie auf der Prüfungsvorbereitung, was sich auch in der Art und Weise, wie Prüfungsinhalte ausgewählt werden, widerspiegelt. Bei der Betrachtung der Daten stellt sich zwangsläufig die Frage, ob die naturwissenschaftlichen Fächer auch unterrichtet würden, wenn sie nicht Teil des Prüfungskanons wären. Das hängt mit Sicherheit aber auch damit zusammen, dass die Teilnehmenden den naturwissenschaftlichen Fächern anfänglich nicht mit allzu viel Begeisterung gegenüberstehen, wie aus den Interviews ersichtlich wird. Dabei sind insbesondere Chemie und Physik nicht sonderlich beliebt und werden deswegen bei Wahlmöglichkeit oftmals nicht von ihnen gewählt. Eine interessante Ausnahme bildet dabei Freezone, da hier von den

Teilnehmenden eher Chemieunterricht bevorzugt wird.

In unseren Augen können insbesondere Straßenjüngliche von naturwissenschaftlicher Bildung profitieren, wobei das vorhandene Potential in dem Abschnitt „Naturwissenschaftliche Bildung für Straßenjüngliche“ kurz angedeutet wurde. Mit Blick auf die Ergebnisse wurde dieses Potential nicht von allen an den Straßenschulen arbeitenden Interviewpartnern erkannt. An dieser Stelle möchten wir deswegen nochmals drei überaus wertvolle Punkte anführen, die das Potential von naturwissenschaftlichen Inhalten verdeutlichen, um das Leben von Straßenjünglichen zu verbessern und vielleicht sogar nachhaltig zu verändern. Ihre Lebenslagen sind oftmals prekär, wobei hierzu mitunter gesundheitliche Probleme und Drogenmissbrauch gehören. Mit Hilfe der naturwissenschaftlichen Inhalte können ein Gesundheitsbewusstsein gefördert und nötige Kompetenzen sowie Kenntnisse vermittelt werden, die bei der Gesunderhaltung des eigenen Körpers helfen. Darüber hinaus können durch die Unterrichtsthemen wichtige Gespräche initiiert werden, zum Beispiel über den Drogenkonsum, die wiederum zu einer besseren Betreuung der Jugendlichen und ihrer Probleme führen können. In den Interviews ist darüber hinaus deutlich geworden, dass manche Jugendliche gravierende Wissenslücken aufweisen, was beispielsweise der Fall einer Jugendlichen deutlich macht, die nicht wusste, woher Milch kommt. Dieses fehlende (naturwissenschaftliche) Allgemeinwissen kann sehr einfach durch naturwissenschaftlichen Unterricht vermittelt werden. Da unsere Gesellschaft stark von Naturwissenschaften geprägt ist, führen andernfalls solche Wissenslücken automatisch zu einer weiteren Marginalisierung der Jugendlichen. Des Weiteren gibt es in der Literatur zahlreiche Hinweise darauf, dass Straßenjüngliche in Bildungssituationen eine geringe Selbstwirksamkeitserwartung besitzen (Lappe et al., 2007). Diese geringe Selbstwirksamkeitserwartung hindert die Jugendlichen in Verbindung mit negativen Lernerfahrungen (Herz, 2007) daran, in ihrem Leben gegenwärtige und zukünftige Lernsituationen anzunehmen und erfolgreich zu bewältigen. Das ist aber spätestens für einen erfolgreichen Berufseinstieg der Jugendlichen essenziell. In den Interviews hat sich gezeigt, dass insbesondere naturwissenschaftliche Bildungssituationen das Potential besitzen, negative Lernerfahrungen zu revidieren und die eigene Selbstwirksamkeitserwartung zu fördern, was das folgende Interviewzitat verdeutlicht:

Also ich habe das Gefühl, wenn die Teilnehmenden es schaffen, mal so ein positives Erlebnis zuzulassen oder das Erleben, dann ist es auch wirklich ganz toll zu sehen, weil dann blüht da richtig was auf. Und das ist gerade bei den naturwissenschaftlichen Fächern dann auch besonders toll. Also wenn da jemand ein Erfolgserlebnis hatte und die es schaffen sich da durchzubeißen, dann

nimmt das richtig Fahrt auf manchmal. Dann sind die auch bereit, sich da durchzubeißen oder besonders stolz. (V9, Absatz 47)

8. Literatur

- Anger, C. & Plünnecke, A. (2022). *INSM-Bildungsmonitor 2022. Bildungschancen sichern, Herausforderungen der Digitalisierung meistern*. Köln: Institut der deutschen Wirtschaft. [Url: https://www.insm-bildungsmonitor.de/pdf/Forschungsbericht_2022-Langfassung.pdf](https://www.insm-bildungsmonitor.de/pdf/Forschungsbericht_2022-Langfassung.pdf) (08/22)
- Beierle, S. & Hoch, C. (2017). *Straßenjüngliche in Deutschland. Forschungsergebnisse und Empfehlungen*. München: Deutsches Jugendinstitut. [Url: https://www.dji.de/fileadmin/user_upload/bibs2017/25865_beierle_hoch_strassenjuegliche.pdf](https://www.dji.de/fileadmin/user_upload/bibs2017/25865_beierle_hoch_strassenjuegliche.pdf) (04/22)
- Bielert, D. (2006). *Straßenkarrieren von Kindern und Jugendlichen: Wenn es passiert ist ...; Erklärungen aus Sicht der Jugendlichen und Hilfestellung für ihre Eltern* (Dissertation). Hamburg: Universität Hamburg. [Url: https://ediss.sub.uni-hamburg.de/bitstream/ediss/1484/1/Bielertdissertation.pdf](https://ediss.sub.uni-hamburg.de/bitstream/ediss/1484/1/Bielertdissertation.pdf) (04/2022)
- Blumenberg, J. (1999). *Gespräche am „Runden Tisch“: Möglichkeiten zur Entwicklung und Begleitung von Angeboten für schulisch ausgegrenzte Kinder und Jugendliche*. In Dücker, U. v. (Hg.). *„Wir wollen mitreden!“ Aus Straßen-„Karrieren“ lernen; familiär und schulisch ausgegrenzte Kinder und Jugendliche gestalten ihre Schule*. Frankfurt/M.: IKO-Verlag für Interkulturelle Kommunikation.
- Bundesarbeitsgemeinschaft Wohnungslosenhilfe (BAG W) (2021). *Pressemitteilung: Steigende Zahl Wohnungsloser im Wohnungslosenektor, Wohnungslosigkeit anerkannter Geflüchteter sinkt*. Berlin. [Url: https://www.bagw.de/fileadmin/bagw/media/Doc/PRM/PRM_2022_BAG_W_Schaetzung.pdf](https://www.bagw.de/fileadmin/bagw/media/Doc/PRM/PRM_2022_BAG_W_Schaetzung.pdf) (04/22)
- Bundesministerium für Arbeit und Soziales (2021). *Lebenslagen in Deutschland. Der Sechste Armuts- und Reichtumsbericht der Bundesregierung*. [Url: https://www.armuts-und-reichtumsbericht.de/SharedDocs/Downloads/Berichte/sechster-armuts-reichtumsbericht.pdf?__blob=publicationFile&v=6](https://www.armuts-und-reichtumsbericht.de/SharedDocs/Downloads/Berichte/sechster-armuts-reichtumsbericht.pdf?__blob=publicationFile&v=6) (04/22)
- Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) (o.J.). *Bildung für nachhaltige Entwicklung*. [Url: https://www.bmbf.de/bmbf/de/bildung/bildung-fuer-nachhaltige-entwicklung/bildung-fuer-nachhaltige-entwicklung_node.html](https://www.bmbf.de/bmbf/de/bildung/bildung-fuer-nachhaltige-entwicklung/bildung-fuer-nachhaltige-entwicklung_node.html) (04/22)
- Das andere SchulZimmer (o.J.). *Unterricht*. [Url: https://www.das-andere-schulzimmer.de/unterricht](https://www.das-andere-schulzimmer.de/unterricht) (04/22)

