

Grötzebauch, H. & Heinicke S. (Hrsg.)

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

Fachverband Didaktik der Physik

Virtuelle DPG-Frühjahrstagung 2023

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.). (2023). PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur virtuellen DPG-Frühjahrstagung 2023. 452 S.

Url.: <https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phydid-b/article/view/1407/1603> 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

Energie und Energieumwandlungen im inklusiven Unterricht 1
Stefan Brackertz, David Kolkenbrock, Andreas Kissenbeck, René Schroeder,
Andreas Schulz

Physik und Tontechnik 15
Jürgen Kirstein und Volkhard Nordmeier

Astronomie

Students Derive an Exact Solution of the Flatness Problem 23
Hans-Otto Carmesin

Students discover the Schwarzschild metric at a free fall tower 31
Hans-Otto Carmesin

Students Exactly Derive Quantization and its Universality 39
Hans-Otto Carmesin

Wie sieht eigentlich das Sonnensystem aus? 45
Maximilian Alexander Loch, Malte S. Ubben

Hochschuldidaktik

**Analyse studentischer Fehlvorstellungen mittels des Force Concept
Inventory** 51
Silke Stanzel

**Auswirkungen einer Online-Intervention (Mindset, Lerntechniken) auf den
Studieneinstieg** 59
Malte Diederich, Verena Spatz, Anna Bauer

Belastungsquellen in der Studieneingangsphase Physik 67
Simon Z. Lahme, Jasper O. Cirkel, Larissa Hahn, Pascal Klein, Susanne
Schneider

Einführung in die Quantenphysik über die Astronomie 75
Tobias Reinsch, Lukas Maczewsky, Philipp Scheiger, Holger Cartarius, Ronny
Nawrodt

**Erarbeitung eines spiralcurricularen Blended Learning Konzepts für die
Mathematikausbildung der Studiengänge Lehramt Physik** 79
Lydia Kämpf, Frank Stallmach

Interaktive Lern- und Übungsaufgaben in der Physiklehrramtsausbildung Bianca Watzka	87
Lehr-Lernüberzeugungen und Lehrhandeln studentischer Tutor*innen Robin Dexheimer-Reuter, Verena Spatz, Thomas Trebing	93
Lernmaterialien für die Studieneingangsphase Physik Kai Cardinal, Julia-Marie Franken, Andreas Borowski, Philipp Schmiemann, Heike Theyßen	99
Multiple Repräsentationen und Zeichenaktivitäten als Zugänge zu Vektorfeldkonzepten Larissa Hahn, Pascal Klein	107
Offene Projektaufgaben mit Smartphone-Experimenten für die Studieneingangsphase Physik Simon Z. Lahme, Matthias Fipp, Pascal Klein, Andreas Müller	115
Open Educational Resources für den Hochschulbereich Larissa Hahn, Simon Alvar Blaue, Patrick Höhn, Nina Merkert, Pascal Klein	123
Programmieren zur Lösungseingabe in Selbsttests Dominik Giel	131
Triangulation von Verbal- und Blickdaten Julia Hofmann, Larissa Hahn, Katarina Jelacic, Ana Sušac, Pascal Klein	135
 Lehreraus- und Lehrerfortbildung	
Aktuelle Befunde aus der Begleitforschung zum Quereinstiegsmaster im Fach Physik an der Freien Universität Berlin Novid Ghassemi Tabrizi, Volkhard Nordmeier	143
Differenzierte Heimexperimente mit dem Smartphone – Entwicklung in einem Seminar im Physik-Lehramtsstudium Leif Broßmann, Florian Bauer, Julius Grabs, Marie Böwe, Simon Becher, Bastian Miersch, Kevin Gebhardt, Florian Kuß, Stefanie Czempiel, Bärbel Kracke, Holger Cartarius	149
Digitale Sensoren in der Lehramtsausbildung Katharina Stütz, Nicolas Braatz, Felix Weiss, Ronny Nawrodt	155
Förderung digitaler Kompetenzen in der schulstufenübergreifenden Lehrkräftebildung Lisa Stinken-Rösner, Simone Abels	161
Videovignetten zu Lernendenvorstellungen in der Lehramtsausbildung David Weiler, Lutz Kasper, Hannes Helmut Nepper	169

Lehr- und Lernforschung

- Diagnose von Kompetenzfacetten zur Variablenkontrollstrategie** 177
Tobias Winkens, Heidrun Heinke
- Die (Ab-)Wahl von Physik und Zusammenhänge zu Fachinteresse und Brain Type der Lernenden** 185
Julia Welberg, Daniel Laumann, Susanne Heinicke
- Entwicklungsorientierte physikdidaktische Forschung – ausgewählte Aspekte der Vorbereitung, Durchführung und Auswertung entsprechender Studien** 191
Roland Berger
- Förderung der Reflexionskompetenz im Lehr-Lern-Labor** 195
Jens Damköhler, Markus Elsholz, Thomas Trefzger
- Lernen durch Zeichnen** 199
Peter Michael Westhoff, Susanne Heinicke
- Lernwirksamkeit von Analogiemodellen zum elektrischen Potenzial** 207
Alina Hindriksen, Michael Kahnt, Roland Berger
- Mach dein Gehirn fit für Physik** 215
Laura Goldhorn, Thomas Wilhelm, Verena Spatz
- Modelle und Modellieren aus der Sicht von Mathematik- und Physiklehrkräften** 221
Simon F. Kraus, Frederik Dilling
- Untersuchung visueller Strategien beim Umgang mit Repräsentationen elektrischer Stromkreise** 227
Stefanie Peter, Olaf Krey
- Vorstellungen von Studierenden zum elektrischen Stromkreis** 233
Bernadette Schorn, Mareike Ablaß, Alexander Voigt
- Zweistufiges Messinstrument zum konzeptionellen Verständnis von Abbildungsvorgängen an der Sammellinse** 241
Daniel Römer, Jan Winkelmann

Neue Konzepte

- Entwicklung praxistauglicher, inklusiver MINT-Vermittlungskonzepte für die Schule** 247
Giulia Pantiri, Lea Mareike Burkhardt, Thomas Wilhelm, Volker Wenzel, Arnim Lühken, Dieter Katzenbach

Physikbezogene BNE didaktisch rekonstruiert Kai Bliesmer, Michael Komorek	253
Studieren Erfahrbar Machen - Realitätsnahe Einblicke in ein Physikstudium für Schüler:innen Ahmad Asali, Volker Meden, Heidrun Heinke, Stefan Roth	261
Neue Medien	
Anwendungen der Interferometrie als interaktive Bildschirmexperimente Hendrik Maas, Stina Scheer, Gunnar Friege	269
Augmented Reality Experimente AR.X (download, print, cut, explore) Johannes F. Lhotzky, Klaus Wendt	273
Das Projekt PUMA (Physik Unterricht Mit Augmentierung) Christoph Stolzenberger, Florian Frank, Stefan Kraus, Annika Kreikenbohm, Hagen Schwanke, Thomas Trefzger	277
Digitale Messwerterfassung mit Mikrocontrollern Fabian Bernstein, Thomas Wilhelm	281
Entwicklung eines 360° Serious Games zu Tätigkeiten von Forschenden in der Physik Benedikt Weiss, Moritz Kriegel, Verena Spatz	287
Graphische und interaktive Aufgaben für Kenntnistests Physik Karen Brösamle, Achim Eichhorn, Hanno Käß, Günther Kurz	293
phyphox: Exploration neuer Experimentierideen anhand der länderspezifischen Kernlehrpläne an deutschen Schulen Dustin Kirwald, Niklas Westermann, Dominik Dorsel, Sebastian Staacks, Christoph Stampfer, Heidrun Heinke	299
Physik mit GeoGebra Roger Erb, Albert Teichrew	305
PUMA : Magnetlabor * Ein AR-Lehr-Lern-Labor zum Themengebiet (Elektro-) Magnetismus in der Sekundarstufe I Hagen Schwanke, Annika Kreikenbohm, Thomas Trefzger	309
PUMA : Optiklabor - Optimierungsbedarf in der Optiklehre, Lösungsansätze via WebAR & ein erstes Studiendesign auf der Grundlage von Design-Based Research Stefan Kraus, Thomas Trefzger	313
Schülerlaborstudie zum Einsatz von Augmented Reality in der Elektrizitätslehre Florian Frank, Christoph Stolzenberger, Thomas Trefzger	317

Viana 2 – eine App zur Videoanalyse im Physikunterricht 325
Volkhard Nordmeier und Dirk Schwarzthans

Virtual-Reality-Experimente: Neueste Entwicklungen – Atomphysik 329
Johannes F. Lhotzky, William Lindlahr, Florian Bennert, Klaus Wendt

Virtual-Reality-Experimente: Neueste Entwicklungen – Radioaktivität und Elektromagnetismus 333
William Lindlahr, Johannes Lhotzky, Florian Bennert, Klaus Wendt

Neue Versuche und Praktika

Evaluating digital experimental tasks for physics laboratory courses 339
Simon Z. Lahme, Pascal Klein, Antti Lehtinen, Andreas Müller, Pekka Pirinen, Lucija Rončević, Ana Sušac

Wirkungsvolle Augmented Reality-Experimente im physikalischen Praktikum 347
Mareike Freese, Lion Cornelius Glatz, Albert Teichrew, Roger Erb

Quantenphysik

Interessenförderung zur Quantenphysik in einem Nebenfachpraktikum Physik 351
Sebastian Nell, Heidrun Heinke

Kompetenzlevel für das European Competence Framework for Quantum Technologies 359
Franziska Greinert, Rainer Müller

Modulare Low-Cost Experimente zur Wellen- und Quantenoptik 365
Nils Haverkamp, Alexander Pusch, Stefan Heusler

Quantenphysik in Klasse 9: Ergebnisse einer Akzeptanzbefragung für ein Spin-First-Unterrichtskonzept 369
Carsten Albert, Gesche Pospiech

Quantenphysik zum Anfassen – Von Papierstreifen zu Reißverschlüssen 379
Franziska Greinert, Malte S. Ubben

Studienreform-Forum Physik

Prüfungsformen im Physikstudium 383
Amr El Miniawy, Annemarie Sich, Clara Kofler, Lisa Lehmann, Maher Valentino Chikho, Manuel Längle, Sebastian Meures, Morris Weimerskirch, Sophie Penger, Stefan Brackertz

Workshop: Alternative Übungskonzepte 397
Antonia Bauer, Stefan Brackertz, Amr El Miniawy, Rochus Klesse, Jana Lasser, Manuel Längle, Lisa Lehmann, Malte Schröder, Annemarie Sich, Simon Tautz

Weitere Themen

Auswirkung von Wahlfreiheit beim Experimentieren 421
Laura Sührig, Roger Erb, Holger Horz, Albert Teichre, Mark Ullrich*, Jan Winkelmann

Fachwahl von Studierenden im Zusammenhang mit Fachinteresse und Brain Type 427
Daniel Laumann, Julia Welberg, Susanne Heinicke

Identitätsaushandlungen von Schüler*innen zu MINT im Anfangsunterricht 433
Lisa-Marie Christ, Olaf Krey, Frederik Bub, Thorid Rabe

Labs on Tour 439
Maria Hinkelmann, Heidrun Heinke, Tobias Winkens

Visions for Climate 445
Timo Graffe, Christopher A. Newton, Johannes F. Lhotzky, Klaus Wendt

Tagungsprogramm

Url: <https://www.dpg-verhandlungen.de/year/2023/conference/samop/part/dd>

Energie und Energieumwandlungen im inklusiven Unterricht

- Vorstellung und Erprobung eines Unterrichtskonzepts -

Stefan Brackertz*, David Kolkenbrock*, Andreas Kissenbeck⁺, René Schroeder[#], Andreas Schulz*

*Universität zu Köln, ⁺Gesamtschule Köln-Holweide, [#]Universität Bielefeld
Andreas.Schulz@uni-koeln.de

Kurzfassung

Alle Prozesse im Universum und im Leben sind mit Energieumwandlungen verbunden. Daher sind diese ein Unterrichtsthema am Übergang von der Mittel- zur Oberstufe. Hierzu wurde ein Konzept zur Behandlung im inklusiven Unterricht der Klassenstufe 10 entworfen.

Es wurde eine Differenzierungsmatrix nach Sasse & Schulzeck entwickelt, die es Schüler*innen ermöglicht, beim Lernen ihren Schwierigkeitsgrad, aber auch die Art ihres Zugangs selbst zu wählen. Dabei haben sich die Schüler*innen abweichend vom Ursprungskonzept der Differenzierungsmatrix nicht individuell, sondern in Gruppen durch die Matrix bewegt und mussten sich so der Herausforderung stellen, einen gemeinsamen Weg durch die Matrix zu entwickeln. Um dies zu ermöglichen, wurde statt dem verbreiteten Schema „Motivation – Definition des Energiebegriffs – Anwendung“ zu folgen, der Energiebegriff an Hand von Umwandlungsprozessen eingekreist und soweit heraus geschärft, dass eine formale Definition am Ende der Einheit fast unnötig wurde. Es werden auch Beispiele aus der Energieversorgung betrachtet und auch das Problem der Energieentwertung behandelt.

Das Konzept wurde in der Gesamtschule Köln-Holweide in einer Unterrichtsreihe sowie einer Vergleichsklasse erprobt.

1. Das Vorhaben

Die Masterarbeit, auf der dieser Artikel beruht, reiht sich ein in eine Reihe von Projekten, die darauf zielen, zu explorieren, wie Inklusion in den Naturwissenschaften [1] praktisch gelingen kann. Dabei wird an die Erfahrungen von Schulen angeknüpft, die sich bereits seit Jahren auf den Weg gemacht haben, Inklusion in der Praxis zu leben. Ziel ist einerseits die Dokumentation des an diesen Schulen bereits erarbeiteten Standes und gleichzeitig die wissenschaftliche Aufarbeitung der sich aus dieser Praxis ergebenden offenen Fragen.

Die Gesamtschule Köln-Holweide arbeitet seit mehreren Jahren erfolgreich mit dem Konzept der Differenzierungsmatrix nach Sasse & Schulzeck [2]. Allerdings waren bei diesem Konzept drei Fragen zu nächst ungeklärt:

- Wie steht die freie Wahl, in welcher Reihenfolge die Schüler*innen Aufgaben bearbeiten, im Verhältnis zu den üblichen didaktischen Reduktionen der Physik¹, die auf einen Unterricht abgestimmt sind, in dem der Kompetenzerwerb systematisch aufeinander aufbaut?
- Inklusion ist mehr als das Nebeneinanderarbeiten der Schüler*innen. Wie steht die Individualisierung des Lernweges der Schüler*innen im Ver-

hältnis zum Anspruch der Inklusion, dass nicht nur alle Schüler*innen sich bestmöglich entwickeln sollen, sondern auch etwas miteinander anfangen können sollen? (Vergleiche [4]) Wie lässt sich die Arbeit mit der Matrix mit Zusammenarbeit verbinden?

- Wie lassen sich die Achsen der Differenzierungsmatrix in der Physik sinnvoll nutzen und welche Funktion haben sie für die Schüler*innen real?
- Wie gelingt eine Ergebnissicherung bei der Arbeit mit einer Differenzierungsmatrix?

Energie spielt in gesellschaftlichen Debatten eine zunehmende Rolle; gleichzeitig ist das Spezifikum dieser eher künstlich-abstrakten Größe der Physik, dass sie bei Umwandlungsprozessen erhalten bleibt. Beides birgt erhebliches didaktisches Potenzial. Überraschenderweise spielt das Konzept der Energie in der Schule dennoch keine angemessene Rolle und wird – wenn überhaupt – im Rahmen einzelner Teilgebiete der Physik thematisiert, aber gerade nicht gebietsübergreifend, sodass die Erhaltung bei Umwandlung tatsächlich zur Geltung kommen könnte.

In der vorgestellten Arbeit wird eine an der Gesamtschule Köln-Holweide entwickelte und erprobte Unterrichtsreihe vorgestellt, die Energie und ihre Umwandlung in den Mittelpunkt der Betrachtung stellt. Die Unterrichtsreihe verwendet die an dieser Schule eingesetzte Differenzierungsmatrix und untersucht auf der methodischen Seite, wie sich die

¹ Ein guter Überblick über „traditionelle“ und neuere Unterrichtskonzeptionen in fast allen Gebieten der Physik sowie empirische Ergebnisse zu diesen Konzeptionen finden sich in [3].

ersten beiden oben genannten Fragen adressieren lassen. Dabei greifen Inhalt und Methode insofern ineinander, als die Erhaltung bei Umwandlung gleichzeitig einen quantitativen und qualitativen Zugang ermöglicht statt der üblichen Abfolge „erst qualitativ, dann quantitativ“. [5] Die Arbeit dient der Exploration des Potenzials dieser Konzeption. Dabei wird deutlich, dass die Schüler*innen die Matrix nicht wie nahegelegt im Wesentlichen von unten links nach oben rechts durcharbeiten und dass dies zumindest im gewählten Setting auch weder notwendig noch unbedingt hilfreich ist.

2. Fachlicher Hintergrund

Alle Prozesse im Universum sind mit Energie-Umsatz, also mit Energie-Umwandlungen verbunden, insbesondere auch Prozesse zwischen Erde und Sonne. Ohne Energieumsatz ist kein Leben auf der Erde möglich.

Energie ist dabei nicht erzeugbar und nicht vernichtbar. Zusammen mit Impuls- und Drehimpulserhaltung folgt sie gemäß Noether Theorem aus den Eigenschaften des Raumes und ihre Gültigkeit ist damit nicht auf die Newtonsche oder die Schrödingersche Mechanik beschränkt. Sie gilt universell, in verallgemeinerter Form auch in der Allgemeinen Relativitätstheorie, über alle Bereiche der Physik hinweg und auf allen Skalen, und in unserem Universum ist das Betragsverhältnis von potenzieller und kinetischer Energie $1.0 (\pm 0.01)$. Diese Universalität ist auch der Grund, warum Fehler in der Bilanz von Erhaltungsgrößen in der Geschichte oft neue Entdeckungen, z.B. Äquivalenz von Masse und Energie, Spin, Neutrinos, mit ausgelöst haben.

Dies scheint zunächst im Widerspruch zu stehen zur oft gehörten und gelesenen Strategie, eine Aufgabe „durch Energieminimierung“ zu lösen. Letzteres funktioniert dennoch oft bei offenen Systemen, die im Energieaustausch mit der Umwelt stehen und wärmer als die Durchschnittstemperatur des Universums ($\sim 3\text{K}$) sind, weil sich die Energie gemäß Gleichverteilungssatz der Thermodynamik im thermodynamischen Gleichgewicht so verteilt, dass alle Teile des Gesamtsystems (offenes System + seine Umwelt) die gleiche Temperatur haben. Manchmal wird in Begründungen für dieses Vorgehen auch an das Prinzip stationärer Wirkung der Hamiltonschen Mechanik angeknüpft, das sich analog auch in der Quantenfeldtheorie und dem in der Schule oft behandelten Fermat-Prinzip der Optik existiert. Dies ist aber ein falscher Bezug: Erstens ist eine stationäre Wirkung oft keine minimale Wirkung, zweitens ist Wirkung eine ganz andere Größe als die Energie.

Weitere Verwirrung stiftet teilweise, dass zur Berechnung des thermodynamischen Gleichgewichtes thermodynamische Potenziale minimiert bzw. maximiert werden und für einige davon historische, nach heutigem Verständnis irreführende, wenn nicht falsche Namen wie „Freie Energie“ weiter gebräuchlich sind. Diese thermodynamischen Potenziale ha-

ben aber mit Energie nichts zu tun und sind auch nicht erhalten; vielmehr sind sie Maße für (bedingte) Wahrscheinlichkeiten. Ihre Maximierung / Minimierung ist darin begründet, dass sich das thermodynamische Gleichgewicht genau dadurch auszeichnet, dass die Wahrscheinlichkeit, ein System in diesem Zustand anzutreffen, im thermodynamischen Limes extrem viel höher ist als für alle anderen Zustände.

Aus den Gesetzen der Thermodynamik folgt, dass für die meisten realen Systeme Energie (und andere Erhaltungsgrößen) zwar für alle Umwandlungsprozesse erhalten, dass aber nicht alle Umwandlungsprozesse machbar sind. So ist es beispielsweise nicht möglich, Wärmekraft-Maschinen mit einem höheren als dem Carnot-Wirkungsgrad (Turbine im Kohlekraftwerk, KFZ-Motor) zu bauen. Das heißt aber, nicht, dass Energie verloren ginge, sondern dass die Umwandlung von mechanischer Energie in thermische Energie eine Entwertung (= Verringerung der technischen Nutzbarkeit) der Energie ist, weil die umgekehrte Umwandlung in einer Wärmekraftmaschine nur eingeschränkt möglich ist.

3. Didaktische Konzeption

Der Energiebegriff ist der Schlüssel zum Verständnis gesellschaftlicher Debatten und sollte somit vor dem Ende der allgemeinbildenden Schulpflicht thematisiert werden, also in der 10. Klasse.

Ein Grund, warum Energie oft erst viel später systematisch eingeführt wird, besteht darin, dass die Energieerhaltung oft als Konsequenz der Newtonschen Gleichungen hergeleitet und dann vor allem als „eleganter Rechenrick“, um keine komplizierte Differenzialgleichung lösen zu müssen“ verstanden wird. Dieser Weg hat nicht nur das Problem, dass die Universalität der Energieerhaltung nicht zur Geltung kommt (weder in Bezug darauf, dass die Energieerhaltung in der Mechanik viel allgemeiner ist als die Newtonschen Gleichungen, noch in Bezug darauf, dass sie in allen Bereichen der Physik gilt und diese miteinander verbindet). Vor allem ist dieser Zugang erst möglich, nachdem Differenzial- und Integralrechnung (und besser noch Differenzialgleichungen) soweit fortgeschritten sind, dass die Schüler*innen überhaupt mit den Newtonschen Gleichungen umgehen können, also typischerweise nicht vor der Mitte der Oberstufe. Fraglos folgt dieser Zugang der historischen Entwicklung der Physik [6] und ist damit – folgt man [5] oder nimmt nature-of-science-Ansätze in den Blick – wertvoll. Ihn von modernem Standpunkt her vom Kopf auf die Füße zu stellen, also mit Erhaltung als wesentlich fundamentalerem Prinzip der Physik zu beginnen (und später eventuell Newton zu behandeln), bietet dennoch didaktisch erhebliche Vorteile:

- Relevante und spannende Themen können früher behandelt werden.
- Der klassische Zugang funktioniert – im Wagenscheinschen Sinne – falsch herum: Man benutzt die quantitative Arbeit mit den Newtonschen

Gleichungen, um zu einem qualitativen Ergebnis (die Gesamtenergie ändert sich nicht) zu kommen. Steigt man mit Erhaltungsgrößen ein, ist es umgekehrt, also im Wagenscheinschen Sinne richtig herum: „erst qualitativ, dann quantitativ“.

- Energie ist in der Gesellschaft viel präsenter als fast alle anderen physikalischen Konzepte, etwa die Newtonschen Gleichungen; somit knüpft der moderne Ansatz viel eher an den Alltag der Schüler*innen an als der historische.

Insbesondere in neueren Curricula wird schon früher mit dem Energiebegriff gearbeitet. Er nimmt hierbei dennoch eher die klassische Rolle ein²: So wird typischerweise zum Abschluss einer Unterrichtsreihe zur Mechanik oder Elektrizitätslehre die Energie mit Hilfe einer formalen Definition (etwa $W=P \cdot t=U \cdot I \cdot t$ in der Elektrizitätslehre) eingeführt, um an den Schüler*innen-Alltag anzuknüpfen, etwa die Stromrechnung. Dabei ist die Energieerhaltung wiederum ein (dann normalerweise nicht hergeleitetes oder begründetes) Resultat der physikalischen Gesetze des entsprechenden Bereiches (und nicht Rahmen, in dem diese entwickelt werden) und die Behandlung bleibt oft innerhalb des entsprechenden Bereiches der Physik. (Manchmal wird am Beispiel der Stromnetze ein Bezug angedeutet.)

In der hier vorgestellten Arbeit wird nicht der historische, sondern der moderne Ansatz gewählt, der aus Sicht der Autoren den Einsatz einer didaktischen Methode wie der Differenzierungsmatrix (die weiter unten ausführlich behandelt wird), die die feste Reihenfolge der Erarbeitung des Unterrichtsstoffes aufbricht und damit verbesserte Voraussetzungen für Inklusion schafft, auch erst tatsächlich ermöglicht.

Auf dieser Grundlage wurde eine didaktische Reduktion erarbeitet, die keine bestimmte Reihenfolge der Erarbeitung erfordert. Die Idee dabei ist, den Schüler*innen zu ermöglichen, sich das Feld Energie mit Hilfe einer Differenzierungsmatrix selbstbestimmt und ihren Voraussetzungen entsprechend bearbeiten können, ohne das Ziel eines gemeinsamen Unterrichts aufzugeben.

3.1. Reduktion und Zugang

Der entwickelte Zugang zum Thema zeichnet sich durch die Spezifika aus:

² Exemplarisch für die aktuellen Entwicklungen sei hier auf den NRW-Kernlehrplan für die Gesamtschule, Sekundarstufe I von 2013 [7] verwiesen: Dort wird in zahlreichen „Inhaltsfeldern“ an das „Basiskonzept Energie“ angeknüpft, Energie kommt also durchaus häufig und als verbindendes Element verschiedener „Inhaltsfelder“ vor. Gleichzeitig gibt es ein eigenes Inhaltsfeld „Energie, Leistung, Wirkungsgrad“ (S. 108), das aber anders als der Titel vermuten lässt, nicht als Querschnittsfeld aufgebaut ist, sondern von der klassischen Energiebegriffsdefinition aus der Mechanik geprägt ist; letztlich bilden die Inhaltsfelder „Kräfte und Körper“, „Bewegungen und ihre Ursachen“ sowie „Energie, Leistung, Wirkungsgrad“ zusammengenommen eine recht klassische Einführung in die Mechanik.

- a) Eine Definition des Energiebegriffs spielt keine wichtige Rolle, sondern kommt nur als Ausblick am Ende vor; stattdessen wird sich dem Energiebegriff durch seine Verwendung in verschiedenen Kontexten angenähert.
- b) Energieerhaltung und Energieentwertung werden weitgehend parallel entwickelt.
- c) Gleichzeitigkeit von qualitativem und quantitativem Arbeiten soll ermöglicht werden

3.1.1. Einführung des Energiebegriffs

Die Möglichkeiten der Begriffseinführung sind vielfältig. Da ist zunächst, Energie als gespeicherte Arbeit aufzufassen (tatsächlich legt das – ursprünglich griechische – Wort „ἐν-έργεια“, übersetzt als „darin enthaltene Arbeit“ diese Deutung nahe). Diese Einführung ist zunächst auf mechanische Arbeit zugeschnitten, sie lässt sich teils leicht, teils aber auch schwieriger auf andere Energieformen übertragen. Typischerweise wird dabei mit verschiedenen Beispielen auf eine Definition des Energiebegriffes hingearbeitet, die dann an der mechanischen Arbeit festgemacht wird, um anschließend diese Definition und die darauf basierenden Sätze in Beispielen anzuwenden.

Diese Vorgehensweise hat zwei Schwierigkeiten: (1) Die Definition stellt in gewisser Weise ein Nadelöhr dar; Schüler*innen, die nicht (pünktlich zusammen mit den anderen) bei dieser Definition ankommen, können dem Rest des Unterrichts kaum noch folgen; Wiedereinstiegspunkte gibt es nur durch Wiederholungen, die dann umgekehrt die anderen langweilen oder dadurch, dass die formale Definition blind angewendet wird. (2) Anstatt die Äquivalenz der verschiedenen Energieformen in den Mittelpunkt zu stellen, wird aus historischen Gründen in der Definition die Mechanik herausgehoben, sodass der Blick für die entscheidende Spezifik der Energie verstellt wird. (Vergleiche Abschnitt 2)

Angesichts dessen wird hier mit einer anderen Konzeption gearbeitet: Motivation des Energiebegriffs und dessen Anwendung werden in den Aufgaben der Matrix bewusst nicht getrennt, wenn auch verschiedene Aufgaben unterschiedliche Schwerpunkte setzen. Vielmehr wird der Energiebegriff aus der Anwendung seiner Erhaltungseigenschaft heraus geschärft, wie es etwa [8] in den „Grundformen des Lernens“ ab Seite 201 beschreibt:

„Diese Transparenz erwirbt ein Begriff im Zuge seines Durcharbeitens. (...) Im Zuge eines solchen Durcharbeitens reinigen wir auch den Begriff von den Schlacken, die ihm von der ersten Erarbeitung her anhaften. Die wesentlichen Zusammenhänge treten in Klarheit hervor. Der Begriff wird zu einer geistigen Landkarte (...) in der sich der Schüler frei und selbständig zu bewegen vermag.“

Die mechanische Energie ist dabei nicht definierend, sondern vielmehr ein prominentes unter vielen Beispielen für die Energieumwandlung, die insgesamt

eine definierende Funktion für den Energiebegriff hat.³ Die Definition der Energie steht dabei nicht in der Mitte sondern am Ende der Unterrichtsreihe. Sie ist nicht Voraussetzung für die Anwendung, sondern kondensierte Erfahrung aus der Anwendung, die je nach Schüler*in unterschiedlich scharf ist. Sie wird beim Bearbeiten der verschiedenen Aufgaben aus verschiedenen Perspektiven herausgearbeitet, wie ein Steinmetz Stück für Stück eine Figur aus einem Steinblock herausarbeitet. Während die einen Schüler*innen im Laufe des Unterrichts jede Perspektive einmal einnehmen und am Ende eine von allen Seiten fein ausgearbeitete Statue haben, sind bei anderen Schüler*innen manche Seiten vielleicht noch grob oder ganz unbearbeitet, andere dafür eventuell umso präziser. Aber es gibt kaum die Möglichkeit, prinzipiell „rauszukommen“ und jedenfalls immer die Möglichkeit, sich von einer neuen Perspektive aus mit anderen, die gerade auf derselben Seite der Statue stehen, neu anzunähern.

Dieser Prozess des Herausarbeitens des Energiebegriffs durch das „Durcharbeiten“ (Aebli) von Energie-Umwandlungsprozessen ist dabei als der „Gemeinsame Gegenstand“ im Sinne [9] gedacht. Er ist angelegt an die eher geisteswissenschaftlich konnotierte Methode Hermeneutik⁴ und faktisch näher an naturwissenschaftlicher Forschung als die rein induktiv und deduktive Herangehensweise vieler (Universitäts-)Lehrbücher.

3.1.2. Technik, Gesellschaft und der Wert der Energie

Energieumwandlungen dienen auch dazu, Energieformen für den Alltag nutzbar zu machen wie z.B. das Verzehren von Nahrung zum Leben oder das Heizen der Wohnung z.B. mittels Maschinen. Beispiele in der entwickelten Matrix sind u.a. der Elektromotor, Kernkraftwerke und Photovoltaik. Auf Grund ihrer hohen gesellschaftlichen Relevanz kommen solche technischen Anwendungen in relativ vielen Aufgaben vor und umfassen immer Teilaufgaben zur expliziten Einordnung in gesellschaftliche Debatten. So kann die Kompetenz der Bewertung durch die Schüler*innen gezielt geschult werden.

³ Matrixaufgaben, in denen Energie als gespeicherte Arbeit vorkommt, sind die Matrix-Elemente M1, M2, M4 und auch M3 und T1.

⁴ Hermeneutik, vornehmlich die „Kunstlehre des Verstehens“ biblischer und juristischer Texte, wurde ab etwa 1800 vor allem initiiert durch Friedrich Schleiermacher auch in anderen Kontexten angewandt und zu Beginn des 20. Jh. zur allgemeinen, theoretisch fundierten Methode der Geisteswissenschaften in Abgrenzung zum Naturalismus der Naturwissenschaften durch Wilhelm Dilthey weiterentwickelt. Hans-Georg Gadamer legte mit „Wahrheit und Methode“ 1960 [10] die Grundlage eines erweiterten Verständnisses, das bis heute Referenz der Debatte ist. Als kurze Einführung sei auf den Wikipedia-Artikel zu diesem Werk [11] verwiesen.

Bei der Umwandlung gilt zwar universell die Erhaltung, aber nicht alle Umwandlungen erzielen zu 100% den gewünschten Nutzen, ein Teil der umgewandelten Energie geht z.B. als Abwärme in den Raum und ist nicht weiter nutzbar (siehe Abschnitt 2, letzter Absatz).

In vielen Darstellungen wird dieses Phänomen am Wirkungsgrad η von Maschinen diskutiert. Abgesehen davon, dass dies eine recht technische und rein quantitative Definition ist, ist das Verhältnis der typischen Definition $\eta = \frac{\Delta E_{\text{nutz}}}{\Delta E_{\text{zu}}}$ und des Sprachgebrauchs, dass Energie „verloren“ gehe, zur Energieerhaltung unklar. Um den in Abschnitt 2 aufgeführten Missverständnissen vorzubeugen, wird einerseits „Entwertung“ von Energie als Begriff verwendet, sodass unmittelbar klar ist, dass diese Energie immer noch existiert.⁵ Zudem ist dieser Begriff auch im ökonomischen Sinne treffend. Andererseits wird immer die vollständige Energiebilanz prominent diskutiert. Zentrale Darstellungsform, die sowohl den Erhalt der Gesamtenergie als auch deren Entwertung gleichzeitig berücksichtigt, sind Energieflussdiagramme (siehe Abb. 1). Sie haben zudem den Vorteil, dass sie zugleich einen qualitativen und einen quantitativen Zugang ermöglichen, siehe Abschnitt 3.1.3.⁶

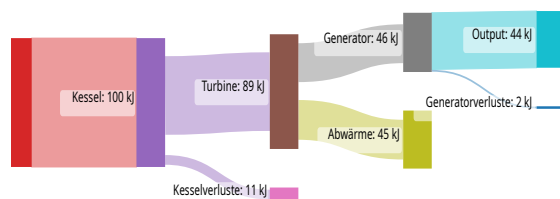


Abb.1: Energieflussdiagramm eines Kohlekraftwerkes, erstellt mit Hilfe von [12]

3.1.3. Qualitativ und Quantitativ

Folgt man Wagenscheins Forderung „erst qualitativ, dann quantitativ“ und versucht einen binnendifferenzierten Unterricht zu gestalten, bricht das gemeinsame Lernen spätestens am Übergang vom Qualitativen zum Quantitativen auseinander (vgl. z.B. [13]). Dies ist ein typischer Fall des Problems, das z.B. Trautmann & Wischer [14] und schon früher Bönsch [15] für ein Scheitern von Binnendifferenzierung mitverantwortlich machen:

„Bei konsequenter Differenzierung im Unterricht wäre in einer Klasse nur noch der Ausgangspunkt allen gemeinsam. (...) [Es] zieht sich das Feld der Schüler mehr und mehr auseinander. Die Konsequenz wäre eine permanente Differenzierung.“ [15]

⁵ Beispiele für Matrixaufgaben, in denen es um die Energieumwandlung und anschließende Nutzung geht, sind E1, E3, M4, S1 und S2.

⁶ Dennoch wird der Bezug zum Begriff „Wirkungsgrad“ hergestellt und auch die Redewendung, dass Energie (für die Nutzung) verloren geht aufgegriffen, um eine Anknüpfung an den üblichen Diskurs zu erleichtern.

Wagenschein verfolgt tatsächlich auch keine Binnendifferenzierung, sondern setzt darauf, mit Hilfe seiner Regel „erst die Langsamem, dann die Schnellen“ ein gemeinsames Durchlaufen der verschiedenen Unterrichtsphasen sicherzustellen.

Inwiefern das gelingt, mag vom Einzelfall abhängig sein. Sicher ist jedoch, dass eine didaktische Reduktion, die weniger auf ein Nacheinander bestimmter Verständnisschritte angewiesen ist, weniger anfällig für solche Probleme ist. Zudem entspricht es der Forderung nach Schüler*innenorientierung, wenn Schüler*innen selbst ihren Ausgangspunkt und ihren Zugang wählen können und dennoch miteinander lernen.

Wie die zentrale Darstellungsform des Energiefluss-Diagramms (siehe Abb. 1) unmittelbar veranschaulicht, ermöglicht die Arbeit mit Erhaltungsgrößen eine Gleichzeitigkeit von qualitativem und quantitativem Arbeiten. Sie ermöglicht, besonders weil sich Energie als Skalar (im Gegensatz zum Impuls) leicht als solch ein Diagramm visualisieren lässt, dass Schüler*innen auch dann miteinander ins Gespräch kommen, wenn die einen qualitativ argumentieren und die anderen quantitativ.

Unabhängig davon sind einige Aufgaben explizit rechenlastig und als solche in der Matrix mit einem Icon gekennzeichnet (siehe unten).

3.2. Methodik Differenzierungsmatrix

Die Differenzierungsmatrix wurde allgemein als Methode von Sasse & Schulzeck [2] entwickelt. Die Differenzierung im Unterricht geschieht hier nicht durch die Lehrperson, sondern durch die Schüler*innen selbst anhand einer Aufgabenmatrix.

Die 2-dimensionale Lernmatrix enthält auf der horizontalen Achse eine gestufte Sachthematik und auf der vertikalen Achse didaktische Komplexität bzw. gestufte Methodik.

Auch um eine Vergleichbarkeit mit herkömmlichem Unterricht zu ermöglichen (siehe Evaluation unten) wurden für die Differenzierungsmatrix zur Energie weitgehend bestehende Aufgaben ausgewählt und entsprechend der Überlegungen in Abschnitt 3.2 abgewandelt, eine Matrix zum Thema Energie gab es aber zuvor nicht (überhaupt gibt es bislang kaum Differenzierungsmatrizen zur Physik, vgl. [16]).



Abb.2: Icons zur Charakterisierung von Aufgaben in der Matrix, von oben links nach unten rechts: ‚Bilder und Texte‘, ‚Experiment‘, ‚Video oder Simulation‘, ‚rechenlastig‘

Wie am Anfang von Kapitel 3 beschrieben, wird Energie meist nicht als globales Thema behandelt, sondern in verschiedenen Unterrichtsblöcken zu Mechanik, Elektrizität usw. Dementsprechend haben die meisten Aufgaben auch einen Bereich der Physik, dem sie hauptsächlich zugeordnet sind, auch wenn sie – ausgehend von diesem Bereich – eine Energieumwandlung in einen anderen Bereich zugeordnete Thematik behandeln. Dementsprechend wurden die Spalten den unterschiedlichen Bereichen „Mechanische Energie“, „Elektrische Energie“, „Thermische Energie“, „Strahlungsenergie“ und „Chemische Energie“ zugeordnet (siehe Abb. 3). Dabei wurde die Reihenfolge danach vorgenommen, wie sehr in den entsprechenden Bereichen der Physik der Energiebegriff mutmaßlich im Vorwissen der Schüler*innen verankert ist. Die Idee dabei ist: Die Aufgaben links in der Matrix können Schüler*innen auf Grund von Alltagswissen über bestimmte Phänomene potenziell auch dann bearbeiten, wenn ihr Energiebegriff noch sehr vage ist. Nachdem er dann an einigen Aufgaben geschärft und ein wenig abstrakter geworden ist („von den Schlacken“ gereinigt, Aebli), lässt er sich auch in Bereichen der Physik anwenden, aus denen die Schüler*innen ihn noch nicht kennen.

Ausgehend von der Kritik von Woest & Engelmann [17], dass verschiedene Zugänge nicht gleichzusetzen sind mit verschiedenen Schwierigkeitsgraden, wurden die Aufgaben auf der vertikalen Achse nach allgemeiner Komplexität unter Aspekten von kognitiven, psychomotorischen und affektiven Herausforderungen in einer Rangfolge sortiert und die verschiedenen Zugänge unabhängig davon mit Icons in den Feldern gekennzeichnet (siehe Abb. 2).