- European Commission, Directorate-General for Research and Innovation (EU) (2015). *Science education for responsible citizenship: report to the European Commission of the expert group on science education*. Luxembourg: Publications Office. Url: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/a1d14fa0-8d8e-11e5-b8b7-01aa75ed71a1> (04/22)
- Fernandez, K. (2018). *Wohninstabile Jugendszenen: eine ethnographische Grounded-Theory-Studie zur Exploration der Verlaufsprozesse von Straßenkarrieren* (1. Auflage). Weinheim: Beltz Verlagsgruppe.
- Finnerty, J. (2021). Wohn- und Obdachlosigkeit. *Sozial Extra* 45, S. 112–116. Url: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12054-021-00369-9#citeas> (04/22)
- Fischer, M. & Welzel-Breuer, M. (2021). The Legitimation of Quality Physics Education for Street-Connected Children and Street Youth. Internetzeitschrift: *PhyDid B – Didaktik der Physik – Beiträge zur Frühjahrstagung*, 2021. Url: <http://phydid.physik.fu-berlin.de/index.php/phydid-b/article/view/1138/1227> (04/22)
- Flick, U. & Röhsch, G. (2008). *Gesundheit auf der Straße. Gesundheitsvorstellungen und Umgang mit Krankheit im Kontext von Jugendobdachlosigkeit*. Weinheim, München: Juventa-Verlag.
- Helfferich, C. (2019). Leitfaden- und Experteninterviews. In: Baur, N. & Blasius, J. (Hg.). *Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung* (S. 669–686). Wiesbaden: Springer Fachmedien.
- Herz, B. (Hg.) (2007). *Lernbrücken für Jugendliche in Straßenszenen* (Studien zur Jugendhilfe, Band 5). Münster: Waxmann.
- Hoch, C. (2016). *Straßenjugendliche in Deutschland - eine Erhebung zum Ausmaß des Phänomens. Zwischenbericht - zentrale Ergebnisse der 1. Projektphase*. Halle: Deutsches Jugendinstitut. Url: https://www.dji.de/fileadmin/user_upload/bibs2016/Bericht_Strassenjugendliche_2016.pdf (04/22)
- Hoch, C. (2017). *Straßenjugendliche in Deutschland - eine Erhebung zum Ausmaß des Phänomens. Endbericht - zentrale Ergebnisse der 2. Projektphase*. Halle: Deutsches Jugendinstitut. Url: https://www.dji.de/fileadmin/user_upload/bibs2017/Strassenjugendliche_Endbericht.pdf (04/22)
- International Baccalaureate Organization (ibo) (o.J.). *Science*. Url: <https://www.ibo.org/programmes/middle-years-programme/curriculum/science/> (04/22)
- Knopp, R.; Bleck, C. & Rießen, Anne van (2014). *Abschlussbericht „Junge Wohnungslose U25“*. socialnet Materialien. Url: <https://www.socialnet.de/materialien/208.php> (04/22)
- Kircher, E. (2020). Grundlagen der Physikdidaktik. In: Kircher, E., Girwidz, R. & Fischer, H. E. (Hg.). *Physikdidaktik. Grundlagen* (4. Auflage, S. 25–78). Berlin: Springer Spektrum.
- Kuckartz, U. (2018). *Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung*. Weinheim, Basel: Beltz Juventa.
- Kultusministerkonferenz (2004). *Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss*. München, Neuwied: Wolters Kluwer. Url: https://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2004/2004_12_16-Bildungsstandards-Physik-Mittleren-SA.pdf (04/22)
- Lappe, L., Bauer, K. & Brüning, C. (2007). Fallbeispiel eines Grenzfallbesonderpädagogischer Arbeit oder Lehrstück für den sonderpädagogischen Professionalisierungsprozess? In Herz, B. (Hg.) *Lernbrücken für Jugendliche in Straßenszenen* (S. 47–67). Münster: Waxmann Verlag.
- Mögling, T., Tillmann, F. & Reißig, B. (2015). *Entkoppelt vom System. Jugendliche am Übergang ins junge Erwachsenenalter und Herausforderungen für Jugendhilfestrukturen*. Düsseldorf: Vodafone Stiftung Deutschland. Url: <https://www.vodafone-stiftung.de/wp-content/uploads/2019/06/Entkoppelt-vom-System.pdf> (04/22)
- Permien, H., Zink, G. (1998). *Endstation Straße? Straßenkarrieren aus der Sicht von Jugendlichen*. München: Deutsches Jugendinstitut.
- Treberhilfe Dresden (o.J.). *Strassenschule Dresden*. Url: <https://www.treberhilfe-dresden.de/strassenschule-dresden/> (04/22)
- Trott, Sarah von (2011). „Und dann bin ich abgehauen.“ *Traumatische Familienerfahrungen als Ursache für Straßenkarrieren Jugendlicher*. Marburg: Tectum-Verlag.
- Vereinte Nationen (2015). *Transformation unserer Welt: die Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung*. Url: <https://www.un.org/depts/german/gv-70/band1/ar70001.pdf> (04/22)
- Welzel-Breuer, M. & Breuer, E. (2018). *Physik (nicht nur) für Straßenkinder. Ein Praxis-Handbuch mit Experimentiervorschlägen*. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum.
- Wolfer, D. (2019). Straßenpädagogik und Straßenschule. In: Schweder, M. (Hg.). *Bildung und Erziehung im Abseits. Erste Annäherungen* (S. 72–89). Weinheim, Basel: Beltz Juventa.

Danksagung

An dieser Stelle sei auf die Förderung des Forschungsprojekts durch ein Promotionsstipendium der Hanns-Seidel-Stiftung aus Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) hingewiesen.

Fachwissen und Problemlösen im Physikstudium

- Abschlussbericht des Forschungsprojektes KEMΦ -

David Woitkowski*

*Universität Paderborn, Didaktik der Physik, Warburger Straße 100, 33098 Paderborn
david.woitkowski@gmail.com

Kurzfassung

Die Studieneingangsphase im Fach Physik fordert von den Studienanfängern den Aufbau vielfältiger Fertigkeiten und Fähigkeiten. Zwei wichtige standen im Fokus des Projektes KEMΦ (Kompetenzentwicklung Physik in der Studieneingangsphase): Das physikalische Fachwissen, welches in Vorlesungen gelehrt wird und in Übungen (und z. T. auch in Praktika) angewandt werden muss, sowie die physikbezogene Problemlösefähigkeit, ohne die ein erfolgreiches Bearbeiten von Übungszetteln oder Klausuraufgaben kaum möglich ist.

Diese beiden Fähigkeiten wurden bei Physik-Fach- und -Lehramts-Studierenden in den Jahren 2015–2020 zu je drei Testzeitpunkten im ersten Studienjahr längsschnittlich erhoben. Zur Erhebung des Fachwissens wurden ein etabliertes Testinstrument und ein komplexitätsbasiertes Niveaumodell verwendet. Für die Erhebung von Problemlösefähigkeiten wurde ein neues Testverfahren entwickelt, welches sich nah an typischen Übungszettel-Aufgaben als einer wichtigen Problemlösesituation des Physikstudiums orientiert.

Auf Basis dieser Daten können z. B. Aussagen über typische Entwicklungsverläufe im Fachwissenwerb und Charakterisierungen von Hoch- und Niedrigperformern angegeben werden. Ebenso können differenzierte Analysen der Schwierigkeiten Studierender beim Lösen häufiger Problemstellungen angestellt werden.

1. Ausgangsfragen und Zielsetzung

Um mit fachlichen Anforderungen wie Übungsaufgaben und Klausuren in der Studieneingangsphase Physik erfolgreich umgehen zu können, benötigen Studierende Fachwissen und Problemschemata. Zentrale Zielvorstellung ist die Aufklärung von typischen Verläufen des Erwerbs dieser beiden Ressourcen im ersten Studienjahr sowie deren Determinanten. Dies kann zu empiriebasierten Gestaltungsvorschlägen in der Hochschullehre führen.

Diese Ressourcen wurden in zwei parallel angelegten Arbeitsmodulen erhoben: Im Modul FW wurde die Komplexität des Fachwissens der Studierenden erfasst; im Modul PL die Problemschemata, die die Studierenden in fachlichen Anforderungssituationen nutzen können. Die beiden Module sehen je drei Testzeitpunkte im ersten Studienjahr vor [1].

Hypothetisch kann ein Entwicklungsverlauf angenommen werden, bei dem die Entwicklung von komplexem Fachwissen und Problemschemata sich gegenseitig beeinflussen und die Entwicklung des einen auf dem Vorhandensein des anderen aufbaut.

2. Grundlagen

2.1. Modul FW: Komplexes Fachwissen

Anhand der Testergebnisse eines vorhandenen Fachwissenstest (basierend auf [3]) sollten ein Modell und Determinanten einer längsschnittlich erfassten Fachwissensentwicklung generiert werden.

Zentrale Merkmale des getesteten Fachwissens sind dessen Komplexität (vgl. [4]) sowie die Wissensfa-

cette (vgl. Abb. 1). Dabei stellt die Komplexität das zentrale schwierigkeiterzeugende Aufgabenmerkmal dar. Die drei Wissensfacetten können als verknüpfte, aber (einigermaßen) unabhängig voneinander aufbaubare Wissensbestände aufgefasst werden. Inhaltlich enthält der Test Aufgaben zur Mechanik, die ab dem ersten Semester einsetzbar sind. Dazu kommen als Determinanten mehrere Begleitskalen zur Demographie, Mathematik (16 Items aus [5]), wahrgenommenen Studienbedingungen [6,7], Effort und Importance [8], Academic Buoyancy [9] sowie Motivation und Lernverhalten [3].

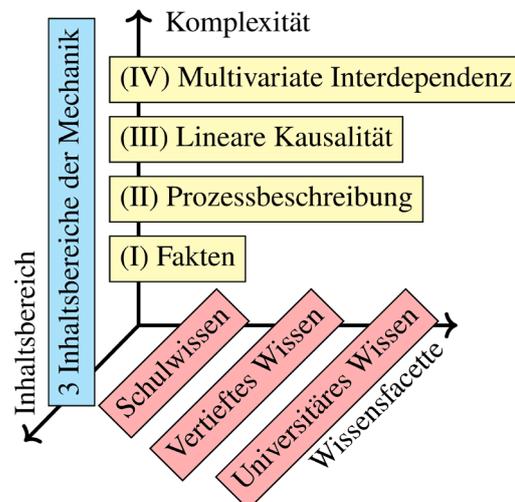


Abb. 1: Überblick über das Strukturmodell des getesteten Wissens [2,3].

Mittels einer Rasch-Analyse können Studierende post-hoc Niveaus zugeordnet werden, die jeweils dadurch gekennzeichnet sind, dass Studierende auf einem Niveau k die Aufgaben der Komplexität k und darunter hinreichend sicher lösen können, Aufgaben höherer Komplexität aber nicht [3, 10]. Auf dieser Basis kann die Entwicklung des physikalischen Fachwissens kriterial beschrieben und analysiert werden.

2.2. Modul PL: Problemlösen

Typische Übungsaufgaben (aber auch andere fachliche Anforderungen) im Physikstudium genügen der Problemdefinition von Smith: „Ein Problem ist jede Aufgabe, die das Analysieren und Schlussfolgern auf ein Ziel (oder eine ‚Lösung‘) hin benötigt. Dieses Analysieren und Schlussfolgern muss auf einem Verständnis der Domäne, aus der die Aufgabe stammt, beruhen. Ein Problem kann nicht durch Erinnern oder Reproduzieren gelöst werden [...]. Ob es sich bei einer Aufgabe um ein Problem handelt oder nicht, ist nicht davon abhängig, wie schwierig oder verwirrend es für den vorgesehenen Löser ist.“ [14] (Übersetzung [15; S. 44]). Typische Schritte zur Lösung solcher „wissenszentrierter“ Probleme beschreibt das Modell des wissenszentrierten Problemlösens von Friege (Abb. 2) [13].

Als zentrale Ressource können dabei neben dem Fachwissen die Problemschemata gelten. Damit wird nach [16] (vgl. auch [13, 15]) diejenige Ressource des Expertenwissens bezeichnet, welche die Erfahrung oder Expertise in einer gegebenen Domäne bezeichnen. Dabei handelt es sich um verknüpftes und zur routinierten und prozeduralisierten Anwendung aufbereitetes Wissen, welches bei bestimmten Aufgabentypen oder -gruppen eingesetzt werden kann. Sie enthalten überdies die aus der Analyse von Beispielproblemen [17] stammende heuristische

Information, bei welchen Aufgabenstellungen welches Problemschema eine schnelle und gezielte Lösung ermöglicht [18].

Es ist zu vermuten, dass sich die in Modul FW nach Niveau unterschiedenen Gruppen auch im Grad der Ausprägung der vorhandenen Problemschemata unterscheiden, welche sich jedoch nicht ohne weiteres distal erfassen lassen. Diese Unterschiede sollten im Modul PL aufgeklärt werden. Dazu wurde ein Performanztest entwickelt, der sich an der Studienrealität des Übungszettels als häufiger Problemlösesituation orientiert. Eine Interview-Vorstudie (in Kohorte 2) hatte bereits ergeben, dass ein Großteil der Studierenden Lösungen zu Übungsaufgaben von Kommilitonen oder aus dem Internet abschreibt [19]. Dies und auch das sonstige Arbeitsverhalten, das fachbezogene Selbstkonzept und die allgemeine Wahrnehmung der Studieneingangsphase scheinen hier deutlich mit dem Fachwissenserwerb zusammen zu hängen [20].

3. Überblick über die Ergebnisse des Projekts

3.1. Stichprobe und Erhebungszeitpunkte

Die Tests der Module FW und PL wurden in fünf bzw. drei Kohorten längsschnittlich eingesetzt (Tabelle 1). Die Testzeitpunkte verteilen sich wie in Abbildung 3. In Kohorte 2 wurde eine Interviewstudie (IW) zur Vorbereitung des Moduls PL durchgeführt, dessen Testinstrumente im weiteren Verlauf der Kohorte erprobt wurden. Aufgrund einer weltweiten Pandemie konnte der dritte Testzeitpunkt in Kohorte 5 in Ermangelung eines geordneten Lehrbetriebs an den meisten deutschen Universitäten nicht durchgeführt werden.

Alle erhobenen Daten und alle eingesetzten und entwickelten Testinstrumente wurden inklusive Begleitmaterial in anonymisierter Form allgemein zugänglich gemacht [21].

3.2. Modul FW: Fachwissensentwicklung

Bereits aus vorangegangenen Studien mit demselben Testinstrument war bekannt, dass Studierende in Fach- und Lehramtsstudiengängen mit durchweg geringem Fachwissen ins Studium starten, was sich im Erreichen niedriger Komplexitäts-Niveaus ausdrückt. Dabei sind die Fähigkeiten im Schulwissen erwartungsgemäß besser als im universitären Wissen [22]. Auch im weiteren Studienverlauf weist etwa ein Drittel der Studierenden lediglich sehr niedrige Niveaus auf [10].