Auf Grund von Lehrplan-Notwendigkeiten wurden einige Aufgaben, die viele Ziele der Unterrichtseinheit vereinen, als verpflichtend gekennzeichnet. Dies geschah aber erst zum Ende der Unterrichtsreihe hin (als aber noch genug Zeit war, diese Aufgaben zu bearbeiten), um die Aufgaben nicht in verschiedene Wertigkeiten einzuteilen, sodass die Schüler*innen (zunächst) tatsächlich eigenständig über ihren Weg durch die Matrix entscheiden konnten.

Abb. 3 zeigt die entwickelte Matrix jeweils für die Schüler*innen. Letztere bewegen sich durch die Matrix in dieser Untersuchung nicht einzeln, sondern in vorgegebenen heterogenen Kleingruppen zu je 4 Schüler*innen, selbstständig, wobei sie über die ganze Unterrichtseinheit zusammen blieben. Entscheidend war, dass die Schüler*innen dadurch herausgefordert waren, ihre Interessen, Vorkenntnisse und Fähigkeiten zu reflektieren und zu artikulieren, sich aufeinander einzulassen und auf einen gemeinsamen Weg zu einigen. Einerseits bedeutet dies soziales Lernen, andererseits dient es aber auch der Selbstreflexion und Lernkontrolle und Ergebnissicherung, denn der tatsächliche Zwischenstand wird vor allem für die Sprechenden dadurch deutlich,

dass sie ihn artikulieren und an den Vorstellungen anderer reiben.

4. Die Unterrichtsreihe mit der Differenzierungsmatrix

Wie unten im Abschnitt 5 zur Evaluation näher erläutert, wurde zusätzlich zur hier beschriebenen Unterrichtsreihe mit Differenzierungsmatrix (D-Klasse) noch eine lehrerzentrierte Unterrichtsreihe in einer Parallelklasse (L-Klasse) zum Vergleich durchgeführt. Beide fanden im 10. Jahrgang an der Gesamtschule Holweide statt, hatten regulär den selben Physiklehrer und umfassten sieben Unterrichtseinheiten zu je 1,5 Zeitstunden. Im Folgenden wird die Unterrichtsreihe in der D-Klasse beschrieben.

Der Aufbau der sieben Unterrichtseinheiten war stets analog:

Der Unterricht startete mit einer kurzen Plenumsphase. Neben ritualisiertem Ankommen und einer Erläuterung der Arbeitsweise mit der Matrix umfasste das Anfangsplenum vor allem einen kurzen thematischen Teil, bei dem Energieflussdiagramme als zentrale Darstellungsform (siehe Abschnitte 3.1.2 und 3.1.3) eingeführt sowie Energieumwandlung, Energieerhaltung, Energieentwertung, Wirkungsgrad sowie Kraftwerksformen und Energieträger angeteasert wurden, um die gemeinsame Entscheidungsfindung in die Gruppenarbeitsphase zu erleichtern. Es wurde vom Lehrer auch erläutert, dass bei weitem nicht alle Felder der Matrix bearbeitet werden sollten, sondern lediglich eine Auswahl. Es wurde vom Lehrer auch erläutert, dass bei weitem nicht alle Felder der Matrix bearbeitet werden sollten, sondern lediglich eine Auswahl.

Den Kern der Unterrichtseinheiten bildeten die Gruppenarbeitsphase, in der heterogen durch den

Lehrer zusammengestellte 4er-Gruppen, die für die gesamte Unterrichtseinheit zusammen blieben, eigenständig Aufgaben aus der Differenzierungsmatrix auswählten und bearbeiteten. Zu jedem Matrixfeld waren Aufgabenblätter entwickelt worden (siehe Anhang), die eine konkrete Bearbeitung der Felder ermöglichten. Zu jedem Matrixfeld waren Aufgabenblätter entwickelt worden (siehe Anhang), die eine konkrete Bearbeitung der Felder ermöglichten. Die Gruppenarbeitsphase wurde jeweils mit Hinweisen des Lehrers begonnen, wo die jeweilige Gruppe beim letzten Mal aufgehört und insbesondere welche Aufgaben sie nicht zu Ende bearbeitet hatte. Hatte eine Gruppe eine Aufgabe bearbeitet, hat sie die Ergebnisse mit Hilfe von Musterlösungen selbst korrigiert. Gleichzeitig ist der Lehrer, als Element formativen Assessments [18] von Gruppe zu Gruppe gegangen, hat zugehört, beobachtet und sich auch immer wieder die Mappen angesehen, in denen die Aufgaben bearbeitet wurden, um so möglichst auf sich entwickelnde Fehlvorstellungen und von den Schüler*innen nicht selbständig aufgehobene problematische Präkonzepte aufmerksam zu werden, die dann zum Beispiel in der Anfangsphase der darauf folgenden Unterrichtseinheit angesprochen werden konnten.

Den Abschluss einer Unterrichtseinheit gab es einen kurzen Zeitslot, in dem die Schüler*innen individuell rekapitulieren sollten, was sie in der jeweiligen Einheit gemacht und gelernt hatten. Im Anschluss berichteten ausgeloste Schüler*innen kurz und exemplarisch über einen beliebigen Teil davon. So hatten die verschiedenen Gruppen einerseits die Möglichkeit, voneinander mitzubekommen und der Lehrer auch nochmal mehr einen Eindruck davon, welche Konzepte vielleicht noch auf einem problemati-


5	(M5) Wasserkraftwerk: 200m "Wasserfall" - eine Menge Energie! 	(E5) Energiewende schwergemacht. Der Kampf um was "wie"! 	(T5) Was ist das denn eigentlich: „Thermische Energie“?  	(S5) Das Kraftwerk, das nur die Sonne braucht. 	(C5) Energie in Mengen - Wo steckt wie viel drin? 
4	(M4) Kohlekraftwerk - Wie effizient ist das eigentlich? 	(E4) Die Spannung steigt - Der Transformator 	(T4) Geothermie - Können wir einfach den Erdkern anzapfen? 	(S4) Die Kernenergie! Eine gute Idee? 	(C4) Brennstoffzelle - Mobilität der Zukunft 
3	(M3) Der Generator - Bewegung wird zu Strom 	(E3) Der geräuschlose Motor 	(T3) Energie ohne Ende! - Könnten alle so leben wie wir? 	(S3) Regenbögen sind erst der Anfang! 	(C3) Irgendwas verbrennen - 'Zack!' Energie 
2	(M2) Energie Zuordnungssquiz - Überall Energie! 	(E2) Wo wären wir ohne elektrische Energie? 	(T2) Warum sind warme Dinge warm? 	(S2) Die Kraft der Sonne - Photovoltaik 	(C2) Das Speicherproblem! 
1	(M1) Hat das da gerade Energie?  	(E1) Lasst den Strom fließen! 	(T1) Wärmste Hände Wettbewerb 	(S1) Die Kraft der Sonne - Solarwärme 	(C1) Die Kartoffelbatterie - Energie aus Gemüse  
	Mechanische Energie	Elektrische Energie	Thermische Energie	Strahlungsenergie	Chemische Energie

Abb.3: Differenzierungsmatrix zum Thema Energie (verpflichtend zu bearbeiten waren die Aufgaben T2, C3, M4). Eine Auswahl an Aufgaben findet sich im ergänzenden Material zu diesem Artikel.

schen Erarbeitungsstand waren und im nächsten Anfangsplenum noch einmal aufgegriffen werden sollten. Andererseits wurde so sichergestellt, dass sie Schüler*innen für sich selbst eine Zwischenbilanz zogen und auch üben Erlernes nachvollziehbar zu berichten. Dadurch, dass die Gruppen unterschiedliche Aufgaben bearbeitet hatten, die aber alle dem Zweck, den Energiebegriff auszuschärfen hatten, war sichergestellt, dass das Berichtete tatsächlich für die anderen neu und in der nächsten Einheit nützlich war. Dies führte nicht nur zu Aufmerksamkeit, sondern auch dazu, dass die Situation nicht so sehr den Charakter einer Prüfung hatte, sondern eines Beitrages zum gemeinsamen Weiterkommen.

5. Evaluation der Unterrichtsreihe

Verlauf und Erfolg der Unterrichtsreihe wurden in fünffacher Hinsicht evaluiert:

- Tatsächlicher Verlauf
- Soziale Anschlussfähigkeit
 - a. in Bezug auf die Aufgabenwahl
 - b. in Bezug auf die Gruppenarbeit
- Individuelle Anschlussfähigkeit
 - a. in Bezug auf die Aufgabenwahl
 - b. in Bezug auf die Gruppenarbeit
- Unterrichtsqualität und -kultur angelehnt an Kriterien guten Unterrichts nach Baumert [19] bzw. Helmke [20].
- Lernzuwächse

Die D-Klasse bestand aus 24 Schüler*innen, von denen vier einen ausgewiesenen Förderbedarf (dreimal Emotionale und soziale Entwicklung, einmal Lernen) hatten, und wurde von einem Schulbegleiter unterstützt. Die L-Klasse bestand aus 30 Schüler*innen, davon keins mit Förderbedarf.

Unabhängig von den Schüler*innen mit Förderbedarf waren beide Klassen sehr heterogen, sowohl sozioökonomisch als auch bezogen auf die Leistungen. In beiden Klassen war das Arbeitsverhalten überwiegend laut regulärem Lehrer zufriedenstellend und das gesamte Leistungsspektrum von gutem Gymnasialniveau bis Hauptschulniveau nicht nur durch einzelne Schüler*innen vertreten, wobei die L-Klasse recht eindeutig ein wenig leistungsstärker war als die D-Klasse.

Beim tatsächlichen Verlauf wurde schlicht festgehalten, in welcher Reihenfolge die verschiedenen Gruppen verschiedene Aufgaben bearbeitet haben (Abbildung 4). Nach Durchführung der Unterrichtsreihe mit der Differenzierungsmatrix wurden Fragebögen zur doppelten Anschlussfähigkeit [2] in Bezug auf Aufgabenwahl und Gruppenarbeit ausgefüllt, die auch Freitext-Kommentare erlaubten. Die Fragen und die nicht-Freitext-Ergebnisse finden sich in den Abbildungen 5 und 6.

Um die Unterrichtsqualität und -kultur sowie den Lernzuwachs einordnen zu können, wurde zusätzlich zum hier vorgestellten Unterricht mit Differenzierungsmatrix (D-Klasse) in einem Parallelkurs eine

Gruppe 1

<u>5</u>					
<u>4</u>	5.				
<u>3</u>					
<u>2</u>	3.		6.		1.
<u>1</u>	4.		2.		
	Mech	Elektr	Therm	Strahl	Chem

Gruppe 2

<u>5</u>	3.				
<u>4</u>					
<u>3</u>	7.				5.
<u>2</u>	1.	2.	6.		
<u>1</u>			4.		
	Mech	Elektr	Therm	Strahl	Chem

Gruppe 3

<u>5</u>					
<u>4</u>	5.				1.
<u>3</u>		4.			6.
<u>2</u>	3.		7.		
<u>1</u>		2.			
	Mech	Elektr	Therm	Strahl	Chem

Gruppe 4

<u>5</u>					
<u>4</u>					
<u>3</u>					6.
<u>2</u>	1.	5.	4.	3.	
<u>1</u>			2.		
	Mech	Elektr	Therm	Strahl	Chem

Gruppe 5

<u>5</u>					
<u>4</u>	6.				
<u>3</u>					7.
<u>2</u>			5.		
<u>1</u>	4.	1.	2.		3.
	Mech	Elektr	Therm	Strahl	Chem

Gruppe 6

<u>5</u>					
<u>4</u>	5.				
<u>3</u>		2.			
<u>2</u>		4.	6.		
<u>1</u>			1.		3.
	Mech	Elektr	Therm	Strahl	Chem

Abb.4: Wege der verschiedenen Schüler*innen-Gruppen durch die Differenzierungsmatrix

Lehrer*innen-zentrierte Unterrichtsreihe (L-Klasse) vom regulären Fachlehrer beider Kurse durchgeführt, bei der mit ähnlicher didaktischer Reduktion und ähnlichen Versuchen gearbeitet wurde. Unter-

richtsqualität und -kultur wurden für beide Kurse mit Hilfe eines Fragebogens, der inspiriert ist durch die Überlegungen Helmkes [20] vergleichend erfasst, siehe Abbildung 7.

Soziale Anschlussfähigkeit		Gr.1	Gr.2	Gr. 3	Gr.4	Gr.5	Gr.6	Ges.
A2	Habt ihr in erster Linie Aufgaben bearbeitet, die auch du bearbeiten wolltest?	5,0 0,0	4,0 1,0	2,5 0,5	3,5 0,5	3,7 0,5	5,0 0,5	4,0 1,0
A3	Gab es Meinungsunterschiede bei der Aufgabenwahl?	1,0 0,0	2,0 1,0	2,5 0,5	4,0 0,5	1,7 0,5	3,0 0,5	2,5 1,4
A4	Konntest du deine Wünsche mit in die Entscheidung einbringen?	5,0 0,0	4,0 1,0	3,0 1,0	4,3 1,0	3,7 1,0	4,3 1,0	4,1 1,0
A5	Bei uns hat immer die gleiche Person entschieden, welche Aufgabe gemacht wird.	1,0 0,0	5,0 0,0	3,0 1,0	1,5 1,0	2,3 1,0	2,3 1,0	2,3 1,6
A8	Mir hat es nicht gefallen, dass wir die Aufgaben gemeinsam auswählen mussten.	1,0 0,0	1,5 0,5	1,5 0,5	2,0 0,5	1,0 0,5	3,3 0,5	1,8 1,2
G1	Ich fand es angenehm die Aufgaben nicht allein bearbeiten zu müssen.	3,7 0,9	3,0 0,0	3,5 0,5	4,5 0,5	4,7 0,5	2,3 0,5	3,7 1,3
G4	Ich habe mich zurückgezogen und die anderen haben die Aufgaben bearbeitet.	1,0 0,0	1,0 0,0	1,0 0,0	1,8 0,0	1,7 0,0	1,0 0,0	1,3 0,7
G5	Ich musste fast alles allein machen.	3,3 1,7	4,5 0,5	1,5 0,5	1,5 0,5	1,0 0,5	3,0 0,5	2,4 1,6
G7	Wir haben immer gemeinsam überlegt, was die richtige Lösung sein könnte.	3,7 1,2	3,0 0,0	3,5 0,5	4,0 0,5	4,3 0,5	3,3 0,5	3,7 1,0
G8	Ich habe von den anderen Gruppenmitgliedern profitiert.	3,7 1,2	2,0 0,0	4,0 1,0	3,8 1,0	4,7 1,0	3,7 1,0	3,7 1,1
G9	Aufgrund der festen Gruppen hat der Unterricht mehr Spaß gemacht.	2,3 1,2	3,5 0,5	1,5 0,5	4,0 0,5	4,3 0,5	2,0 0,5	3,1 1,5

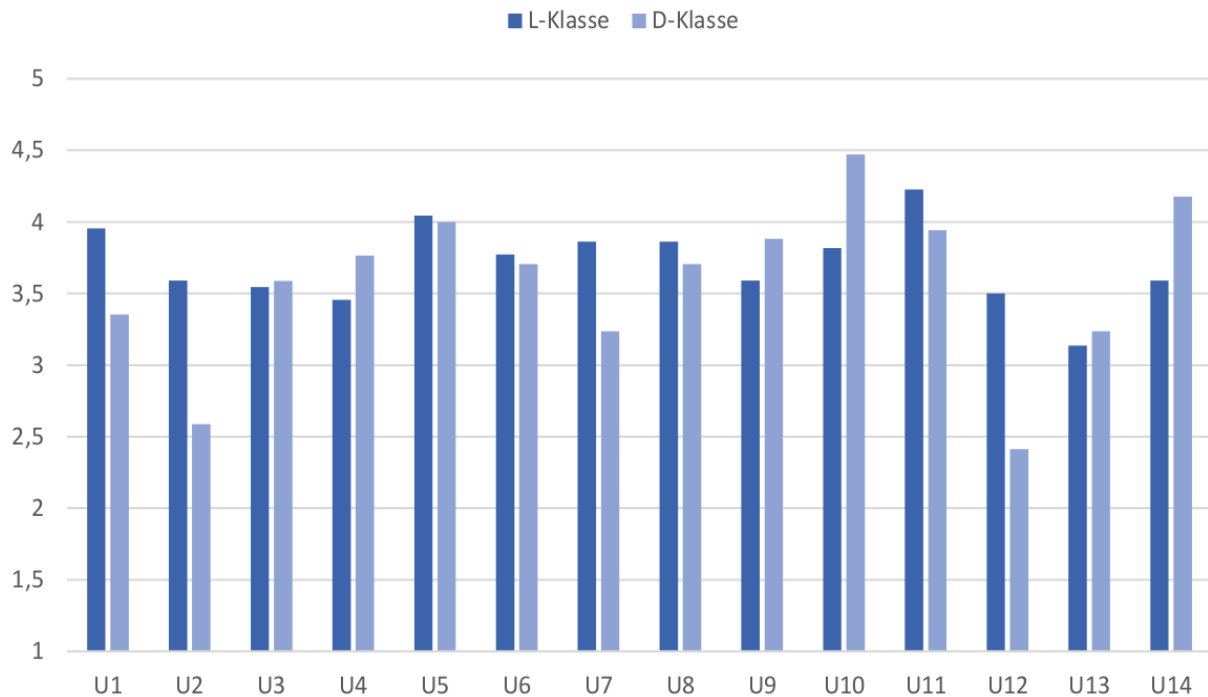
Abb.5: Evaluation der Sozialen Anschlussfähigkeit während der Arbeit mit der Differenzierungsmatrix (Skala 1-5; Mittelwerte und Standardabweichung, nicht normiert)

Individuelle Anschlussfähigkeit:								
A1	Die Aufgaben selbst auszuwählen, gab mir ein Gefühl von Selbstbestimmtheit.	3,3 1,2	5,0 0,0	4,5 0,5	4,0 0,5	3,3 0,5	4,0 0,5	3,9 0,9
A6	Ich fand die Stationen, die wir gemacht haben, interessant.	4,7 0,5	4,0 0,0	3,5 0,5	3,8 0,5	1,7 0,5	4,7 0,5	3,7 1,1
A7	Ich habe eher leichtere Aufgaben gewählt, um es mir einfach zu machen.	3,0 0,8	2,0 0,0	1,5 0,5	2,5 0,5	2,3 0,5	3,0 0,5	2,5 1,1
A9	Ich war mit der Aufgabenwahl immer einverstanden und zufrieden.	5,0 0,0	4,5 0,5	2,5 0,5	4,0 0,5	4,0 0,5	4,3 0,5	4,1 1,0
G2	Die Aufgaben, die wir gemacht haben, waren sehr leicht für mich.	3,3 0,5	3,5 0,5	3,5 0,5	2,8 0,5	2,3 0,5	4,0 0,5	3,2 0,9
G3	Die Aufgaben, die wir gemacht haben, waren sehr schwer für mich.	2,7 0,5	2,5 0,5	2,0 0,0	3,0 0,0	3,7 0,0	2,0 0,0	2,7 1,0
G6	Ich habe viel zu der Lösung der Aufgaben beitragen können.	4,0 0,0	4,5 0,5	4,0 0,0	4,3 0,0	2,7 0,0	4,0 0,0	3,9 0,8

Abb.6: Evaluation der Individuellen Anschlussfähigkeit während der Arbeit mit der Differenzierungsmatrix (Skala 1-5; Mittelwerte und Standardabweichung, nicht normiert)

Zur Bewertung der Lernzuwächse wurden für beide Kurse je ein Prä- und ein Posttest zum fachlichen Verständnis durchgeführt und mittels Boxplot (Abbildung 8) grafisch bzw. mittels Wilcoxon-Test

(Vergleich Prä- und Posttest für jeden Kurs; [21]) und Kruskal-Wallis-Test (Vergleich des Lernzuwachses zwischen den Kursen; [22]) interferenzstatistisch ausgewertet.



- U1 Wir haben im Unterricht viel gemeinsam gearbeitet und geschafft.
- U2 Ich habe von meinen Mitschüler*innen lernen können.
- U3 Ich konnte meine Mitschüler*innen unterstützen.
- U4 Mir war immer klar, warum ich die Aufgabe mache.
- U5 Ich konnte meinen Lernprozess eigenständig mitgestalten.
- U6 Ich fand den Unterricht interessant und erkenntnisreich.
- U7 Ich hatte im Unterricht genug Zeit, mich mit Sachen zu beschäftigen, die mich interessieren.
- U8 Ich bin davon ausgegangen, die gestellten Aufgaben lösen zu können.
- U9 Ich hatte im Unterricht genug Zeit, um Unverstandenes genauer anzusehen.
- U10 Ich hatte das Gefühl, Fragen nicht stellen zu können, weil ich andere damit nerven, den Betrieb aufhalten oder mich blamieren.
- U11 Ich konnte Fragen immer klären, sodass für mich am Ende alles schlüssig war.
- U12 Es gab Phasen, in denen ich mich gelangweilt habe.
- U13 Ich war immer konzentriert mit dem Thema des Unterrichtes beschäftigt.
- U14 Ich wusste immer, was ich machen sollte bzw. als Nächstes machen konnte.

Abb.7: Unterrichtsqualität und -kultur im Vergleich zwischen dem Kurs, der mit der Differenzierungsmatrix gearbeitet hat (D) und dem Kurs, der lehrerzentriert gearbeitet hat (L). (Skala 1-5; Mittelwerte, normiert)

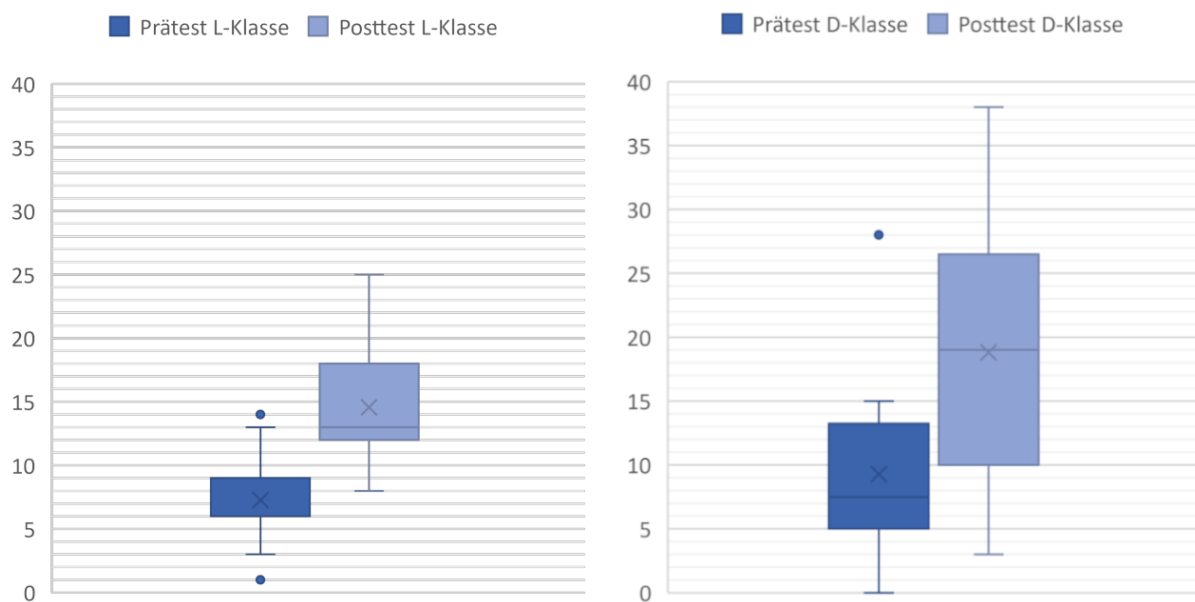


Abb.8: Lernzuwachs im Vergleich zwischen dem Kurs, der mit der Differenzierungsmatrix gearbeitet hat (D) und dem Kurs, der lehrerzentriert gearbeitet hat (L) als Boxplots (x = Mittelwert, Strich = Median, Box = unteres und oberes Quartil, senkr. Strich = Min. und Max.)

L-Klasse	Mittelwert	Stand. Abw.	D-Klasse	Mittelwert	Stand. Abw.
Prätest	7,39	3,76	Prätest	9,28	4,67
Posttest	15,33	4,38	Posttest	18,82	8,82
Delta	7,94		Delta	9,54	
Effektstärke	(0,622)		Effektstärke	(0,554)	

Abb.9: Deskriptive Statistik des Prä- und Posttests zum Lernzuwachs inkl. der Effektstärke nach Cohen

6. Ergebnisse

Offensichtlich ist die Aussagekraft des Vergleichs zwischen beiden Lerngruppen beschränkt. Auch wenn sie Parallelkurse waren, hatten sie unterschiedliche Zusammensetzungen, am offensichtlichsten bezüglich des sonderpädagogischen Förderbedarfs einzelner Schüler*innen. Dies wird durch den Vergleich der Ergebnisse beider Prätests (Abbildung 8) auch direkt deutlich; so ist das Vorverständnis bei der Vergleichsklasse mit lehrerzentriertem Unterricht (L-Klasse) offensichtlich viel homogener.⁷ Offensichtlich ist auch, dass es etwas anderes ist, ob ein Masterstudent oder ein erfahrener Lehrer, der den Kurs zudem schon länger kennt, unterrichtet. Weitere Gründe ließen sich leicht finden. Um solche Effekte zu eliminieren, wäre eine Untersuchung mit einer statistisch relevanten Anzahl von Kursen notwendig. Dennoch lassen sich einige relevante Schlussfolgerungen daraus ziehen.

6.1. Tatsächlicher Verlauf

Im Wesentlichen ist die Unterrichtsreihe wie geplant abgelaufen. Auffällig war:

- Die Schüler*innen haben deutlich weniger Aufgaben bearbeitet als von Lehrern und Schüler*in-

⁷ Die Standardabweichung der Ergebnisse im Posttest betrug bei der D-Klasse 4,67 gegenüber 3,76 bei der L-Klasse.

nen erwartet. Dies wurde auch von einigen Schüler*innen als unbefriedigend bewertet, wobei es dem Lernerfolg anscheinend nicht abträglich war. Eventuell haben die Schüler*innen teilweise aber auch nicht verstanden, dass es gar nicht das Ziel war, alles zu bearbeiten (siehe unten).

- Abbildung 4 zeigt, dass die Gruppen sehr verschiedene Wege durch die Matrix genommen haben. Es konnte kein Zusammenhang zwischen der Wahl des Weges und dem Lernzuwachs und/oder der Bewertung der Unterrichtsreihe durch die Schüler*innen festgestellt werden. Dies spricht dafür, dass es tatsächlich gelungen ist, eine didaktische Reduktion zu entwickeln, die keine feste Reihenfolge erfordert.
- Fast alle Gruppen haben sich vor allem im unteren Komplexitätslevel bewegt. Die Gründe dafür sind nicht ganz klar.
- Die Einschätzung, aus welchem Gebiet der Physik die Schüler*innen den Energiebegriff bereits kennen, hat sich nur teilweise bewahrheitet. Offenbar war z.B. chemische Energie deutlich bekannter als Strahlungsenergie. Da insgesamt die Wege durch die Matrix völlig verschieden waren, ist die Einschätzung der Autoren im Nachhinein, dass die Reihenfolge der Spalten in der Matrix eher irrelevant ist.

6.2. Lernzuwachs

Auffällig ist, dass der Lernzuwachs bei beiden Kursen relativ wie absolut im Mittel vergleichbar ist mit kleinem Vorsprung bei der Differenzierungsmatrix. Bei beiden Kursen führt der Unterricht zudem dazu, dass die Unterschiede des fachlichen Verständnisses innerhalb der Kurse größer werden; dabei ist dieser

Effekt beim Kurs, der mit der Differenzierungsmatrix gearbeitet hat, erheblich größer als beim Kurs, der lehrerzentriert gearbeitet hat (Abb. 8 und 9.)

Als Ergebnis lässt sich festhalten:

- Die gewählte didaktische Reduktion, die in beiden Kursen weitgehend gleich war, ist geeignet einen nicht nur knapp statistisch signifikanten, sondern ganz erheblichen Zuwachs im fachlichen Verständnis zu ermöglichen. Inwiefern sie erfolgreicher oder weniger erfolgreich als alternative Reduktionen ist, lässt sich allerdings nicht bestimmen. Da die gewählte Reduktion auch mit einer anderen Verortung des Themas Energie im Gesamtcurriculum der Physik einhergeht (siehe Abschnitt 3.1), würde es auch nicht reichen, in einem dritten Parallelkurs eine Unterrichtseinheit mit herkömmlichem Zugang zu untersuchen, um hier zu einer klaren Aussage zu kommen. Allerdings ist der Lernzuwachs so groß, dass man auch nach Einschätzung erfahrener Lehrer*innen, keine Gefahr läuft, mit dieser Reduktion etwas falsch zu machen; vielmehr scheint sie sich in beiden Kursen als Verbesserung gegenüber dem herkömmlichen Zugang bewährt zu haben, dem auch für ziemlich verschiedene Methoden geeignet zu sein und für heterogene Gruppen.
- Es ist nicht eindeutig klar, inwieweit die erheblich größere Streuung beim Posttest der D-Klasse im Vergleich zum Posttest der L-Klasse auf die unterschiedlichen Gruppen, die unterschiedlichen Lehrpersonen oder die unterschiedliche Methode zurück geht. Die Auswertung der Freitext-Antworten legt aber nahe, dass die Arbeit mit der Differenzierungsmatrix leistungsstärkeren Schüler*innen entgegenkommt, wohingegen die erforderliche Eigeninitiative von eher leistungsschwächeren Schüler*innen nicht befürwortet wird und sie teilweise zu überfordern scheint. Dies kann aber auch mit der Gewöhnung an eine in den jeweiligen Kursen bislang relativ selten eingesetzte Methode, oder auch damit zu tun haben, dass die Unterrichtsstunden mit der Differenzierungsmatrix alle am Ende eines langen Schultages stattfanden, wohingegen die lehrerzentrierten Stunden am Morgen lagen.
- Gleichzeitig profitieren offenbar leistungsstärkere Schüler*innen auch dann erheblich von der Arbeit mit der Differenzierungsmatrix, wenn sie in heterogenen Gruppen die Matrix durcharbeiten. Wahrscheinlich ist für sie die größere Entscheidungsfreiheit stark motivierend.
- Die Differenzierungsmatrix können Schüler*innen auch in festen und/oder heterogenen Gruppen durcharbeiten; es ist nicht notwendig (und in einem inklusiven Unterricht auch gar nicht gewollt), dass Schüler*innen Aufgaben allein bearbeiten oder für jede Aufgabe eine neue Gruppe von Schüler*innen bilden, die auf ähnlichem Stand sind.

6.3. Unterrichtsqualität und -kultur

Zunächst ist auffällig, dass es in diesem Bereich erstaunlich wenig Unterschiede zwischen beiden Kursen gibt⁸ und die Ergebnisse insgesamt recht erfreulich ausfallen. Eine mögliche Erklärung ist, dass das Team-Kleingruppen-Modell der Schule die Kultur Kurs-übergreifend positiv prägt. Eine andere mögliche Erklärung ist, dass die Wahl der Unterrichtsinhalte und die Zielsetzung einer Unterrichtseinheit eine dominante Rolle für die Haltung der Schüler*innen zum Unterricht spielt.

Auf den ersten Blick erstaunlich ist, dass die Schüler*innen einerseits in beiden Klassen angaben, dass sie anderen oft helfen konnten (U3), und auf der anderen Seite beklagten, dass sie bei der Arbeit mit der Differenzierungsmatrix wenig „gemeinsam gearbeitet und geschafft“ (U1) und nicht so viel von den anderen gelernt hätten (U2). Hier geben die Einzelergebnisse zusammen mit den Freitext-Kommentaren Aufschluss: Im Zeitraum der Studie haben in jeder Unterrichtsstunde recht viele und wechselnde Schüler*innen gefehlt und mehrere Schüler*innen, die beim Unterricht mit der Differenzierungsmatrix geringe Zustimmung bei U1 und U2 angegeben haben, beschwerten sich in den Freitextkommentaren, dass dies die Gruppenarbeit erheblich beeinträchtigt habe und sie sich allein gelassen gefühlt hätten. Schüler*innen, die dieses Problem nicht erlebt haben, haben bei diesen Items dagegen relativ hohe Zustimmung angegeben. Dieses Problem wurde bei der Vorbereitung nicht antizipiert und sollte künftig berücksichtigt werden.

Ebenfalls auf den ersten Blick unklar ist, wie es zusammenpasst, dass Schüler*innen angaben, dass sie sich beim Unterricht mit der Differenzierungsmatrix gelangweilt hätten (U12), obwohl sie besser als beim lehrerzentrierten Unterricht wussten, was sie als nächstes machen konnten (U14), was der Sinn der Aufgaben war (U4) und den Lernprozess eigenständig gestalten konnten (U5), obwohl Themen und Aufgaben sehr ähnlich wie beim lehrerorientierten Vergleichsunterricht waren. Wiederum aus den Freitextkommentaren ergibt sich, dass der erfahrene Lehrer im lehrerzentrierten Unterricht die Schüler*innen, die keine Eigeninitiative aufbringen (vergleiche zweiten Punkt in Abschnitt 6.2), immer wieder aktiv in den Unterricht eingebunden hat, wohingegen die Lehrperson sich diesbezüglich sehr zu-

⁸ Helmke [20] schreibt auf Seite 5: „Offenbar können Schwächen und Defizite bei einem Qualitätsmerkmal durch Stärken bei einem anderen Merkmal kompensiert werden.“ Angesichts dessen lässt sich der (mit dem richtigen Vorzeichen versehene) Mittelwert der verschiedenen Items zur Unterrichtsqualität für beide Klassen ausrechnen und vergleichen mit dem Ergebnis, dass es keine signifikanten Unterschiede gibt. Dies ist zum Verständnis der Unterrichtssituationen aber wenig hilfreich, weil einerseits auffällig ist, dass es bei sehr vielen Items fast gar keinen Unterschied zwischen den beiden Klassen gibt, bei einigen jedoch sehr starke, die sich bei dieser Mittelung aber weitgehend aufheben.

rückgehalten hat, während die Schüler*innen mit der Differenzierungsmatrix gearbeitet haben. Eventuell ist auch eine Schwierigkeit, dass die persönliche Ansprache eine große Rolle spielt und während des Anfangsplenums weniger spezifisch auf die einzelnen Aufgaben zugeschnitten werden konnte, weil alle Gruppen nach dem Anfangsplenum erst noch diskutierten, wie sie weiter vorgehen und dann unterschiedliche Aufgaben gewählt haben.

Zuletzt fällt auf, dass bei der Unterrichtseinheit mit der Differenzierungsmatrix erstaunlich oft angegeben wurde, dass die Zeit nicht gereicht habe, um sich mit interessanten Dingen zu beschäftigen (U7), wobei gleichzeitig in der Regel genügend Zeit war, um Unverstandenes zu klären (U10 und U11). Die Freitextkommentare legen hier die Vermutung nahe, dass viele Schüler*innen es als unbefriedigend empfunden haben, nicht alle Aufgaben bearbeiten zu können, besonders die Schüler*innen, die die Aufgaben motivierend fanden. Dies mag einerseits daran liegen, dass die Schüler*innen vor allem Unterrichtsformate gewohnt waren, bei denen vorgesehen ist, dass alle Aufgaben bearbeitet werden sollen; andererseits wurde aus mehreren Freitext-Kommentaren deutlich, dass manche Schüler*innen die Idee, wie mit der Matrix gearbeitet werden sollte, offenbar nur teilweise verstanden hatten.

Die angesprochenen Schwierigkeiten lassen sich mit ein bisschen Erfahrung mit dieser Unterrichtsform absehbar korrigieren. Insgesamt ist bei der Bewertung dieser Ergebnisse zudem zu berücksichtigen, dass die Arbeit mit der Differenzierungsmatrix in dieser Form erstmalig durchgeführt wurde, wohingegen es sehr viel Erfahrung mit lehrerzentriertem Unterricht gab. Angesichts dessen und der nicht im Detail diskutierten Items ist insgesamt davon auszugehen, dass die Arbeit mit der Differenzierungsmatrix dem lehrerzentrierten Unterricht nach Einschätzung der Autoren strukturell in Bezug auf Unterrichtsqualität und -kultur überlegen ist.

6.4. Anschlussfähigkeit

Die Ergebnisse zeigen, dass bei der Arbeit mit der Differenzierungsmatrix in heterogenen Gruppen sowohl die soziale als auch die individuelle Anschlussfähigkeit sichergestellt wird. Gegenüber dem ursprünglichen Konzept, bei dem die Schüler*innen nicht gemeinsam, sondern individuell über ihren weiteren Weg durch die Matrix entscheiden, wird die soziale Anschlussfähigkeit gestärkt, ohne dass dies zulasten der individuellen Anschlussfähigkeit ginge, obwohl die Heterogenität der Lernzuwächse innerhalb der Gruppen sehr groß ist und die Gruppenarbeit durch die verschiedenen Mitglieder einer Gruppe teils sehr unterschiedlich wahrgenommen wird. Gleichzeitig scheint es zwischen den Gruppen kaum Unterschiede zu geben, was dafür spricht, dass der Lehrer, der die Gruppen zusammengestellt hat, die Schüler*innen recht gut einschätzen konnte.

Die Ergebnisse und insbesondere die Freitext-Kommentare zeigen, dass die Schüler*innen trotz einzelner Schwierigkeiten bei der Gruppenarbeit die Zusammenarbeit in der Gruppe klar befürworten; gleichzeitig gibt es noch Verbesserungspotenzial. Hierbei spielt nach Einschätzung der Autoren der Fokus, welcher während der Unterrichtsreihe von der Lehrperson gelegt wird, eine große Rolle. In der durchgeführten Reihe lag dieser eher auf der Bearbeitung der Felder als auf der Begleitung der Gruppen in ihren Prozessen und Herausforderungen.

7. Fazit

Das Thema Energie und der gewählte Zugang sind für die Schüler*innen interessant; mit der gewählten didaktischen Reduktion wurden die gesteckten Ziele erreicht:

- Früher als bei anderen Zugängen können interessante und gesellschaftlich relevante Themen der Physik behandelt werden.
- Die Schüler*innen können je nach Interesse und Fähigkeiten das Thema von verschiedenen Seiten her angehen, Schüler*innen mit unterschiedlichem Leistungsniveau und unterschiedlichen Ausgangslagen können sich das Thema Energie tatsächlich gemeinsam erarbeiten. Dies funktioniert so gut, dass die Reihenfolge der Spalten in der Matrix völlig irrelevant zu sein scheint.

Die Aufgaben/Anleitungen spielten eine zentrale Rolle bei der Begleitung auf dem Weg durch die Matrix und wurden von den Gruppen als motivierend und interessant empfunden.

Die Differenzierungsmatrix mit heterogenen Gruppen, die längere Zeit zusammenarbeiten ist vielversprechend, hat aber noch erhebliches Potenzial zur Verbesserung:

- Es hat sich gezeigt, dass die jeweiligen Gruppen einen gemeinsamen Weg durch die Matrix bevorzugen und lernen, sinnvoll gemeinsam Entscheidungen zu fällen, wobei die einzelnen Gruppen sehr unterschiedliche Wege gewählt haben.
- Besonders leistungsstärkere Schüler*innen mit hohem eigenem Antrieb profitieren von der freieren Unterrichtsstruktur. Auch wenn die Gruppen nicht auseinander brachen, hatten Schüler*innen mit geringer Eigeninitiative einen geringeren Lernzuwachs und es scheint notwendig, die Schüler*innen und Gruppen enger zu begleiten – mit der Chance, dass auch sie lernen, Eigeninitiative zu entwickeln, was in vielen Unterrichtskonzepten gar nicht erlernt werden kann.
- Es ist notwendig, eine bessere Einführung in die Arbeit mit der Matrix zu geben, sodass weniger Missverständnisse aufkommen.
- Es muss ein Konzept erarbeitet werden, wie es gelingt, dass Fehlzeiten von Schüler*innen die Gruppenarbeit weniger erschweren.