Die erhobenen Daten wurden längsschnittlich ausgewertet – was das wesentliche Novum dieses Datensatzes gegenüber früheren Studien darstellt – und laufend Teilergebnisse veröffentlicht:

3.2.1. Entwicklung der Wissensfacetten

Auf Basis eines Teildatensatzes von 122 Probanden (Kohorten 1–3) zu den Testzeitpunkten 1 und 2 wurde die Korrespondenz der erreichten Niveaus zwischen der schulischen und universitären Wis-

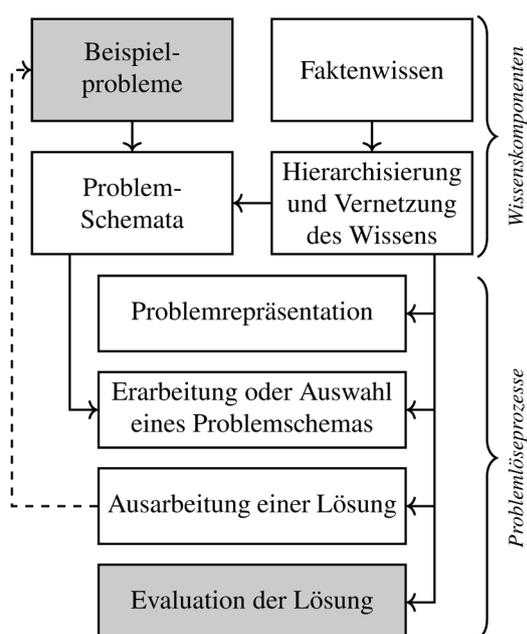


Abb. 2: Modell des wissenszentrierten Problemlösens [13].

Kohorte	Zeitraum	Modul	Standorte	N (insgesamt)	N (längsschnitt)
1	2015–2016	FW	A (2x)	120	59
2	2016–2017	FW	A, B, C	72	39
		IW	A	8	6
3	2017–2018	FW	A, D, E, F	151	45
		PL	A	8	6
4	2018–2019	FW	A, F, G, H	283	85
		PL	A, F, G	18	8
5	2019–2020	FW	A, H (2x)	131	–
		PL	A, H (2x)	10	–
Summe:	5 Kohorten	FW	8 Standorte	757	228
	3 Kohorten	PL	4 Standorte	36	14

Tab. 1: Kohortenüberblick. Zu jeder Kohorte ist jeweils der Erhebungszeitraum, die durchgeführten Module, die Gesamtzahl der Proband/innen sowie die Zahl der Proband/innen, für die ein vollständiger Längsschnitt vorliegt, angegeben. Die teilnehmenden Standorte sind anonymisiert.

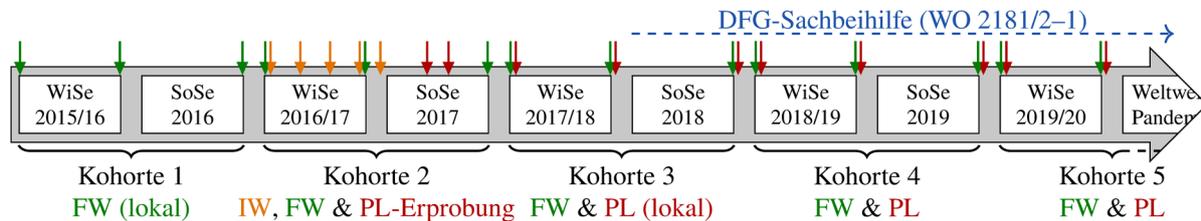


Abb. 3: Übersicht über die Kohorten und Testzeitpunkte (TZP). Die PL-Tests fanden jeweils zwei bis drei Wochen nach den entsprechenden FW-Tests statt.

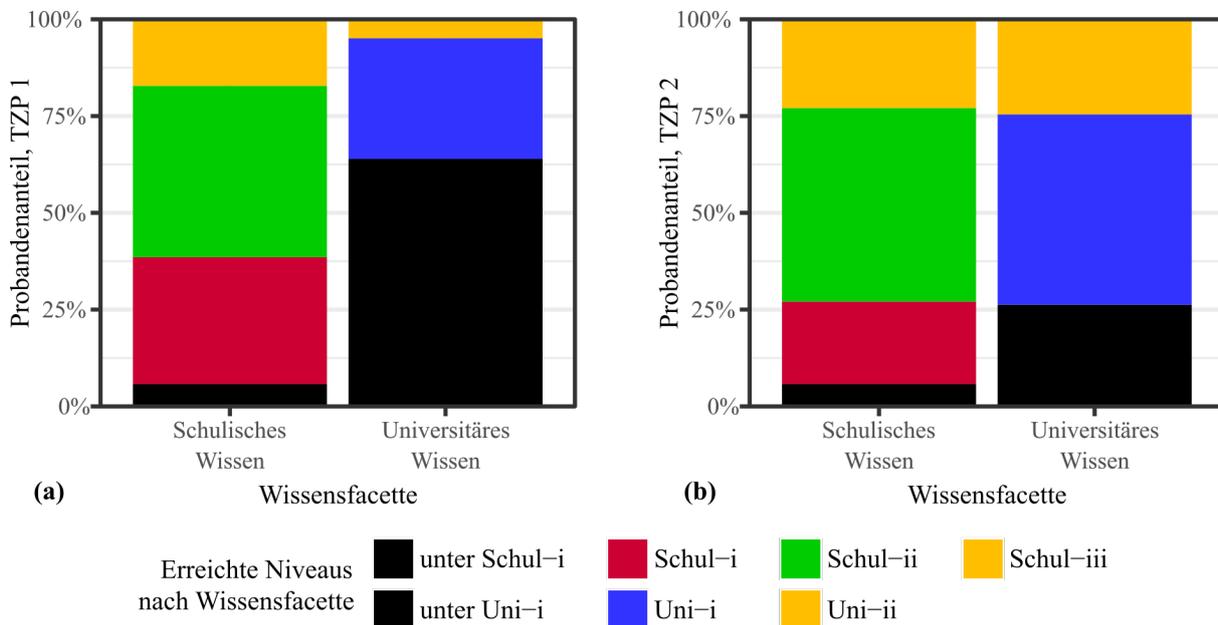


Abb. 4: Häufigkeit der erreichten Niveaus zu TZP 1 (a) und TZP 2 (b) in eine Datensatz aus 122 Probanden aus Kohorten 1 bis 3 [2; S. 106].

sensfacette überprüft [2]. Es zeigt sich hier erwartungsgemäß ein großer Probandenanteil, der zu TZP 1 selbst die einfachsten Aufgaben im universitären Wissen nicht lösen kann. Zum zweiten Testzeitpunkt steigen über drei Viertel der Probanden

zumindest auf das erste Niveau auf. Im Schulwissen befinden sich hingegen bereits zu Beginn viele Probanden auf höheren Niveaus, es zeigt sich aber kein substantieller Anstieg zu TZP 2 (Abb. 4). Wie hypothetisch erwartet zeigt das Schulwissen zu TZP 1

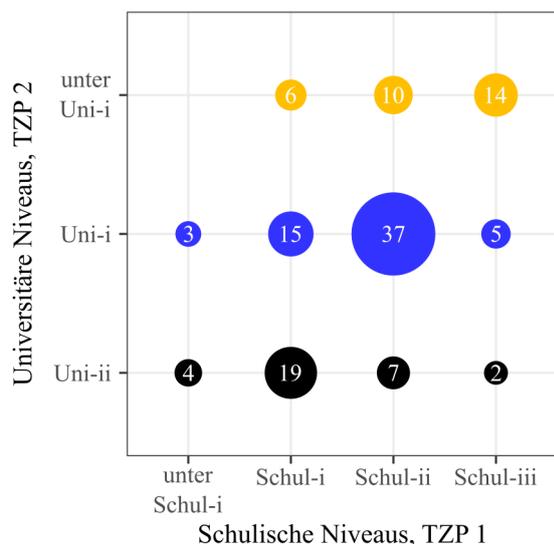


Abb. 5: Erreichtes universitäres Niveau zu TZP 2 in Abhängigkeit des schulischen Niveaus zu TZP 1 bei 122 Probanden aus Kohorten 1 bis 3 [2; S. 108].

eine signifikante Prädiktionskraft für das universitäre Wissen zu TZP 2, die über den schlichten Effekt der Korrelation der beiden Facetten signifikant hinausgeht (Abb. 5, [2]).

In diesem Datensatz zeigt sich, dass eine Trennung nach Wissensfacetten aufgrund eines Prä-Test-Effektes vor allem im universitären Wissen zu sehr schlechten Skalen-Reliabilitäten führt. Dieser Effekt kann wahrscheinlich auch durch eine größere Stichprobe kaum ausgeglichen werden, sondern resultiert aus den geringen Vorkenntnissen der Studierenden. Aus diesem Grunde wurde in späteren Analysen nur noch die Fachwissens-Gesamtskala betrachtet.

3.2.2. Determinanten der Entwicklung

Auf Basis eines Teildatensatzes von 228 vollständigen Längsschnitten aus den Kohorten 1–4 konnten weitergehende Analysen des Entwicklungsverlaufes

angegeben werden [23]. Abbildung 6 zeigt den Verlauf über die drei Testzeitpunkte. Es kann eine typische Zunahme an erreichter Komplexität als $M=0.91$ ($SD=0.87$) – also etwa 1 Niveau pro Jahr – angegeben werden. Dies entspricht der hypothetisch angenommenen Lerngeschwindigkeit.

Personen, die 2 oder mehr Niveaus aufsteigen, können somit als *high performer*, solche, die keinen Aufstieg oder gar einen Niveauabstieg zeigen, als *low performer* identifiziert werden. Diese beiden Extremgruppen unterscheiden sich in mehreren deskriptiven Eigenschaften: Neben einer allgemeinen Geschlechterdisparität zugunsten männlicher Probanden zeigen *high performer* eine signifikant bessere Abiturnote sowie bessere Mathematikkenntnisse zu TZP 1. Dagegen zeichnen sich *low performer* neben dem Geschlecht besonders durch eine geringere soziale Integration aus. Im analysierten Datensatz wurden 32 % der Probanden als *low* und 23 % als *high performer* identifiziert.

3.3. Modul PL: Problemschemata und Lösungsschwierigkeiten

3.3.1. Entwicklung des Testinstruments

Anders als im Modul FW stellt die Erarbeitung und Validierung des Testinstruments im Modul PL eine wesentliche Herausforderung dar.

Aus testökonomischen Gründen wurden drei Schemata ausgewählt, von denen jeweils eines zu jedem Testzeitpunkt mit einem Übungszettel und einem anschließenden Interview erhoben wurde [24, 25].

Die Aufgabenstellungen kamen dabei aus einer Reanalyse vorhandener Übungsaufgaben (Abb. 7). Sie sind so strukturiert, dass alle Aufgaben auf einem Zettel mit demselben Problemschema lösbar sind (Tab. 2). Da eine gezielte Variation der Komplexität mit dem gewünschten Realitätsgrad der Aufgaben nicht vereinbar war, wurden stattdessen andere Aufgabencharakteristika, wie die Angabe

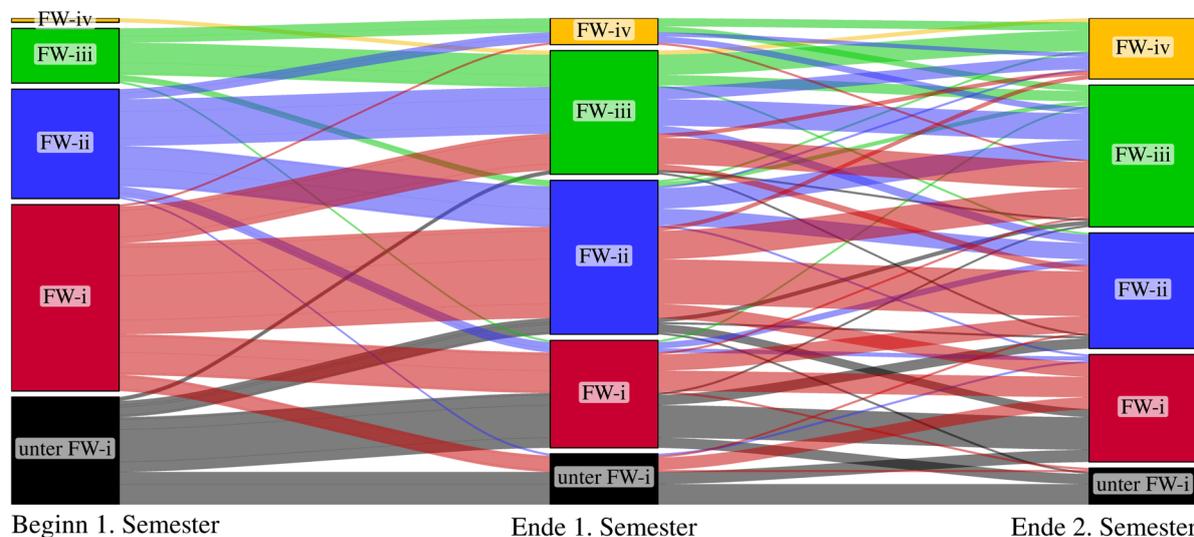


Abb. 6: Alluvial-Diagramm mit der Wissensentwicklung von 228 Studierenden aus den Kohorten 1–4 [23].

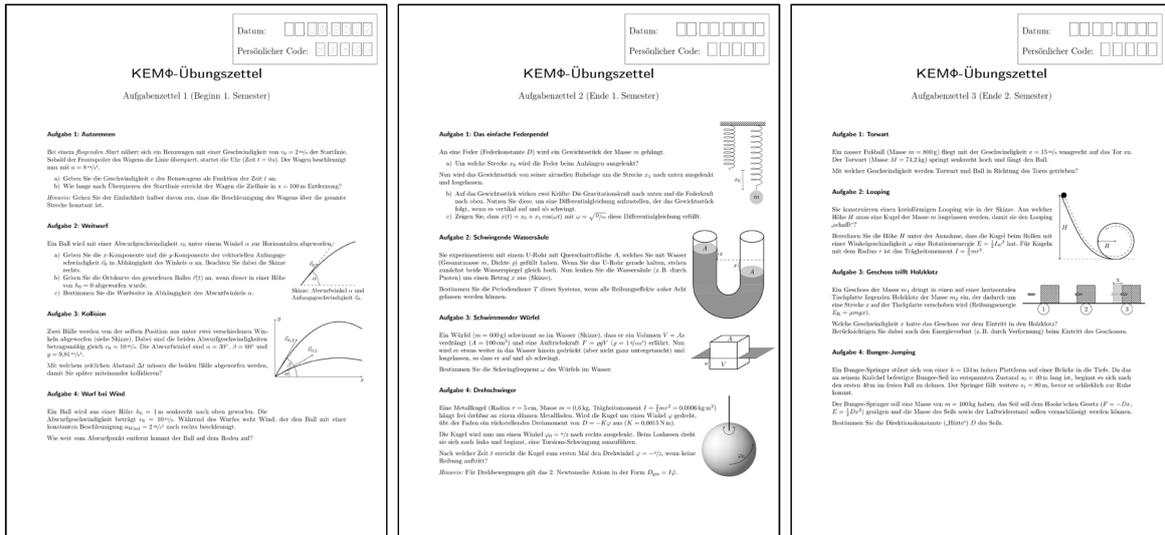


Abb. 7: Aufgabenzettel zu den drei Testzeitpunkten.