Nach Ansicht der Autoren lassen sich viele der nötigen Verbesserungen angehen, indem die Aufgaben mehr produktorientiert ausgerichtet werden: Anhand von (Zwischen-)Produkten können Schüler*innen potenziell besser diskutieren und reden weniger leicht aneinander vorbei. Dadurch könnte es bei heterogenen Gruppen den anderen Schüler*innen und auch der Lehrperson, die ja nicht permanent alle Gruppengespräche gleichzeitig verfolgen kann, schneller auffallen, wenn einzelne Schüler*innen ein unzureichendes oder sogar falsches Verständnis haben. Wenn Fehlzeiten erfordern, Gruppen zu verändern, damit niemand allein dasteht, können Zwischenprodukte Kontinuität herstellen. Sie können zudem ein Bezugspunkt für Schüler*innen sein, die sonst Schwierigkeiten haben, sich bei selbstbestimmter Arbeit eigeninitiativ zu fokussieren. Nicht zuletzt vereinfachen sie die Ergebnissicherung, auch wenn sich entgegen der Erwartung der Autoren herausgestellt hat, dass hier kein vornehmlicher Verbesserungsbedarf besteht.

Die Aufteilung der Spalten der Differenzierungsmatrix nach Bereichen der Physik war vor allem der Tatsache geschuldet, dass es den Rahmen der Arbeit gesprengt hätte, komplett neue Aufgaben und Versuche so weit auszuarbeiten, dass sie mit seit Jahrzehnten Verbessertem mithalten können. Dementsprechend waren die Aufgaben entsprechend der traditionellen Behandlung der Energie im Unterricht größtenteils einzelnen Bereichen der Physik zugeordnet, obwohl eine Kernidee der didaktischen Reduktion gerade darin bestand, Umwandlungsprozesse auch über die Grenzen dieser Bereiche hinweg in den Blick zu nehmen. Anscheinend ließ sich dieses Problem durch die behutsame Abwandlung und vor allem auch Kontextualisierung bewährter Aufgaben und Experimente soweit lösen, dass die didaktische Reduktion dennoch uneingeschränkt funktioniert hat. Es wäre eine Überlegung wert, die Matrix(spalten) nicht nach Gebieten der Physik, sondern nach Umwandlungen einzuteilen, etwa „Umwandlung Mechanische Energie → Mechanische Energie“ und „Umwandlung Strahlungsenergie → thermische Energie“. Auch könnte noch mehr der Frage nachgegangen werden, wie triftig die Zeileneinteilung ist.

Auf der Ebene der Evaluation wäre zudem eine dritte Untersuchung des Lernstandes nach einigen Monaten wünschenswert, um die Nachhaltigkeit der untersuchten Ansätze genauer in den Blick zu nehmen.

8. Literatur

- [1] Stinken-Rösner et al.: Thinking Inclusive Science Education from two Perspectives. In: RISTAL, 3/2020, S. 30-45
- [2] Sasse, A., Schulzeck, U.: Differenzierungsmatrizen als Modell der Planung und Reflexion inklusiven Unterrichts – zum Zwischenstand in einem Schulversuch. In: Andreas Jantowski (Hrsg.) Thillm. – Gemeinsam leben. Miteinander lernen. 1. Auflage, Bad Berka: Tillm, 2013.
- [3] Wilhelm et al. (Hrsg.): Unterrichtskonzeptionen für den Physikunterricht – Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis. 1. Auflage, Berlin: Springer 2021
- [4] Textor, A.: Einführung in die Inklusionspädagogik. 2. Auflage, Bad Heilbrunn: Klinkhardt [UTB] 2018
- [5] Wagenschein, M.: Zum Problem des Genetischen Lehrens. Vortrag im Seminar für Didaktik der Mathematik an der Universität Münster, 7. 12. 1965
<http://www.martin-wagenschein.de/en/2/W-172.pdf>
- [6] Planck, M. (1887), Das Princip von der Erhaltung der Energie. Leipzig: Teubner
<https://archive.org/details/dasprincipdererh00planrich/dasprincipdererh00planrich>
- [7] MSW NRW (Hrsg.) (2013): Kernlehrplan für die Gesamtschule – Sekundarstufe I in Nordrhein-Westfalen, Naturwissenschaften Biologie, Chemie, Physik.
https://www.schulentwicklung.nrw.de/lehrplaene/lehrplan/130/KLP_GE_NW.pdf
- [8] Aebli, H.: Grundformen des Lernens. 10. Auflage, Stuttgart, Klett 1977
- [9] Feuser, G.: Die Kooperation am gemeinsamen Gegenstand – ein Entwicklung induziertes Lernen. In: Feuser, Kutscher (Hrsg.): Entwicklung und Lernen. Stuttgart, Kohlhammer 2013
- [10] Gadamer, H.: Wahrheit und Methode. Grundzüge einer philosophischen Hermeneutik. In: Hans-Georg Gadamer – Gesammelte Werke. Band 1: Hermeneutik I: 7. Auflage, Mohr Siebeck, Tübingen 2010.
- [11] Wahrheit und Methode (31.5.2023). In: Wikipedia.
https://de.wikipedia.org/wiki/Wahrheit_und_Methode
- [12] Bogart, S.: SankeyMATIC. Ein freies online-Tool zur Erstellung von Energieflussdiagrammen (Sankey-Diagrammen), das auch im Unterricht verwendet werden kann
<https://sankeymatic.com/> (abgerufen am 3.9.2023)
- [13] Abels, S.: Naturwissenschaftliche Kompetenzen und Inklusion – Inklusion durch Kompetenzorientierung? In: S. Habig, S. (Hrsg.): Naturwissenschaftliche Kompetenzen in der Gesellschaft von morgen. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik. Jahrestagung in Wien 2019 (S. 20-30). Essen: Universität Duisburg-Essen 2020.
- [14] Trautmann, M., Wischer, B.: Das Konzept der inneren Differenzierung – eine vergleichende Analyse der Diskussion der 1970er Jahre mit dem aktuellen Heterogenitätsdiskurs. In: Zeitschr. f. Erziehungswissenschaften, Sonderheft 9/2008

- [15] Bönsch, M.: Methodische Aspekte der Differenzierung im Unterricht. 3. Auflage, München: Ehrenwirth 1976
- [16] Thüringer Forschungs- und Arbeitsstelle für inklusive Bildung (Hrsg.): Differenzierungsmatrix – ein Modell zur Planung von Unterricht in heterogenen Lerngruppen. Materialsammlung zur Arbeit mit Differenzierungsmatrizen (31.5.2023)
<http://www.gu-thue.de/matrix.htm>
- [17] Woest, V. & Engelmann, P.: Fächerverbindender naturwissenschaftlicher Unterricht. In: In A. Sasse & U. Schulzeck (Hrsg.): Inklusiven Unterricht planen, gestalten und reflektieren. Die Differenzierungsmatrix in Theorie und Praxis. Bad Heilbrunn: Verlag Julius Klinkhardt 2021, Bd. 1, S. 125–142
- [18] Schütz, B. et al.: Stichwort – formatives Assessment. In: Zeitschrift für Erziehungswissenschaft, 4 (2018), S. 697-715
- [19] Baumert, B., Vierbuchen, M.-C.: Eine Schule für alle – Wie geht das? Qualitätsmerkmale und Gelingensbedingungen für eine inklusive Schule und inklusiven Unterricht. In Zeitschrift für Heilpädagogik 11 (2018) S. 526–541
- [20] Helmke, A.: Was wissen wir über guten Unterricht? Wissenschaftliche Erkenntnisse zur Unterrichtsforschung und Konsequenzen für die Unterrichtsentwicklung. Internetressource (2007)
http://www.bildung.koeln.de/imperia/md/content/selbst_schule/downloads/andreas_helmke.pdf
- [21] Universität Zürich (Hrsg.): UZH-Methodenberatung – Wilcoxon-Test. (31.5.2023)
https://www.methodenberatung.uzh.ch/de/datenanalyse_spss/unterschiede/zentral/wilcoxon.html
- [22] Universität Zürich (Hrsg.): UZH- Methodenberatung – Kruskal-Wallis-Test. (31.5.2023)
https://www.methodenberatung.uzh.ch/de/datenanalyse_spss/unterschiede/zentral/kruskal.html

Physik und Tontechnik

Jürgen Kirstein und Volkhard Nordmeier

Freie Universität Berlin, Didaktik der Physik
juergen.kirstein@physik.fu-berlin.de

Kurzfassung

Audiomedien sind ein fester Bestandteil unserer Lebenswelt. Sie transportieren Musik, Wort oder O-Töne, begleiten Bilder in Fernsehen und Kino und sind dank moderner Kommunikationstechnologie an jedem Ort und jederzeit verfügbar. Die Produktion dieser Medien ist uns jedoch weniger vertraut. Insbesondere die der Audioproduktion und den Geräten der Studioteknik zugrundeliegenden physikalischen Prinzipien sind allgemein nicht bekannt und werden in der Regel auch im Physikunterricht nicht oder nur beispielhaft thematisiert. Dieses Feld bietet aber eine Fülle von Lerngelegenheiten für grundlegende Inhalte der Schulphysik und damit einen relevanten Beitrag zur multiperspektivischen Wahrnehmung der Physik.

1. Motivation

Tontechnische Probleme werden (auch in der Schule) spätestens dann offenbar, wenn etwas nicht funktioniert: Die Verstärkeranlage brummt, die mikrofonverstärkte Rede beginnt mit einem lautstarken Pfeifen, beim Auftritt der Schulband ist die Sängerin kaum zu hören oder eine Tonaufnahme im Unterricht scheitert daran, dass das Mikrofon scheinbar nicht funktioniert. Meist stecken dahinter keine technischen Defekte, sondern grundlegende physikalisch-technische Ursachen, die sich im Rahmen der Schulphysik verstehen lassen.

Physikalisches Wissen kann hier sichtbar und nützlich werden. Die Anwendung physikalischer Kenntnisse in tontechnischen Kontexten erfordert zudem oft kooperatives Handeln zur Lösung von Problemen (oft auch unter Zeitdruck) unter Rückgriff auf vorhandenes Wissen und der Vernetzung von Wissen aus verschiedenen Lernbereichen. Im Physikunterricht werden tontechnische Kontexte neben vielen anderen meist jedoch auf einige wenige Anwendungsbeispiele reduziert, wie elektrodynamische Schallwandler als Lautsprecher und Mikrofon, die Klanganalyse oder die CD als Schallspeicher [1]. Sicher haben solche Beispiele für Lernphasen wie Anwenden, Üben, Vertiefen oder Festigen physikalischer Inhalte auch eine Berechtigung. Bezüge zu Außerfachlichem herstellen, die Interessen der Lernenden aufgreifen, Lernprodukte erstellen, die Funktion und Bedeutung vielseitiger Erfahrungen erkennen, Verantwortung übernehmen, Lösungswege reflektieren, selbstständig Entscheidungen treffen und sich aktiv an der Gestaltung von Unterricht beteiligen. Diese Anforderungen, die heutige Lehrpläne [2] an den (Physik-) Unterricht stellen, lassen sich in tontechnischen Medienprojekten der Schule – teilweise auch mit der Unterstützung externer Partner – umsetzen. Es zeigt sich dabei, dass gerade der Physikunterricht wesentlich zum Erfolg dieser Projekte beitragen kann und für die Lernenden

deutlich werden lässt, welche Bedeutung fachliche Kompetenzen in den schulüblichen Themenbereichen wie beispielsweise den Schwingungen und Wellen, der Elektrostatik, der elektromagnetischen Induktion oder den Wechselstromkreisen haben.

2. Tontechnik im Kontext der Schulphysik

Die nachfolgend behandelten Beispiele zu Themen aus der professionellen Tontechnik stehen in enger inhaltlicher Beziehung zu traditionellen Inhalten der Schulphysik und wurden zum Teil bereits in [7] vorgestellt. Diese Beispiele bieten interessante und bedeutungsvolle Kontexte [3], die über die unterrichtsüblichen Beispiele hinausgeht. Sie machen hinter der oft sehr komplexen technischen Fassade der Tontechnik elementare physikalische Zusammenhänge und Prinzipien sichtbar, die in der Technik kreativ genutzt werden.

2.1. Mikrofone aus der Nähe betrachtet

Elektrodynamische Wandler in Mikrofonen enthalten eine Membran, die mit einer Spule verbunden, im Schallfeld zu Schwingungen angeregt wird. Beim elektrodynamischen Mikrofon, dem traditionellen Unterrichtsbeispiel aus der Tontechnik, wird die Signalspannung U durch die Bewegung der Spule in einem Permanentmagneten induktiv erzeugt und hängt nach dem Induktionsgesetz

$$U = \dot{\phi}$$

auch von der Geschwindigkeit der Membranbewegung ab. Dynamische Mikrofone besitzen demnach eine Frequenzabhängigkeit, die durch akustische und elektrische Maßnahmen wieder kompensiert werden muss. Das System aus Membran und Schwingspule besitzt zudem eine große Masse, reagiert also bedingt durch die Massenträgheit nicht sehr schnell.

In der Studioteknik werden daher häufiger Mikrofone eingesetzt, deren schwingende Membran nur aus einer sehr dünnen, goldbedampften Kunststoffolie

besteht, die wegen ihrer kleinen Masse sehr schnell auf impulsartige Schallereignisse reagieren kann. Bei diesen Kondensatormikrofonen ist die Signalspannung nur von der Auslenkung der Membran abhängig, sie geben also in erster Näherung eine frequenzunabhängige Signalspannung ab. Den Aufbau des Kondensatormikrofons, der dieses Thema für den Unterricht interessant macht, zeigt die nachfolgende Abbildung 1.

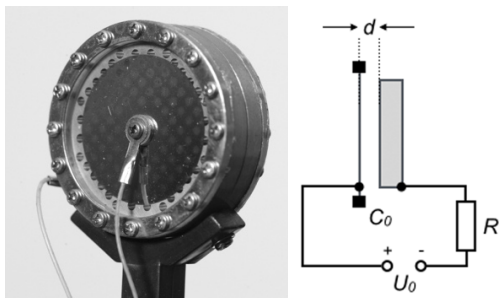


Abb. 1: Kapsel eines Großmembran-Kondensatormikrofons mit Prinzipschaltbild (Niederfrequenzschaltung) nach [6].

Die leitende Membran dieses elektrostatischen Wandlers ist in einem Abstand d von einigen $10 \mu\text{m}$ zu einer massiven Gegenelektrode montiert. Das Volumen zwischen beiden Elektroden ist luftgefüllt. Damit ist die Ruhekapazität C_0 der Kapsel des Kondensatormikrofons wie beim Plattenkondensator gegeben durch den bekannten Zusammenhang:

$$C_0 = \epsilon_0 \frac{A}{d}$$

Die Mikrophonkapsel wird über den Widerstand R mit einer Gleichspannung U_0 aufgeladen, die bei etwa 100 V liegt. Wählt man den Widerstand R so, dass die Zeitkonstante

$$\tau = RC_0$$

des aus Kapselkapazität und Widerstand gebildeten Hochpasses groß ist gegen die größte Schwingungsdauer der Membran, bleibt die Ladung Q der Kapsel konstant und die Spannung an der Kapsel U_K ändert sich proportional zur Kapazität im Schallwechselfeld:

$$U_K(t) = QC(t)$$

Für eine gegebene Kapselkapazität (50 pF bis 100 pF) ergibt sich daraus die untere Grenzfrequenz f_G des Mikrofons zu:

$$f_G = \frac{1}{2\pi RC}$$

Für Experimente zum Kondensatormikrofon bieten sich schulübliche Komponenten für Aufbaukondensatoren an, bei denen man eine Platte beweglich (schwingend) aufhängt.

2.2. Signalübertragung

Ein grundlegendes Problem der Tontechnik ist die störungsfreie Übertragung der von Mikrofonen erzeugten sehr kleinen Wechselspannungen über große Entfernungen von teilweise einigen hundert Metern.

Ein dynamisches Mikrofon erzeugt zum Beispiel bei einem effektiven Schalldruck von 1 Pa eine effektive Wechselspannung von 1 bis 2 mV (Kondensatormikrofone etwa eine Größenordnung mehr).

Bei der oft üblichen sogenannten unsymmetrischen Übertragung des Signals über eine einadrig geschirmte Leitung kann sich der Signalspannung U_e eine Störspannung U_s durch äußere elektrische oder magnetische Wechselfelder überlagern:

$$U_a = U_e + U_s$$

Häufig entstehen Störungen („Brummen“) dadurch, dass über den Schirm der Leitung Ausgleichsströme zwischen Schutzgeerdeten Geräten fließen, was oft durch (gefährliches) Unterbrechen des Schutzleiters am Gerätestecker der Netzleitung behoben wird.

Ein Modellversuch (Abb. 2) demonstriert die in der Tontechnik angewandte Lösung: Man verwendet eine geschirmte Übertragungsleitung mit zwei eng beieinander liegenden Innenleitern sowie eingangs- und ausgangsseitig je einen Transformator (Übertrager). Gegen das 0-Volt -Potenzial des Schirms sind die Signale der Innenleiter invertiert. Bringt man diese Leitung nun in ein Störfeld, so wird die gleiche Störspannung in beide Innenleiter induziert. Da der Übertrager am Ausgang der Leitung nur die Potentialdifferenz der Innenleiter berücksichtigt, hebt sich das Störsignal durch Differenzbildung auf:

$$U_a = (U_e + U_s) - (-U_e + U_s) = 2U_e$$

Im Versuchsaufbau befindet sich ein Sinusgenerator mit Leistungsverstärker, der an die Primärspule des Ausgangsübertragers (zwei Spulen mit je $N = 2500$) angeschlossen ist. Die Sekundärspule dieses Übertragers ist mit den beiden Innenleitern der symmetrischen Leitung verbunden. Auf der rechten Seite wird das Signal über den zweiten, gleich dimensionierten Übertrager zum Oszilloskop geführt.

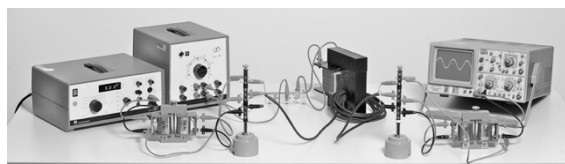


Abb. 2: Versuchsaufbau zur Demonstration der symmetrischen Leitungsübertragung.

Das Störfeld erzeugt die Primärspule ($N = 1000$) in einem Aufbautransformator über ein Wechselspannungsnetzgerät (24 V). Eine handelsübliche symmetrische Mikrofonleitung bildet mit mehreren Windungen die Sekundärspule des Transformators. Mit diesem Aufbau lassen sich alle relevanten Signale bei Störungen durch magnetische Wechselfelder untersuchen. Abbildung 3 zeigt die Ergebnisse des Modellversuchs. Während bei der symmetrischen Übertragung praktisch keine Veränderung des Eingangssignals zu beobachten ist, werden bei der unsymmetrischen Übertragung die Störungen deutlich dargestellt, sobald das Störfeld eingeschaltet wird.

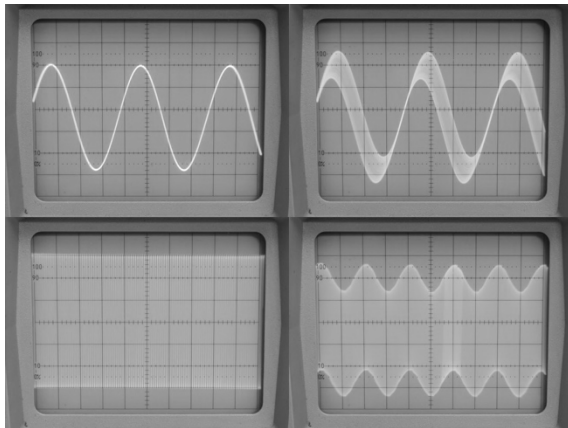


Abb. 3: Links oben das ungestörte Signal bzw. die Situation, die bei eingeschaltetem Störfeld bei symmetrischer Übertragung. Rechts daneben ist bei unsymmetrischer Beschaltung die Störung deutlich erkennbar. Darunter das Signal mit und ohne Störung bei veränderter Zeitablenkung.

2.3. Richtungshören und Stereophonie

Die von einer Schallquelle ausgehenden Wellen erreichen unsere Ohren im Allgemeinen mit verschiedenen Laufzeiten und Amplituden. Die Laufzeitdifferenz zwischen dem rechten und dem linken Ohr hängt von der Richtung der Schallquelle bezüglich des Kopfes und der Schallgeschwindigkeit ab. Da ein Ohr meist im Schallschatten vom Kopf liegt, erreicht es die Schallwelle nur durch Beugung oder Reflexion, wodurch sich auch die Amplitude richtungsabhängig ändert. Diese Laufzeit- und Amplitudendifferenzen ermöglichen die räumliche Lokalisierung.

Mit einem Kunstkopfmikrofon ist es möglich, diese Zusammenhänge näher zu untersuchen. Es besteht aus einer Nachbildung des menschlichen Kopfes mit ausgeformten Ohrmuscheln, in denen kleine Kondensatormikrofone angeordnet sind. Das Kunstkopfmikrofon wird über einen Lautsprecher beschallt (Abb. 4), wobei der Abstand zum Kunstkopfmikrofon viel größer als der Abstand d der Mikrofonkapseln im Kopf, so dass sich die auf den Kopf treffende Welle genähert als eben beschreiben lässt. Die Signale der Mikrofone stellt ein Oszilloskop dar. Das Kunstkopfmikrofon ist um seine vertikale Achse drehbar. Eine Skala ermöglicht das Ablesen des Drehwinkels α (s. Abb. 4, rechts unten).

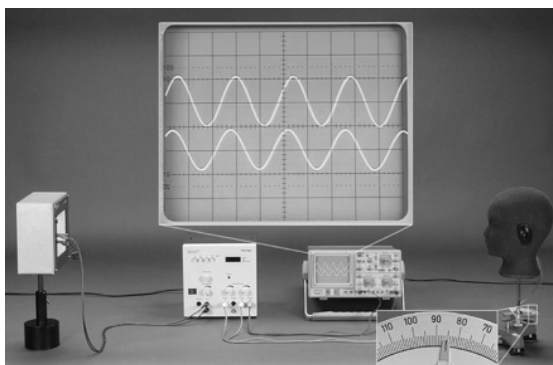


Abb. 4: Versuchsaufbau zur Messung der Laufzeitdifferenz mit einem Kunstkopfmikrofon.

Der Laufzeitunterschied Δt beim Auftreffen der ebenen Schallwelle lässt sich aus dem Mikrofonabstand d , dem Winkel α und der Schallgeschwindigkeit c nach

$$\Delta t = \frac{d}{c} \sin \alpha$$

bestimmen. Abbildung 5 zeigt den Vergleich zwischen dem theoretischen Zusammenhang (mit $d = 0,143$ m und $c = 344$ m/s) und den Messergebnissen.

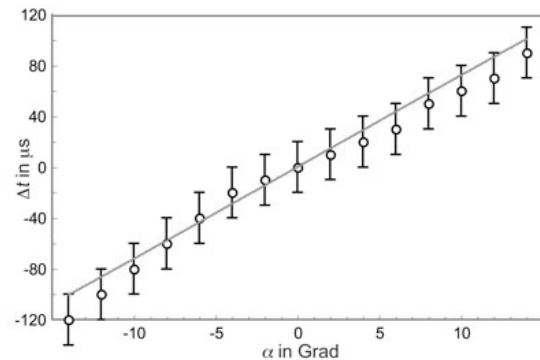


Abb. 5: Grafische Auswertung einer Messung mit dem Kunstkopfmikrofon.

Das Experiment zum Richtungshören ist insofern auch von Bedeutung, da für die stereofone Schallübertragung sowohl Laufzeit- als auch Amplitudenunterschiede eingesetzt werden.



Abb. 6: Mikrofonanordnung für die Laufzeitstereophonie.

Bei der Laufzeitstereophonie (AB-Stereophonie) stellt man zwei Mikrofone in einem festen Abstand nebeneinander vor der Schallquelle auf (Abb. 6). Diese Mikrofonanordnung registriert - wie das Kunstkopfmikrofon - je nach Richtung des einfallenden Schalls verschiedene Laufzeitdifferenzen, die zwar auch mit geringen Amplitudendifferenzen verbunden sind, aber für die Richtungswahrnehmung bestimmend sind [6]. Bei der stereofonen Übertragung wird mit diesem Verfahren eine gute Raumillusion erreicht. Allerdings darf es auf dem gesamten Übertragungsweg, einschließlich aller Bearbeitungs- und Aufzeichnungsschritte zu keinen weiteren Phasenverschiebungen der Mikrofonensignale kommen, was unweigerlich eine Änderung der Richtungswahrnehmung zur Folge hätte. Aufgrund des sogenannten Kammfiltereffekts (s. u.) treten bei der AB-

Stereofonie Klangverfärbungen auf, wenn die phasenverschobenen Signale der Stereoübertragung L und R zu einem Monosignal M addiert werden, also die Wiedergabe nur über einen Lautsprecher erfolgt. Man verwendet die AB-Mikrofonanordnung daher meist nur dann, wenn der Abstand der Mikrofone zur Schallquelle groß ist. Also etwa zur Mikrofonierung größerer Klangkörper in der Musikproduktion und weniger für stereofone Wortproduktionen [5]. Für diese Zwecke spielen monokompatible Übertragungsverfahren eine zentrale Rolle. Das sind Verfahren, bei denen die Addition der Stereokanäle ohne Auslöschungen aufgrund von Phasenverschiebungen möglich ist. Bei der stereofonen Übertragung wird das durch eine Mikrofonanordnung erreicht, bei der zur Vermeidung von Laufzeitunterschieden zwei Mikrofonkapseln unmittelbar nebeneinander angeordnet sind (Abb. 7).

Die Stereosignale L und R einer solchen Mikrofonanordnung (auch als XY-Anordnung bezeichnet) unterscheiden sich nur in ihrer Amplitude; in der Ton-technik hat sich für dieses Verfahren der physikalisch unzutreffende Begriff der 'Intensitätsstereofonie' etabliert. Da also hier keine Phasenverschiebung im Stereosignal auftritt (es sei denn durch Übertragungsstörungen), kann es bei der Addition zum Monosignal keine Auslöschungen geben.

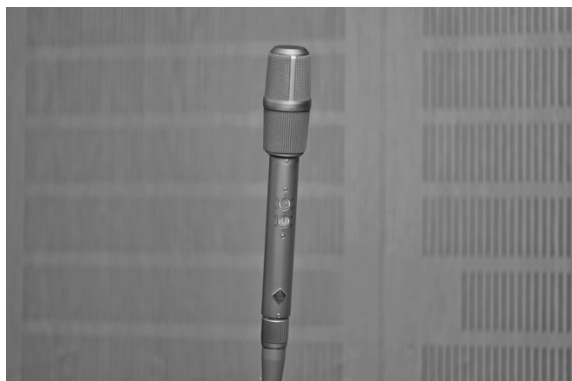


Abb. 7: Mikrofon für die Intensitätsstereofonie. Beide Mikrofonkapseln sind hier direkt übereinander angeordnet.

Für stereofone Audioproduktionen werden beide Verfahren meist gemischt angewendet und oft durch einzelne Monomikrofone ergänzt, deren Signale erst bei der Mischung über Richtungssteller ('Panoramapotenziometer') ebenfalls durch die Erzeugung von Amplitudendifferenzen in das Stereosignal eingefügt werden [5].

Stereoübertragungsverfahren wie auch die elektrische Bearbeitung von Stereosignalen bieten für den Unterricht ein ergiebiges Feld für Problemstellungen rund um Wechselspannungen, den Begriff der Phasenverschiebung und den Konsequenzen bei der Überlagerung von Wechselspannungen. Experimente lassen sich in diesem Themenfeld bereits mit einfachen Kondensatormikrofonen und Kleinmischpulten durchführen, die bereits auch in einfacher Ausführung über symmetrische Schaltungstechnik verfügen

und die für den Betrieb der Mikrofone erforderliche Versorgungsspannung bereitstellen. Derartige Geräte sind in der Schule dann nicht nur für Experimente im Physikunterricht, sondern universell für alle Audio-produktionen einsetzbar.

2.4. Kontrolle von Stereosignalen

Die akustische Kontrolle stereofoner Signale durch Lautsprecher soll eine exakte Lokalisation der reproduzierten Schallquelle(n) möglich machen. Im Regieraum stellt man dazu die Lautsprecher L_1 und L_2 so auf, dass sie mit der Hörposition H ein gleichseitiges Dreieck bilden und sich die Mittelsenkrechten der Lautsprecher an der Hörposition kreuzen. Strahlen beide Lautsprecher ein in Amplitude und Phase exakt gleiches, kohärentes Signal ab, nimmt man an einem Ort S zwischen den Lautsprechern (der Basis) eine Schallquelle, die sogenannte Phantomschallquelle, wahr. Der Ort dieser Schallquelle hängt – wie beim Richtungshören – sowohl von Amplituden- als auch von Phasendifferenzen der Signale ab. Wesentlich für die exakte Lokalisation ist daher, dass beide Lautsprecher den genau gleichen Abstand zum Hörer besitzen, damit keine zusätzlichen Amplituden- und Laufzeitdifferenzen auftreten. Die Hörposition (Sweet Spot) darf nicht verändert werden, die Beurteilung der Anordnung von Schallquellen bei der stereofonen Wiedergabe ist nur auf der Symmetrieachse möglich. Auch diese Bedingungen lassen sich im Experiment einfach nachvollziehen. Weiterhin sind die raumakustischen Eigenschaften des Regieraums, seine möglichst symmetrische Gestaltung und die Vermeidung schallreflektierender Flächen in der Nähe der Lautsprecher oder hinter der Hörposition ("Sweet Spot") von wesentlicher Bedeutung für die Qualität der akustischen Kontrollmöglichkeiten.

Da diese Bedingungen nicht immer leicht zu realisieren sind, werden im Studiobetrieb Phasenverschiebungen im Stereosignal (Monokompatibilität) zusätzlich mit speziellen Messgeräten, den Goniometern, überwacht. Diese Messgeräte sind in jeder Gerätesammlung vorhanden: Es sind im Prinzip Oszilloskope, die ohne Zeitablenkung im x-y-Betrieb eingesetzt werden. Die x-Achse wird dabei zur Darstellung des linken und die y-Achse zur Darstellung des rechten Kanals verwendet.



Abb.8: Oszilloskop im x-y-Betrieb zur Darstellung einer Phasenverschiebung zwischen L- und R-Signal. Das Mischpult mit seinen Filterschaltungen dient hier als Phasenschieber.

Die in Abbildung 8 gezeigte Phasenverschiebung im Stereosignal von $\pi/2$ wird im Mischpult durch einen

parametrischen Filter erzeugt, dessen Mittenfrequenz auf die Generatorfrequenz eingestellt ist. Derartige Filter werden durch Schaltungen von Kapazitäten, Induktivitäten und Widerstände als Sieb- oder Sperrkreise realisiert, so wie sie traditionell im Physikunterricht auch quantitativ thematisiert werden [1].

Im Kontext der Tontechnik hat dieses Thema nun eine ganz praktische Bedeutung, da bei der elektrischen Klangbearbeitung von Stereosignalen unter Umständen erhebliche Veränderungen der Stereoabbildung entstehen können.

Goniometer sind heute zusätzlich meist mit einem Messgerät für den Korrelationsgrad des Stereosignals ausgestattet. Für zwei kohärente, harmonische Wechselspannungen gleicher Frequenz mit der Phasenverschiebung φ ist der Korrelationsgrad r definiert durch:

$$r = \cos\varphi$$

Im Korrelationsgradmesser werden die beiden Signale L und R miteinander multipliziert und dann über ein RC-Glied integriert. Die so erzeugte Gleichspannung ist dann zum Korrelationsgrad r proportional

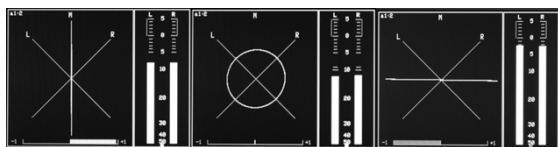


Abb. 9: Goniometer- und Korrelationsgradanzeigen für sinusförmige Stereosignale (v.l.n.r.): $\varphi = 0^\circ$, $r = +1$; $\varphi = 90^\circ$, $r = 0$; $\varphi = 180^\circ$, $r = -1$. Die Phasenverschiebung $\varphi = 90^\circ$ wurde durch Einschalten eines parametrischen Filters in einen Kanal erzeugt. Wenn man ein Stereosignal mit $r = -1$ durch Addition der Signale $L + R$ in ein Monosignal M umwandelt, ist dessen Amplitude 0.

Allgemein kontrolliert man mit diesem Messgerät natürlich keine sinusförmigen Wechselspannungen, sondern Musik- oder Wortproduktionen, die eine Überlagerung verschiedener Einzelsignale darstellen (Abb. 10).

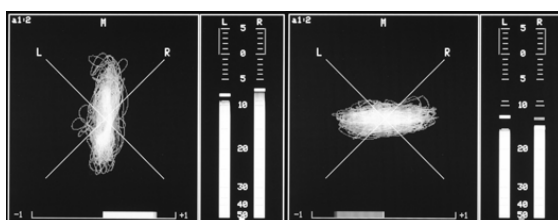


Abb. 10: Der Goniometerbildschirm zeigt links ein kompaktes Stereosignal. Das Signal rechts ist nicht monokompaktibel; der Korrelationsgrad ist < 1 .

Diese Zusammenhänge sind mit schulüblichen Oszilloskopen nachzuvollziehen. Allerdings ist bei einem Goniometer der Bildschirm um 45° gedreht, was die Zuordnung zwischen visueller und akustischer Kontrolle vereinfacht. Mit dem Goniometer lassen sich natürlich auch umgekehrt alle Darstellungen erzeugen, wie sie mit einem Oszilloskop im x-y-Betrieb möglich sind (Abb. 11).

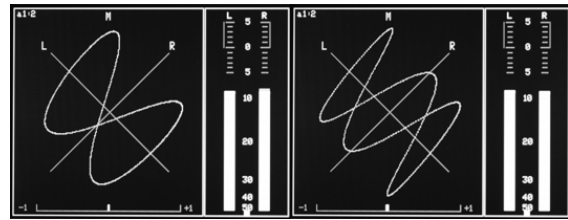


Abb. 11: Da das Goniometer nichts anderes als ein Oszilloskop mit gedrehtem Bildschirm im x-y-Betrieb ist, lassen sich auch Lissajous-Figuren darstellen, hier für die Frequenzverhältnisse 1:2 und 1:3.

2.5. Stehenden Wellen und der Kammfiltereffekt

Wie bereits in Abschnitt 2.3 angesprochen, treten aufgrund des sogenannten Kammfiltereffekts bei der AB-Stereofonie Klangverfärbungen auf, wenn die laufzeitverschobenen Mikrofonsignale L und R zu einem Monosignal M addiert werden. Ein äquivalentes Problem besteht dann, wenn von der Schallquelle ausgehender Direktschall und reflektierter Schall (frühe Reflexionen an harten Begrenzungsflächen) am Ort eines Mikrofons interferieren. Klangverfärbungen sind die Folge, die man möglichst vermeiden will.

Ein klassisches Experiment in der Fachsystematik des Physikunterrichts ist der Nachweis stehender Schallwellen und ggf. die Bestimmung der Schallgeschwindigkeit. Tastet man eine stehende Welle fester Frequenz mit einem Sondenmessmikrofon durch Verschieben ab, so lassen sich ortsfeste Schwingungsknoten und -bäuche beobachten (vgl. Abbildung 12, links). Der Abstand benachbarter Knoten entspricht dabei der halben Wellenlänge.

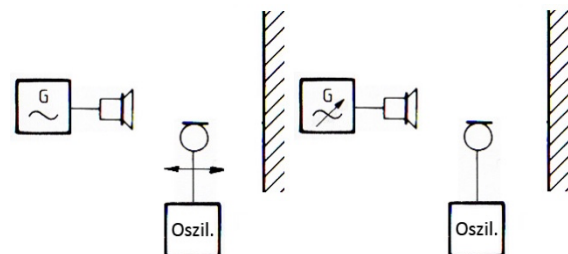


Abb. 12: Links: Der Lautsprecher strahlt auf eine harte Wand. Durch Verschieben des Mikrofons tastet man Knoten und Bäuche der stehenden Welle bei konstanter Frequenz ab. Rechts: In diesem Aufbau ist das Mikrofon nun ortsfest und die Frequenz wird variiert.

Verändert man bei feststehendem Mikrofon am Ort x die Frequenz ω des Generators, verändert sich die Wellenlänge λ – die Knoten und Bäuche der stehenden Welle "wandern" am Ort des Mikrofons vorbei. Das Experiment zeigt, dass bereits ein kleiner Wechsel der Perspektive von der unterrichtsüblichen Behandlung eines Themas hin zu einem bedeutungsvollen Kontext führt.

Dieser Kammfiltereffekt entsteht allgemein immer dann, wenn zwei harmonische Funktionen mit der Laufzeitdifferenz Δt überlagert werden:

$$g(t) = \sin\omega t + \sin\omega(t + \Delta t).$$

Schwingungsknoten am festen Ort des Mikrofons treten immer dann auf, wenn für $n = 1, 2, 3, \dots$ gilt:

$$\begin{aligned}\omega t + (2n - 1)\pi &= \omega(t + \Delta t) \\ (2n - 1)\pi &= \omega\Delta t \\ \omega_n &= \frac{(2n - 1)\pi}{\Delta t}\end{aligned}$$

bzw.

$$f_n = \frac{2n - 1}{2\Delta t}.$$

Der Frequenzgang des Kammfilters lässt sich im Experiment nachvollziehen (vgl. Abbildung 14), wenn man die Schalllaufzeit des an der Wand reflektierten Signals berücksichtigt ($\Delta t = 2d/c$, d Abstand zwischen Mikrofon und Wand).

Steht für die Schule ein Computer mit einem Programm zur mehrkanaligen digitalen Aufzeichnung, Bearbeitung und Mischung von Audiosignalen (Sequenz) zur Verfügung, lassen sich auch damit Experimente zum Kammfiltereffekt durchführen. Dazu wird das vom programm-eigenen Generator erzeugte sinusförmige Sweep-Signal auf einer Spur aufgezeichnet und dann auf eine zweite Spur dupliziert (vgl. Abbildung 13, links).



Abb. 13: Experiment zum Kammfiltereffekt mit einem Sequenz.

Die identischen Signale beider Spuren summiert ein virtueller Mischer. Dabei ist in den einen Kanal des Mixers ein Verzögerungsglied (Delay) eingeschaltet. Das Summensignal läuft nun über ein Plugin, das über eine Frequenzanalysatorfunktion verfügt. Bei der Wiedergabe des Sweep-Signals wird die Kammfilterkurve aufgezeichnet.

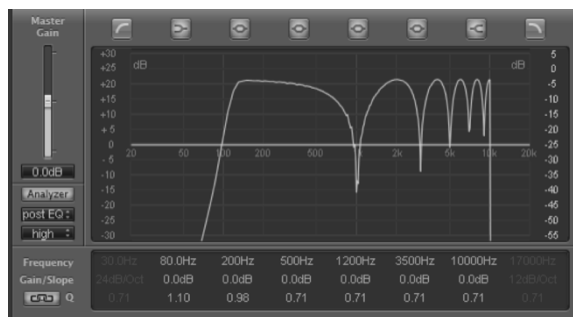


Abb. 14: Frequenzgang des Kammfilters bei einer Verzögerungszeit von 0,5 ms. Der erste Einbruch der Frequenz erfolgt dann bei $f_1 = 1$ kHz. Aufgrund der logarithmischen Frequenzskala ist der Abstand der weiteren Frequenzeinbrüche f_n nicht äquidistant.

2.6. Magnetische Schallspeicherung

Glücklicherweise ist auch die magnetische Speicherung analoger Signale nicht vollständig aus der Tonstudioteknik verschwunden. Auch viele digitale Speicher basieren auch heute noch auf diesem Prinzip (Festplatte). Für den Physikunterricht (oder auch die Medienwerkstatt) ist das Magnetbandgerät nicht nur im Rückblick auf eine historisch bedeutende Speichertechnologie von Wert. An dieser Stelle soll damit aber nicht das Prinzip der magnetischen Schallspeicherung mit einem ferromagnetischen Band weiter besprochen werden. Das Magnetbandgerät stellt vielmehr auch eine Wellenmaschine der besonderen Art dar.



Abb. 15: Magnetbandgerät für Rundfunkzwecke um 1980. Noch heute werden solche Geräte für verschiedene Aufgaben in der Studioteknik eingesetzt.

Das mit konstanter Geschwindigkeit bewegte, periodisch magnetisierte Tonband entspricht einer laufenden Welle. Die Magnetisierung ändert sich periodisch sowohl räumlich als auch zeitlich am Ort des Wiedergabekopfes. Die Bandgeschwindigkeit v entspricht dabei der Phasengeschwindigkeit der Welle. Bei einer in der Studio- und Rundfunktechnik üblichen Bandgeschwindigkeit von $v = 38,1$ cm/s ergeben sich nach dem bekannten Zusammenhang

$$v = \lambda f$$

Wellenlängen λ von 1 cm bei einer Frequenz von $f = 40$ Hz bis zu 25 μm bei 15 kHz.

Läuft das periodisch magnetisierte Band am Hörfopf vorbei, so ergibt sich aus dem Induktionsgesetz, dass die induzierte Spannung mit der Frequenz f zunehmen sollte. Allerdings nimmt diese Spannung bei großen Frequenzen ab. Woran liegt das? Wird für große Frequenzen die Wellenlänge λ gleich der Spaltbreite d des Hörfopfes, kann prinzipiell keine Spannung mehr induziert werden. Je kleiner die Bandgeschwindigkeit ist, desto kleiner ist also die obere Grenzfrequenz der Magnetaufzeichnung [5].

Mit den im Physikunterricht üblichen Aufbaustransformatoren lässt sich auch die magnetische Schallaufzeichnung in einem Modellexperiment zum Magnetbandgerät nachvollziehen. Dazu wird aus einer Spule und einem U-Kern mit Joch ein Modell eines Sprechkopfes gebaut. Der für die Magnetisierung erforder-

liche schmale Spalt wird einfach mit einem zwischen U-Kern und Joch eingeklemmten Papierblatt realisiert. Die Spule wird über einen Sinusgenerator mit Leistungsverstärker angeschlossen. Für die Wiedergabe des aufgezeichneten Signals ist ein zweiter Magnetkopf und eine Verstärkung für die Darstellung des Signals auf einem Oszilloskop oder für die Lautsprecherwiedergabe erforderlich. Zudem muss das Band mit konstanter Geschwindigkeit an den Köpfen vorbeigeführt werden. In unserem Versuchsaufbau (vgl. Abbildung 16) haben wir dafür eine Magnetbandmaschine mit Wiedergabefunktion eingesetzt.

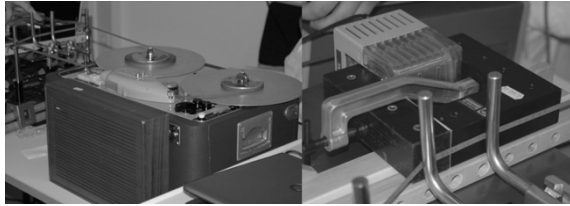


Abb. 16: Modellexperiment zur magnetischen Schallspeicherung. Der Antrieb des Magnetbands und die Wiedergabe des aufgezeichneten Signals erfolgt über eine Studiobandmaschine. Rechts im Detail das Modell des Sprechkopfs. Die Spaltbreite wird durch ein eingeklemmtes Blatt Papier definiert.

Für derartige Experimente ist es sinnvoll, sogenanntes Standardband mit einer Dicke von $50\ \mu\text{m}$ zu verwenden. Dünnere Bandmaterialien sind mechanisch nicht ausreichend belastbar.

Der Sprechkopf besitzt neben dem sogenannten Arbeitsspalt, über den das vorbeilaufende Band magnetisiert wird, auf seiner Rückseite noch einen weiteren Spalt, den ‚Scherspalt‘. Dieser Begriff kommt daher, dass abhängig von der Breite des Scherspalt die Hysteresekurve des Kopfes geschert wird. Auch diesen Effekt kann man im Experiment mit dem Modell des Sprechkopfes nachweisen, wenn man die Hysteresekurve mit dem Oszilloskop dynamisch darstellt (ersatzweise könnte man dafür natürlich auch ein Goniometer verwenden). Über dem Scherspalt lassen sich also die magnetischen Eigenschaften des Sprechkopfes beeinflussen.

2.7. Tontechnik und Atomphysik

In der Tontechnik werden Signale häufig nicht nur in ihrem zeitlichen Verlauf, sondern auch in ihrer spektralen Zusammensetzung analysiert. Für die Frequenzanalyse erlauben heute bereits Apps wie ‚phyphox‘ (<https://phyphox.org/de/home-de/>) die spektrale Darstellung eines Audiosignals. Auch in der Schulbuchliteratur [1] ist dies als Klanganalyse ein übliches Thema.

Weniger bekannt ist, dass auch die Unschärferelation, die im Physikunterricht der Schule erst als abstrakter Zusammenhang in der Atomphysik wieder auftritt, in der Tontechnik eine sehr konkrete und praktische Bedeutung hat. Impulsartige Schallereignisse besitzen nach der Frequenz-Zeit-Unschärfe

$$\Delta t \Delta f \approx 1$$

eine große spektrale Breite [6]. Je kürzer die Dauer Δt des Schallereignisses ist, desto größer die Bandbreite Δf des Signals, das zum Beispiel von einem Messmikrofon empfangen wird. Im Experiment (vgl. Abbildung 17) wird zum Nachweis ein Pulsgenerator verwendet, bei dem die Pulsbreite einstellbar ist. Die spektrale Analyse erfolgt mit einem Goniometer, das wie viele Geräte dieser Art auch über einen FFT-Spektralanalysator verfügt.

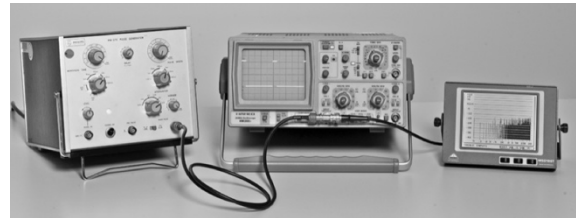


Abb. 17: Das mit einem FFT-Spektrometer (rechts) dargestellte Frequenzspektrum eines Pulssignals.

Natürlich kann als Signalquelle auch ein Mikrofon eingesetzt werden, das impulsartige Schallereignisse verarbeiten kann, vorzugsweise also ein Kondensatormikrofon. Dann erzeugt man den Schallimpuls zum Beispiel mit einer Funkenentladung oder einem Knackfrosch, der sich auch bestens zum ‚Ausknallen‘ von Räumen bewährt. Hierbei werden die Eigenschwingungen eines Raumes breitbandig angeregt und die spektrale Analyse erfolgt im einfachsten Fall mit dem geschulten Gehör.

Derartige Messung auf Grundlage der Frequenz-Zeit-Unschärfe werden mit verfeinerten messtechnischen Mitteln auch eingesetzt, um die bei der Beschallung kritischen Rückkopplungsfrequenzen zu identifizieren, die sich dann mit Filtern schmalbandig unterdrücken lassen.

3. Zusammenfassung und Anregungen für den Unterricht

Guter (Physik-) Unterricht zeichnet sich unter anderem dadurch aus, dass anschauliches und interessantes Lernmaterial bereitgestellt ist, an dem die Lernenden sich fachliche Inhalte selbstständig im Rahmen bedeutungsvoller Kontexte erarbeiten können. Die Tontechnik bietet ein didaktisch lohnendes Feld für Problemstellungen, an denen sich die Inhalte des fachsystematisch orientierten Physikunterrichts bedeutungsvoll und lebensweltbezogen erarbeiten lassen. Tontechnische Themen können somit als mehr als nur reine Anwendungsbeispiele sein, wie die Beispiele zeigen. Die Tonstudioteknik deckt schulphysikalische Inhalte in großer Breite ab – vom Plattenkondensator bis hinein in die Atomphysik. Teilweise reicht bereits ein kleiner Wechsel der Perspektive, um von einem fachsystematisch relevanten Inhalt zu einem kontextorientierten Thema zu gelangen, wie das Beispiel des Kammfiltereffekts zeigt.

Kompetenzorientierte Aufgaben im Bereich der Tontechnik ermöglichen das selbstständige Problemlösen in relevanten Situationen, sie fördern die Eigenaktivität der Lernenden und erfordern das Zurückgreifen

auf früher gelernte Inhalte des Physikunterrichts auch in Transferprozessen. Das Fach erlangt damit eine Bedeutung, die auf das Interesse positiv wirken kann.

Lerndokumentationen haben für das kompetenzorientierte Lernen einen besonderen Stellenwert. Eine Möglichkeit dazu liegt im Kontext dieses Themas auch darin, Lernergebnisse im Rahmen einer Audioproduktion zu dokumentieren, bei der das Gelernte angewendet und vor allem hörbar gemacht wird. Derartige Projekte, die der Physikunterricht mit begleiten kann und sollte, steigern die Lernqualität durch schüler-eigene Erfolgsziele, durch Teamarbeit und Selbstorganisation. Projektlernen wird so zum festen Bestandteil der Lernkultur einer Schule. Die Tontechnik gewährleistet dabei die (schul)öffentliche Sichtbarkeit der eigenen Lernprodukte. Dafür sollte den Schülerinnen und Schülern die Nutzung von Schulräumen für eigene Aktivitäten ermöglicht werden, etwa im Rahmen einer Medienwerkstatt in der Schule, die mit geeigneten (semi)professionellen tontechnischen Geräten ausgestattet ist, auf die dann auch der Physikunterricht für die Arbeit an den physikalisch-technischen Anteilen der Medienkompetenz zurückgreifen kann.

4. Literatur

- [1] Diehl, B. et al. (2008): Physik Oberstufe, Cornelsen, Berlin.
- [2] Exemplarisch sei hier verwiesen auf: www.berlin.de/sen/bildung/schulorganisation/lehrplaene/ (20.05.2023)
- [3] Muckenfuß, H. (1995): Physik im sinnstiftenden Kontext, Cornelsen, Berlin.
- [4] Dickreiter, M. (1997): Handbuch der Tonstudietechnik, Saur, München.
- [5] Meschede, D. (Hg.) (2002): Gerthsen Physik, Springer, Berlin u.a.
- [6] Kirstein J.; Nordmeier, V.: Tontechnik im Kontext der Schulphysik. In: Praxis der Naturwissenschaften - Physik, 3/59 (2010), S. 27

Students Derive an Exact Solution of the Flatness Problem

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

Abstract

In everyday life, time and space are essential. Moreover, space and time are fundamental concepts of physics. For it, Newton made a first proposal with flat space and time evolving at a constant rate as a basis. Einstein improved it with relativistic and curved spacetime. Accordingly to its relevance in everyday life and in physics, students are interested in the topic. Here, I present a learning process, by which learners can achieve the essential insights of special relativity and general relativity in an exact manner. Thereby, students experience basic principles directly at a free fall tower and by taking photographs in a school observatory. Using these basic principles, they achieve inspiring and exact results on their own, after an appropriate instruction. I present the learning process and a didactic analysis, so that you can directly use the concept for teaching. I tested the learning process in various learning groups, and I report about experiences.

1. Introduction

Students are interested in the evolution of space since the Big Bang. Accordingly, they observed the Big Bang with our school observatory by using three different methods, see e. g. Helmcke et al. (2018).

For instance, they provide a very basic method that can be understood even by students at the age 14 without any special knowledge about astronomy or astrophysics: In that method, our students used our school telescope with an aperture of 0.28 m, in order to take the picture in Fig. 1. So they obtained a photo of a quasar at a light-travel distance of 12.05 billion light years. For comparison, the aperture of the Hubble telescope is to 2.4 m. Thus, for each observed object, the amount of light received by the Hubble telescope exceeds the amount of light received by our telescope by the following factor:

$$\left(\frac{2.4}{0.28}\right)^2 \approx 73 \quad \{1\}$$

In flat and constant space, as proposed by Newton (1687), the energy density of the light emitted by an object decreases proportional to the square of the distance. Correspondingly, the Hubble telescope should observe quasars at a light-travel distance that exceeds the light-travel distance of quasars observed by our telescope, 12.05 billion light years, by the factor $\sqrt{73} \approx 8.5$, at least. However, the Hubble telescope did never observe any object at a light-travel distance beyond 13.8 billion light years. We interpret this finding with the Big Bang that occurred 13.8 billion years ago: Light observed at Earth has propagated for less than 13.8 billion years, so that it propagated less than 13.8 billion light years.

In a second method, our students observed the

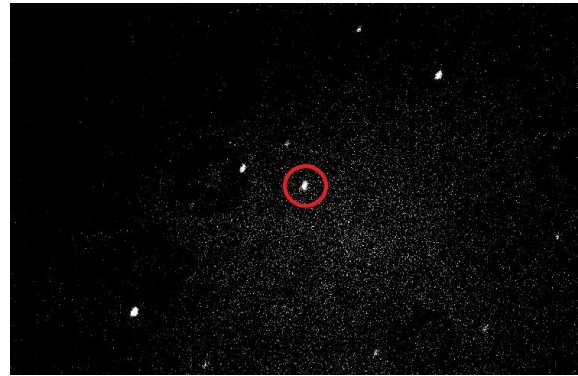


Fig.1: We observe the quasar APM08279+5255 at the light-travel distance of 12.05 billion light years. The quasar is near the light horizon. Objects can be observed at light-travel distance less than 13.8 billion light years. How can this finding be interpreted?

redshift and distance of galaxies and produced the Hubble diagram in Fig. 2. While in a third method, they used the supernova in Fig. 3. Of course, we humans want to understand our observations. Accordingly, the students ask the question: How can we understand, calculate and derive the time evolution of the expansion of space since the Big Bang?

1.1. Organization of the paper

We propose our learning process in part 2. Part 3 provides a didactic analysis. Experiences with teaching and a discussion are presented in parts 4 and 5.

2. Learning process

The learning process has been developed for the following groups: members of a research club with students in classes 5 to 13 and general studies courses at the university.

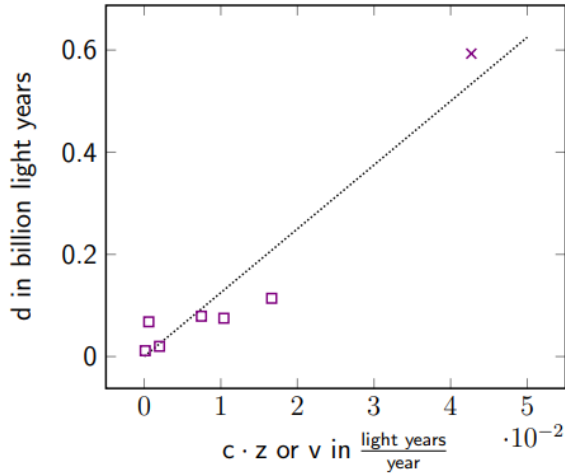


Fig.2: We observe galaxies at redshifts z (squares and triangle). Moreover, the learners observe the light-travel distances d (squares). In the case of the galaxy UGC 8058, the light-travel distance is obtained from the literature. The straight line has the slope 12.5, corresponding to a measured age of the universe of 12.5 billion years. The linear law shown in this diagram is called Hubble law, and the inverse of the slope in this diagram is called Hubble constant H_0 .

2.1. Preconditions of learning

As a precondition of the learning process, the students treated already basic facts in gravity and special relativity, see e. g. Newton (1687), Einstein (1905), Carmesin (2023a, pp 102-129). Moreover, they have basic competences about the Schwarzschild metric, including the position factor and findings in general relativity, see e. g. Einstein (1915), Schwarzschild (1916), Carmesin (2023b) or Burisch (2022, pp 484-489):

In the vicinity of a field generating mass M , a probe mass m has the following energy:

$$E(r, v) = m_0 c^2 \varepsilon(r) \gamma(v) = m_0 c^2 = E_0 \quad \{2\}$$

Thereby, $\gamma(v)$ is the Lorentz factor,

$$\gamma(v) = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad \{3\}$$

And $\varepsilon(r)$ is the position factor:

$$\varepsilon(r) = \sqrt{1 - \frac{R_S}{r}} \quad \text{with} \quad R_S = \frac{2GM}{c^2} \quad \{4\}$$

Hereby, the energy is conserved, as the vicinity of M is stationary, so that the Noether (1918) theorem can be applied.

Moreover, the students are familiar with basic facts about the expansion of space since the Big Bang, see e. g. Carmesin (2020a, pp 296-301). In particular, they know that the Hubble constant H_0 is a time dependent Hubble parameter $H(t)$, more generally, see Fig. 2. Hereby, the square of the Hubble parameter is described by the Friedmann (1922) Lemaitre (1927) equation, FLE:

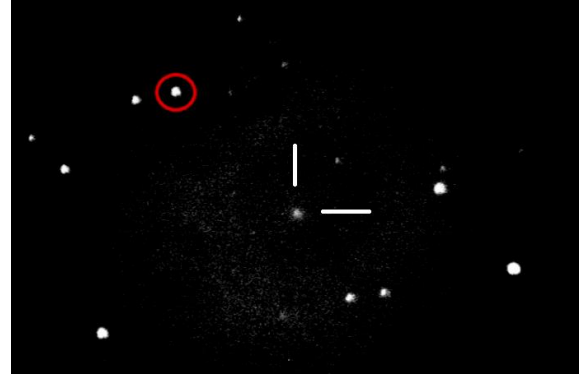


Fig.3: We observed the supernova SN 2017eaw (red circle) in the fireworks galaxy NGC 6946 (at white bars).

$$H^2 = \frac{\dot{R}^2}{R^2} = \frac{8\pi G}{3} \rho - k \frac{c^2}{R^2} \quad \{5\}$$

Hereby, R is a radius of a prototypical ball in the universe, see Fig. 4. That ball increases as a function of time, whereby it describes the expansion of space. As usual, ρ describes the density. The possible curvature of space is described by the curvature parameter k . Thereby, the FLE has been derived on the basis of the Einstein field equation, the dynamical equation of the usual theory of relativity proposed by Einstein (1915) and Hilbert (1915), see e. g. Hobson (2006).

If $k = 0$, then the space is not curved or flat.

If $k > 0$, then the space is a hyperball.

If $k < 0$, then the space is curved like a saddle.

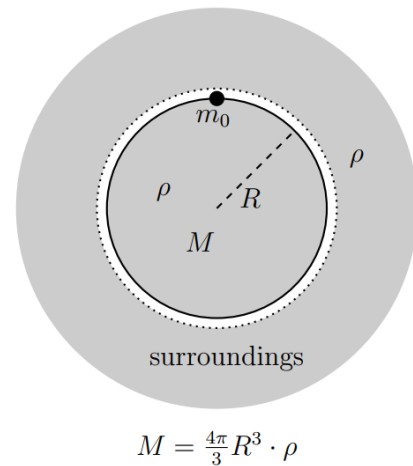


Fig.4: Prototypical ball in the universe. Many such balls form space as a whole. It is like a hyperball, if the curvature parameter is positive. Space is flat and unlimited, if the curvature parameter is zero. Space is curved like a saddle and unlimited, if the curvature parameter is negative.

2.2. Flatness problem

When the students discuss the FLE, they realize that the FLE includes the above three possibilities of curvature. However, the universe cannot exhibit all three possibilities simultaneously. Using observations, see e. g. Planck collaboration (2020), the learners realize

that the observed curvature is zero within the error of measurement. This fact of observation should be explained. That missing explanation is called flatness problem, see e. g. Hobson (2006, p. 418) or Guth (1981).

2.3. Derivation of the squared Hubble parameter

In order to solve the flatness problem, we plan to derive the squared Hubble parameter H^2 of the prototypical ball in Fig. 4 on our own. Thereby, we should derive a value of the curvature parameter. If that value is zero, then we solved the flatness problem, and we can analyse the reason for flatness. If we derive a non-zero value of the curvature parameter, then the flatness problem remains.

2.3.1. Plan of transformation

We plan to derive the dynamics of the radius of the ball in Fig. 4 on the basis of the Schwarzschild metric in Eqs. {2-4}, as this metric has been confirmed by many observations of present-day objects, see e. g. Will (2014). Thus, we plan to transform Eqs. {2-4}.

For it, we analyse a probe mass m_0 that marks the radius R of the ball in Fig. 4.

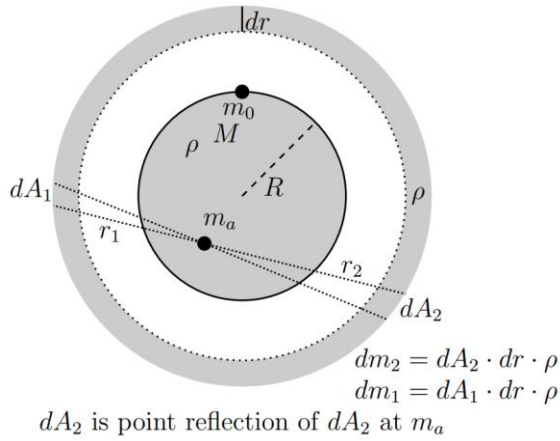


Fig.5: Prototypical ball in the universe. A shell of the surroundings causes forces at a test mass m_a in the ball.

Thereby, the forces caused by the two masses dm_1 and dm_2 cancel each other. Thus, all forces caused by the shell cancel each other at m_a . Hence, the forces caused by all shells cancel each other at m_a . Thence, the forces caused by the surroundings cancel each other at m_a . As the location of the test mass is arbitrary, the homogeneous and isotropic surroundings cause no field in the ball.

2.3.2. Fields of surroundings cancel in the ball

As the surroundings of the ball are homogeneous, they do not cause any gravitational field within the ball. This fact has already been derived by Newton (1687).

The students derive it with help of the shell and the test mass m_a in Fig. 5. That test mass is at an arbitrary location in the ball. An area dA_1 has a mass dm_1 and a distance r_1 to the test mass. The learners derive the absolute value of the force of interaction between the test mass and dm_1 :

$$F_1 = \frac{G \cdot m_a \cdot dm_1}{r_1^2} \quad \{6\}$$

The area dA_2 in Fig. 5 is the point reflection of the area dA_1 at the test mass. The students derive the absolute value of the force of interaction between the test mass and dm_2 in Fig. 5:

$$F_2 = \frac{G \cdot m_a \cdot dm_2}{r_2^2} \quad \text{with} \quad \{7\}$$

$$dA_2 = dA_1 \cdot \frac{r_2^2}{r_1^2} \quad \text{and} \quad \{8\}$$

$$dm_2 = dm_1 \cdot \frac{r_2^2}{r_1^2} \quad \{9\}$$

The students combine the above Eqs. {6-9} and realize that the two forces cancel each other:

$$F_1 = F_2 \quad \text{and} \quad \vec{F}_1 = -\vec{F}_2 \quad \{10\}$$

As the area dA_1 has been chosen arbitrarily, each pair of such an area and its point reflection cause forces that cancel each other. Thus, there is no remaining force or field at each such test mass. Hence, the shell in Fig. 5 does not cause any field in the ball. As the homogeneous surroundings of the ball (see Fig. 4) can be partitioned into shells similar to that in Fig. 5, the surroundings of the ball do not cause any field in the ball.

2.3.3. Field at the probe mass

The students remind that the field at the surface of Earth is derived from the mass of Earth M_E at the distance of the radius R_E , see e. g. Carmesin (2023a, pp 102-129):

$$G^*(R_E) = \frac{G \cdot M_E}{R_E^2} \quad \{11\}$$

With it, they realize that the field at the surface of the ball, at the probe mass m_0 is derived similarly:

$$G^*(R) = \frac{G \cdot M}{R^2} \quad \{12\}$$

With it, the conditions for the application of the derivation of the position factor in Carmesin (2023b) are fulfilled. Thus, Eqs. {2-4} can be applied.

2.3.4. Transformations with the position factor

In order to derive the square of the Hubble constant in Eq. {5}, we plan to form the square of Eq. {2}, as a first step of the transformation planned at the beginning:

$$E^2(r, v) = m_0^2 c^4 \varepsilon^2(r) \gamma^2(v) \quad \{13\}$$

As we are interested in the energy of the dynamics, not in the relativistic energy E_0 of the probe mass, we subtract the square E_0^2 , as a second step of the transformation:

$$E^2(r, v) - E_0^2 = E_0^2 (\varepsilon^2(r) \gamma^2(v) - 1) \quad \{14\}$$

The above difference is divided by the squared available energy of the probe mass $E_0^2 \gamma^2$, so that we obtain a dimensionless term scaled by the locally measurable available energy:

$$\frac{E^2(r, v) - E_0^2}{E_0^2 \gamma^2} = (\varepsilon^2(r) - \gamma^{-2}(v)) \quad \{15\}$$

The students simplify the above scaled difference by using Eqs. {3-4}:

$$\frac{E^2(r,v)-E_0^2}{E_0^2\gamma^2} = \frac{v^2}{c^2} - \frac{R_S}{R} \quad \{16\}$$

According to our plan, the learners use the above scaled difference in order to derive the squared Hubble parameter. For it, they realize that the velocity v is equal to the time derivative \dot{R} of R , as the probe mass is at the radius of the ball. In order to derive the square of the Hubble parameter, the students multiply by $\frac{c^2}{R^2}$. Correspondingly, they insert for the Schwarzschild radius R_S (Eq. {4}):

$$\frac{E^2(r,v)-E_0^2}{E_0^2\gamma^2} \frac{c^2}{R^2} = H^2 - \frac{2GM}{R^3} \quad \{17\}$$

The learners use the density in Fig. 4:

$$\frac{E^2(r,v)-E_0^2}{E_0^2\gamma^2} \frac{c^2}{R^2} = H^2 - \frac{8\pi G}{3} \rho \quad \{18\}$$

According to our plan, the students solve for H^2 :

$$H^2 = \frac{8\pi G}{3} \rho + \frac{E^2(r,v)-E_0^2}{E_0^2\gamma^2} \frac{c^2}{R^2} \quad \{19\}$$

Basically, according to the principle of energy conservation, the energy $E(r, v)$ is constant and equal to E_0 , see Eq. {4}. Thus the fraction $\frac{E^2(r,v)-E_0^2}{E_0^2\gamma^2}$ in the above equation is basically zero. Hence, the learners derive the following term for the squared Hubble parameter:

$$H^2 = \frac{8\pi G}{3} \rho \quad \{20\}$$

The learners compare with the FLE in Eq. {5}. With it, they conclude that the curvature parameter is basically zero:

$$\textit{basically: } k = 0 \quad \{21\}$$

This result is a first basic solution of the flatness problem.

2.3.5. Basic principle underlying our solution

A discussion of our solution shows that we used the principle of energy conservation. This principle is applicable according to the stationarity of the field generating mass M and its vicinity, according to the Noether (1918) theorem.

2.3.6. Generalization

In a discussion, we realize that the field generating mass is nearly constant in the matter era, see Carmesin (2020a, pp 296-301) and Carmesin (2020b). As our universe changed from the radiation era to the matter era already at a redshift of $z_{eq} = 3411$, see Planck collaboration (2020), and as it is just changing towards the vacuum era, our universe is still dominated by the matter era. Thus, our universe exhibits

the curvature parameter zero within the errors of measurement.

More generally, the scaled difference $\frac{E^2(r,v)-E_0^2}{E_0^2\gamma^2}$ in

Eq. {19} is identified with the negative curvature parameter in Eq. {5}. Thus, we derive the usual FLE, and we derive a term for the curvature parameter in addition:

$$H^2 = \frac{8\pi G}{3} \rho - k \frac{c^2}{R^2} \quad \text{with } k = -\frac{E^2(r,v)-E_0^2}{E_0^2\gamma^2} \quad \{22\}$$

In order to analyse the curvature parameter directly, we insert Eqs. {2-4} and cancel out $E_0^2\gamma^2$:

$$k = -\varepsilon^2(r) + \gamma^{-2} = -\varepsilon^2(r) + \varepsilon^2(r) = 0 \quad \{23\}$$

This result represents a second solution of the flatness problem. Hereby, we consider a nonzero curvature parameter. By using energy conservation inherent to Eqs. {2-4}, we solve the flatness problem again.

In our next solution, we do not use energy conservation. Of course, we do not state energy conservation would be violated, but we do not apply energy conservation. In principle, one might think that energy could be lost at a redshift of radiation, if one does not consider a corresponding gravitational potential, for instance. Accordingly, we introduce the density of radiation and all essential densities in cosmology:

2.3.7. Notations in cosmology

In cosmology, dynamically essential densities are denoted as follows, see e. g. Hobson (2006) or Carmesin (2019) or Carmesin (2020a, pp 296-301): The density is a sum of the density of radiation ρ_r , the density of matter ρ_m and the density of the cosmological constant the density of radiation ρ_Λ :

$$\rho = \rho_r + \rho_m + \rho_\Lambda \quad \{24\}$$

In the time evolution, present-day values are marked by the subscript zero. For instance, the present-day value of the Hubble parameter is the Hubble constant $H_0 = H(t_0)$, see Fig. 2. The inverse of the Hubble constant is called Hubble time, at a good approximation, see Carmesin (2019) or Hobson (2006), it is the age of the universe:

$$t_{H_0} = \frac{1}{H_0} \quad \{25\}$$

During the Hubble time, light travelled the light-travel distance $c \cdot t_{H_0}$, it is called Hubble radius:

$$R_{H_0} = c \cdot t_{H_0} = \frac{c}{H_0} \quad \{26\}$$

The density of flat space is called critical density, we derive with Eq. {22}:

$$H^2 = \frac{8\pi G}{3} \rho_{cr} \quad \text{and} \quad H_0^2 = \frac{8\pi G}{3} \rho_{cr,0} \quad \text{or} \quad \{27\}$$

$$\rho_{cr,0} = \frac{3H_0^2}{8\pi G} \quad \{28\}$$

The present-day curvature parameter is expressed with a density:

$$\rho_k = -\rho_{cr} \frac{c^2}{H^2 R^2} k \quad \text{or} \quad \Omega_k = -\frac{c^2}{H^2 R^2} k \quad \{29\}$$

The ratio of a density and the critical density is called density parameter:

$$\frac{\rho_j}{\rho_{cr}} = \Omega_j \quad \text{and} \quad \frac{\rho_{j,0}}{\rho_{cr,0}} = \Omega_{j,0} \quad \text{with } j \in \{r, m, \Lambda, k\} \quad \{30\}$$

Einstein (1917) introduced the cosmological constant Λ . Accordingly, the corresponding density is a constant:

$$\rho_\Lambda(t) = \rho_{\Lambda,0} \quad \{31\}$$

As the volume is proportional to the third power of the radius $R^3(t)$, and as matter does not change as a consequence of expansion, the density of matter is proportional to $R^{-3}(t)$:

$$\rho_m(t) = \rho_{m,0} \cdot \left(\frac{R}{R_{H_0}}\right)^{-3} = \frac{\rho_{m,0}}{a^3} \quad \{32\}$$

Hereby, we introduce the scaled radius and the redshift $z = \frac{\Delta\lambda}{\lambda}$:

$$a(t) = \frac{R(t)}{R_{H_0}} = \frac{1}{z+1} \quad \{33\}$$

As the volume is proportional to the third power of the radius $R^3(t)$, and as the energy or dynamical density of radiation changes as a consequence of expansion by the redshift proportional to $R^{-1}(t)$, the density of radiation is proportional to $R^{-4}(t)$:

$$\rho_r(t) = \rho_{r,0} \cdot \left(\frac{R}{R_{H_0}}\right)^{-4} = \frac{\rho_{r,0}}{a^4} \quad \{34\}$$

Using the above definitions, the students express the density in terms of the density parameters as follows:

$$\rho = \rho_{cr,0}(\Omega_\Lambda + \Omega_{k,0}a^{-2} + \Omega_{m,0}a^{-3} + \Omega_{r,0}a^{-4}) \quad \{35\}$$

And the dynamics in Eq. {22} are as follows:

$$H^2 = H_0^2(\Omega_\Lambda + \Omega_{k,0}a^{-2} + \Omega_{m,0}a^{-3} + \Omega_{r,0}a^{-4}) \quad \{36\}$$

Hereby, the sum of the density parameters is one:

$$\Omega_\Lambda + \Omega_{k,0} + \Omega_{m,0} + \Omega_{r,0} = 1 \quad \{37\}$$

The Planck collaboration (2020) measured the following parameters, see the TT-mode in table 2, the abstract and Carmesin (2019) for an evaluation of $\Omega_{r,0}$:

$$\Omega_\Lambda = 0,679 \pm 0,013 \quad \{38\}$$

$$\Omega_{m,0} = 0,321 \pm 0,013 \quad \{39\}$$

$$\Omega_{k,0} = 0,001 \pm 0,002 \quad \{40\}$$

$$\Omega_{r,0} = 9,265 \cdot 10^{-5} \pm 3,1\% \quad \{41\}$$

$$H_0 = 66,88 \pm 0,92 \frac{km}{s \cdot Mpc} \quad \{42\}$$

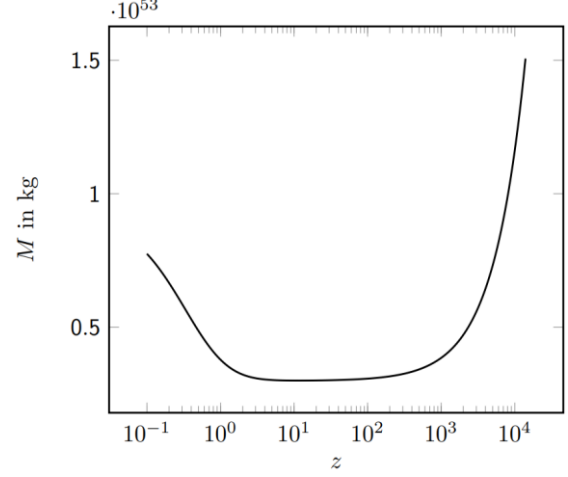


Fig.6: Mass or dynamical mass M in the ball with present-day radius R_{H_0} as a function of the redshift z . Thereby, the density $\rho(z)$ in Eq. {44} is a function of the redshift z , see Eqs. {33,35}.

2.3.8. Time evolution of M

As the only possibility for a nonzero curvature parameter is a time evolution of the field generating mass M in Figs. 4 and 5 and in Eq. {4}, we analyse that time evolution.

For instance, we consider a ball with the present-day radius equal to the Hubble radius. At a scaled radius $a(t)$, that ball had the radius $a(t)$. Thus, that ball had the following mass or dynamical mass, with the density in Eq. {34}, the critical density in Eq. {28} and the parameters in Eqs. {38-42}:

$$M(a) = \rho(a) \cdot \frac{4\pi}{3} a^3 \cdot R_{H_0}^3 \quad \text{or} \quad \{43\}$$

$$M(z) = \rho(z) \cdot \frac{4\pi}{3} \frac{1}{(1+z)^3} \cdot R_{H_0}^3 \quad \{44\}$$

That mass or dynamical mass in Eq. 44 as a function of the redshift is shown in Fig. 6. That function exhibits a local minimum. Thus, that (dynamical) mass M is constant at the local minimum z_{const} , so that the density parameter of curvature in Eq. {28} is zero at that redshift:

$$\Omega_k = -\frac{c^2}{H^2 R^2} k \quad \text{and} \quad \Omega_k(z_{const}) = 0 \quad \{45\}$$

That result implies that the curvature is zero also at smaller redshifts $z \leq z_{const}$, or at later times $t \geq t_{const}$, see Carmesin (2023c) or section 2.3.9.

2.3.9. Time evolution of curvature

We apply the method of the analysis of the curvature parameter k and of the density parameter Ω_k as a function of the radius r of the ball.

Firstly, at very small r or in the very early universe, the radiation was blue-shifted compared to the present-day primordial radiation, for details see Carmesin (2021a). In principle, that could have caused an

increased field generating mass or dynamic mass M in the ball in Fig. 4. In principle, that could have caused a large positive curvature, as proposed by Hobson (2006, p. 417) or by Guth (1981). This could be the case even if that effect was made smaller by the era of cosmic inflation, see e. g. Guth (1981), Carmesin (2019). We will show that such possible values of curvature in the early universe are not essential for the curvature in the present-day universe:

Secondly, the curvature is zero at z_{const} or at the time t_{const} , see Eq. {45}.

Thirdly, the density parameter Ω_k in Eq. {45} is a function of time. With it and the FLE, the time derivative of that density parameter can be derived, see e. g. Hobson (2006, Eq. 15.48) or Carmesin (2023c):

$$\frac{d\Omega_k}{dt} = \Omega_k [H(\Omega_m + 2\Omega_r - 2\Omega_\Lambda)] \quad \{46\}$$

As the term in the rectangular bracket does not become infinite at redshifts $z \leq z_{const}$, or at times $t \geq t_{const}$, that bracket is limited by its maximum and by its minimum:

$$[H(\Omega_m + 2\Omega_r - 2\Omega_\Lambda)] \leq B_{max} \quad \{47\}$$

$$[H(\Omega_m + 2\Omega_r - 2\Omega_\Lambda)] \geq B_{min} \quad \{48\}$$

With it, we derive an upper limit $\Omega_{k,upper}$ and a lower limit $\Omega_{k,lower}$ of the density parameter as follows:

$$\Omega_{k,lower} \leq \Omega_k \leq \Omega_{k,upper} \quad \{49\}$$

$$\frac{d\Omega_{k,upper}}{dt} = \Omega_{k,upper} \cdot B_{max} \quad \{50\}$$

$$\frac{d\Omega_{k,lower}}{dt} = \Omega_{k,lower} \cdot B_{min} \quad \{51\}$$

The solutions are exponential functions with the initial value $\Omega_k(z_{const})$:

$$\Omega_{k,upper} = \Omega_k(z_{const}) \cdot e^{B_{max} \cdot (t - t_{const})} = 0 \quad \{52\}$$

$$\Omega_{k,lower} = \Omega_k(z_{const}) \cdot e^{B_{min} \cdot (t - t_{const})} = 0 \quad \{53\}$$

As both functions are zero, and as the density parameter is limited by these, see Eq. {49}, the density parameter is zero at times $t \geq t_{const}$, or at redshifts $z \leq z_{const}$:

$$\Omega_k = 0 \text{ for } t \geq t_{const} \text{ or } z \leq z_{const} \quad \{54\}$$

Altogether, we derived that the curvature is zero at the present-day universe. Thus, we solved the flatness problem.

3. Didactic analysis

We provide three solutions of the flatness problem, in order to cover a wide range of discussed physical situations, proposed for instance by Hobson (2006, p. 417) or Guth (1981).

3.1. Didactic steps in the first solution

In a first didactic step, the students realize in a discussion that the solution of the curvature problem provided by general relativity and the FLE includes the observed value $k = 0$ of the curvature parameter as a possibility. However, these theories do not predict the observed value. The students realize that there is an element missing in these theories. Moreover, they realize that such a missing explanation of the observed flatness ($k = 0$) of global space is a problem of the theory. They understand that it makes sense to identify the problem and to call it flatness problem. In this manner, the students accept the cognitive conflict and are motivated to solve it in the course. This didactic step does not provide any technical learning barrier. So the step is directly executed in a discussion.