TZP	Allg. Schema	Inhaltsbereich	Aufgabentyp
1	Überlagerung von Bewegungen	Beschleunigte Bewegungen Bewegungsgleichungen	Bewegungsgleichung aufstellen und nach gefragter Größe (Zeiten, Orte) lösen
2	Kraftansatz	Kraftanalyse, Harmonische Schwingung	Kräftegleichgewicht führt zu DGL, nach Parametern der Schwingung (Frequenz, Schwingungsdauer) ist gefragt
3	Energie-/ Impulsansatz	Energie-/Impulserhaltung, Stöße	Analyse des Zustandes zu 2 oder 3 verschiedenen Zeitpunkten, Aufstellung von Energie-/Impulstermen, lösen nach Geschwindigkeit, Energie oder Impuls zu einem der Zeitpunkte

Tab. 2: Verteilung von allg. Problemschemata [15; 98ff], Inhaltsbereiche und Aufgabentypen auf die Testzeitpunkte.

Teil 0	<i>Aufgaben und Lösungen nicht vorliegend</i> Worum ging es in den Aufgaben insgesamt? Möglichst spezifische Beschreibung. (Repräsentation) Gab es Gemeinsamkeiten zwischen den Aufgaben? (Oberflächen/Merkmale, Problemschema)
Teil 1	<i>Lösungen nicht vorliegend</i> Vorgehen bei der Bearbeitung (Reihenfolge, Übereinstimmung mit realem Übungszettel) Angenommener Lösungserfolg (Selbsteinschätzung, Erkennen richtiger/falscher Lösungen) Aufgaben nach Schwierigkeit sortieren (Schwierigkeitserzeugende Merkmale, Reflexion eigener Fähigkeiten)
Teil 2	<i>Aufgaben werden in der Reihenfolge der Lösung durchgegangen</i> Verständlichkeit der Aufgabe (Probleme bei der Repräsentation oder beim Fachwissen) Vorgehen bei der Lösung (Wie Ansatz gefunden? Indizien für Schemata) Probleme bei der weiteren Lösung (Faktoren, die evtl. zum Aufgeben führen, fehlendes Wissen)
Teil 3	Vergleich mit realen Übungszetteln (Validität bzgl. Schwierigkeit der Aufgaben/des Vorgehens)

Tab. 3: Überblick über den Interviewablauf. In Klammern ist jeweils die Frageintention angedeutet.

konkreter Zahlenwerte, systematisch variiert [25].

Die Probanden durften zur Lösung beliebige (externe) Ressourcen nutzen, so dass das Vorgehen bei der Lösung echter Übungsaufgaben möglichst realitätsnah abgebildet wurde. Während der Lösung sollten sie laut denken [vgl. 26]. Bei der Analyse wurde dann berücksichtigt, inwiefern die Aufgaben selbst oder nur mit Hilfe gelöst wurden [24, 25].

Zu jedem Zettel existiert eine Musterlösung inklusive einer Explikation des nutzbaren Problemschemas [18]. Eine Befragung von Lehrenden an den Erhebungsstandorten ergab eine valide Zuordnung der Aufgaben zu den Testzeitpunkten [25].

Im Anschluss an die Bearbeitung der Aufgaben nahmen die Probanden jeweils an einem etwa 25-minütigen leitfadengestützten Interview teil (Tab. 3). Hier sollten sie ihre Vorgehensweise, Ideen und Probleme bei der Problemlösung erklären. Außerdem wurden Fragen gestellt, die eher auf die Lösungsimplosionen, Problemrepräsentation und Schemata abzielten, welche im Lauten Denken nur schwer nachvollziehbar sind.

3.3.2. Allgemeiner Lösungserfolg

Der allgemeine Lösungserfolg wurde entlang des Modells des wissenszentrierten Problemlösens (Abb. 2) kodiert [24, 25]. Einen Überblick zeigt Abbildung 8. Ein nennenswerter Teil der Probanden kann dabei entweder für *alle* Aufgaben einen (einigermaßen) korrekten Ansatz vorweisen (grün oder gelb) oder für *keine* der Aufgaben (rot oder violett). Dies kann als Validitätshinweis gesehen werden, da die Zettel so konstruiert sind, dass sie mit demselben Problemschema bearbeitbar sind, welches entweder für alle Aufgaben erfolgreich eingesetzt werden kann oder für keine.

3.3.3. Spezifische Schwierigkeiten bei der Lösung

Aus der Literatur wurden bekannte Schwierigkeiten bei der Problemlösung zusammengestellt [13, 16, 29–39]. Wie Abbildung 8 zeigt, treten vor allem die Herausforderungen häufig auf, die mit der Problemrepräsentation und mit dem Finden eines Ansatzes zusammenhängen. Auch erfolgreiche Probanden hatten häufig Schwierigkeiten mit einzelnen physikalischen Begriffen oder mit der Mathematik [27, 28].

3.3.4. Problemschemata

Die valide und reliable Identifikation von Problemschemata über die bisherigen Ergebnisse hinaus hat sich als außerordentlich schwierig herausgestellt. Zur Verbesserung der Situation wurde im Interviewleitfaden (Tab. 3) ein Teil 0 ergänzt, in dem gezielt nach Indikatoren für das Vorhandensein von Schemata gefragt wird.

Zur Analyse wurden der Literatur wiederum Kriterien für das Vorhandensein von Problemschemata entnommen [16, 29, 31–33], ebenso für deren Entwicklung während der Arbeit am Aufgabenzettel [17] oder für das Nicht-Vorhandensein [33, 34].

In ersten Analysen zeigt etwa die Hälfte der Probanden keine Anzeichen für die Verfügbarkeit von Problemschemata [18, 24]. Anzeichen für ein sicheres Beherrschen der jeweils geforderten Problemschemata zeigen jeweils nur einzelne Personen.

3.3.5. Längsschnittliche Untersuchung

Bisher liegen nur wenige längsschnittliche Analysen vor. Die Zuordnung zu zwei Gruppen mit hohem bzw. niedrigem Lösungserfolg erscheint in der Teilstichprobe aus Kohorte 3 relativ stabil. Personen, die ihr Studium abbrechen zeigen zu TZP 1 eher einen schwächeren Lösungserfolg [24]. Ein Lerneffekt wurde nur bei einzelnen Studierenden sichtbar [25].

Eine Analyse der gegenseitigen Abhängigkeit der Entwicklungen von Fachwissen und Problemschemata steht ebenfalls noch aus.

4. Diskussion und Ausblick

4.1. Forschungsstand

In Modul FW wurde zum ersten Mal eine längsschnittliche Analyse des physikalischen Fachwissenenserwerbs in der Studieneingangsphase vorgelegt. Die generelle Tendenz der Entwicklung und ihrer