In a second didactic step, during a discussion, the students plan that we derive the squared Hubble parameter on our own, in order to analyse or solve the flatness problem. The learners realize that the Schwarzschild metric is an ideal starting point, as it is confirmed by many experiments, as the local dynamics should explain the global dynamics, similarly as the molecules in a gas explain the universal gas equation via the kinetic gas theory. Moreover, the students feel confident, as they did already derive the Schwarzschild metric with help of the free fall tower, see Carmesin (2023b). This didactic step does not provide any technical learning barrier. So the step is directly executed in a discussion.

In a third didactic step, we show that there is no field in the prototypical ball. Hereby, the mathematical barrier is high. That barrier consists of two parts: the idea of the separation of caused fields as shown in Fig. 5, and the analysis on the basis of that idea. The first part of the barrier is very high, so Fig. 5 and the idea are presented to the learners.

In the didactic step four, the field at the probe mass is derived. Hereby, the learners can activate their knowledge about the field at Earth. Thus the learning barrier is intermediate. Accordingly, the step is directly executed in a discussion.

In a fifth didactic step, we transform the energy function $E(r, v)$ so that we derive the squared Hubble parameter. As we know the desired product of the transformation, we can plan each of the steps of the transformation. At each step, the learning mathematical learning barrier is relatively low, as only simple equivalent transformations are required. Each equivalent transformation is planned in a short discussion, then everybody can execute it, finally, the result is reflected in a short discussion. In this manner, we achieve the first solution of the flatness problem, see Eq. {21}.

3.2. Didactic steps in the second solution

In the didactic step six, we identify the term of the curvature parameter in Eq. {22} and evaluate it in Eq. {23}. This provides the second solution of the

flatness problem. Thereby, there occurs no essential learning barrier. So the step is directly executed in a discussion. Hereby, the learners should realize that energy conservation is used again.

3.3. Didactic steps in the third solution

In the seventh didactic step, the mass or dynamic mass is calculated as a function of time. That process is straight forward, but time consuming. Accordingly, the result in Fig. 6 can be presented directly. Then the students can identify the minimum, with slope zero, the corresponding energy conservation and the implied flatness at the time or redshift of the minimum.

Each of these arguments has a low barrier, however, the chain of arguments is complex. Thus, this step is at best achieved in an interactive discussion.

In the didactic step eight, the differential equation {46} is presented and discussed. Thereby, the plan to introduce an upper and lower bound is introduced in an interactive manner. These bounds can be derived by the learners. Hereby, the mathematical barrier is high. So that solution and the conclusion can be derived interactively as well. Thus, the third solution of the flatness problem is derived. Hereby, energy conservation has not been used.

4. Experiences with teaching

I used this solution of the flatness problem in several courses in the framework of a research club. Moreover I used it in several courses in general studies at the university.

In all groups, we used and needed the preconditions of the learning process. Thereby, we use the transformation as the start of the formation of the theory of the Big Bang. Accordingly, the learners have an especially high motivation, as they want to understand how the dynamics of the Big Bang works. Thereby, the first solution of the flatness problem arises as a by-product of the theory. The cognitive conflict about the curvature provides an additional motivation, of course. As the transformation has no essential mathematical barrier, all students can explain the transformation and interpret the results, including the first solution of the flatness problem. The second solution provides a term for the curvature constant as another by-product, and the derivation of its value is easy.

The third solution provides the introduction of the densities as a by-product. These densities are essential for the following treatment of dark energy and the H_0 tension, see e. g. Carmesin (2018, 2019, 2021a,b, 2022a, 2023c). As the students know that application of the densities, there is an additional high motivation hereby. So far, I treated the introduction and solution of the differential equations only in the form of a discussion, whereby I provided the derivation in written form, in order to save time. The students appeared very interested also in that topic.

5. Discussion

Spacetime and its curvature are very interesting to many students, as space and time are very fundamental concepts. Moreover, the dynamics of the Big Bang is very motivating to learners.

In the proposed learning process, the flatness problem serves as a cognitive conflict. This is especially motivating. Accordingly, the students participate in the solution at various levels: They can derive the dynamics of the Big Bang on their own, if they are supported by common phases of planning the steps and interpreting the results. Thus, the learning process provides an experience of competence and self-esteem.

Moreover, the learning process shows how the local dynamics of the Schwarzschild metric implies the global dynamics of the expansion of space since the Big Bang. Furthermore, the learning process provides clear insights into the role of energy conservation and global curvature of spacetime, see e. g. Carmesin (2019, 2021c). The students can experience, how energy conservation can solve the flatness problem. Additionally, they can realize that it suffices to identify a minimum of dynamic mass or energy in Fig. 6, in order to derive and explain the flatness problem.

Moreover, all results are derived from first principles in an exact manner. So, the new results are fully connected with previous knowledge, and a high learning efficiency is achieved, see Hattie (2009). Furthermore, the results explain observations, partially obtained by the learners, see Figs. 1-3, such explanations of observations also provide a high learning efficiency, see Hattie (2009).

I tested the learning process in several learning groups several times. I showed that most learning barriers are low. Moreover, the results are exact, very elucidating, rich in content and useful for many topics of the Big Bang, spacetime and dark energy. Thereby, the theories of general relativity and of the FLE are already very good, however, the solution of the flatness problem is beyond these theories. Similarly, the theories of general relativity and of the FLE describe the evolution of spacetime already in a very good manner, however, the prepared derivation and explanation of dark energy, see Carmesin (2018, 2019, 2021a,b,d 2022a, 2023c) is beyond these theories.

The learning process is very robust and transparent. I provide a description of the learning process that can be used directly for teaching.

6. Literature

- Burisch, C. et al. (2022). *Universum Physik Gesamtband SII*. Berlin: Cornelsen Verlag.
- Carmesin, Hans-Otto (2018). *Theory for the Emergence of Space, Dark matter, Dark Energy and Space-Time*. Berlin: Verlag Dr. Köster.
- Carmesin, Hans-Otto (2019): *Die Grundschwingungen des Universums - The Cosmic Unification*. Berlin: Verlag Dr. Köster.

- Carmesin, Hans-Otto et al. (2020a): *Universum Physik, Qualifikationsphase, Niedersachsen*. Berlin: Cornelsen Verlag.
- Carmesin, Hans-Otto (2020b): *The Universe Developing from Zero-Point-Energy - Discovered by Making Photos, Experiments and Calculations*. Berlin: Verlag Dr. Köster.
- Carmesin, Hans-Otto (2021a). *Cosmological and Elementary Particles Explained by Quantum Gravity*. Berlin: Verlag Dr. Köster.
- Carmesin, Hans-Otto (2021b). *Quanta of Spacetime Explain Observations, Dark Energy, Graviton and Nonlocality*. Berlin: Verlag Dr. Köster.
- Carmesin, Hans-Otto (2021c): *The Origin of the Energy*. *PhyDid B*, p. 29-34.
- Carmesin, Hans-Otto (2021d): *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 et al. (2023a). *Universum Physik Nordrhein-Westfalen Einführungsphase*. Berlin: Cornelsen.
- Carmesin, Hans-Otto (2023b). *Students discover the Schwarzschild metric at a free fall tower*. *PhyDid B*.
- Carmesin, Hans-Otto (2023c). *Geometric and Exact Unification of Spacetime, Gravity and Quanta*. Berlin: Verlag Dr. Köster.
- Einstein, Albert (1905). *Zur Elektrodynamik bewegter Körper*. *Annalen der Physik*, 17, pp 891-921.
- Einstein, Albert (1915). *Die Feldgleichungen der Gravitation*. *Sitzungsberichte der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften*, pp 844-847.
- Einstein, Albert (1917). *Kosmologische Betrachtungen zur Relativitätstheorie*. *Sitzungsberichte der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften*, pp 142-152.
- Friedmann, Albert (1915). *Die Feldgleichungen der Gravitation*. *Sitzungsberichte der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften*, pp 844-847.
- Guth, Alan H. (1981). *Inflationary universe: A possible solution to the horizon and flatness problems*. *Physical Review D*, 23, pp 347-356.
- Hattie, John (2009). *Visible Learning*. London: Taylor and Francis Ltd.
- Hilbert, David (1915). *General Relativity*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Hobson, M. P. and Efstathiou, G. P. and Lasenby, A. N. (2006). *General Relativity*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Lemaitre, Albert (1915). *Die Feldgleichungen der Gravitation*. *Sitzungsberichte der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften*, pp 844-847.
- Newton, Isaac (1687). *Mathematical Principles of Natural Philosophy*. Translated into English by Andrew Motte. New York: Daniel Adee.
- Noether, Emmy (1918). *Invariante Variationsprobleme*. *Nachrichten der Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, Math-phys. Klasse*, pp 235-257.
- Schwarzschild, K. (1916). *Über das Gravitationsfeld eines Massenpunktes nach der Einstein'schen Theorie*. *Sitzungsberichte der Deutschen Akademie der Wissenschaften*, pp 186-196.
- Will, Clifford, M. (2014). *The Confrontation between General Relativity and Experiment*. *Living Rev. Relativity*, 17, (2014), 4, pp 1-117.

Acknowledgement

I am very grateful to I. Carmesin for many interesting discussions and for proofreading the manuscript. I am also grateful to Matthias Carmesin for interesting discussions.

Students discover the Schwarzschild metric at a free fall tower

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

Abstract

In everyday life, time and space are essential. Moreover, space and time are fundamental concepts of physics. For it, Newton proposed flat space and time evolving at a constant rate as a basis. Accordingly to its relevance in everyday life and in physics, students are interested in the topic. Here, I present a learning process, by which learners can achieve the essential insights of special relativity and general relativity in an exact manner. Thereby, students experience basic principles directly at a free fall tower and by taking photographs in a school observatory. Using these basic principles, they achieve inspiring and exact results on their own, after an appropriate instruction. I present the learning process and a didactic analysis, so that you can directly use the concept for teaching. I tested the learning process in various learning groups, and I report about experiences.

1. Introduction

Newton (1687) postulated that space is flat and static and that time evolves at a constant rate. However, in their school observatory, students take photos of a gravitational lens, see Fig. 1 and Carmesin (2018a,b). With it they confirm the concept of curved spacetime proposed by Einstein (1915). But how can they understand or experience it?

1.1. Organization of the paper

We propose our learning process in section 2. In part 3, we provide a didactic analysis. Experiences with teaching are presented in part 4. We discuss our findings in section 5.

2. Learning process

The students are members of a research club. They are in classes 5 to 13. Accordingly, the younger pupils describe findings and graphic representations, intermediate students evaluate measured quantities, while advanced students provide derivations.

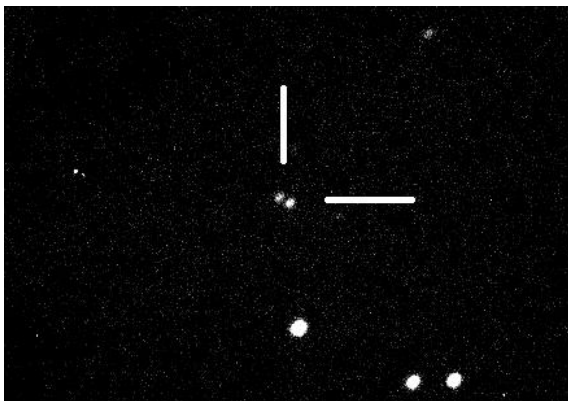


Fig.1: Students observe the twin quasar, a gravitational lens: It causes the two marked pictures of the same galaxy.

2.1. Special relativity

As a precondition of teaching, the students treated already basic facts in special relativity. The students use the light curve of a binary star in order to realize that the velocity of light in vacuum does not depend on the velocity of the light source, see Fig. 2. In particular, the light curve is regular, see Fig. 3. If the light emitted by the two stars would have different velocities as a consequence of the different velocities of the two stars, then the light curve would be very different from the observed light curve. In this manner, the students confirm on their own that the velocity of light in vacuum does not depend on the velocity of the source of the light. Accordingly, light is used as a measure for space and time. This is the main principle of special relativity.

Based on that principle, the students analyse the concept of the light clock in Fig. 4. The black box emits a laser beam. The beam propagates 0.6 m to the bottom. Then it is reflected and propagates back the box. After that process, the box indicates that the time



Fig.2: Students observed the star W Ursae Mayoris. It is a photometric binary. The students measured the light curve.

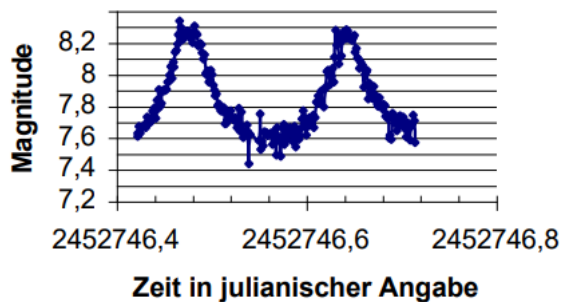


Fig.3: Students observed the star W Ursae Majoris. It is a photometric binary. The students measured the light curve.

interval $t = 4 \text{ ns}$ has elapsed, as the light propagated the light-travel distance 1.2 m . However, if the clock moves at the velocity $v = 0.18 \text{ m/ns}$, then an observer at rest observes that the light propagated the distance 1.5 m . Thus the observer at rest measures that the process lasted 5 ns , as the velocity of light has the same value in both systems or frames. Accordingly, between the same two events of the emission and arrival of the light at the box, there elapse two different amounts of time in the two different systems: In the own system of the clock, there elapses the shortest time $t_{own} = 4 \text{ ns}$. In the rest system or external system, there elapses the longer time $t_{ext} = 5 \text{ ns}$. Using the theorem of Pythagoras, the students derive the equation of the time dilation:

$$t_{ext} = t_{own} \cdot \gamma(v) \quad \{1\}$$

Thereby, the Lorentz factor $\gamma(v)$ is defined as follows:

$$\gamma(v) = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad \{2\}$$

Based on the Lorentz factor, the students analyse the energy $E(v)$ that a mass m_{own} or m_0 has at a velocity v :

$$E(v) = m_{own} \cdot \gamma(v) \cdot c^2 \quad \{3\}$$

In the light clock, the velocity of the clock and the propagation of light are orthogonal to each other. Next, the students analyse the case of parallel velocity and propagation in Fig. 5. Thereby, they discover the length contraction.

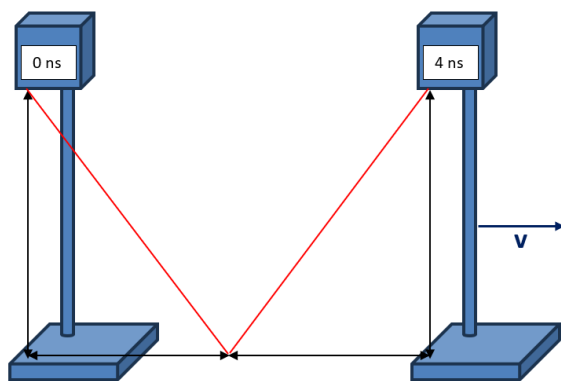


Fig.4: Light clock, drawn similar to Burisch et al. (2022).



Fig.5: An observer moving at the box with two mirrors measures the light-travel distance dr_{own} between the mirrors. An external observer at rest in his system r_{ext} measures the light-travel distance dr_{ext} between the same mirrors.

The observer at the moving box in Fig. 5 measures the following light-travel distance dr_{own} :

$$\frac{2}{c} \cdot dr_{own} = dt_{own} \quad \{4\}$$

In his system r_{ext} , the observer at rest in Fig. 5 measures the following light-travel time: The propagation from the back mirror towards the front mirror requires the light-travel time $\frac{dr_{ext}}{c-v}$. The propagation from the front mirror towards the back mirror requires the light-travel time $\frac{dr_{ext}}{c+v}$. The observed light-travel time is the sum:

$$dt_{ext} = \frac{dr_{ext}}{c-v} + \frac{dr_{ext}}{c+v} = \frac{2}{c} \cdot dr_{ext} \cdot \gamma^2(v) \quad \{5\}$$

The students use Eqs. {1}, {4} and {5}, in order to derive the relation:

$$dt_{ext} = dt_{own} \gamma = \frac{2}{c} dr_{own} \gamma = \frac{2}{c} dr_{ext} \gamma^2 \quad \{6\}$$

This equation is solved for dr_{ext} . Thus, the students derive the following length contraction:

$$dr_{ext} = \frac{dr_{own}}{\gamma} \quad \{7\}$$

The students realize that they derived the length contraction from the time dilation. Thus, these transformations are not independent from each other. Therefore, they realize that space and time form a system. It is called spacetime.

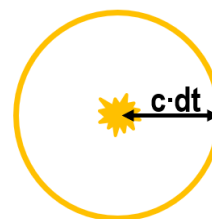


Fig.6: Light flash

Einstein (1905) described that system of spacetime with help of a light flash, see Fig. 6. Thereby, the light propagates the distance $dx^2 + dy^2 + dz^2$ during the scaled time $c^2 \cdot dt^2$. The difference is zero and denoted by the line element ds^2 :

$$ds^2 = -c^2 dt^2 + dx^2 + dy^2 + dz^2 = 0$$

If that increment describes an own system moving at a velocity v in direction x relative to an external system, then the line element in the external system is as follows:

$$ds^2 = -\frac{c^2 dt^2}{\gamma^2} + dx^2 \cdot \gamma^2 + dy^2 + dz^2 = 0 \quad \{8\}$$

The line element describes a scalar product in four-dimensional spacetime.

The time dilation and the Lorentz factor are used in order to derive the relativistic energy of a mass m_0 , for details of the derivation see Burish et al. (2022, pp 480-483):

$$E(v) = m_0 c^2 \cdot \gamma(v) \quad \{9\}$$

Alternatively, the relativistic energy can be obtained from observation, see Carmesin et al. (2020 p. 49).

2.2. General relativity

The students summarize: Special relativity is based on the invariance of the velocity of light. If an own system moves at constant velocity relative to an external system or rest system, then the values of physical quantities are transformed as a consequence of the invariance of the velocity of light. Such transformations are described by special relativity.

Students realize that we did not yet analyse consequences in accelerated systems. This analysis is the goal of general relativity. In order to investigate an accelerated system, the students make an excursion to a free fall tower. At that tower, the students can experience, measure and analyse consequences of a precisely known acceleration.

2.3. Investigations at a free fall tower

The students make an excursion to a free fall tower, see Fig. 7. At the tower, the students measure gravity and acceleration with their smartphones. For it, they can use the app phyphox or physics toolbox, for instance.



Fig.7: Free fall tower Scream at the Heidepark at Soltau

2.3.1. Model experiment

In order to understand the acceleration sensor, the students perform the model experiment in Fig. 8. A block represents the smartphone. A spring steel wire is attached to the block, and a mass is attached to the spring steel wire. This represents the acceleration sensor. At rest, the mass bends the spring steel wire downwards, and so it indicates the gravitational

field \vec{G}^* directed in the SAME direction (downwards), see Fig. 8.



Fig.8: In this model experiment of an acceleration sensor, the sensor is at rest or accelerated upwards.

If the block experiences an acceleration \vec{a} to the right, then the mass bends the spring steel wire to the OPPOSITE direction (to the left), see Fig. 9. Thus, at the display, the acceleration sensor shows the difference of acceleration observed by an external observer \vec{a}_{ext} and gravitational field:

$$\vec{a}_{display} = \vec{a}_{ext} - \vec{G}^* \quad \{10\}$$



Fig.9: In this model experiment of an acceleration sensor, the sensor is accelerated to the right.

2.3.2. Observations at the free fall tower

At the free fall tower, the students put their smartphones into a shirt pocket, with the y-axis showing upwards. At the top of the tower, they start the recording of the y-component of the acceleration as a function of time.

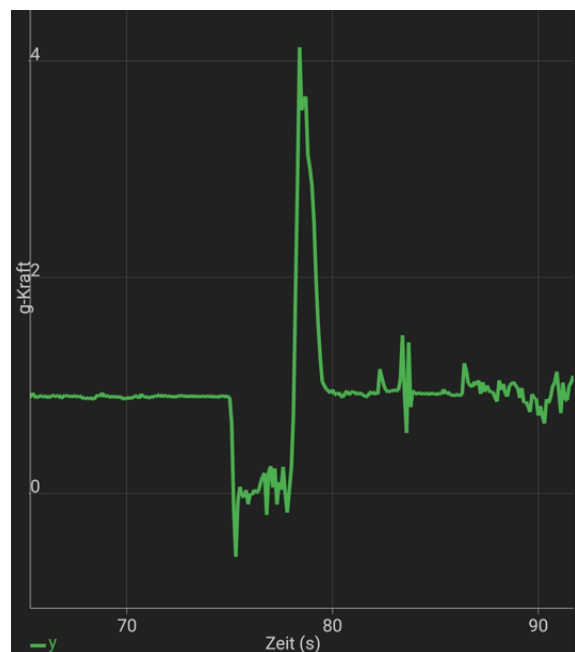


Fig.10: Measurement at the free fall tower with an acceleration sensor

A typical result is shown in Fig. 10. The students describe and explain the result as follows: At rest at the top of the tower, the acceleration is zero, so the sensor shows the absolute value of the gravitational field, see Fig. 8 or Eq. {10}:

$$\vec{a}_{display} = \vec{0}_{ext} - \vec{G}^* = |\vec{G}^*| = 9.81 \frac{m}{s^2} \quad \{11\}$$

Most students prefer the explanation with Fig. 8.

At free fall, the displayed acceleration is zero, see Fig. 10. For it, most students prefer the explanation that the smartphone and the mass of the sensor fall in the same manner. As a consequence, the mass of the sensor does NOT bend the spring steel wire, see Fig. 11. Consequently, the displayed acceleration is zero. Some students explain the observation with Eq. {10}:

$$\vec{a}_{display} = \vec{a}_{ext} - \vec{G}^* = -9.81 \frac{m}{s^2} + 9.81 \frac{m}{s^2} = 0 \frac{m}{s^2} \quad \{12\}$$

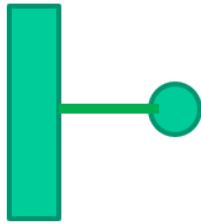


Fig.11: At free fall, the mass in the model experiment of an acceleration sensor does not bend the spring steel wire.

After free fall, the displayed acceleration increases up to $40 \frac{m}{s^2}$, see Fig. 10. Spontaneously, many students explain it with the slowdown of the gondola including the seats and passengers. After a short discussion, all agree that the display shows the sum of the acceleration of the slowdown and the gravitational field, according to Eq. {10} or Figs. 8 and 9.

2.4. Equivalence principle

When the students are reminded that we want to investigate the physics of the accelerated observer, they realize that the display shows the acceleration \vec{a}_{own} of the accelerated observer in his own system. Accordingly, Eq. {10} is as follows:

$$\vec{a}_{down} = \vec{a}_{ext} - \vec{G}^* \quad \{13\}$$

In particular, if an observer is at free fall, then the acceleration in the own system is zero. Thus, the acceleration \vec{a}_{ext} observed in the system of the Earth (or of the field generating mass in general) is equal to the gravitational field:

$$\vec{a}_{ext} = \vec{G}^* \quad \{14\}$$

In a discussion, the students realize that this is a basic physical principle, as it exactly describes the motion caused by a gravitational field. That principle is called equivalence principle.

2.5. Principle of energy conservation

In addition to the equivalence principle, we use the principle of energy conservation. Usually, no student

asks whether that principle is applicable here. In order to provide a better overview, I proposed an analysis of the applicability of the principle of energy conservation.

Firstly, we realized that different energies are observed in different systems: For instance, if you ride a bicycle, then the kinetic energy is zero in your own system or frame. However, the kinetic energy is positive in the frame of an observer sitting at a bench nearby.

Secondly, we realized that the principle of energy conservation holds for a process taking place in a constant gravitational field: For instance, if you fall at your seat in the gondola of a free fall tower, then the height and the kinetic energy are both zero in your own frame. In contrast, the kinetic energy E_{kin} increases and the height as well as the potential energy E_{pot} decrease as a function of time in the frame of an observer sitting at a bench near the tower. Thereby, the absolute values of the changes ΔE_{kin} and ΔE_{pot} are equal:

$$\Delta E_{kin} = |\Delta E_{pot}| \quad \{15\}$$

Accordingly, the principle of energy conservation holds in both systems.

However, if the gravitational field would be switched off at the end of the process of acceleration, then the kinetic energy would still be positive, whereas the potential energy would be zero. Thus, the principle of energy conservation would not hold in the system at the bench. Of course, the gravitational field is constant, and as a consequence, the principle of energy conservation holds.

The students are informed: In each system that is invariant as a function of time, the principle of energy conservation holds. Emmy Noether (1918) derived this result in general.

2.6. Derivation of the exact energy function

In an interactive process, we analysed the energy of a mass m_0 that is at free fall in the gravitational field of a mass M and that has the velocity $v = 0$ in the radius r_∞ describing the limit $r \rightarrow \infty$, see Eq. {9}:

$$E(r_\infty, v) = m_0 \cdot c^2 \quad \{16\}$$

During free fall, v increases, so the energy is multiplied by Lorentz factor in {2}. According to Energy conservation, the Lorentz factor is compensated by a position factor $\varepsilon(r)$, so that the product of both factors is one:

$$1 = \gamma(v) \cdot \varepsilon(r) \quad \{17\}$$

We apply the derivative and the chain rule:

$$0 = \frac{d}{dr} (\gamma(v(r)) \cdot \varepsilon(r)) = \frac{d\gamma}{dv} \cdot \frac{dv}{dr} \cdot \varepsilon + \gamma \cdot \frac{d\varepsilon}{dr} \quad \{18\}$$

The two above factors of the position factor are evaluated with help of the chain rule:

$$\frac{dv}{dr} = \frac{dv}{dt} \cdot \frac{dt}{dr} = \frac{a}{v} \quad \& \quad \frac{d\gamma}{dv} = \gamma^3 \frac{v}{c^2} \quad \{19\}$$

The derivatives in Eq. {19} are inserted in Eq. {18} (representing energy conservation):

$$\gamma^3 \frac{v}{c^2} \cdot \frac{a}{v} \cdot \varepsilon + \gamma \cdot \frac{d\varepsilon}{dr} = 0 \quad \{20\}$$

In order to derive a differential equation, we solve for the derivative of the position factor. Hereby, we apply energy conservation in Eq. {17}:

$$\frac{d\varepsilon}{dr} = \varepsilon'(r) = -\frac{a}{c^2} \cdot \frac{1}{\varepsilon(r)} \quad \{21\}$$

In order to relate the position factor to the gravitational field, we apply the equivalence principle. Hereby we remind that we did not explicate the sign of the acceleration:

$$\varepsilon'(r) = -\frac{|G^*|}{c^2} \cdot \frac{1}{\varepsilon(r)} = -\frac{GM}{c^2 \cdot r^2} \cdot \frac{1}{\varepsilon(r)} \quad \{22\}$$

We abbreviate the mass M with help of the Schwarzschild radius:

$$R_S = \frac{2GM}{c^2} \quad \{23\}$$

With it, the differential equation is as follows:

$$\varepsilon'(r) = -\frac{R_S}{2 \cdot r^2} \cdot \frac{1}{\varepsilon(r)} \quad \{24\}$$

In order to obtain a solution, we make an Ansatz:

$$\varepsilon(r) = \sqrt{1 - \frac{R_S}{r}} \quad \{25\}$$

We confirm the Ansatz by inserting it into the differential equation {25} and into the boundary condition Eq. {16}. Altogether the energy of the falling mass is as follows:

$$E(r, v) = m_0 c^2 \cdot \frac{\sqrt{1 - \frac{R_S}{r}}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad \{26\}$$

2.7. Classical approximation of the exact energy

In order to compare the exact energy in Eq. {26} with the classical energy, the students realized that the ratios $\frac{R_S}{r}$ and $\frac{v^2}{c^2}$ are very small compared to one in a classical system. Accordingly, they expressed the Lorentz factor as a function of $\frac{v^2}{c^2}$ by the tangent. The tangent describes the linear order and is marked by a dot above the equality sign:

$$\gamma\left(\frac{v}{c}\right) = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \doteq 1 + \frac{1}{2} \frac{v^2}{c^2} \quad \{27\}$$

Similarly, the students derive the position factor in linear order:

$$\varepsilon\left(\frac{R_S}{r}\right) = \sqrt{1 - \frac{R_S}{r}} \doteq 1 - \frac{1}{2} \frac{R_S}{r} \quad \{28\}$$

Thus, the exact energy is expressed in linear order as follows:

$$E(r, v) \doteq m_0 c^2 \cdot \left(1 + \frac{1}{2} \frac{v^2}{c^2} - \frac{1}{2} \frac{R_S}{r}\right) \quad \{29\}$$

We applied the distributive law and the abbreviation in Eq. {23}:

$$E(r, v) \doteq m_0 c^2 + \frac{1}{2} m_0 v^2 - \frac{G \cdot M \cdot m_0}{r} \quad \{30\}$$

In this term, the students identified the classical kinetic energy

$$E_{kin} \doteq \frac{1}{2} m_0 v^2, \quad \{31\}$$

The classical potential energy

$$E_{pot} \doteq -\frac{G \cdot M \cdot m_0}{r} \quad \{32\}$$

And the relativistic energy of a mass m_0 :

$$E_0 = m_0 c^2 \quad \{33\}$$

2.8. Derivation of the Schwarzschild metric

The students derived the Schwarzschild metric in the form of the line element ds^2 , see Eq. {8}. For it, they used the line element describing the effect of the velocity, see Eq. {17}. In free fall, the Lorentz factor is equal to the inverse position factor, according to the law of energy conservation in Eq. {17}. So the effect of the velocity can be transformed to the effect of the position:

$$ds^2 = -c^2 dt^2 \varepsilon^2 + \frac{dx^2}{\varepsilon^2} + dy^2 + dz^2 = 0 \quad \{34\}$$

This line element describes the falling mass at the radius r for the case that the velocity has been slowed down to zero. In principle, the above Eq. represents the Schwarzschild metric, see e. g. Schwarzschild (1916) or Hobson (2006). In the usual form, spherical polar coordinates are used:

$$dy^2 + dz^2 = r^2 d\theta^2 + r^2 \cdot \sin^2(\theta) \cdot d\phi \quad \{35\}$$

Additionally, usually, the position factor is replaced according to its definition:

$$ds^2 = -c^2 dt^2 \cdot \left(1 - \frac{R_S}{r}\right) + \frac{dr^2}{1 - \frac{R_S}{r}} + r^2 d\theta^2 + r^2 \cdot \sin^2(\theta) \cdot d\phi \quad \{36\}$$

2.9. Applications of the Schwarzschild metric

The students applied the Schwarzschild metric in order to explain the gravitational lens in Fig. 1. For details see Carmesin (2018a,b) or Burisch et al. (2022, p. 488). Moreover, they used that metric in order to explain the black hole, Burisch et al. (2022, p. 489). Additionally, the students explained autonomous cars with help of the derived general relativity, see Burisch et al. (2022, p. 489). Furthermore, the learners used the concepts of general relativity in order to derive results about the expansion of space since the Big Bang, see e. g. Burisch et al. (2022, p. 492-502) or Carmesin et al. (2020, pp. 296-302). Additionally, the students applied the concepts of general relativity to gravitational waves, see e. g. Burisch et al. (2022, p. 518-519) or Carmesin (2017).

3. Didactic analysis

The approach to relativity presented above is based on the following didactic steps:

3.1. Didactic steps in special relativity

In a first didactic step, the students discover the invariance of the velocity of light. For it, they use the light curve (Fig. 3) of the star W Ursae Majoris (Fig. 2), obtained by students in the school observatory. Thereby, the cognitive conflict with the Galileo transformation in everyday life is elaborated. Hereby, the students realize that the invariance is a completely new and fundamental principle. The used learning material has the advantage, that students can obtain that result by observation on their own, in principle. Moreover, the used light emitted by a binary star can be extended to a thought experiment that provides the invariance of the velocity of light, see Carmesin (2022). There is no mathematics used here, so the technical learning barrier is very low. Furthermore, the students can obtain the hypothetic light curve corresponding to the basic Galileo transformation by a computer simulation, see Carmesin (2006).

In a second didactic step, the students derive the time dilation and the Lorentz factor. Mathematically, only the theorem of Pythagoras is used. So the technical learning barrier is very low. Hereby, the students realize that the usual assumption of everyday life and of Newton (section 1) of constant rate of increase of time is invalid in general. Usually, this is very inspiring to the students. This effect can be made very transparent with help of the twin paradox, see e. g. Burisch et al. (2022, p. 478-479) or Carmesin (2016).

In a third didactic step, the light-travel distance is used in order to derive the Lorentz contraction. Mathematically, only the third binomial formula is used. So the technical learning barrier is very low. The result is very inspiring, as it shows that space and time are combined to spacetime.

In the didactic step four, a light flash is used in order to develop the line element ds^2 . Mathematically, only the theorem of Pythagoras is used. So the technical learning barrier is very low. The result is very propädeutic, as it is extended to a representation of the Schwarzschild metric in section 2.8.

In a fifth didactic step, the relativistic energy is derived from the time dilation, see Eq. {9}. Mathematically, this derivation requires an integration, see Burisch et al. (2022, pp. 480-483). Alternatively, the relativistic energy can be obtained from observation, see Carmesin et al. (2020 p. 49). Hereby, the mathematical and the conceptual learning barrier are both very low.

3.2. Didactic steps in general relativity

In the didactic step six, the concept of the investigation of acceleration in general relativity and the use of the acceleration sensor are elaborated. The developed ideas are very inspiring, and there is no mathematical learning barrier.

In the seventh didactic step, the equivalence principle is obtained by observation at the free fall tower. The students like that experiment very much, as they can

experience and measure the state of free fall. The analysis of the data (Fig. 10) is very elucidating, and the concept of zero gravity at free fall is very surprising and inspiring to most students. Moreover, the learners realize that the equivalence principle is very powerful, as it combines gravity and motion in a precise and clear manner.

In didactic step eight, the conditions of the principle of energy conservation are analysed. This didactic step can be omitted, as most learners have no doubts about that concept.

In didactic step nine, the exact energy function is derived. Hereby, several derivatives have to be evaluated, including a test of an Ansatz by inserting into a derived differential equation. So the mathematics of differentiation is required. In comparison to the usually used mathematic of differential geometry, the proposed learning process has a very low learning barrier. The result is fully exact. Thus, this didactic step is regarded as highly efficient.

In a tenth didactic step, the classical energy is derived. For it, a linear approximation or the functional term of a tangent is elaborated. Thus, the mathematics of differentiation is required. In principle, that step could be omitted, as it is not used in the following. However, the students like that step very much, as it connects the new exact energy to the well-known classical energy. According to Hattie (2009), the learning efficiency is very high (1.48), as new and previous knowledge are connected in the field of science.

In didactic step eleven, the Schwarzschild metric is derived. The result is very inspiring, as it provides new insights in connects the Schwarzschild metric with the Minkowski metric, formally. Thus, this step has a very high learning efficiency according to Hattie (2009). Moreover, the achieved result is exact.

As this result is usually derived via the Einstein field equation in four-dimensional spacetime by using differential geometry, see e. g. Hobson (2006), the present learning process is especially efficient, as the exact result is obtained by a complete and one-dimensional analysis based on the mathematics of calculating derivatives only. This step provides the essential result, and it makes possible many applications, see section 2.9.

4. Experiences with teaching

I used this derivation of the Schwarzschild metric in several courses in the framework of a research club. Moreover I used it in several courses in general studies at the university.

In all groups, we used the results obtained by observation of the light curve and of the gravitational lensing, see Figs. (1-3). Only in few groups, we made the photos. The understanding of the principle of invariance of the velocity of light and the concept of gravitational lensing was good in all courses. Thus, the astronomical observation makes the learning

process more intensive, but the observation by students is not necessary.

In all groups, we used the results obtained at the free fall tower. In most groups, we did not make the excursion. The understanding of the equivalence principle was good in all courses. Thus, the excursion makes the learning process more intensive, but it is not necessary.

All didactic steps have been achieved by all groups in a good manner, though the heights of the learning barriers are very different. This is achieved by adapting the amount of instruction to the respective learning barrier.

Altogether, all learning groups achieved the full insight to the Schwarzschild metric and to many of its applications. Thus, the present learning process provides full and exact participation of learners in an essential part of modern physics of spacetime. Thereby, the learners experience their own competence in an especially intensive manner, as they can elaborate and explain all steps (after an appropriate phase of instruction) on their own.

5. Discussion

Spacetime is very interesting to many students, as space and time are very fundamental concepts. Moreover, both concepts are used in everyday life.

Here, a learning process is presented that provides a high level of participation and competence. For it, all insights are achieved by the learners on their own, after an appropriate phase of instruction. Moreover, all results are derived from first principles in an exact manner. So, the new results are fully connected with previous knowledge, and a high learning efficiency is achieved, see Hattie (2009). Furthermore, the learners are enabled to participate in a discussion of the methods, results and applications at a high level. Additionally, learners obtain intensive experiences by making astronomical observations on their own and by experiencing free fall and the corresponding equivalence principle at the free fall tower. In this manner, learners experience their own competence and develop their self-esteem.

I tested the full learning process in several learning groups several times. I showed that the learning barriers are especially low, but the results are exact, very inspiring and elucidating as well as rich in content. The learning process is very robust and transparent. I provide a description of the learning process that can be used directly for teaching.

As the free fall tower and the Heidepark in general provide interesting and exciting processes in classical and in relativistic physics (the equivalence principle, for instance), students can explore and discover essential results in both: in Newton's mechanics (Carmesin 2014a,b,c) and in relativity.

6. Literature

- Burisch, C. et al. (2022). *Universum Physik Gesamtband SII*. Berlin: Cornelsen Verlag.
- Carmesin, Hans-Otto (2006). *Entdeckungen im Physikunterricht durch Beobachtungen des Himmels*. PhyDid B.
- Carmesin, Hans-Otto (2016). *Mit dem Zwillingssparadoxon zur speziellen und allgemeinen Relativitätstheorie*. PhyDid B.
- Carmesin, Hans-Otto (2017). *Schülerinnen und Schüler entdecken Gravitationswellen mithilfe von Computerexperimenten*. PhyDid B, pp 11-18.
- Carmesin, Hans-Otto (2014a). *Trägheitskraft - eine spannende Brücke zwischen lebensweltlichen Sinesindrücken und der Newtonschen Mechanik*. MNU, 67/3, pp. 176-181.
- Carmesin, Hans-Otto (2014b). *Trägheitskraft - eine spannende Brücke zwischen lebensweltlichen Sinesindrücken und der Newtonschen Mechanik - ein Unterrichtsversuch I*. MNU, 67/5, pp. 282-288.
- Carmesin, Hans-Otto (2014b). *Trägheitskraft - eine spannende Brücke zwischen lebensweltlichen Sinesindrücken und der Newtonschen Mechanik - ein Unterrichtsversuch II*. MNU, 67/8, pp. 478-485.
- Carmesin, Hans-Otto (2018a). *Einstein in der Schule (Teil 1) Unterrichtskonzepte zur allgemeinen Relativitätstheorie*. *Astronomie und Raumfahrt im Unterricht*, 55(3/4), pp. 55-59.
- Carmesin, Hans-Otto (2018a). *Einstein in der Schule (Teil 2) Unterrichtskonzepte zur allgemeinen Relativitätstheorie*. *Astronomie und Raumfahrt im Unterricht*, 55(6), pp. 33-36.
- Carmesin, Hans-Otto et al. (2020): *Universum Physik, Qualifikationsphase, Niedersachsen*. Berlin: Cornelsen Verlag.
- Carmesin, Hans-Otto (2022a). *Quantum Physics Explained by Gravity and Relativity*. Berlin: Verlag Dr. Köster.
- Einstein, Albert (1905). *Zur Elektrodynamik bewegter Körper*. *Annalen der Physik*, 17, pp 891-921.
- Einstein, Albert (1915). *Die Feldgleichungen der Gravitation*. *Sitzungsberichte der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften*, pp 844-847.
- Hattie, John (2009). *Visible Learning*. London: Taylor and Francis Ltd.
- Hobson, M. P. and Efstathiou, G. P. and Lasenby, A. N. (2006). *General Relativity*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Newton, Isaac (1687). *Mathematical Principles of Natural Philosophy*. Translated into English by Andrew Motte. New York: Daniel Adee.
- Noether, Emmy (1918). *Invariante Variationsprobleme*. *Nachrichten der Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, Math-phys. Klasse*, pp 235-257.
- Schwarzschild, K. (1916). *Über das Gravitationsfeld eines Massenpunktes nach der Einstein'schen*

Theorie. Sitzungsberichte der Deutschen Akademie der Wissenschaften, pp 186-196.

Acknowledgement

I am very grateful to I. Carmesin for many interesting discussions and for proofreading the manuscript. I am also grateful to Matthias Carmesin for interesting discussions.

Students Exactly Derive Quantization and its Universality

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

Abstract

The development of renewable energy is essential for the future of our economy, society and climate. Hereby, photovoltaics has an enormous potential. Is it possible to improve its efficiency? In order to find an answer, students make a model experiment with light absorbed by LEDs. Thereby, they discover the Planck constant. With it, they propose multi junction photovoltaic cells providing a significantly increased efficiency. Moreover, students find the same Planck constant in a diffraction experiment with electrons. Apparently, the Planck constant is a universal constant. Why is the Planck constant universal? In order to find an answer, students use the concepts of classical light waves and relativity. Thereby, they derive the fact of quantization as well as the universality of the quantization constant. Here, I present a learning process, by which learners can achieve essential insights about photovoltaics and quantum physics in an exact manner. Thereby, students find essential questions directly by experiments. Using basic principles of physics, they achieve inspiring and exact results on their own, after an appropriate instruction. I present the learning process and a didactic analysis, so that you can directly use the concept for teaching. I tested the learning process in various learning groups, and I report about experiences.

1. Introduction

Present-day students show a clear tendency to become responsible for the energetic future of our planet. For instance, many students participate in Fridays for Future activities, see e. g. Zitterbarth (2021). Indeed, the use of renewable energies becomes urgent, in order to slow down and stop the anthropogenic climate change, see e. g. IPCC (2012, p. 170) or Arrhenius (1896). Thereby, photovoltaics has an enormous potential, see e. g. Federal Environment Agency (2010, p. 11). However, that potential is hardly developed nowadays, see e. g. Busch et al. (2022, p. 33). Accordingly, in advanced physics courses in classes 11-13, students like to find answers to the following question: Is it possible to improve the efficiency of photovoltaics?

In order to find answers to that question, the students expose an LED to light and measure the voltage generated by the LED, see e. g. Carmesin et al. (2020, pp 258-263). For instance, in Fig. 1 a blue LED is exposed to the light of a pocket lamp. Thereby, a green LED is connected and begins to shine, see pin 20. Moreover, two crocodile clips are attached to the pins of the blue LED and to a voltmeter. It shows that the blue LED generates a voltage of 2.137 V in this experiment. In a series of experiments, the students investigate the generated voltage U or energy $E_{El} = U \cdot e$ of an electron that absorbed the light, as a function of the frequency f of the LED. Thereby, they discover that the energy is proportional to the frequency, with a factor h of the proportionality:

$$E_{El} = f \cdot h \quad \{1\}$$

They measure the following factor:

$$h = 6.8 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \quad \{2\}$$

The learners are told that this factor is called Planck constant $h = 6.62607015 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$.

1.1. Organization of the paper

I propose our learning process in section 2. In part 3, I provide a didactic analysis. Experiences with teaching are presented in part 4. We discuss our findings in section 5.



Fig.1: Students expose a blue LED to the light of a pocket lamp. The LED transforms the energy of the light into electric energy. With it, the connected green LED at pin 20 begins to shine. Moreover, the students attach two crocodile clips to the pins of the blue LED and to a Voltmeter. So they find out that the LED generates 2.137 V.

2. Learning process

The learning process is based on meaningful contexts, see e. g. Muckenfuß (1995).

2.1. Climate change and renewable energy

Initially, we use an actual message about the climate change, in order to remind that our climate is rapidly changed by the exhausted green-house gases, mainly carbon dioxide, see e. g. Carmesin et al. (2023a, pp 182-201). As a main solution, the students propose the use of renewable energies. Moreover, they propose and confirm that photovoltaics have the largest potential among the renewables, see e. g. Federal Environment Agency (2010, p. 11). Hereby, they realize that only a small percentage of the area in Germany is sufficient to provide our energy, see e. g. Carmesin et al. (2016, pp 34-37). Of course, it is always interesting to increase the efficiency of photovoltaics, as the whole world should change to renewable energies, see e. g. Federal Foreign Office (2016, p. 20). Accordingly, we ask the question: How can the efficiency of photovoltaics be improved.

2.2. Improving photovoltaics

In order to find an answer to this question, the students interpret Eq. {1}: That equation shows that the electron absorbs quanta of energy. Thereby, absorbed quanta depend of the frequency of light. Accordingly, light at a frequency f consists of quanta, called photon, with the following energy:

$$E_{\text{photon}} = f \cdot h \quad \{3\}$$

Of course, that interpretation is confirmed with additional experiments, see e. g. Carmesin et al. (2020).

With that interpretation, they realize that sunlight consists of several colours or wavelengths or frequencies. But an LED absorbs only a small interval (or energy-band) of frequencies or energies. Thus, the sunlight should be exposed to a stack of absorbing layers. Thus, they propose multi-junction cells. In fact, such cells achieve efficiencies of ca. 50 %. For details about this learning process, see Carmesin et al. (2012). After we realized that the energy of photons can be used efficiently, we asked: Can the momentum of a photon be used, for a repulsion, for instance.

2.3. Momentum of a photon

For it, the students use the relativistic energy

$$E = m \cdot c^2 \quad \{4\}$$

of electrons with a velocity v . The relation has been discovered earlier at a very low learning barrier, see e. g. Carmesin et al. (2020, p. 49):

$$\gamma^2 E^2 = E^2 - E^2 \cdot \frac{v^2}{c^2} = m_0^2 c^4 \quad \{5\}$$

Using Eq. {4} and the momentum $p = m \cdot v$, the learners derive:

$$E^2 = m^2 c^4 \cdot \frac{v^2}{c^2} + m_0^2 c^4 = p^2 \cdot c^2 + m_0^2 c^4 \quad \{6\}$$

As a photon has no rest mass m_0 , the learners discover the energy momentum relation of photons:

$$E = p \cdot c \quad \{7\}$$

With it and Eq. {3}, the students discover the momentum of a photon:

$$h \cdot f = p \cdot c \quad \{8\}$$

or

$$p = \frac{h}{\lambda} \quad \{9\}$$

2.4. Momentum of an electron

In order to investigate the behaviour of electrons in an electron microscope, see e. g. Carmesin et al. (2020, pp 242-247) or in an LED, see e. g. Burisch et al. (2022, pp 452-457), the learners execute an experiment with diffraction of electrons, see Fig. 2. Hereby, they discover that the momentum of electrons also fulfils Eq. {9}. Apparently, the Planck constant is not related to a particular material or object. Thus, the Planck constant seems to be a universal constant. In a parallel research club, we ask: Why is the Planck constant universal?

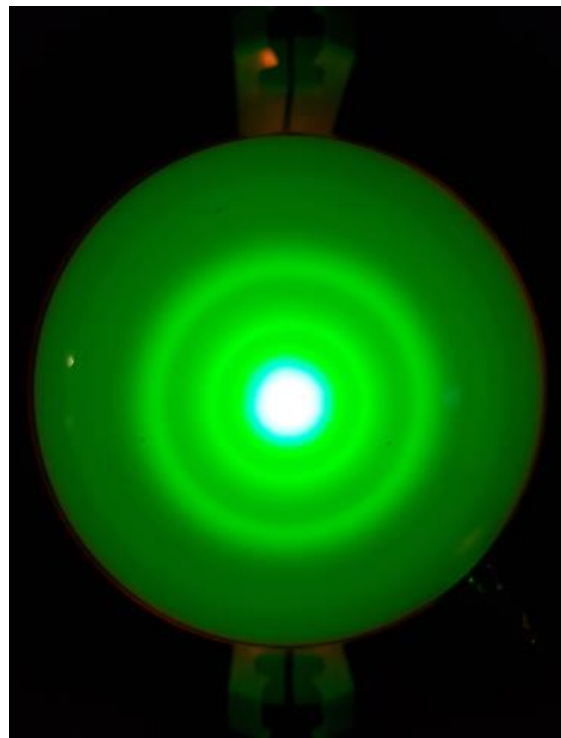


Fig.2: Students observe a diffraction pattern of electrons diffracted at polycrystalline graphite.

2.5. Quantization ratio

In order to investigate quantization, we reminded that we can already describe a monochromatic signal of light in terms of energy and momentum in Eq. {7} and in terms of the frequency and wavelength in Eqs. {1} and {9}. In order to combine both descriptions in a robust manner, we solved the relations for a common universal constant, the velocity of light:

$$\frac{E}{p} = c = \frac{f}{\lambda} = \frac{\omega}{k} \quad \{10\}$$

Hereby, k is the wavenumber, $\omega = 2\pi \cdot f$ is the circular frequency or angular velocity, and we use the

absolute value p of the momentum. As the circular frequency is not zero, we can divide by ω . Additionally, we multiply by the momentum. Thus, the students use Eq. {10} in order to derive the following ratio:

$$\frac{E}{\omega} = \frac{p}{k} = K(\omega) \quad \{11\}$$

Hereby, the ratio $K(\omega)$ provides the relation between energy and frequency or circular frequency. Thus, that ratio is similar to the quantization constant in Eq. {1}. Accordingly, we call the ratio $K(\omega)$ quantization ratio. In order to investigate that similarity, we considered a possible minimal portion $E_{min,\omega}$ of energy of a monochromatic signal with circular frequency ω . As we did not use the amount of energy in our derivation, Eq. {11} holds for the minimal energy as well:

$$\frac{E_{min,\omega}}{\omega} = \frac{p_{min,\omega}}{k} = K(\omega) \quad \{12\}$$

Thus, the quantization ratio describes possible minimal portions of energy, but we do not yet know, whether that ratio is the same for each circular frequency ω . Thus, we asked: Is the quantization ratio $K(\omega)$ independent of ω ? In order to find an answer, we investigated the gravitational redshift, see e. g. Pound (1960) or Burish et al. (2022, p. 487) at a free fall tower.

2.6. Objects at free fall

In order to derive the universality of quantization, the students of the research club remind that a physical object such as a photon can be investigated at free fall. For the case of a probe mass m_0 at free fall, the energy function as follows, see Carmesin (2023b):

$$E(r, v) = m_0 c^2 \cdot \sqrt{1 - \frac{R_S}{r}} / \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad \{13\}$$

Hereby, v is the velocity, and r is the distance from the probe mass to the field generating mass M . Moreover, the factor $\sqrt{1 - \frac{R_S}{r}}$ is a universal position factor $\varepsilon_E(r)$, see Carmesin (2023b):

$$E(r, v) = m_0 c^2 \cdot \varepsilon_E(r) / \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad \text{with} \quad \{14\}$$

$$\varepsilon_E(r) = \sqrt{1 - \frac{R_S}{r}} \quad \{15\}$$

The students realized: In order to apply Eq. {13} to a photon, the relation must be generalized to an object with zero rest mass. For it, we generalized the factors in Eq. {13} according to their energetic content.

2.7. Available energy

When the mass m_0 is at free fall, then the potential energy is transformed to kinetic energy. At a radial coordinate r , the rest energy multiplied by the Lorentz factor is available for a transformation into another energy, we call that factor available energy:

$$E_{av}(r, v) = m_0 c^2 / \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = \frac{E(r, v)}{\varepsilon_E(r)} = \frac{m_0 c^2}{\varepsilon_E(r)} \quad \{16\}$$

The students obtain the relations in Eq. {16} from Eqs. {13-15} and from the principle of energy conservation. In the case of a general object, a signal of monochromatic light, for instance, the energy $m_0 c^2$ in the limit r to infinity is replaced by E_∞ :

$$E_{av}(r) = \frac{E_\infty}{\varepsilon_E(r)} \quad \{17\}$$

2.8. Light signal at free fall

In order to show that the quantization ratio $K(\omega)$ does not depend on ω , we consider to arbitrary circular frequencies ω_1 and ω_2 , and we derive the relation of the corresponding quantization ratios $K(\omega_1)$ and $K(\omega_2)$.

As the light signal can be at each radius r , we analyse the signal with the circular frequencies ω_1 at the limit r to infinity. Hereby, we mark a physical quantity q in that limit by q_∞ :

$$\omega_1 = \omega_\infty \quad \{18\}$$

In the Schwarzschild metric, the gravitational time dilation can be applied to increments dt and to periodic times T as follows, see Carmesin (2023b) or Burisch et al. (2022, pp 484-489):

$$\varepsilon_E(r) = \frac{dt(r)}{dt_\infty} = \frac{T(r)}{T_\infty} = \frac{\omega_\infty}{\omega(r)} = \frac{\omega_\infty}{\omega_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2} \quad \{19\}$$

With it, the students derive energy and the available (or measurable) energy of the light signal during free fall, see Eqs. {12} and {17}:

$$E_\infty = K_\infty \omega_\infty \quad \{20\}$$

$$K(\omega_2) \omega_2 = E_{av}(r) = \frac{E_\infty}{\varepsilon_E(r)} = \frac{K_\infty \omega_\infty}{\frac{\omega_\infty}{\omega_2}} = K_\infty \omega_2 \quad \{21\}$$

The learners divide the above Eq. by ω_2 :

$$K(\omega_2) = K_\infty = K(\omega_1) \quad \{22\}$$

With it, the students realize that the quantization ratio does not depend on the circular frequency. Using the basic relations in Eq. {10}, the learners argue that the quantization constant does not depend on the wavelength or the wave number k or the momentum $p_{min,\omega}$. As there are no other possible dependencies in the definition of the quantization ratio in Eq. {12}, the quantization ratio is a universal quantity. Its value has been measured, see section 1.

3. Didactic analysis

The approach to quantization presented above is based on the following didactic steps:

3.1. Didactic Steps in developed quantum physics

In a first didactic step, the students realize that the anthropogenic climate change is an urgent global problem of mankind. By investigating technical facts, they identify renewable energy as a possible solution to the problem. Hereby, photovoltaic systems have the largest potential. This step is very motivating, and there is no high learning barrier.

In a second didactic step, the students realize that the implementation of renewable energy is a global

problem, and for it, an increase of efficiency can be especially helpful, since some societies cannot afford large amounts of money for renewable energy. This step broadens the mind of the students, as the German or European perspective are insufficient, and as expensive solutions are not appropriate, as a consequence. This step has no high learning barrier.

In a third didactic step, the learners investigate photovoltaics with a model experiment with LEDs. Hereby, they discover the proportionality of electric energy and frequency of the LED, and they determine the corresponding constant, the Planck constant. Moreover, they interpret their finding, whereby they achieve the concept of quantization of light and of the photon. The learning material of the LED is very efficient:

- It is an everyday life device.
- It is available for many experiments in the learning group
- It provides relatively precise results, if LEDs with sufficiently high power are used.
- It is not dangerous, as the LEDs do not emit light, or they emit light at a very low intensity, see Fig. 1.
- It provides the Planck constant.
- Its interpretation provides the concept of quantization of light.

The learning barrier is intermediate in the measurements and in the evaluation. The barrier is large in the interpretation. Thus, additional experiments confirm the interpretation, see e. g. Carmesin (2020, pp 254-263).

In the didactic step four, the students propose multijunction photovoltaic cells consisting of several layers absorbing light at different energies. With it, the efficiency of photovoltaics is increased significantly, see Carmesin et al. (2012).

In a fifth didactic step, the learners analyse the momentum of photons, see Eq. {9}. Hereby, the mathematical learning barrier is low, as few equivalence transformations of known equations are used only. However, the learning barrier of the productive combination of known relations in relativity and quantum physics is high. Accordingly, the learning process should be planned and discussed with the students.

In the didactic step six, the students investigate electron microscopes with help of a model experiment with electron diffraction. Hereby, usually, only one experiment is available, so that the experiment is executed in the plenum, not in groups. The result is very inspiring, as matter waves are discovered. Thereby, the same constant of quantization and the same relation of momentum and wavelength are discovered. Accordingly, an essential learning barrier is the limited knowledge about the nature of the wave function. This is partially overcome within the course with help of the stochastic interpretation, the uncertainty relation and entanglement, see e. g. Carmesin (2020, pp

264-289). More fundamental results about the nature of the wave function are provided in Carmesin (2022a, 2022b, 2022c, 2023c). Hereby, the following question arises: Why is the quantization ratio the same in different fields of nature or physics? The fact of this universality of the quantization constant has to be obtained according to the official curriculum, see Bresser et al. (2022, pp 40-42).

3.2. Didactic steps in universal quantization

The above question is treated in a research club by the following didactic steps:

In the seventh didactic step, the learners derive the quantization constant for the case of a monochromatic light signal. Hereby, they obtain the exact result. For it, they directly combine their knowledge about a monochromatic light signal in Eq. {10}. They execute a simple equivalent transformation in order to derive the exact quantization in Eq. {11}. It is conceptually simple, to use that ratio for the most interesting case of a possible minimal energy of the signal in Eq. {12}. By comparing the result with the Planck constant in Eq. {1}, the learners ask the following question: Why does the quantization constant not depend on the circular frequency? In this step, all technical, learning barriers are very low. Thus, there is a lot of time for the discussion of the results. The students like such discussions, and the learners are fully enabled to execute discussions at a high level, as they have a full overview of the transparent and complete derivations.

In didactic step eight, in order to find an answer to the above question, the learners analyse the light signal and its circular frequency at a free fall tower. For it, the concept of the available energy is introduced, see Eq. {17}. That concept is simple, it can be derived from the well-known behaviour of a mass at a free fall tower (Eq. {13}), it is transparent, and it is confirmed by the observation of the gravitational redshift, for instance. Thus, this didactic step has a low learning barrier.

In didactic step nine, the learners compare the energy and available energy of an object at free fall. With it, they derive the universality of the quantization constant, see section 2.8. Hereby, the mathematical barrier consists of simple equivalence transformations of equations only, so it is low. The derivation is guided by the idea of comparison. In order to lower the learning barrier, a plan for the comparison is developed in the plenum. In this manner, an appropriate learning barrier is achieved.

4. Experiences with teaching

I report about experiences in classes 11-13 in physics, in classes 8-13 in a research club and in general studies courses at the university.

4.1. Experiences in developed quantum physics

I used the development of the quantization in the didactic steps 1-6 in several courses in physics in

classes 11-13 at the high school. The used contexts are very motivating. In addition, the contexts decrease the cognitive learning barrier, as the students can use competences about everyday life. The students achieved good results in the written examinations within the semesters and in the final examinations.

4.2. Experiences in derived universal quantization

I used the derivation of the universal quantization in the didactic steps 7-9 in a research club with students of classes 8-13. Additionally, I used these didactic steps 7-9 in several courses in general studies at the university.

The results of all three didactic steps have been achieved by all learning groups in a good manner. This good performance was supported by the fact that all three didactic steps have a low mathematical learning barrier. Moreover, the learners benefited from the fact that all derivations provide exact results only. In this manner, no cognitive load was caused by any approximation. Furthermore the students had the advantage that no hypothetical result was used at all. Consequently, no cognitive load is caused by any hypothetical consideration, that always should be treated in an especially careful manner. As unnecessary cognitive load is avoided, the students can focus their full attention to the essential physical arguments and achieved insights. Thereby, the remaining cognitive learning barriers are minimized. These remaining learning barriers are treated with an early phase of common planning, a phase of derivation or problem solving with an appropriate amount of instruction and a phase of common discussion of the results.

4.3. Experiences in all didactic steps 1-9

The proposed and tested learning process provides full participation of learners in experimental foundations, essential applications and the exact derivation of universal quantization. Thereby, the learners experience their own competence in an especially intensive manner, as they can explain all steps (after appropriate phases of planning, instruction, problem solving and discussion) on their own.

5. Discussion

Climate change, renewable energies, quantum physics and exact derivations of universal quantization are very interesting to many students. Thereby, quanta are essential for photovoltaics, and many objects consist of quanta. For instance, light, electrons, atoms and molecules consist of quanta.

Here, a learning process is presented that provides a high relevance to climate change and renewable energies and a level of participation and competence. For it, all insights are achieved by the learners on their own, after appropriate phases of planning, instruction and problem solving, as well as discussion. In this manner, learners experience their own competence and develop their self-esteem.

Moreover, all results are derived from clear experiments or from first principles in an exact manner. So, all new results are fully connected with contexts and with previous knowledge, so that a high learning efficiency is achieved, see Hattie (2009).

I tested the full learning process in several learning groups ranging from classes 8-13 and to general studies courses at the university. I showed that the learning barriers and cognitive loads are especially low for several reasons:

- Low mathematical barriers
- No hypothetical results
- No approximation

Altogether, the learners achieve various essential insights in a context based and founded manner:

- Climate change is an urgent global problem of mankind.
- Renewable energies can solve this problem.
- Photovoltaics provide the largest potential in renewable energies.
- The efficiency of photovoltaics can be improved with help of quanta.
- The constant of quantization is universal.
- The fact and universality of quantization can be derived from classical light waves, special relativity of energy and gravitational time dilation in an exact manner.

6. Literature

- Arrhenius, Svante (1896). On the Influence of Carbonic Acid in the Air upon the Temperature of the. Philosophical Magazine and Journal of Science Series 5, Vol 41, pp 237-276.
- Bresser, Klaus et al. (2022). Kerncurriculum für das Gymnasium – gymnasiale Oberstufe die Gesamtschule – gymnasiale Oberstufe das Berufliche Gymnasium das Abendgymnasium das Kolleg - Physik. Hannover: Niedersächsischen Kultusministerium.
- Burisch, C. et al. (2022). Universum Physik Gesamtband SII. Berlin: Cornelsen Verlag.
- Busch, van den, Uwe et al. (2022). Energiewende in Hessen: Monitoringbericht 2022. Wiesbaden: Hessisches Statistisches Landesamt.
- Carmesin, Hans-Otto; Martens, Klaus and Rösler, Karl (2012). Fotovoltaik im Unterricht - Dreifacher Wirkungsgrad - eine Revolution in der Solartechnik? MNU, 65/6, pp 340-348.
- Carmesin, Hans-Otto et al. (2016). Universum Physik 7/8 Niedersachsen. Berlin: Cornelsen.
- Carmesin, Hans-Otto et al. (2020): Universum Physik, Qualifikationsphase, Niedersachsen. Berlin: Cornelsen Verlag.
- Carmesin, Hans-Otto (2022a). Quantum Physics Explained by Gravity and Relativity. Berlin: Verlag Dr. Köster.

- Carmesin, Hans-Otto (2022b). Explanation of Quantum Physics by Gravity and Relativity. *PhyDid B*, pp 425-438.
- Carmesin, Hans-Otto (2022c). Unification of Spacetime, Gravity and Quanta. Berlin: Verlag Dr. Köster.
- Carmesin, Hans-Otto et al. (2023a). *Universum Physik Sekundarstufe II Niedersachsen Einführungsphase*. Berlin: Cornelsen.
- Carmesin, Hans-Otto (2023b). Students discover the Schwarzschild metric at a free fall tower. *PhyDid B*.
- Carmesin, Hans-Otto (2023c). Geometric and Exact Unification of Spacetime, Gravity and Quanta. Berlin: Verlag Dr. Köster.
- IPCC (2012). *Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation: Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Federal Environment Agency (2010). *Energy Target 2050*. Dessau-Roßlau: Federal Environment Agency Germany.
- Federal Foreign Office (2016). *The German Energiewende*. Berlin: Federal Foreign Office.
- Hattie, John (2009). *Visible Learning*. London: Taylor and Francis Ltd.
- Muckenfuß, Heinz (1995). *Lernen im sinnstiftenden Kontext*. Berlin: Cornelsen
- Pound, R. V. and Rebka, G. A. (1960). Apparent weight of photons. *PRL*, 4, pp 337-341.
- Zitterbarth, Sarah (2021). *Fridays for Future in Latin America*. Berlin: Free University Berlin.

Acknowledgement

I am very grateful to I. Carmesin for many interesting discussions and for proofreading the manuscript. I am also grateful to Matthias Carmesin for interesting discussions.

Wie sieht eigentlich das Sonnensystem aus?

- Empirische Erhebung mentaler Modelle Lernender zu Objekten im Sonnensystem -

Maximilian Alexander Loch*, Malte S. Ubben*

*Institut für Didaktik der Physik, Wilhelm-Klemm-Str. 10, 48149 Münster

maximilian.loch@uni-muenster.de

malte.ubben@uni-muenster.de

Kurzfassung

Astronomie ist seit jeher ein interessantes Thema für Lernende. Doch nicht nur die Wissenschaft, sondern auch die Medien bieten eine Vielzahl von Darstellungen astronomischer Objekte. Durch die Medien werden diese oft aus dem Kontext gerissen, wodurch im Inhaltsfeld Astronomie in weiterführenden Schulen interessant wird, welche Vorstellungen und mentalen Modelle die Lernenden zu astronomischen Objekten im Sonnensystem aufgebaut haben. Um einen Einblick in die mentalen Modelle zur Darstellung unseres Sonnensystems zu erhalten, wurde in der hier vorgestellten Studie eine qualitative Erhebung von gezeichneten Darstellungen unseres Sonnensystems von verschiedenen Zielgruppen gesammelt und analysiert. Zusätzlich wurden zur Reflexion anregende Fragen gestellt, die mögliche Lücken bei der zeichnerischen Darstellung aufgreifen.

1. Einführung

In diesem Artikel wird eine Pilotstudie vorgestellt, die verwendet wird, um die Bildung mentaler Modelle in Bezug auf das Sonnensystem zu untersuchen. Da das Sonnensystem Bestand vieler Lehrpläne ist, ist es zweckdienlich, mehr darüber zu erfahren, wie Lernende Vorstellungen zu diesem komplexen Konzept aufbauen. Denn um effektive Lehrmaterialien und Unterrichtseinheiten zu erstellen, muss unter anderem das Vorwissen der Lernenden einbezogen werden [1].

Interessant sind vor allem die mentalen Repräsentationen, die die Lernenden für das Sonnensystem besitzen. Welche Verständnisse lassen sich aus diesen gewinnen und wie verändern sich diese mentalen Modelle möglicherweise über die Länge einer Astronomie Einheit? Und wie hängen die Modelle mit dem tatsächlichen Wissen der Lernenden zusammen?

2. Theoretische Hintergründe

Die Erforschung von mentalen Modellen Lernender kann Aufschluss darüber geben, inwieweit Konzeptwissen verankert ist [2]. Durch ein genaues Verständnis darüber, wie Lernendenvorstellungen sich entwickeln, können darüber hinaus Förder- und Forderansätze gezielt erstellt werden. Lernendenvorstellungen werden in diesem Artikel als interne Repräsentationen verstanden, mit denen Lernende ihre Ideen und Konzepte entwickeln. Dabei sind besonders zwei Aspekte der Repräsentationen interessant (vgl. [3]): Das Aussehen (Gestalt) und die damit kodierten Funktionen und Prinzipien (Funktionalität). Vor allem die Gestalt kann dabei durch Zeichnungen von Lernenden mit gewissen Einschränkungen (z.B. Zeichenfähigkeit oder Visualisierungsfähigkeit) erhoben

werden. Grundsätzliche explorative Fragestellungen sind somit:

- Welche Lernendenvorstellungen lassen sich in Bezug auf das Sonnensystem in verschiedenen Altersklassen finden?
- Wie lassen sich diese Vorstellungen typisieren?

3. Methodik

3.1. Studiendesign

Für die hier berichtete Pilotstudie wurden 4 Gruppen von Schülern von insgesamt zwei Gymnasien untersucht. Der größere Teil, mit zwei 6. Klassen und einer 9. Klasse, gehört dabei zu einem Gymnasium aus NRW. Der Rest der Daten kommt von einer Umwelt-AG einer Schule aus Niedersachsen. Die Umwelt-AG reicht dabei von Klasse 5 bis Klasse 12.

Insgesamt haben N=91 Lernende an der Studie teilgenommen. Zusätzlich zur Erhebung mittels der Zeichnungen werden diese Schülerinnen und Schüler auch an einer Intervention im Zuge eines Astronomie Projektes teilnehmen. Ein Posttest nach Durchführung des Projektes ist geplant.

Für die Studie wurden, unter anderem wegen der Intervention, Lernende ausgesucht, die auf der weiterführenden Schule noch keinen Unterricht zum gesamten Sonnensystem hatten. Die Studie wurde dabei im Physikbezug durchgeführt. Bei den drei Klassen des Gymnasiums aus NRW wurde diese im Physikunterricht vollzogen. Bei der AG aus Niedersachsen handelte es sich um eine physiknahe Umwelt-AG, die von einem Physiklehrer unterrichtet wird.

In beiden Fällen wurden die Fragebogeninstrumente vor der Durchführung von Astronomie-Unterricht im

Rahmen des „Aristarchus-Projektes“ von den Lernenden bearbeitet.

3.2. Das Fragebogeninstrument

Der Fragebogen, der den Lernenden vorgelegt wurde, befasste sich primär mit der Frage der Gestalt des Sonnensystems. Die Lernenden wurden in diesem darum gebeten das Sonnensystem mit verschiedenfarbigen Stiften nach ihrer Vorstellung zu zeichnen. Im Anschluss an diese primäre Frage wurden ein paar Fragen zur Verortung gestellt; beispielsweise ob alle gewünschten Farben vorhanden waren, oder welche Teile ihrer Zeichnung ihnen besonders gut gelungen sind. Es wurde ebenfalls gefragt, welche Aspekte die Testperson nicht zeichnerisch darstellen konnte, um eine Antwort hervorzurufen die eventuell auf ein Wissen über Aspekte wie die Bahninklinationen, den „dunklen“ Weltraum oder Bewegungen hinweisen.

4. Typisierung der Zeichnungen

Nach Sichtung der Zeichnungen wurden mittels induktiver Kategoriebildung verschiedene Gestalttypen bestimmt. Die Kategorien wurden durch mehrere Experten eingeordnet, dabei sind die Kategorien nicht zwangsweise disjunkt, sondern stellen häufige Muster dar. Folgend sind die häufigsten Gestalttypen beschrieben.

4.1. Erdfokus

Bei einigen wenigen Lernenden konnte ein starker Fokus auf die Erde und den Mond gefunden werden. Dieser kann durch eine stark prominente Platzierung der Erde, eine vergrößerte Darstellung, oder als alleinige Darstellung der Erde auftreten. Er ist in manchen Fällen auch gleichzeitig mit anderen Typen aufgetreten. In dem hier dargestellten Beispiel in Abbildung 1 (Klasse 6) ist sogar ein erdzentrisches Bild zu erkennen, bei dem Mond und Sonne um die Erde zu kreisen scheinen.

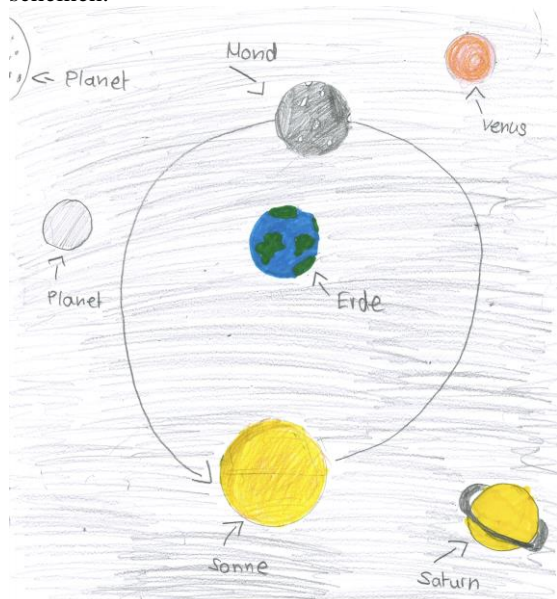


Abb.1: Beispielhafter Erdfokus mit Sonne und Mond. (Klasse 6)

4.2. Haufen

Der sogenannte Haufen stellt sich durch folgende Charakteristika dar:

- Einen Mangel an Ordnung oder Zugehörigkeit.
- Das Vorhandensein der meisten Planeten.
- Das Fehlen von Bahnen oder sonstigen Strukturen.

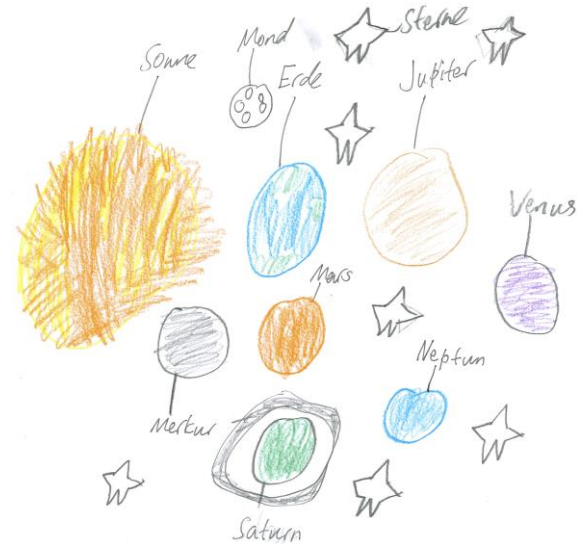


Abb.2: Beispielhafter "Haufen" ohne konkrete Ordnung. (Klasse 6)

Auffällig ist bei diesem Typ, dass die Lernenden, die diesen Modelltyp zeichnen, oft ein gutes Wissen über die Anzahl und die Namen der Planeten haben, diese jedoch in keine besondere Ordnung bringen. Weder werden die Planeten nach Größe, Typ oder Reihenfolge sortiert.

In manchen Fällen kommt es vor, dass die Sonne zwar in der Mitte gezeichnet wird, trotzdem aber keine konkrete Hierarchie erkennbar ist.

Vergleicht man diesen Typen mit dem Erdfokus, fällt auf, dass der Erdfokus immerhin eine Hierarchie und teilweise ein Verständnis von Bewegung besitzt, während ihm aber im Gegensatz zum Haufen meistens viele - wenn nicht sogar alle - andere Planeten fehlen. In Abbildung 2 ist zudem eine Zeichnung des Typs „Haufen“ abgebildet.

4.3. Gemeinsame Bahnen

Bei den gemeinsamen Bahnen sind folgende Faktoren entscheidend:

- Die meisten Planeten sind präsent.
- Die Planeten befinden sich alle auf Bahnen um die Sonne.
- Mehrere Planeten befinden sich auf einer Bahn.
- Teilweise können leichtere Strukturierungen wie die Unterteilung in innere und äußere Planeten erfolgen. (Abbildung 3)

Der Typ der gemeinsamen Bahnen scheint im Gegensatz zu dem Haufen-Typ den Beginn einer Ordnung zu zeigen.

Den Lernenden scheint bewusst zu sein, dass es irgendeine Art Bahn um die Sonne zu geben scheint. Fraglich ist hierbei, ob ohne das konkrete Einzeichnen von Pfeilen, oder eine schriftliche Beschreibung einer Bewegung, auch von dem Verständnis einer Bewegung um die Sonne gesprochen werden kann. Möglicherweise stellen sich die Lernenden auch einfach eine Art Ring um die Sonne vor auf dem die Planeten fixiert sind.

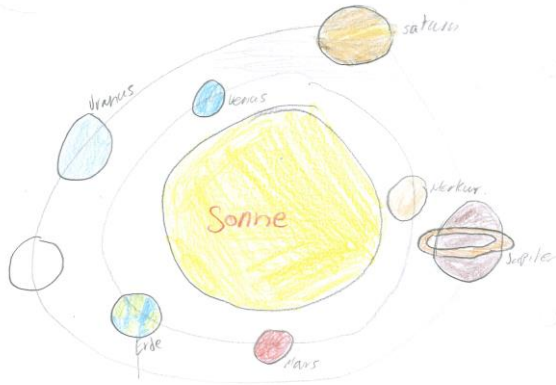


Abb.3: Beispiel der gemeinsamen Bahnen mit Unterteilung zwischen inneren und äußeren Planeten. (Klasse 6)

Im Beispiel der Abbildung 3 ist eine solche Bewegung weder zu erkennen noch von der Hand zu weisen. Interessant ist, dass die Lernenden dieses Modelltyps meistens eine Vielzahl von Planeten kennen, wie hier sogar das Konzept der inneren und äußeren Planeten, jedoch auch Versionen existieren, bei denen nur Umrisse ohne Namen gezeichnet werden. Im Vergleich zum Haufen-Typ scheint dieser also zumindest was die Kenntnis der Planeten angeht keine Steigerung zu sein, während jedoch ein leichtes Konzept von Ordnung vorhanden zu sein scheint.

4.4. Reihung/Orrery

Die letzten zwei Typen liegen sehr nah beieinander und die Frage, ob es sich tatsächlich um zwei unterschiedliche Modelltypen handelt, ist noch nicht ausreichend beantwortet.

4.4.1. Reihung

Der Reihungstyp ist dominiert durch seine Struktur, aber auch nur schwammig vom Typen des Orrery zu unterscheiden. Signifikante Merkmale sind jedoch:

- Eine reihenartige Anordnung der Planeten.
- Das Aufzeichnen fast aller Planeten in der richtigen Reihenfolge.
- Eine statisch anmutende Darstellung der Planeten.



Abb.4: Liniendarstellung mit Sortierung der Planeten in korrekter Reihenfolge. (Klasse 12)

Wie auch in Abbildung 4 zu erkennen ist nicht bei allen Planeten das Wissen nach der Gestalt vorhanden, da manche Planeten nicht ausgemalt sind, doch wird der Reihungstyp stark von der Anordnung der Planeten dominiert. Es wirkt wie eine Abwandlung des Haufen-Typs, mit dem Unterschied, dass die Lernenden ein Verständnis für die Reihenfolge der Planeten entwickelt haben.

4.4.2. Orrery

Ein Orrery oder auch eine Planetenmaschine ist die Bezeichnung für eine mechanische Darstellung des Sonnensystems, bei der sich die Planeten, meistens an Stangen befestigt, um die Sonne drehen. Über die Jahrhunderte haben sich viele verschiedene Versionen entwickelt. Verwendet wird der Begriff an dieser Stelle, da die Darstellungen aus dieser Kategorie oft mechanisch anmuten, mit Ringen und teilweise sogar erahnbarer Verbindungsstangen.

Der Orrery-Modelltyp bietet eine medial sehr präsente Darstellung bei dem die Planeten auf Bahnen um die Sonne verteilt sind. Kriterien für den Modelltypen sind:

- Bahnen um die Sonne im Zentrum.
- Jeder Planet/Himmelskörper hat eine eigene Bahn.
- Die Planeten sind verteilt.
- Eine (nicht immer korrekte) Hierarchie ist zu erkennen.

Das Orrery ist der mit Abstand häufigste Modelltyp, allerdings in vielen Abstufungen. Manche Lernenden verweisen explizit auf die möglichen Bewegungen und auf die Unmöglichkeit die korrekten Distanzen darzustellen. Andere kennen nicht einmal alle Planeten, oder zeichnen den Mond außerhalb aller Bahnen, weil dieser zwar irgendwie vorhanden sein muss, man sieht ihn ja am Himmel, aber nicht mehr in ihre Vorstellung zu passen scheint.