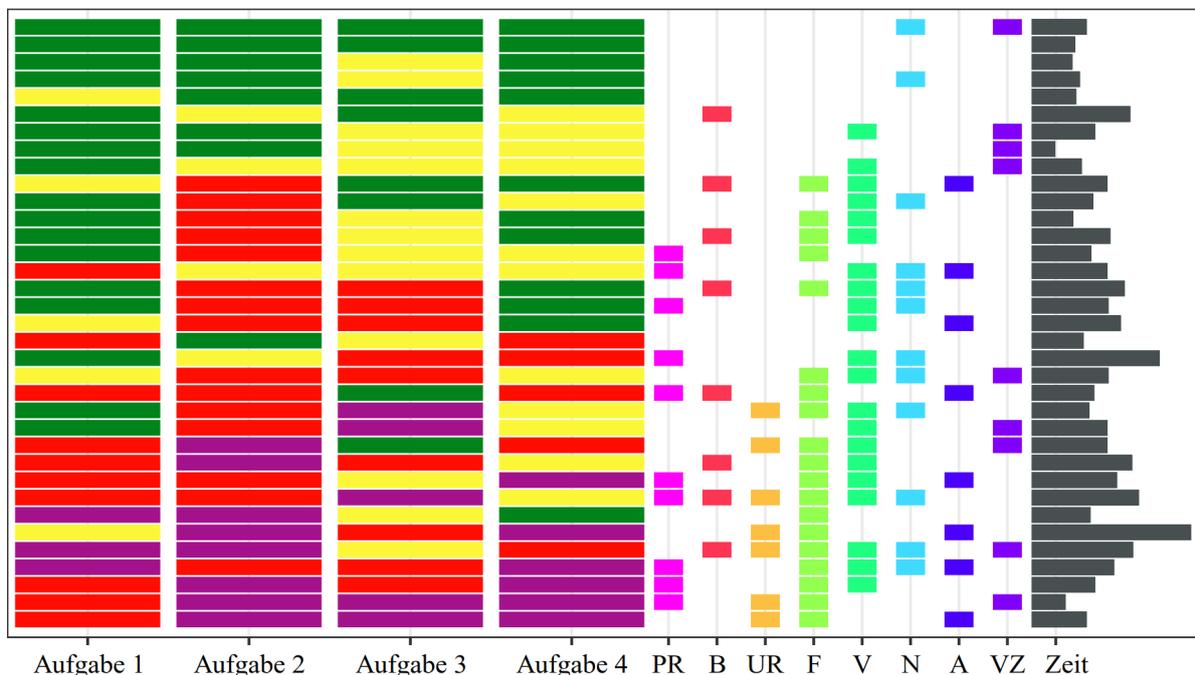


Abb. 8: Überblick über die Ergebnisse der Probanden zu TZP 1 anhand von 35 Probanden der Kohorten 3–5 [27]. Der Allgemeine Lösungserfolg ist links eingetragen (violett = kein oder falscher Lösungsansatz; rot = unvollständiger Lösungsansatz; gelb = richtiger Ansatz aber Fehler in der Ausarbeitung; grün = vollständig korrekte Lösung; [24, 25]), die spezifischen Schwierigkeiten rechts (PR = Problemrepräsentation; PT = Physikalische Begriffe; UR Unstrukturierte Recherche; MF = Formel fehlt oder nicht bekannt; FP = Weiteres Vorgehen unklar; NO = Fehlerhafte mathematische Notation; AL = Algebraisch falsch; QN = Numerisch falsche Lösung; [28]). Ganz rechts findet sich die Gesamt-Bearbeitungsdauer.

Prädiktoren und Geschwindigkeit entspricht den theoretischen Erwartungen. Die differenzierte Abhängigkeit der Wissensfacetten untereinander hat sich als weniger eindeutig herausgestellt als hypothetisch angenommen. Parallel haben andere Forschungsprojekte grundsätzlich ähnliche Ergebnisse geliefert [40, 41].

In Modul PL konnte erstmalig ein Test und ein validiertes Auswerteverfahren vorgelegt werden, welches den ganzen Problemlöseprozess für typische Aufgabenstellungen auf universitärem Niveau in einem realitätsnahen Setting abbildet. Frühere Projekte hatten vor allem Teilfähigkeiten oder proximale Merkmale (z. B. mit Sortieraufgaben) getestet [13, 15, 42].

4.2. Anwendungsperspektiven

Bereits parallel zu Kohorte 2 wurden Implikationen der theoretischen Grundlagen für das Modul PL (Abb. 2) in einer Lehrveranstaltung implementiert, die das Problemlösen in der Hochschulphysik gezielt fördern soll [43]. Basierend auf der Komplexitätstheorie und den Ergebnissen aus Modul FW wurden komplexitätsgestaffelte Übungsaufgaben zum gezielten Fachwissensaufbau vorgeschlagen [44].

In Kooperation mit dem Lernzentrum *Physiktreff* an der Universität Paderborn wurden die Ergebnisse mehrerer Forschungsprojekte sowie die Erfahrungen aus den Unterstützungsangeboten des Lernzentrums zum Projekt $PS\Phi$ zusammengeführt [45]. Hier wurden die Instrumente aus dem vorliegenden Projekt zur Evaluation der Wirksamkeit der Studieneingangsphase eingesetzt. Auf Basis dieser Ergebnisse konnten Veränderungen an bestehenden curricularen und extracurricularen Lehrangeboten (u. a. Präsenzübungen, komplexitätsgestaffelte Übungsaufgaben in den Grundlagenvorlesungen) abgeleitet werden, die als Best-Practice-Beispiele für andere Projekte zur Studiengangsentwicklung dienen können [46].

5. Literatur

- [1] Woitkowski, D. (2018): Fachwissen und Problemlösen im Physikstudium: Vorstellung des Forschungsprojektes KEM Φ . In: *PhyDid B – Didaktik der Physik – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung Würzburg*, S. 125–131.
- [2] Woitkowski, D. (2019): Erfolgreicher Wissenserwerb im ersten Semester Physik: Analyse mithilfe eines Niveaumodells. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 25, Nr. 1, S. 97–114
- [3] Woitkowski, D. (2015): *Fachliches Wissen Physik in der Hochschulausbildung: Konzeptualisierung, Messung, Niveaubildung*. Dissertation. Berlin: Logos
- [4] Bernholt, S.; Parchmann, I. (2011): Assessing the complexity of students' knowledge in chemistry. In: *Chemistry Education Research and Practice* 12, Nr. 2, S. 167
- [5] Krause, F.; Reiners-Logothetidou, A. (1981): *Kenntnisse und Fähigkeiten naturwissenschaftlich orientierter Studienanfänger in Physik und Mathematik: Die Ergebnisse des bundesweiten Studieneingangstests Physik 1978*. Bonn: Universität Bonn
- [6] Albrecht, A.: *Längsschnittstudie zur Identifikation von Risikofaktoren für einen erfolgreichen Studieneinstieg in das Fach Physik*. Berlin, Freie Universität Berlin, Fachbereich Physik. Dissertation. 2011.
- [7] Burger, R.; Groß, M. (2016): Gerechtigkeit und Studienabbruch. Die Rolle der wahrgenommenen Fairness von Benutzungsverfahren bei der Entstehung von Abbruchsintentionen. In: *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft* 19, Nr. 3, S. 625–647
- [8] Sundre, D. L. (2007): *The Student Opinion Scale (SOS), A measure of examinee motivation: Test Manual*. Harrisonburg: Center for Assessment and Research Studies, James Madison University
- [9] Neumann, I.; Sorge, S.; Jeschke, C.; Heinze, A.; Neumann, K. (2016): Zur Academic Buoyancy von Physikstudierenden. In: Maurer, C. (Hrsg.): *Authentizität und Lernen - das Fach in der Fachdidaktik*. Regensburg: Universität Regensburg, S. 86–88
- [10] Woitkowski, D.; Riese, Josef (2017): Kriterienorientierte Konstruktion eines Kompetenzniveau-modells im physikalischen Fachwissen. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 23, Nr. 1, S. 39–52
- [11] Dawson-Tunik, T. L. (2006): Stage-Like Patterns in the Development of Conceptions of Energy. In: Liu, X.; Boone, W. J. (Hrsg.): *Applications of Rasch Measurement in Science Education*. Maple Grove: JAM Press, S. 111–136
- [12] Armon, C.; Dawson, T. L. (1997): Developmental Trajectories in moral reasoning across the life span. In: *Journal of Moral Education* 26, Nr. 4, S. 433–453
- [13] Friege, G. (2001): *Wissen und Problemlösen: Eine empirische Untersuchung des wissenszentrierten Problemlösens im Gebiet der Elektrizitätslehre auf der Grundlage des Experten-Novizen-Vergleichs*. Berlin: Logos
- [14] Smith, M. U. (1991): A View from Biology. In: Smith, M. U. (Hrsg.): *Toward a unified Theory of Problem Solving: Views from the Content Domains*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum, S. 1–19
- [15] Brandenburger, M. (2016): Was beeinflusst den Erfolg beim Problemlösen in der Physik?: Eine Untersuchung mit Studierenden. Berlin: Logos
- [16] Reinhold, P.; Lind, G.; Friege, G. (1999): Wissenszentriertes Problemlösen in Physik. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*