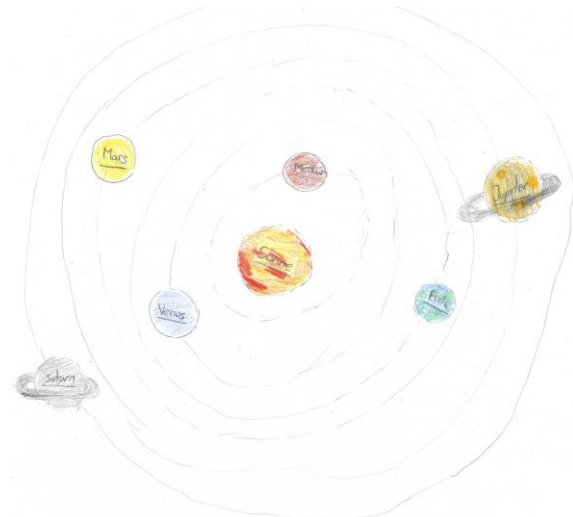


Abb.5: Beispiel für ein "Orrery". Jeder Planet hat eine eigene Bahn und die Planeten sind in Reihenfolge. (Klasse 5)

Der einzige große Unterschied zwischen den beiden Modelltypen scheint vorerst die Verteilung der Planeten zu sein, was gleichzeitig meistens mit dem

Andeuten von Planetenbahnen einhergeht. Fraglich ist, ob dies ein tieferes Verständnis für die Bewegung der Himmelskörper darstellt, wie schon beim Gemeinsame-Bahnen-Typ diskutiert. Oft wird das Orrery auch als Reihung dargestellt, dann aber mit der Sonne im Zentrum, oder dem Zusatz von angedeuteten Bahnen.

4.5. Einflüsse durch Lehrpersonen

Neben den oben vorgestellten Modelltypen konnten auch zwei lehrbedingte Einflüsse in den Zeichnungen festgestellt werden: Zunächst konnte in den Lehrmaterialien ein Hinweis für spezifische Formen des Erdfokus gefunden werden.

Es zeigte sich, dass mehrere Abbildungen bei den Lernenden auftraten, bei denen der Fokus explizit auf dem Licht und der Schattenbildung der Erde und des Mondes lagen, mit teils eingezeichneten Lichtwegen wie es bei der Untersuchung von Halb- und Kernschatten der Fall ist. Abbildung 7 dient hier als Beispiel.

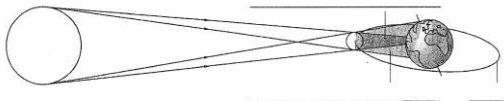


Abb.6: Eingescanntes Lehrmaterial zu den Mondphasen und zur Sonnenfinsternis.

Auf Nachfrage wies die Lehrkraft uns darauf hin, dass sie erst einigen Wochen vor der Durchführung eine Einheit zu den Mondphasen durchgeführt hatte und dabei auch die Sonnenfinsternis angesprochen hatte. Eines der Materialien ist in Abbildung 6 dargestellt.

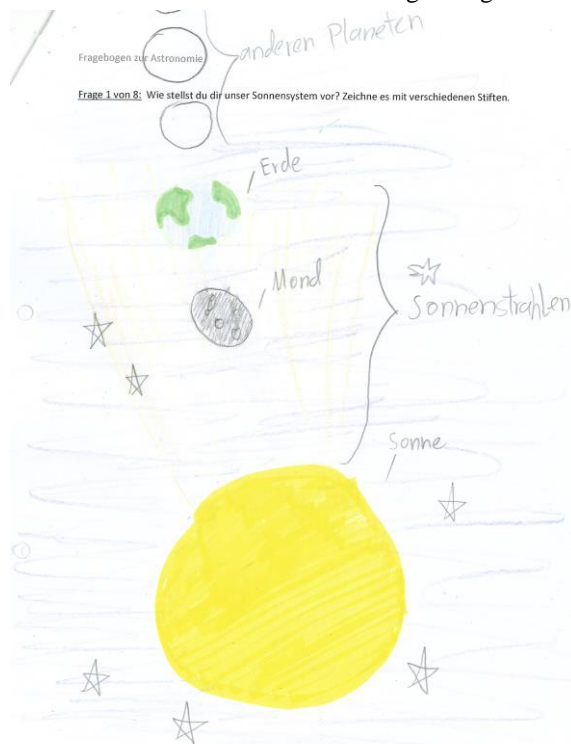


Abb.7: Darstellung von Sonne, Erde und Mond mit Fokus auf die Einwirkung des Lichtes der Sonne nach vorher durchgeführter Einheit zu dem Thema. (Klasse 6)

Ein zweiter Einfluss wurde bei der Umwelt-AG aus Niedersachsen festgestellt, da nur in dieser Gruppierung eine vermehrte Darstellung von Satelliten und Weltraumschrott auftrat.

Eine Nachfrage ergab, dass einige Monate vorher ein Vortrag gehalten worden war, der sich mit diesem Thema befasste hatte.

Auch ein kurzer Ausblick auf initiale Ergebnisse des Posttests zeigt, dass sich in sehr wenigen Fällen eine Darstellung unserer Lehrmaterialien eingepreßt hat, wobei dies anscheinend vor allem bei den Lernenden auftrat, die einen Erdfokus oder andere eher rudimentäre Modelltypen zeigten.

5. Diskussion

Kritisch zu betrachten bei dem Orrery-Modelltypen ist die starke Verteilung zwischen starken und „schwachen“ Lernenden. Dieser Modelltyp scheint der medial am weitesten verbreitete. Zum Beispiel taucht er bei Internetsuchen mit am häufigsten auf. Dies ist auch nachvollziehbar: Es ist schlichtweg unmöglich ein „komplettes“ Modell herzustellen, das sowohl den Größen als auch den Distanzen gerecht wird.

Kritisch anzuführen sind hier vor allem Abbildungen im Internet, da es für fast jeden unserer gefundenen Modelltypen eine passende Darstellung im Internet zu finden gibt. Größenverhältnisse sind immerhin noch recht häufig angegeben. Passende Distanzen findet man meistens vergeblich.

Beim Aristarchus-Projekt, in dessen Zuge diese Pilotstudie durchgeführt wurde, haben wir uns auch aus diesem Grund nur auf die Distanzen konzentriert.

Fraglich ist nun, ob der Orrery-Typ ein Zeichen dafür ist, dass die Lernenden etwas konzeptuell gelernt haben, oder einfach nur gut darin sind, das Gesehene zu reproduzieren.

Diese Frage ist mit der verwendeten Methode nur schwierig zu beantworten. Fest steht, dass Lernende, die angeben die Distanzen oder Bewegungen nicht zeichnen zu können scheinbar ein tieferes Verständnis besitzen. Die genaue Antwort, ob die Lernenden tiefergreifendes Verständnis der Funktion hinter der jeweiligen Gestalt besitzen, ist also nicht immer sofort aus den Zeichnungen offensichtlich. In diesem Zuge müssen einige Limitationen eingeräumt werden.

5.1. Limitationen

Es zeigt sich, dass es in Einzelfällen schwierig ist die Fragebögen in die einzelnen Modelltypen einzuordnen, was darauf hindeutet, dass eventuell noch unentdeckte Subtypen existieren. Darüber hinaus können bestimmte Informationen nicht eingeordnet werden. Beispielsweise ist es fraglich, ob die bloße Verteilung der Planeten im Orrery Modelltyp im Gegensatz zur Reihung im Orrery bereits auf eine Bewegung der Planeten hindeutet.

Hier zeigt sich eine große Schwäche, da man über die Funktionalität im momentanen Zustand leider nur

wenige Aussagen treffen kann. Oft unterscheiden in dieser Thematik die momentanen Kriterien sehr hart. Während ein Pfeil, ein Wort, oder ein Satz auf eine Bewegung hindeuten, kann dieses Verständnis durchaus beim Fehlen dieser Hinweise trotzdem vorhanden sein. Daher sind ergänzend zu den Zeichnungen noch weitere aufklärende Untersuchungen bezüglich der Funktionalität geplant.

6. Ausblick

Eine detailliertere Analyse in Hinblick auf Übergänge zwischen den Modelltypen ist angedacht. Speziell fällt auf, dass die Modelltypen verschieden zu wachsen scheinen. Ein Modelltyp kann eine gute Darstellung aufweisen und gleichzeitig ein geringes Verständnis von Funktion. Gleichzeitig kann eine minimale Darstellung vorliegen, während die Funktion stark prominent ist. In manchen Modelltypen scheint die Funktionalität nicht in direktem Zusammenhang mit der Gestalt zu stehen.

Darüber hinaus werden mittels eines Posttests Einflüsse einer kinästhetischen Unterrichtseinheit auf die Gestalt der Modelltypen untersucht werden, um Änderungen zu erkennen, die durch das Aristarchus-Projekt verursacht wurden.

Langfristig ist ebenfalls eine Erweiterung der Studie mit zusätzlicher Kontrollgruppe geplant, um die Erkenntnisse weiter ausschärfen zu können.

Da der Fragebogen wie in den Limitationen bereits angesprochen, nicht alle gewünschten Informationen liefern kann, sind über die Durchführung des Projektes und die Beantwortung der Fragebögen Interviews mit den Lehrkräften und den Lernenden geplant.

Während der Durchführung der Studie und der Auswertung der Fragebögen sind außerdem einige interessante Muster und Vorstellungen zu bestimmten Himmelskörpern wie dem Mars aufgetaucht, die wir gerne im Detail weiter untersuchen wollen.

7. Das Aristarchus-Projekt

Beim Aristarchus-Projekt handelt es sich um ein Erasmus+-Projekt, bei dem astronomische Kerninhalte des Sonnensystems, durch kinästhetische Lehrmethoden unterstützt, vermittelt werden sollen. Partner in diesem Projekt sind die Universität Cergy Paris, die Universität der Ägäis, CARDET und die Universität Münster. Ein zentraler Teil der Lehrmethoden, die im Rahmen dieses Projektes untersucht werden sollen, ist ein sogenanntes begehbare Sonnensystem, mit dem in insgesamt 8 Lehreinheiten verschiedene astronomische Inhalte vermittelt werden sollen. Beispiele für Themen sind der Tag und Nachtzyklus, die unterschiedlichen Geschwindigkeiten der Himmelskörper und die damit einhergehenden unterschiedlichen Jahresdauern.

Weitere Informationen können auf der Projekt-Webseite nachgelesen werden:

<https://aristarchusproject.eu/de>.

Oder alternativ auf dem Projekt-LinkedIn: AristarchusProject.

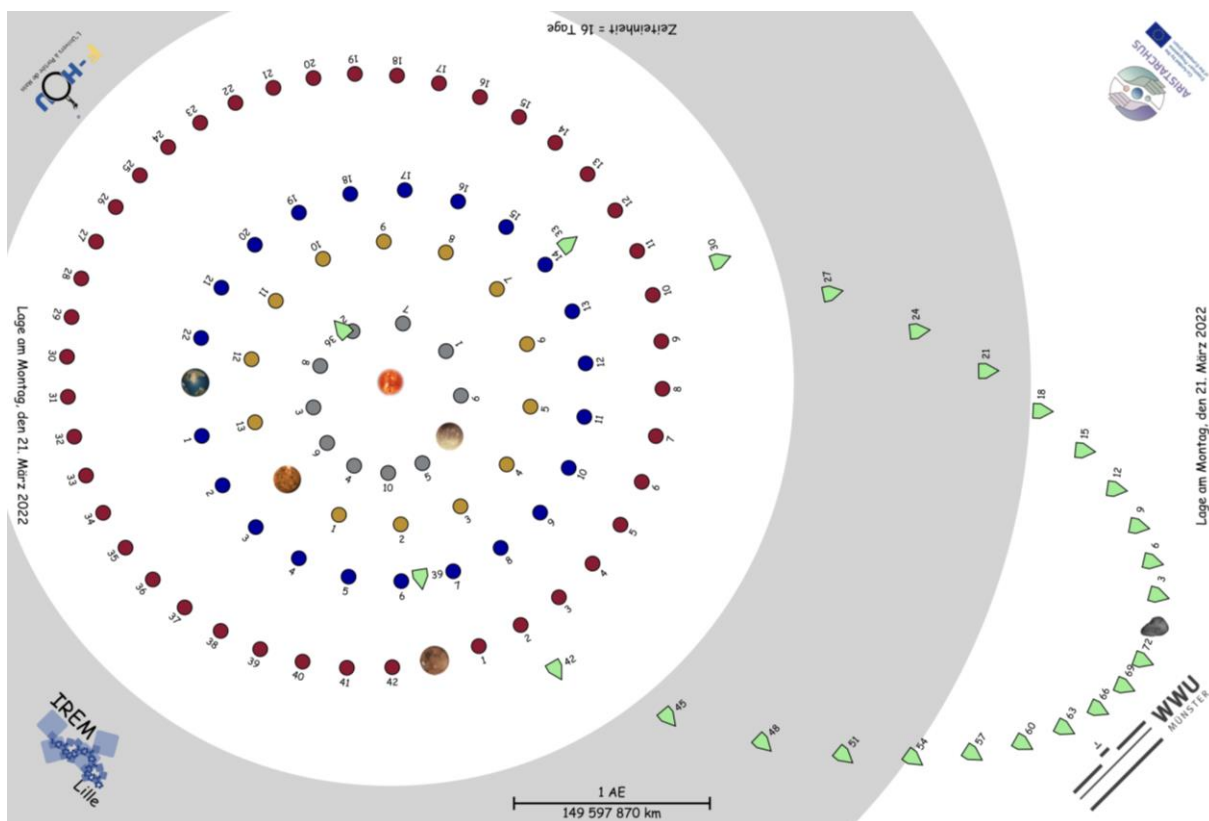


Abb.8: Das "begehbare" Sonnensystem. Dargestellt sind die Sonne, die inneren vier Planeten, der erste Gürtel und der Komet Encke. Die Größen sind einheitlich. Die Abstände sind maßstabsgetreu. 1AE entspricht 1m im Original. Der Abstand zwischen den Punkten den Punkten entspricht 16 Tagen.

8. Literatur

- [1] Schecker, H.; Wilhelm, T.; Hopf, M.; Duit, R. (2018). *Schülervorstellungen und Physikunterricht: Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis*. Berlin Heidelberg: Springer Spektrum.
- [2] Ubben, M.; Bitzenbauer, P. (2023). *Exploring the relationship between students' conceptual understanding and model thinking in quantum optics*. Quantum Science and Technology 2:1207619, DOI: 10.3389/frqst.2023.1207619
- [3] Ubben, M.; Bitzenbauer, P. (2022). *Two Cognitive Dimensions of Students' Mental Models in Science: Fidelity of Gestalt and Functional Fidelity*. Education Sciences 12(3):163, DOI: 10.3390/educsci12030163

Analyse studentischer Fehlvorstellungen mittels des Force Concept Inventory Item Response Curves im internationalen Vergleich

Silke Stanzel

TH Rosenheim, Hochschulstraße 1, 83024 Rosenheim
silke.stanzel@th-rosenheim.de

Kurzfassung

Das Force Concept Inventory ist ein international etabliertes Diagnoseinstrument für das Konzeptverständnis der Newtonschen Mechanik. Wir haben über einen Zeitraum von zehn Jahren von knapp 5000 Studierenden der Ingenieurwissenschaften an der TH Rosenheim zu Studienbeginn Testdaten erhoben. Die Auswertung mittels Item Response Curves erlaubt für jede Frage die Analyse sowohl der richtigen als auch aller falschen Antwortoptionen. Insbesondere lassen sich auf diese Weise Distraktoren identifizieren, die gängige Fehlvorstellungen widerspiegeln. Es zeigt sich, dass die am häufigsten gewählten Distraktoren auf der Annahme beruhen, jeder Bewegung müsse eine Kraft in Bewegungsrichtung zu Grunde liegen. Daten von Universitäten der USA zeigen ein vergleichbares Ergebnis. Die vorgestellte Analyse dient als Grundlage zur Verbesserung von Lehrsequenzen.

1. Motivation und Ausgangslage

Die physikalischen Vorkenntnisse Studierender zu Beginn des Hochschulstudiums sind Gegenstand diverser Untersuchungen. Dabei steht in vielen Fällen ein generelles Niveau der Physikkenntnisse im Fokus, z.B. um Unterschiede in den Hochschulzugangsberechtigungen aufzuzeigen [1] oder Korrelationen zum Studienerfolg herzustellen [2]. Aus Sicht der Lehrenden ist das Interesse an dem Vorwissen auch deshalb hoch, weil die Physikveranstaltungen an den Hochschulen darauf aufbauen und das Erreichen der Lernziele je nach Stand der Vorkenntnisse mehr oder weniger Schwierigkeiten bereiten wird. Lehrende, die den Kenntnisstand der Studierenden kennen, können ihre Lehre entsprechend anpassen und damit das Erlernen physikalischer Konzepte erleichtern.

Dabei ist erwiesen, dass es nicht ausreicht, den Stand in Bezug auf korrekte physikalische Kenntnisse zu erheben, sondern dass insbesondere berücksichtigt werden muss, welche falschen Vorstellungen von physikalischen Zusammenhängen bei den Lernenden vorherrschen. Diese müssen zunächst in Frage gestellt und überwunden werden bevor das physikalisch richtige Konzeptverständnis aufgebaut werden kann [3].

Gegenstand der vorliegenden empirischen Untersuchung ist, das Vorwissen in der Newtonschen Mechanik von Studierenden des ersten Semesters in den Ingenieurwissenschaften an der TH Rosenheim auf

vorherrschende Fehlvorstellungen hin zu analysieren. Damit sollen Lehrende in die Lage versetzt werden, ihre Lehrveranstaltungen z.B. durch die Wahl geeigneten Studiermaterials so weiterzuentwickeln, dass Studierende ihre Kompetenzen in diesem Bereich der Physik effektiv verbessern können.

2. Methodik

2.1. Force Concept Inventory (FCI)

Für die Erhebung der Vorkenntnisse im Themenfeld der Newtonschen Mechanik hat sich das Force Concept Inventory (FCI) als Testinstrument weltweit etabliert. Im Folgenden wird auf Inhalt, Testqualität und ein häufiges Anwendungsfeld dieses Konzepttests eingegangen.

2.1.1. Inhalt des FCI

Das FCI wurde von Hestenes, Wells und Swackhammer in den USA entwickelt und 1992 veröffentlicht [4]. Die überarbeitete Version von 1995 ist mittlerweile in 30 Sprachen verfügbar und liegt unserer Studie zugrunde [5]. Dieser Konzeptverständnistest besteht aus 30 Single Choice Fragen zu Kinematik, Kräften und Dynamik. In den Testfragen werden Bewegungen unterschiedlicher Körper beschrieben und z.T. mit graphischen Darstellungen veranschaulicht (s. Abb. 1). Gefragt wird z.B. nach Bahnkurven, Geschwindigkeiten oder zugrundeliegenden Kräften.

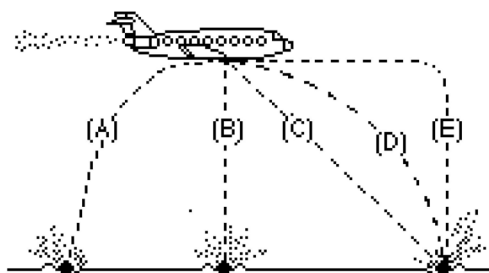


Abb.1: Graphik zur Frage 14 des FCI; gefragt ist nach der Bahnkurve einer Kugel, die aus einem Flugzeug fällt und von einem am Boden stehenden Beobachter gesehen wird [5].

Von den jeweils zur Wahl stehenden fünf Antwortoptionen beruhen die vier Distraktoren überwiegend auf wissenschaftlich erwiesenermaßen häufig vertretenen falschen Vorstellungen [4]. Diese intuitiven Konzepte gehen z.B. zurück auf Alltagsbeobachtungen oder auf ein unspezifisch breites Bedeutungsspektrum der Worte in der Alltagssprache, die gleichzeitig in der Physik für wohldefinierte Größen verwendet werden. „Kraft“ ist ein Beispiel dafür. In diesem Artikel wird der Begriff „Fehlvorstellungen“ verwendet. In der Literatur finden sich daneben auch Begriffe wie „Alltagsvorstellungen“ oder „Schülervorstellungen“ [3], [6].

2.1.2. Testqualität des FCI und Analysen des Antwortverhaltens

Der FCI wird seit 30 Jahren an unterschiedlichen Bildungseinrichtungen weltweit eingesetzt. Dementsprechend umfangreich sind die erhobenen Datensätze und die Erfahrungen mit dem Instrument. Die Überprüfung der Test-Qualitätsmerkmale wie Validität, Reliabilität, Leichtigkeitsindex und Trennschärfe ist Gegenstand etlicher Studien [7], [8]. Für die Analyse von FCI – Ergebnissen ist es wichtig zu wissen, dass die Fragen Nr. 6, 7 und 16 als nicht valide identifiziert wurden [9]. Das bedeutet, dass die richtigen Antworten auf diese Fragen zu einem hohen Anteil auf der Basis eines falschen physikalischen Verständnisses ausgewählt werden.

Ferner wurden Analysen durchgeführt, um Korrelationen der Antworten zu identifizieren und sowohl die richtigen als auch die falschen Antwortoptionen thematischen Gruppen zuordnen zu können [10], [11], [12]. Mit Hilfe sogenannter Item Response Curves können die Distraktoren weiter klassifiziert werden [13], [14] und Modelle für studentische Erklärungsmuster aufgestellt werden [15]. Diese Darstellungsform wird in Abschnitt 3.2 beschrieben.

2.1.3. Bewertung von Lehrformen mittels FCI

In vielen Fällen wird der FCI verwendet, um die Effektivität verschiedener Lehrformate bzw. Lehrinterventionen quantitativ zu erfassen. Beispielsweise wurden in der Meta-Studie von R. R. Hake [16] FCI Ergebnisse von interaktiven Lehrformaten mit denen konventioneller Formate verglichen und damit die Wirksamkeit aktivierender Lehre nachgewiesen.

Daran anknüpfend werden an der TH Rosenheim seit zehn Jahren begleitend zur Umstellung didaktischer Methoden ebenfalls FCI – Daten vor und nach den Physikkursen erhoben. Die Analyse dieser Daten bestätigt die höhere Effektivität aktivierender Lehre [17], [18].

2.2. Datenbasis

An der TH Rosenheim wird der FCI seit dem Wintersemester 2013/14 kontinuierlich in allen zwölf ingenieurwissenschaftlichen Studiengängen von den Studierenden durchgeführt. Für die sogenannten „Vortests“ zu Studienbeginn wird ihnen in den ersten Wochen des ersten Semesters im Rahmen der Physiklehrveranstaltung 30 min Bearbeitungszeit in Präsenz gegeben. Im Verlauf der zehn Jahre von WS2013/14 bis WS2022/23 sind so 4957 Testergebnisse entstanden, die dieser Studie zugrunde liegen. 46% der Teilnehmenden haben ein allgemeinbildendes Abitur erworben, 28% kommen vom Technikzweig einer Fach- bzw. Berufsoberschule, 15% von einem anderen Zweig dieser Schulform (z.B. Wirtschaft oder Soziales) und 4% haben sich beruflich für das Ingenieurstudium qualifiziert.

Die Verteilung der im Test erreichten Punkte ist in Abbildung 2 dargestellt. Jede richtig beantwortete Frage ergibt einen Punkt, falsche Antworten werden nicht eingerechnet. Im Mittel über alle 4957 Tests sind 12,1 Punkte von maximal 30 Punkten erreicht worden. Nicht alle Testpersonen wählen bei jeder Frage eine Antwort aus. Im Schnitt sind 4% der Fragen unbeantwortet gelassen. Der Anteil steigt vermutlich aus Zeitgründen zu Ende des Fragebogens an.

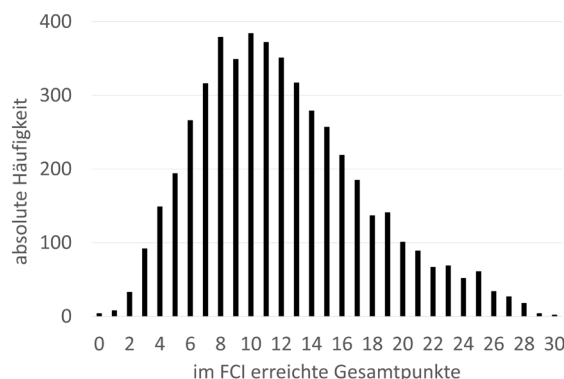


Abb.2: Verteilung der im FCI von maximal 30 möglichen Punkten erreichten Punktzahl für die 4957 zu Studienbeginn von WS2013/14 bis WS2022/23 durchgeführten Tests an der TH Rosenheim.

3. Studentische Fehlvorstellungen

3.1. Analyse der richtigen Antworten

Für ein Verständnis der Schwierigkeiten, die Studierende im Themenfeld der Newtonschen Mechanik mitbringen, wird zunächst für jede Frage im FCI die Anzahl richtiger Antworten ermittelt. Abbildung 3 zeigt in Form eines Paretos die relative Häufigkeit nach Größe sortiert.

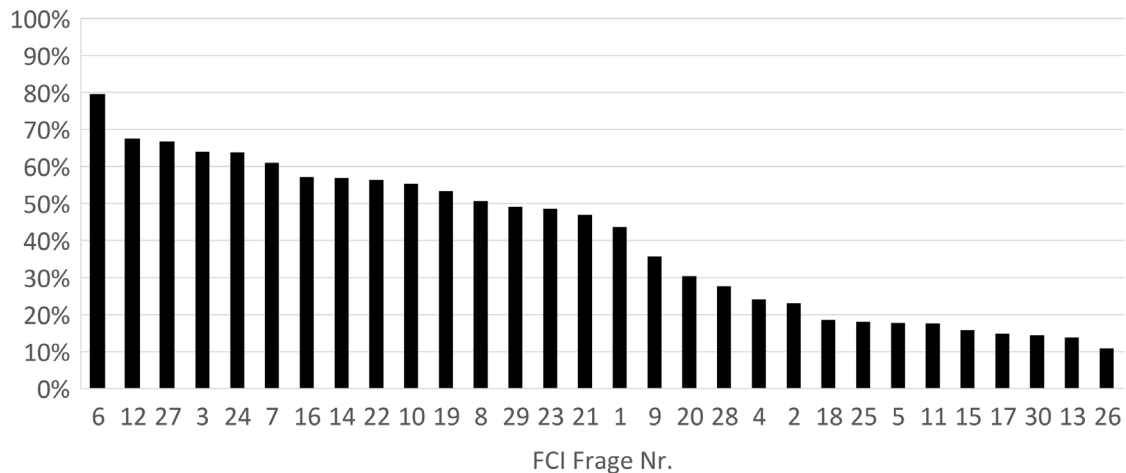


Abb.3: Pareto – Darstellung der Häufigkeit, mit der die richtigen Antworten im FCI von den 4957 Studierenden an der TH Rosenheim zu Studienbeginn gewählt wurden. Die Nummern entsprechen der Nummerierung der Fragen.

Die neun Fragen, die zu weniger als 20% richtig beantwortet wurden, lassen sich thematisch zusammenfassen. Dafür verwenden wir die Klassifizierung, die von P. Eaton und S. D. Willoughby anhand von Faktoranalysen und inhaltlicher Bewertung der Fragen aufgestellt wurde (Tabelle III in [11]). Demnach bilden fünf dieser Fragen die Gruppe der „force identification“ (Identifikation der wirkenden Kräfte, Fragen 5, 11, 13, 18, 30) und drei die der „mixed concepts“ (Fragen 17, 25, 26). Die verbleibende Frage Nr. 15 bezieht sich auf das dritte Newtonsche Axiom im Kontext beschleunigter Bewegung. Bei den Fragen aus der erstgenannten Gruppe geht es um die Identifikation von Kräften auf bewegte Körper. Zur richtigen Beantwortung der „mixed concepts“-Fragen müssen mehrere Konzepte wie Kräfteaddition, Reibungskräfte und Newtonsche Axiome zusammengenommen verstanden sein.

Aus der Darstellung der Häufigkeit der richtigen Antworten allein lässt sich noch nicht auf möglicherweise vorliegende Fehlvorstellungen schließen. Dafür wird zusätzlich ausgewertet, welche Distraktoren zu welchem Anteil gewählt werden.

3.2. Analyse der Distraktoren mittels Item Response Curves

Die Item Response Curves (IRC) sind eine besonders informative Darstellung der in einem Multiple Choice Test gewählten Antworten [13], [14]. Sie zeigen für jede Frage alle Antwortoptionen an. Damit erlauben sie Rückschlüsse nicht nur auf Basis der richtigen Antwort sondern auch in Bezug auf die gewählten Distraktoren.

Die IRC stellen in einem Diagramm pro Frage die Häufigkeit aller gewählten Antwortoptionen als Funktion eines allgemeinen Kompetenzniveaus dar. Für den FCI hat sich die im Test insgesamt erreichte Punktzahl als ein gutes Maß für die Verständnistiefe der Newtonschen Mechanik erwiesen [7], [14]. Daher wird für die IRC des FCI die Häufigkeit jeder der fünf möglichen Antwortoptionen als Funktion

der insgesamt über alle 30 Fragen erreichten richtigen Antworten aufgetragen. In Abbildung 4 sind exemplarisch die IRC für die Frage 14 dargestellt. Zum Inhalt der Frage siehe Abbildung 1. Zum Verständnis der Konstruktion der IRC ist in Abb. 4 bei einer FCI-Gesamtpunktzahl von 10 eine gestrichelte Linie gezogen. Auf dieser ist für jede Antwortoption aufgetragen, mit welchem relativen Anteil der 384 Testergebnisse, die in Summe über den ganzen Test genau zehn richtige Antworten enthalten, sie gewählt wurde: zu 53% ist es die richtige Antwort D, zu 25% der Distraktor A, zu 14% B, zu 8% C und zu 0% E. Die Daten mit einer FCI-Gesamtpunktzahl von 0, 1 oder 29 sind nicht in die IRC-Graphen aufgenommen, da sie nur in wenigen Fällen vorkommen und damit eine hohe statistische Streuung aufweisen (vgl. Abb. 2). Der Datenpunkt mit FCI-Gesamtpunktzahl 30 zeigt bei jeder Frage die richtige Antwort an.

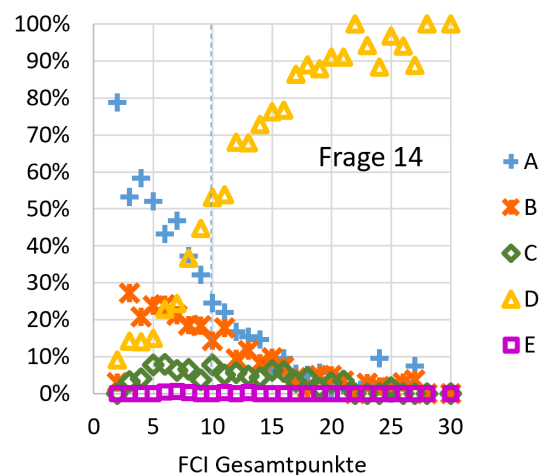


Abb.4: Item Response Curves für die Frage 14 des FCI. Aufgetragen ist die Häufigkeit der von den Studierenden jeweils gewählten Antwortoptionen A - E als Funktion der Anzahl richtiger Antworten im FCI. Die richtige Antwort auf diese Frage ist D.

Die Häufigkeit der in Frage 14 richtigen Antwort D nimmt wie zu erwarten als Funktion der Gesamtpunktzahl bis auf statistisch begründete Schwankungen monoton zu. Die Häufigkeit der vier Distraktoren nimmt entsprechend monoton ab. Dabei ist Antwort A der am häufigsten gewählte Distraktor. Antwortoption E hingegen wird kaum jemals gewählt und ist also als Distraktor nicht effektiv. Der monoton steigende Verlauf der richtigen Antwort ist in allen 30 Fragen zu sehen. Dies steht im Einklang damit, dass die FCI – Gesamtpunktzahl ein Maß für das Konzeptverständnis ist [7], [14]. Die Item Response Curves sind offensichtlich auch eine geeignete Darstellung, um Aussagen über die Qualität von Antwortoptionen in Testfragen zu treffen [13].

Der Verlauf der Distraktoren stellt sich in den vorliegenden Daten je nach Frage durchaus unterschiedlich dar. Neben dem oben beschriebenen monoton fallenden Verhalten von Distraktoren gibt es auch solche, deren Häufigkeit mit steigender FCI-Gesamtpunktzahl zunächst zunimmt, um dann nach einem Maximum oder Plateau wieder zu fallen, siehe Antwort A der Frage 17 in Abbildung 5. Sie bezieht sich auf die reibungsfreie Bewegung eines Fahrstuhls mit konstanter Geschwindigkeit nach oben. Gefragt wird nach der Größe der Seilkraft auf die Kabine im Vergleich zu anderen vorliegenden Kräften.

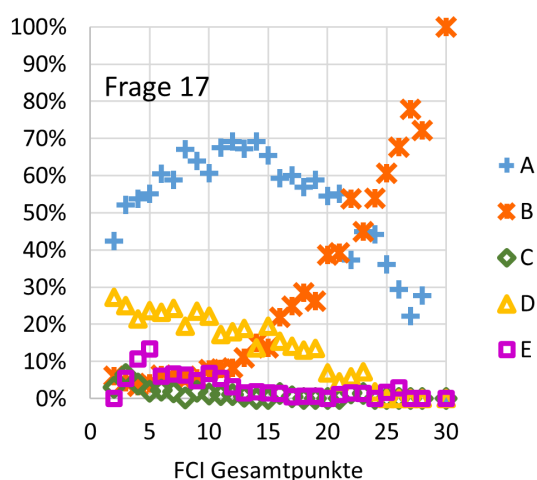


Abb.5: Item Response Curves für die Frage 17 des FCI. Aufgetragen ist die Häufigkeit der von den Studierenden jeweils gewählten Antwortoptionen A - E als Funktion der Anzahl richtiger Antworten im FCI. Die richtige Antwort auf diese Frage ist B.

Studierende mit geringem Niveau an Vorkenntnissen, also z.B. weniger als zehn Gesamtpunkten im FCI, wählen neben der Antwort A als zweithäufigstes die Antwort D. Beiden Antworten liegt das Fehlkonzept zugrunde, dass die Seilkraft in Bewegungsrichtung größer sein muss als die Summe aller ent-

gegengesetzt gerichteten Kräfte. Antwort D enthält im Unterschied zu A neben der Gewichtskraft noch eine physikalisch falsche Kraft des Luftdrucks. Mit zunehmender FCI – Gesamtpunktzahl nimmt die Antwort D ab, d.h. mit zunehmendem Verständnis wird diese Kraft des Luftdrucks als falsch erkannt. Dafür nimmt aber der Distraktor A an Häufigkeit zu. Die Fehlvorstellung der in Bewegungsrichtung wirkenden Kraft dominiert also weiterhin. Erst bei über 23 Gesamtpunkten setzt sich die richtige Antwort B in der Häufigkeit gegenüber dem Distraktor A durch. Generell spiegeln Antwortoptionen im FCI mit einem zunächst ansteigenden Verlauf vorhandene Fehlvorstellungen wider [14], [15].

Diese Frage Nr. 17 gehört in der Klassifizierung von P. Eaton und S.D. Willoughby [11] zur Gruppe der „mixed concepts“. In allen drei zu dieser Gruppe gehörenden Fragen (17, 25, 26) sowie den fünf Fragen (Nr. 5, 11, 13, 18, 30), welche die Gruppe der „force identification“ bilden, durchläuft der am häufigsten gewählte Distraktor in den Item Response Curves ein Maximum. Alle diese Falschantworten beruhen auf der Annahme, für jede Bewegung sei eine Kraft in Richtung der Bewegung notwendig. Dieses aus der Literatur (z.B. [3], [6]) bekannte Konzept liegt demnach bei den Studienanfängern an der TH Rosenheim als dominierende Fehlvorstellung vor.

4. Vergleich mit US-amerikanischen Daten

Die Darstellung der FCI Antworten mittels Item Response Curves (IRC) wurde 2006 erstmals von Morris et al für drei ausgewählte Fragen veröffentlicht [13]. In einer nachfolgenden Veröffentlichung sind die IRC für alle 30 Fragen des FCI dargestellt [14]. Die zugrundeliegende Datenbasis stammt von den US-amerikanischen Universitäten Harvard, Mississippi State und Rice. Aus den Veröffentlichungen wird nicht ersichtlich, zu welchem Zeitpunkt im Laufe des Studiums die Daten genommen wurden. Der Datensatz umfasst über 4500 studentische Antworten und ist damit von vergleichbarem Umfang wie die hier vorgestellten Daten der TH Rosenheim. Im Mittel werden bei den US-amerikanischen Fragebögen 12,6 von 30 möglichen richtigen Antworten erzielt. Bei den Rosenheimer Daten beträgt dieser Mittelwert 12,1 (s. Abschnitt 2.2).

In Abbildung 6 sind exemplarisch die IRC für die FCI-Fragen 13 – 18 der beiden Datensätze im Vergleich dargestellt. Die Symbole in Schwarz stammen aus Abbildung 1 der Publikation [14]. In Farbe sind mit der gleichen Symbolzuordnung die Häufigkeiten der Antworten A (+), B (*), C (◊), D (Δ) bzw. E (□) für die Daten der TH Rosenheim hinzugefügt. Die jeweils richtige Antwort lässt sich identifizieren als diejenige, welche bei der maximalen Gesamtpunktzahl 30 zu 100% gewählt wurde.

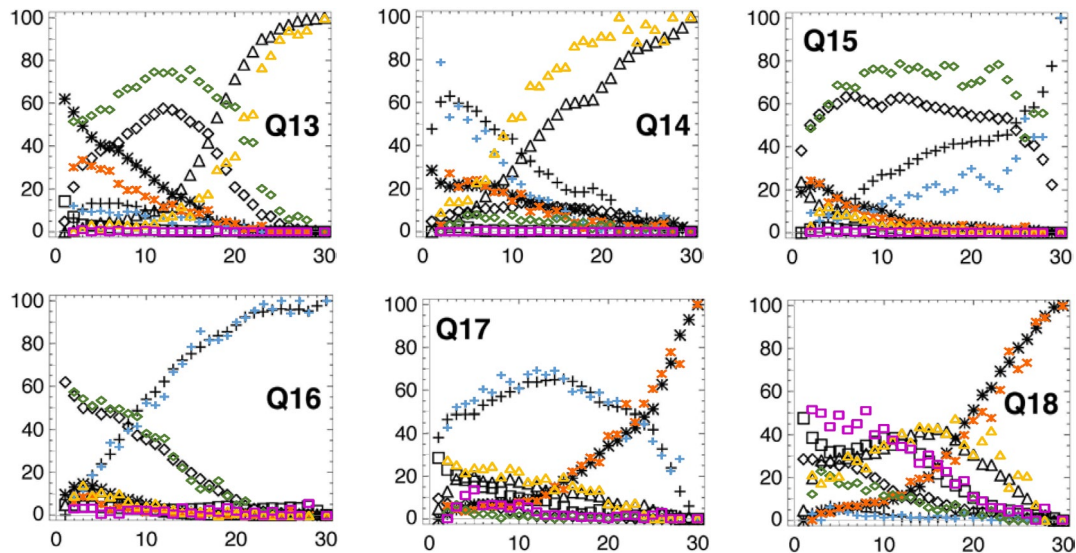


Abb.6: Item Response Curves für die Fragen (Q) 13 – 18 des FCI: in Schwarz die Daten der >4500 studentischen Antworten von US-amerikanischen Universitäten aus Abb. 1 in [14], in Farbe die Daten der Erstsemester-Studierenden an der TH Rosenheim; die relative Häufigkeit der jeweiligen Antwort A (+), B (*), C (◇), D (Δ) bzw. E (□) (von 0 bis 100%) ist aufgetragen als Funktion der Anzahl der insgesamt im FCI erreichten richtigen Antworten (von 0 bis 30).