- ten 5, Nr. 1, S. 41–62 – Überprüfungsdatum 2013-10-17
- [17] Kolodner, J. L. (1983): Toward an understanding of the role of experience in the evolution from novice to expert. In: *International Journal of Man-Machine Studies* 19, S. 497–518
- [18] Woitkowski, D. (2020): Ressourcen zur Problemlösung: Problemschemata. In: Habig, S. (Hrsg.): *Naturwissenschaftliche Kompetenzen in der Gesellschaft von morgen*. Duisburg-Essen: Universität Duisburg-Essen, S. 373–376
- [19] Woitkowski, D.; Reinhold, P. (2018): Strategien und Probleme im Umgang mit Übungsaufgaben : Pilotergebnisse einer Interviewstudie im ersten Semester Physik. In: Maurer, C. (Hrsg.): *Qualitätsvoller Chemie- und Physikunterricht: Normative und empirische Dimensionen*. Regensburg: Universität Regensburg, S. 726–729
- [20] Woitkowski, D.; Breitkopf, S. (2019): Fähigkeitsselbstkonzept und Lernerfolg im ersten Fachsemester Physik. In: *die Hochschullehre* 5, S. 855–876
- [21] Woitkowski, D. (2021). Datensatz zum Projekt Kompetenzentwicklung Physik in der Studieneingangsphase (KEMΦ). <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.16967398>
- [22] Woitkowski, D. (2017): Studieneingangsprofile in Fach- und Lehramts-Studiengängen Physik: Eine kontrastierende Analyse auf Basis eines Kompetenzstrukturmodells für Fach-Physiker. In: *Physik und Didaktik in Schule und Hochschule* 16, Nr. 1, S. 43–56.
- [23] Woitkowski, D. (2020): Tracing Physics Content Knowledge Gains Using Content Complexity Levels. In: *International Journal of Science Education* 42, Nr. 10, S. 1585–1608
- [24] Woitkowski, D. (2020): Surveying University Students' Problem Solving Skills in Realistic Settings, Strand 17. In: Levrini, O.; Tasquier, G. (Hrsg.): *Electronic Proceedings of the ESERA 2019 Conference.: The Beauty and Pleasure of Understanding: Engaging With Contemporary Challenges Through Science Education*. Bologna: University of Bologna, S. 2008–2014
- [25] Woitkowski, D. (2019): Erhebung der Problemlösefähigkeit im Physikstudium : Vorstellung eines Erhebungsverfahrens. In: Maurer, C. (Hrsg.): *Naturwissenschaftliche Bildung als Grundlage für berufliche und gesellschaftliche Teilhabe*. Regensburg: Universität Regensburg, S. 492–495
- [26] Sandmann, A. (2014): *Lautes Denken : Die Analyse von Denk-, Lern- und Problemlöseprozessen*. In: Krüger, D.; Parchmann, I.; Schecker, H. (Hrsg.): *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung*. Berlin: Springer, S. 179–188
- [27] Woitkowski, D. (eingereicht): Problem solving abilities in first year university physics. In: *International Journal of Science Education*
- [28] Woitkowski, D. (2021): Problemlösefähigkeiten zu Studienbeginn. In: Habig, S. (Hrsg.): *Naturwissenschaftlicher Unterricht und Lehrerbildung im Umbruch?* Duisburg-Essen: Universität Duisburg-Essen.
- [29] Larkin, J. H. (1983): The Role of Problem Representation in Physics. In: Gentner, D.; Stevens, A. L. (Hrsg.): *Mental Models*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum, S. 75–98
- [30] Savelsbergh, E. (1998): *Improving Mental Representations in Physics Problem Solving*. Enschede: Twente University
- [31] Simon, D. P.; Simon, Herbert Alexander (1978): Individual differences in solving physics problems. In: Siegler, R. (Hrsg.): *Children's thinking: What develops?* Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum, S. 325–348
- [32] VanLehn, K. (1989): *Problem Solving and Cognitive Skill Acquisition*. In: Posner, M. L. (Hrsg.): *Foundation of Cognitive Science*. Cambridge, MA: MIT Press, S. 527–579
- [33] Chi, Michelene T. H.; Glaser, R.; Rees, E. (1982): Expertise in problem solving. In: Sternberg, R. J. (Hrsg.): *Advances in the Psychology of Human Intelligence*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- [34] Schultz, K.; Lochhead, J. (1991): A View from Physics. In: Smith, M. U. (Hrsg.): *Toward a unified Theory of Problem Solving: Views from the Content Domains*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum, S. 99–114
- [35] Larkin, J. H.; McDermott, J.; Simon, D. P.; Simon, H. A. (1980): Expert and novice performance in solving physics problems. In: *Science* 208, Nr. 4450, S. 1335–1342
- [36] Larkin, J. H.; McDermott, J.; Simon, D. P.; Simon, H. A. (1980): Models of Competence in Solving Physics Problems. In: *Cognitive Science* 4, S. 317–345
- [37] Redish, E. F. (2006): *Problem Solving and the Use of Math in Physics Courses*. In: arXiv preprint arXiv:physics/0608268
- [38] Bing, T.; Redish, E. F. (2009): Analyzing problem solving using math in physics: Epistemological framing via warrants. In: *Physical Review Special Topics - Physics Education Research* 5, Nr. 2
- [39] Wilcox, B. R.; Caballero, M. D.; Rehn, D. A.; Pollock, S. J. (2013): Analytic framework for students' use of mathematics in upper-division physics. In: *Physical Review Special Topics - Physics Education Research* 9, Nr. 2
- [40] Müller, J. (2019): *Studienerfolg in der Physik: Zusammenhang zwischen Modellierungskompetenz und Studienerfolg*. Berlin: Logos
- [41] Buschhüter, D.; Spoden, C.; Borowski, A. (2017): *Studienerfolg im Physikstudium: Inkrementelle Validität physikalischen Fachwis-*

- sens und physikalischer Kompetenz. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften 23, Nr. 1, S. 127–141
- [42] Binder, T.; Schmiemann, P.; Theyßen, H. (2019): Erfassung von fachspezifischen Problemlöseprozessen mit Sortieraufgaben in Biologie und Physik. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften 27, Nr. 1, S. 101
- [43] Woitkowski, D. (2018): Physikalische Denk- und Arbeitsweisen erlernen: Ein Vorlesungs-/Übungskonzept entlang des ACER-Modells. In: Herausforderung Lehrer_innenbildung - Zeitschrift zur Konzeption, Gestaltung und Diskussion 1, Nr. 1, S. 1–16.
- [44] Woitkowski, D. (2020): Komplexitätsgestaffelte Übungsaufgaben zur Unterstützung im ersten Semester Physik. In: PhyDid B – Didaktik der Physik – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung Bonn, S. 85–90
- [45] Bauer, A. B.; Lahme, S.; Woitkowski, D.; Vogelsang, C.; Reinhold, P. (2019): PSΦ: Forschungsprogramm zur Studieneingangsphase im Physikstudium. In: PhyDid B – Didaktik der Physik – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung Aachen, S. 53–60.
- [46] Bauer, A. B.; Woitkowski, D.; Reuter, D.; Reinhold, P. (2021): Fachliche und überfachliche Herausforderungen in der Studieneingangsphase Physik : Das Forschungs- und Entwicklungsprogramm PSΦ. In: Fahr, U.; Zacherl, R.; Angenent, H.; Eßer, A.; Kergel, D.; Kergel-Heidkamp, B. (Hrsg.): Hochschullehre erforschen! Berlin: Springer.

Förderung

Gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) – WO 2181/2-1.