Der qualitative Verlauf der IRC dieser sechs Fragen stimmt für beide Datensätze gut bis sehr gut überein. Insbesondere bei den Fragen 16 und 17 liegen die IRC der TH Rosenheim auf denen der US-amerikanischen Daten. Bei Frage 18 gibt es leichte Unterschiede in der Verteilung der Häufigkeit der Falschantworten im Bereich niedriger FCI-Gesamtpunktzahl (< 10). Bei den Fragen 13, 14 und 15 sind die quantitativen Unterschiede in den Antworthäufigkeiten größer, auch wenn der qualitative Verlauf sehr ähnlich ist. Auch die übrigen 24 Fragen des FCI zeigen im Vergleich der beiden Datensätze ähnliche bis keine Unterschiede. Wir können damit die in [14] gezeigten IRC zumindest qualitativ bestätigen.

Die große Ähnlichkeit des Verlaufs der IRC für die FCI-Daten von Erstsemester-Studierenden der TH Rosenheim im Vergleich zu den US-Studierenden bestätigt die Qualität der FCI-Fragen und Antwortoptionen. Die relative Häufigkeit der gewählten Antworten einer Frage ist offenbar nur abhängig von der erreichten Gesamtpunktzahl im FCI und unabhängig von dem spezifischen zu Grunde liegenden Datensatz. Damit besitzt bereits die insgesamt erreichte Anzahl richtiger Antworten im FCI eine hohe Aussagekraft in Bezug auf das Verständnis der hinter den einzelnen Fragen stehenden physikalischen Konzepte. Des Weiteren zeigt sich in diesem Vergleich, dass zumindest für die betrachteten Gruppen von Studierenden in USA und Deutschland Unterschiede z.B. im Bildungssystem keinen Einfluss auf die Ausbildung von Fehlvorstellungen und den prinzipiellen Verlauf des Übergangs zu physikalisch richtigen Konzepten haben.

Die Item Response Curves geben nur die relativen Häufigkeiten der Antwortoptionen als Funktion der im FCI erreichten Punkte wieder. Sie machen damit keine Aussage über die dem jeweiligen Datensatz zugrunde liegende Verteilung der insgesamt im Test erreichten richtigen Antworten. Im vorliegenden Fall weisen die beiden Datensätze zufällig einen nahezu gleichen Mittelwert im FCI-Gesamtergebnis auf (12,6 vs. 12,1). In Kombination mit dem ähnlichen Verlauf der Item Response Curves könnte vermutet werden, dass auch die relative Häufigkeit der richtigen Antworten jeder Frage vergleichbar ist. In Abbildung 7 ist die Häufigkeit der richtigen Antworten für die US-amerikanischen Daten in Form eines Pareto dargestellt. Dies lässt sich mit den Daten der TH Rosenheim in Abbildung 3 vergleichen. Je nach Frage ist der Anteil richtiger Antworten für beide Datensätze durchaus unterschiedlich. Für die Fragen 13 – 18, deren IRC in Abbildung 6 dargestellt ist, ist der Anteil richtiger Antworten für beide Datensätze zum besseren Vergleich in Tabelle 1 gelistet. Die Unterschiede sind insbesondere gering in den Fragen 16, 17 und 18, für die auch der Verlauf der richtigen Antwort im IRC keinen wesentlichen Unterschied aufzeigt.

Tab.1: Häufigkeit der richtigen Antworten auf die FCI – Fragen 13 – 18 für den Datensatz der TH Rosenheim (TH Ro) im Vergleich zu den Daten aus [14] (USA).

Frage	13	14	15	16	17	18
TH Ro	14%	57%	16%	57%	15%	19%
USA	26%	40%	29%	59%	18%	22%

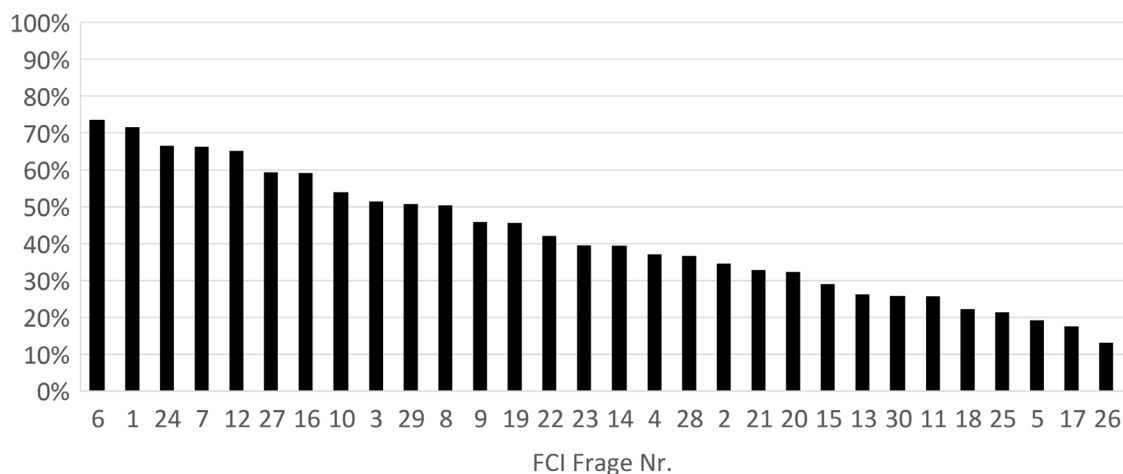


Abb.7: Pareto – Darstellung der Häufigkeit, mit der die richtigen Antworten im FCI von den über 4500 Studierenden der Universitäten Harvard, Mississippi State und Rice gewählt wurden. Die Nummern entsprechen der Nummerierung der Fragen. Die Darstellung beruht auf Tabelle 1 in [14].

Auffallend beim Vergleich der Pareto-Darstellungen (Abb. 3 und 7) ist, dass in beiden Datensätzen die neun Fragen, die am schlechtesten ausfallen, die gleichen sind, nämlich Fragen Nr. 5, 11, 13, 15, 17, 18, 25, 26, 30. In Abschnitt 3.1 ist die thematische Klassifizierung dieser Fragen angegeben. Damit besteht offenbar auch bei den Studierenden der untersuchten Gruppen in den USA im FCI das dominierende Fehlkonzent in der Annahme, für jede Bewegung sei eine Kraft in Richtung der Bewegung nötig.

5. Fazit und Ausblick

Die Analyse der FCI Daten von knapp 5000 Studierenden zu Beginn ihres ingenieurwissenschaftlichen Studiums an der TH Rosenheim ergibt, dass die Zuordnung von Kräften, die auf bewegte Körper wirken, die größte Schwierigkeit im Verständnis der Newtonschen Mechanik darstellt. Eine detaillierte Untersuchung der im Test gewählten Antworten zeigt, dass selbst Studierende mit einem insgesamt guten Grundverständnis davon ausgehen, dass zu jeder Bewegung eine Kraft in Richtung dieser Bewegung vorhanden sein müsse. Damit werden Daten, die von Studierenden in den USA erhoben wurden, bestätigt.

In der Konsequenz bedeutet das für Lehrende, dass geeignete Aufgabenstellungen und Materialien eingesetzt werden müssen, um dieses Fehlkonzent effektiv zu überwinden und durch das richtige physikalische Verständnis zu ersetzen. In den USA sind im Rahmen der Physics Education Research eine Fülle von forschungsbasierten Arbeitsblättern, Simulationen und Problemstellungen entwickelt worden, die zielgerichtet die Schwierigkeiten im Aufbau der richtigen physikalischen Konzepte adressieren. Exemplarisch seien die Tutorials von L.C. McDermott [19], die Materialien von R.D. Knight [20] und die PhET-Simulationen der University of Colorado [21] genannt.

In einigen Physiklehrveranstaltungen der TH Rosenheim werden in den laufenden Semestern auf Basis dieser Studie Lehrmaterial und Lehrinterventionen gezielt modifiziert. Der FCI wird am Semesterende nochmal durchgeführt. Daraus sollte in einer nachfolgenden Analyse die Wirksamkeit der gewählten Aktivitäten zu erkennen sein.

6. Literatur

- [1] Kurz, G.; Käß, H. (2019): Physikkenntnisse von Studienanfängern des Maschinenbaus – eine Fallstudie an der Hochschule Esslingen. In: PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung Aachen (2019), S. 189 - 195
- [2] Binder, T.; Sandmann, A.; Sures, B.; Friege, 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 (2019) 6:33.
- [3] Kautz, C. (2014): Verständnisschwierigkeiten und Fehlvorstellungen in Grundlagenfächern des ingenieurwissenschaftlichen Studiums. In: Rentschler, M.; Metzger, G. (Hrsg.) Perspektiven angewandter Hochschuldidaktik. Studien und Erfahrungsberichte. Shaker Verlag 2014, S. 81 - 112
- [4] Hestenes, D.; Wells, M.; Swackhamer, G. (1992): Force concept inventory. The physics teacher 30, 141 (1992)
- [5] Das Force Concept Inventory in der Version von 1995 kann nach Registrierung heruntergeladen werden von: <https://www.physport.org> (Stand 05/2023)
- [6] Schecker, H.; Wilhelm, T.; Hopf, M.; Duit, R. (2018): Schülervorstellungen und Physikunterricht. Springer Verlag (2018)

- [7] Wang, J.; Bao L. (2010): Analyzing force concept inventory with item response theory. *Am. J. Phys.* 78 (10), 1064 (2010)
- [8] Shoji, Y.; Munejiri, S.; Kaga, E. (2021): Validity of Force Concept Inventory evaluated by students' explanations and confirmation using modified item response curve. *Physical review physics education research* 17, 020120 (2021)
- [9] Yasuda, Jun-ichiro (2018): Analyzing false positives of four questions in the Force Concept Inventory. *Physical review physics education research* 14, 010112 (2018)
- [10] Stewart, J.; Zabriskie, C.; DeVore, S.; Stewart, G. (2018): Multidimensional item response theory and the Force Concept Inventory. *Physical review physics education research* 14, 010137 (2018)
- [11] Eaton, P.; Willoughby, S.D. (2018): Confirmatory factor analysis applied to the Force Concept Inventory. *Physical review physics education research* 14, 010124 (2018)
- [12] Wells, J.; Henderson, R.; Stewart, J.; Stewart, G.; Yang, J.; Traxler, A. (2019): Exploring the structure of misconceptions in the Force Concept Inventory with modified module analysis. *Physical review physics education research* 15, 020122 (2019)
- [13] Morris, G. A.; Branum-Martin, L.; Harshman, N.; Baker, S. D.; Mazur, E.; Dutta, S.; Mzoughi, T.; McCaule, V. (2006): Testing the test: Item response curves and test quality, *Am. J. Phys.* 74, 449 (2006)
- [14] Morris, G. A.; Harshman, N.; Branum-Martin, L.; Mazur, E.; Mzoughi, T.; Baker, S. D. (2012): An item response curves analysis of the Force Concept Inventory, *Am. J. Phys.* 80 (9) 825-831 (2012).
- [15] Stewart, J.; Drury, B.; Wells, J.; Adair, A.; Henderson, R.; Ma, Y.; P'erez-Lemonche, Á.; Pritchard, D. (2021): Examining the relation of correct knowledge and misconceptions using the nominal response model. *Physical review physics education research* 17, 010122 (2021)
- [16] Hake, R. R. (1998): Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *Am. J. Phys.* 66, 64 (1998)
- [17] Stanzel, S.; Schäfle, C.; Junker, E. (2019): Impact of interactive teaching methods on heterogeneity. In: *Proceedings of the 10th international conference on Physics Teaching in Engineering Education, Delft* (2019); auf <https://www.pro-aktjv.de/publikationen> (Stand 05/2023)
- [18] Stanzel, S.; Junker, E.; Graupner, F. (2021): Der Hörsaal als Labor: aktivierende Lehre auf dem Prüfstand. *Die Neue Hochschule*, 2/2021, S. 20 - 23
- [19] McDermott, L. C.; Shaffer, P. S. (1998): *Tutorials in introductory physics*. Prentice Hall, Upper Saddle River (1998); auf Deutsch: *Tutorien zur Physik*, Pearson Studium (2009)
- [20] Knight, R.D. (2023): *Physics for Scientists and Engineers: a Strategic Approach*. 5th edition Pearson Education 2023
- [21] PhET interaktive Simulationen <https://phet.colorado.edu/de/> (Stand 05/2023)

Danksagung

Besonderer Dank gilt den Kolleginnen und Kollegen der TH Rosenheim, die seit zehn Jahren in ihren Physik-Lehrveranstaltungen den FCI durchführen, sowie den 4957 Studierenden für die Bearbeitung des FCI. Für die Auswertung und Zusammenführung der Daten sowie die Erstellung der Graphen danke ich J. Lackovic.

Diese Arbeit wurde im Rahmen des Projektes „Hybride, individuelle und greifbare Hochschullehre in Rosenheimer Qualität (HigHRoQ)“ erstellt, das unter der Projektnummer FMM2020-EA-150 von der Stiftung Innovation in der Hochschullehre gefördert wird.

Auswirkungen einer Online-Intervention (Mindset, Lerntechniken) auf den Studieneinstieg

Malte Diederich¹, Verena Spatz¹, Anna Bauer²

¹Didaktik der Physik, TU Darmstadt, Hochschulstraße 12, 64289 Darmstadt

²Didaktik der Physik, Universität Paderborn, Warburger Str. 100, 33094 Paderborn
malte.diederich@physik.tu-darmstadt.de

Kurzfassung

Die Überzeugung, dass intellektuelle Fähigkeiten schrittweise immer weiterentwickelt werden können, („Growth Mindset“) könnte Studierende beim Einstieg in ein Physikstudium unterstützen. Die Studie untersucht die Auswirkungen einer 60-minütigen Online-Intervention anhand von 9 Fallbeispielen, um die Wirkung des Kurses besser verstehen zu können und daraus weitere Maßnahmen abzuleiten. Hierfür wurden zu drei Zeitpunkten im ersten Semester an der Universität Paderborn quantitative und qualitative Daten erhoben. Das Feedback der Studierenden zeigt, dass die Materialien insgesamt als hilfreich wahrgenommen werden. Der Kurs allein konnte bereits für einige Studierende eine positive Wirkung entfalten. Allerdings zeigt die Analyse auch, dass nach der Kursteilnahme einige ungünstige Überzeugungen weiter bestehen, welche die Wirkung der Intervention begrenzen können. Das volle Potenzial der Mindset-Theorie ließe sich daher wohl nur in Kombination mit weiteren Maßnahmen voll ausschöpfen.

1. Einleitung

Der Studiengang Physik stellt viele Studierende vor große Herausforderungen. Implizite Theorien (Mindsets (Dweck und Leggett 1988; Dweck 2006)) über Intelligenz und den Erwerb von Fähigkeiten können dabei beeinflussen, wie die Studierenden mit diesen Herausforderungen umgehen. Die Überzeugung, dass intellektuelle Fähigkeiten weitgehend angeboren und unveränderbar sind (Fixed Mindset bzw. entitäre Fähigkeitstheorie), ist hier insgesamt mit eher negativem Lernverhalten und -emotionen verbunden, insbesondere wenn Schwierigkeiten beim Lernen auftreten. Dagegen ist die umgekehrte Überzeugung, dass intellektuelle Fähigkeiten und sogar die eigene Intelligenz schrittweise veränderbar sind durch Anstrengung, die richtigen Strategien und Unterstützung von anderen (Growth Mindset bzw. inkrementelle Fähigkeitstheorie), mit positivem Lernverhalten verbunden (für einige Übersichtspaper siehe z.B. (Burnette et al. 2013; Dweck und Yeager 2019; Yeager und Dweck 2020)).

In den Vereinigten Staaten fand die Theorie über das populärwissenschaftliche Buch „Mindset: The New Psychology of Success“ (Dweck 2006) eine große Verbreitung. Eine viel geteilte Grafik daraus von Nigel Holmes erklärt, dass Personen mit einem Growth Mindset „Herausforderung suchen“, „nicht lockerlassen“, „Kritik als Lernmöglichkeit“ sehen, sich „durch den Erfolg von anderen inspiriert“ fühlen und ein „Bedürfnis zu lernen“ haben, während Personen mit einem Fixed Mindset „schnell aufgeben“, „Kritik ignorieren“, „Herausforderungen vermeiden“ und so ihr „Potenzial nicht voll ausschöpfen“ (Dweck 2006). Die schnelle Verbreitung der Theorie, insbesondere auch bei Lehrkräften in den Vereinigten Staaten könnte zum Teil damit begründet werden, dass diese

gut mit ethischen Grundüberzeugungen von Lehrkräften übereinstimmen (Schuetze 2022). Dies kann aber auch dazu führen, dass die wissenschaftliche Theorie zu stark vereinfacht wird und überhöhte Erwartungen an eine Förderung des Mindsets gestellt werden (vgl. zum Beispiel den Begriff der „Mindset-Revolution“ von Boaler (2013)).

Infolgedessen kam es zu einer Vielzahl von Versuchen, durch Interventionen in verschiedenen Formen positiv auf das Mindset einzuwirken (für eine Übersicht über die Entwicklung und wichtige Studien siehe Burnette et al. 2022). Besonders stark diskutiert wird hierbei die Idee, allein mit einer kurzen Online-Intervention (ca. eine Stunde) eine positive Auswirkung auf die schulischen Leistungen erzielen zu können (siehe z.B. (Yeager et al. 2016)). Zu diesen Interventionsstudien wurden bereits drei Meta-Analysen durchgeführt. Die Gruppe um Sisk, MacNamara und Burgoyne (Sisk et al. 2018; Macnamara und Burgoyne 2022) stellt hierbei den Wert solcher Programme insgesamt in Frage („... positive results are rare and possibly spurious due to inadequately designed interventions, reporting flaws, and bias.“, ebd. S. 1). Eine weitere Meta-Analyse aus dem gleichen Jahr (Burnette et al. 2022) kommt dagegen zu einem differenzierteren, positiven Fazit („Despite the large variation in effectiveness, we found positive effects on academic outcomes, mental health, and social functioning, especially when interventions are delivered to people expected to benefit the most.“). Tipton et al. (Elizabeth Tipton et al. 2022) erklärt die Unterschiede zwischen den Metaanalysen hierbei durch eine veraltete Methodik von Macnamara und Burgoyne (Macnamara und Burgoyne 2022), welche die Heterogenität innerhalb der einzelnen Studien und die positiven Effekte auf Subgruppen verschleierte.

Die Debatte zeigt allerdings, dass man von einer Mindset-Intervention keine Wunder erwarten darf, durch welche plötzlich alle Studierende mit hohem Einsatz erfolgreich in ihr Studium starten. Hier spielen viele Faktoren eine Rolle (für eine Einordnung der Theorie neben anderen motivationalen Faktoren wie Selbstwirksamkeit, Selbstkonzept, Interesse vgl. das Rahmenmodell von Götz et al. 2017, S. 86). Um die Auswirkungen einer Intervention im Kontext des Studieneinstiegs verstehen und das Potenzial bewerten zu können ist es daher wichtig, Mechanismen und Effekte für einzelne Studierende genauer zu analysieren. Dies war das Ziel unserer Fallstudie, die in diesem Beitrag vorgestellt wird.

2. Bisherige Arbeiten der AG Mindset

Ausgehend von Interviews mit Schüler:innen wurde zunächst ein Fragebogen für die Physik entwickelt, mit dem fachspezifische fixe Überzeugungen gemessen werden können (Spatz und Goldhorn 2021). Dies ist insbesondere wichtig, da die klassische Mindset-Skala zur Intelligenz durch die unterschiedliche Interpretation des Begriffs möglicherweise mit systematischen Messfehlern belastet ist (vgl. z.B. (Limeri et al. 2020b)). Diese Skala wurde zunächst auf Physik-Studierende übertragen (Rehberg et al. 2017) und mit Interviews validiert (Diederich und Spatz 2021). In einem nächsten Schritt wurde die Skala für den gesamten MINT-Bereich erweitert und über Korrelationen mit verwandten Skalen aus dem „Mindset Meaning System“ (Begriff nach Yeager und Dweck 2020) extern validiert (Diederich und Spatz 2022a).

Die selbstgesteuerte Online-Intervention wurde zunächst speziell für Physikstudierende entwickelt und pilotiert (Rehberg et al. 2023). Aufbauend auf Feedback zu diesem Kurs wurde er in mehreren Schleifen weiterentwickelt und ebenfalls auf den gesamten MINT-Bereich ausgeweitet (Diederich et al. 2023). In seiner jetzigen Form dauert der Kurs zwischen 60 und 90 Minuten. Er beinhaltet neben Videos und Erfahrungsberichten auch aktive Übungen und vermittelt inhaltlich sowohl klassische Elemente von Mindset-Interventionen (Neuroplastizität: „Dein Gehirn ist trainierbar wie ein Muskel“, „Saying is Believing“-Übung, Erfahrungsberichte, vgl. z.B. (Yeager et al. 2016)) als auch darauf aufbauend Studiertechniken speziell für das Selbststudium an einer Universität (für eine ausführlichere Darstellung siehe Diederich et al. 2023).

3. Forschungsfragen

Anhand von Einzelfallstudien mit Kursteilnehmenden im ersten Semester sollen erste Hinweise zu folgenden Fragen gesammelt werden:

- a) Wie wirken die Inhalte der Online-Intervention auf das Mindset verschiedener Studierendengruppen und für welche Gruppen könnte diese den Einstieg ins Studium erleichtern?
- b) Wie bewerten die Studierenden ihre Teilnahme am Kurs?

4. Methodik

4.1. Durchführung und Stichprobe

Die Teilnehmenden dieser Studie wurden über ein Begleitseminar im ersten Semester (WiSe 22/23) der Universität Paderborn rekrutiert (Der „Physiktreff“ (Bauer et al. 2022)), welches die Studierenden beim Einstieg in das Studium unterstützen soll und an dem sie insgesamt 6 mal in Präsenz teilnehmen. Hierbei wurden zwei Erhebungen mit Likert-Skalen zu Beginn und am Ende des Semesters durchgeführt und zusätzlich eine weitere Erhebung mit qualitativen Nachfragen in der 6. Woche der Sitzungen bearbeitet. Der Kurs wurde hierbei in der 2. Woche als freiwillige Hausaufgabe angeboten. Insgesamt haben hier 17 Studierende zumindest teilweise das Angebot wahrgenommen, von denen 9 Studierende (davon 4 weiblich) im ersten Fachsemester über alle Zeitpunkte einen vollständigen Datensatz aufweisen. An der ersten Erhebung zu Beginn des Semesters haben 56 Studierende teilgenommen.

4.2. Messinstrumente

4.2.1. Erhebungen mit Likert-Skalen zu Beginn und am Ende des Semesters

In den beiden Erhebungen mit Likert-Skalen wurden unter anderem das fachspezifische akademische Selbstkonzept mit einer Skala aus drei Items von Dweck (1999), übersetzt durch Dresel und Grassinger (2013), gemessen (Beispiel-Item: „Ich habe nicht sonderlich viel Vertrauen / vollstes Vertrauen in meine Fähigkeiten, die ich in meinem Studiengang benötige.“). Fixe Überzeugungen wurden hierbei auf zwei Arten erhoben: zum einen das Intelligenz Mindset mit drei Items nach Dweck 1999 (angelehnt an Übersetzungen von Spinath und Stiensmeier-Pelster (Spinath und Stiensmeier-Pelster 2001) und der PISA-Erhebung 2018 (OECD 2019), Beispielitem: „Ich kann zwar Neues lernen, aber meine Intelligenz kann ich nicht wirklich ändern.“), zum anderen das fachspezifische Mindset mit fünf Items nach Rehberg et al. (2020), angepasst auf den allgemeinen Studienkontext (Diederich und Spatz 2022a, Beispielitem: „Ich glaube, manche Leute sind gut in meinem Studienfach und andere werden es nie richtig können, egal wie viel sie dafür lernen.“). Alle Skalen sind 6-stufige Likert-Skalen. Die Werte für Chronbach’s Alpha lagen in vergangenen Erhebungen im guten Bereich (0,79 bis 0,91, vgl. Diederich und Spatz 2022b).

Am zweiten Zeitpunkt wurden zusätzlich Studienabbruchintentionen auf einer 4-stufigen Likert-Skala mit dem Item „Wenn ich eine gute Alternative hätte, würde ich das Studium abbrechen.“ gemessen (Thiel et al. 2008).

4.2.2. Qualitative Erhebung in Woche 6

Ziel dieser zusätzlichen Erhebung war es, genauere Einblicke in das Mindset der Teilnehmenden etwa 5 Wochen nach der Teilnahme am Kurs zu erhalten und zusätzlich Feedback zum Kurs zu sammeln. Hierbei beantworteten die Studierenden in Freitextfeldern

vier Fragen zu vier Bereichen des Mindsets. Diese Fragen wurden bereits in vorhergehenden Interviews (Diederich und Spatz 2021) zur Identifizierung des Mindsets genutzt:

- a) Leistungszurückführung: Welche Eigenschaften benötigt man, um in deinem Studium erfolgreich/gut zu sein?
- b) Begabung: Gibt es eine spezielle physikalische Begabung? Wenn ja, was ist diese Begabung?
- c) Fähigkeitsentwicklung: Könnte jede:r deiner Kommiliton:innen erfolgreich dein Studium bestehen?
- d) Intelligenz: Was ist Intelligenz für dich? Ist Intelligenz für dich etwas Veränderbares?

Zusätzlich wurde hier speziell zum Onlinekurs gefragt, an welche Botschaften sich die Studierenden erinnern können und wie hilfreich sie den Kurs aus der Retrospektive bewerten. Des Weiteren gaben die Studierenden an, ob sie in den ersten Wochen Probleme hatten, bei den Studieninhalten mitzukommen, ob diese Probleme weiterhin bestehen und wo sie persönlich die größten Herausforderungen sehen.

5. Auswertung

Tab. 1 zeigt die deskriptiven Daten der 9 Studierenden, die an dem Kurs teilgenommen haben und einen vollständigen Datensatz aufweisen. Im oberen Teil der Tabelle stehen hierbei einige Indikatoren, die auf mögliche Probleme beim Studienerfolg hindeuten.

Tab. 1: Übersicht über die neun Studierenden mit vollständigem Datensatz, die am Kurs teilgenommen haben. T1: Zu Beginn des Semesters. T2: Am Ende des Semesters. T12: Qualitativer Befragung nach 6 Wochen. Alle Studierenden befinden sich im 1. Fachsemester. Likert-Skalen von 1 bis 6 wenn nicht anders angegeben.

Stud.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Erkennbares Risiko für Studienerfolg?	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Ja	Ja	Ja	Ja
HZB-Note	1,5	1,7	2,2	2,7	1,7	2,2	2,6	2,6	1,9
Mathematiknote	1	1	1,7	1	1	2	3	1	1
Physiknote	1	1	1	2	1	2	3	1,3	2
Zu Beginn Probleme beim Mitkommen (T12) (5 Stufen, 1 → keine)	5	4	1	3	2	5	3	2	5
Probleme bestehen weiterhin (T12) (5 Stufen, 1 → Besser)	2	2		2	1	4	2	3	4
Wechsel bei Alternative (T2) (4 Stufen, 4 Stimme zu)	1	2	2	1	1	3	1	2	3
Fachsp. Selbstkonzept (T1)	4,0	4,0	4,7	5,7	4,7	1,3	2,3	1,0	3,7
Fachsp. Selbstkonzept (T2)	5,5	4,5	4,0	5,5	4,5	4,0	3,0	2,5	2,5
Fachspez. Fixed Mindset (T1)	1,6	1,6	1,4	1,6	3,6	2,6	3,8	3,6	1,6
Intelligenz Fixed Mindset (T1)	1,3	1,7	2,0	1,3	6,0	3,7	2,0	4,7	5,0
Fachspez. Fixed Mindset (T2)	1,4	1,6	1,6	3,0	3,2	2,4	3,8	3,8	2,6
Intelligenz Fixed Mindset (T2)	2,0	1,0	1,0	3,3	4,0	2,0	1,3	2,7	4,0
Fixe Aussagen in Freitextfeldern				(Ja)			Ja	Ja	Ja
War der Kurs hilfreich? (5 Stufen, ++ sehr hilfreich)	++	+	++	+	+	++	++	-	+

Die Zeile „Erkennbares Risiko für Studienerfolg“ gibt eine schnelle binäre Übersicht. Ein Risiko wird hierbei angegeben, wenn bei mindestens zwei der vier Bereiche potenziell ungünstige Werte angegeben werden (Unterdurchschnittliche Noten, Selbstangabe bleibende Probleme beim Einstieg, erhöhte Abbruchintention, niedriges Selbstkonzept). Vier Studierende werden aus diesen Angaben als Risikogruppe bewertet.

Im unteren Teil der Tabelle sind die Skalenwerte zu den beiden Fixed Mindset Skalen zu sehen. Hierbei entsprechen hohe Werte erhöhten fixen Überzeugungen. Bei fünf Studierenden sind zu Beginn fixe Überzeugungen zu erkennen. Nach der Kursteilnahme geben vier Studierende weiterhin Werte im fixen Bereich an. Bei drei dieser vier Studierenden finden sich in den Freitextfeldern des qualitativen Arbeitsblattes (5 Wochen im Semester) Angaben, die nach dem Kodierschema von Diederich und Spatz (2021) als Fixed Mindset Aussagen identifiziert wurden. Im Folgenden werden einzelne Gruppen im Detail analysiert.

5.1. Wie wirken die Inhalte der Online-Intervention auf das Mindset verschiedener Studierendengruppen?

5.1.1. Stud. 1 – 4: Mit Growth Mindset ohne Probleme ins Studium

Eine Gruppe von vier Studierenden (Stud. 1 bis 4) startet ohne erkennbare Probleme mit einem hohen

Selbstkonzept in das Studium. Bereits vor der Kursteilnahme gibt es nur sehr wenige fixe Überzeugungen, welche auch nach der Kursteilnahme weiterhin niedrig bleiben. Die folgenden Zitate verdeutlichen die Überzeugungen der Studierenden:

„Es gibt (vermutlich) keine besondere genetische Veranlagung, jedoch kann man Menschen als begabt bezeichnen, die sich einfach schon lange privat mit Physik beschäftigt haben und so einen Vorteil im Studium haben können.“ (Stud. 1)

„Man kann [Mit einer Begabung, Anm. des Autors] schneller Zusammenhänge verstehen, verknüpfen und erkennen. Theoretisch können das alle, manchen fällt es aber leichter das zu lernen.“ (Stud. 2)

„Wenn man will und sich anstrengt, kann man alles lernen und verstehen (und genug Zeit).“ (Stud. 3)

Stud. 4 zeigt eine Entwicklung zu etwas höheren fixen Überzeugungen. Hier lassen sich keine klaren Growth Mindset Aussagen im qualitativen Teil finden. Beispielaussage:

"Wenn man neue "Dinge" schnell versteht, ist man intelligent." (Stud. 4)

5.1.2. Stud. 5: Mit Fixed Mindset ohne Probleme ins Studium

Bei Stud. 5 sind ebenfalls ein durchgehend hohes Selbstkonzept und keine erkennbaren Schwierigkeiten im ersten Semester zu sehen. Allerdings startet diese Person mit sehr fixen Überzeugungen, die auch nach der Kursteilnahme in abgeschwächter Form weiter bestehen. In den qualitativen Aussagen zeigen sich keine fixen Aussagen. Dagegen ist zu sehen, dass die Grundbotschaften des Kurses verstanden wurde: „Wenn man sich viel mit einer Sache beschäftigt, baut das Gehirn für diesen Bereich mehr Verbindungen auf, man wird also im Prinzip "intelligenter"“ (Stud. 5)

In der Fragebogenerhebung am Ende des Semesters zeigen sich dennoch Skalenwerte im fixen Bereich.

5.1.3. Stud. 6: Probleme trotz Growth Mindset

Stud. 6 startet mit für ein Physikstudium unterdurchschnittlichen Noten und einem sehr niedrigen Selbstkonzept in das Studium. Zu Beginn gibt es einige fixe Überzeugungen in der Intelligenz Mindset Skala. Nach der Kursteilnahme steigt das Selbstkonzept und es gibt eine Entwicklung zum Growth Mindset. Dennoch werden bleibende Probleme im ersten Semester angegeben (Persönliche Herausforderung: „Zeitmanagement bzw. wirklich was für die Uni zu tun“) und es bestehen erhöhte Abbruchsintentionen. Beispielaussagen:

„Intelligenz ist nicht etwas Festangeborenes, sondern (leicht) Veränderbares.“ Erläuterung - Warum denkst du so? „[Ich] konnte früher noch nicht $1 + 1$ rechnen, jetzt schon (außerhalb Analysis 1, da kann ich es noch nicht :))“ (Stud. 6)

5.1.4. Stud. 7 - 9: Probleme und weiterhin fixe Überzeugungen auch nach Kursteilnahme

Eine Gruppe von drei Studierenden gibt ein niedriges Selbstkonzept und erhöhte fixe Überzeugungen an. Bei allen drei Studierenden finden sich auch fixe Aussagen in den qualitativen Freifeldtexten, die nach der Kursteilnahme weiterhin bestehen. Bei fachspezifischen fixen Überzeugungen scheint hierbei der Begabungsbegriff entscheidend. Mit einer Begabung besäße man bereits Fähigkeiten wie ein Verständnis oder eine Vorstellungskraft, die eigentlich durch das Studium selbst erreicht werden sollen:

„Die Begabung ist, wenn man ein gutes physikalisch-mathematisches Verständnis hat und dadurch alles durch Formeln herleiten kann.“ (Stud. 7)

Definition physikalische Begabung: „Vorstellungskraft im Bezug auf physikalische Zusammenhänge“ (Stud. 8)

Auch beim Intelligenz Fixed Mindset bestehen weiterhin fixe Überzeugungen. Hier wurde teilweise die Botschaft des Kurses abgelehnt:

„Intelligente Menschen lernen in der Regel schneller und verstehen Zusammenhänge besser, unabhängig von den Vorkenntnissen im Wissensgebiet. Es hat mit der Kapazität des Gehirns zu tun.“ (Stud. 9)

Bei Stud. 8 wird zwar nach der Kursteilnahme im Fragebogen ein Intelligenz Growth Mindset angekreuzt. Allerdings zeigen Formulierungen, dass hier weiterhin alte fixe Denkmuster bestehen, bei denen Intelligenz als feste Kategorie verwendet wird:

Zum Studienerfolg: "Eigentlich weiß ich, dass ich schlau genug bin (oder sagen wir sein müsste)." (Stud. 8)

5.2. Wie bewerten die Studierenden ihre Teilnahme am Kurs?

Der Kurs wird von den Teilnehmenden fünf Wochen nach der Teilnahme überwiegend als etwas hilfreich oder sehr hilfreich bewertet (vgl. Tab. 2).

Tab. 2: Antworten der Kursteilnehmenden auf die Frage: Wie hilfreich bewertest Du aus der heutigen Perspektive den Kurs als Ganzen? Messung fünf Wochen nach Kursteilnahme.

Sehr hilfreich	Etwas hilfreich	Teils - Teils	Wenig Hilfreich	Gar nicht hilfreich
6	8	1	2	0

5.2.1. Gründe für positive Bewertungen

Es werden sehr unterschiedliche Aspekte genannt. Positive Stimmen beziehen sich häufig auf die Lern-techniken und Inhalte, zum Teil (in 3 Fälle) aber auch auf eine motivierende Wirkung des Kurses:

a) Die Inhalte werden als motivierend beschrieben.

Sehr hilfreich: „Erklärt nochmal psychologisch, wieso was gut ist. Motiviert. Ändert das Mindset (bzw. hilft es zu "lenken").“ (Stud. 3)

Sehr hilfreich: „Ist motivierend und stellt sinnvolle Lernmethoden dar.“ (Stud. 6)

b) Bekannte Inhalte werden verstärkt und nochmals bewusst gemacht.

Sehr hilfreich: „Einiges aus dem Kurs wusste ich schon, anderes war neu. Auf jeden Fall war es nützlich das Ganze nochmal zu wiederholen.“ (Stud. 1)

Etwas hilfreich: „Hat Punkte, die ich bereits kannte, verstärkt.“ (Stud. 11, unvollst. Datensatz)

c) Die vorgestellten Lerntechniken werden als hilfreich wahrgenommen.

Etwas hilfreich: „Die Vorstellung von Lerntechniken war sehr gut, da man so neue Lerntechniken kennengelernt hat, die mir persönlich geholfen haben, den "großen" Lernaufwand der Uni im Gegensatz zur Schule besser zu strukturieren und effektiver zu lernen.“ (Stud. 2)

d) Der Kurs hilft beim Abbau von Unsicherheiten.

Sehr hilfreich: „Es hat mich motiviert, dass ich es schaffen kann, auch als ich anfangs noch unsicher war.“ (Stud. 12, unvollst. Datensatz)

Etwas hilfreich: „noch nicht vollständig gemacht - zeigt Normalität.“ (Stud. 13, unvollst. Datensatz)

5.2.2. Kritische Stimmen

Die kritischen Angaben richteten sich nicht direkt gegen die Inhalte, sondern nennen zumeist Probleme bei der Umsetzung:

a) Die Umsetzung der Inhalte ist schwierig.

Wenig hilfreich: „Die Umsetzung ist mir nicht gelungen.“ (Stud. 8)

Etwas hilfreich: „Weil die tatsächliche Umsetzung des Gelernten noch ein schwieriger Schritt ist - die Theorie zu wissen an sich aber sehr gut ist.“ (Stud. 9)

Teils-Teils: „Ich habe nicht viel von dem Kurs angewendet, da ich wenig bis keine Zeit habe zu lernen.“ (Stud. 12, unvollst. Datensatz)

b) Der Kurs hat sehr viele Inhalte.

Etwas hilfreich: „Viele neue Informationen - man konnte sich nicht alles merken.“ (Stud. 4)

Etwas hilfreich: „Ich müsste die Inhalte noch vertiefen, aber teilweise wende ich sie schon auf mein Studium an.“ (Stud. 5)

c) Der Zeitpunkt ist zu spät.

Wenig hilfreich: „In der zweiten Woche ist das zu spät.“ (Stud. 13, unvollst. Datensatz.)

5.3. Angaben der Nicht-Teilnehmenden

Insgesamt haben 36 Studierende beim qualitativen Arbeitsblatt Angaben gemacht, ohne selbst am Kurs teilgenommen zu haben. Als häufigste Begründung für die Nichtteilnahme wird Zeitmangel (15 mal) und Vergessen (8 mal) genannt. In dieser Gruppe können sechs Wochen nach Studienbeginn bei neun Studierenden (25%) klare fixe Aussagen identifiziert werden, während 14 Studierende eine klare Growth

Mindset Position vertreten. Die Aussagen der übrigen 13 Studierenden lassen sich nicht eindeutig einem Mindset zuordnen. Die fixen Überzeugungen nehmen hierbei vielfältige Formen an. Fünf Aussagen beziehen sich auf die Unveränderbarkeit von Intelligenz bzw. kognitiver Leistungsfähigkeit (z.B. „IQ ist unveränderbar“). Weitere Aussagen beziehen sich auch hier auf den Begabungsbegriff. Beispiele für Definitionen von physikalischer Begabung:

- „Physik schnell und ohne Probleme selbst bei einmaligem Hören zu verstehen und korrekt anwenden zu können.“

- „Es ist die Begabung Beobachtungen analysieren zu können. Sie zeichnet sich auch durch eine besonders starke Vorstellungskraft aus.“

Zum Teil werden motivationale Größen als scheinbar unveränderbar Eigenschaften verwendet, was man in der folgenden Begründung sieht, warum nicht alle Studierenden das Studium schaffen können:

- „Fehlendes Durchhaltevermögen“

- „Von der Begabung her, denke ich, dass es machbar ist, da ich glaube, dass Willensstärke einen größeren Einfluss hat (also ja, falls Willensstärke vorhanden, nein sonst).“

Während 18 Studierende angeben, dass sie beim Einstieg Probleme hatten, geben zu diesem Zeitpunkt nur sechs Personen an, dass diese Probleme weiterhin bestehen (davon drei der Growth-Mindset Gruppe und ein Fixed Mindset Studierender)

6. Diskussion

Der Kurs könnte Studierende auf unterschiedliche Weise unterstützen. Einige Studierende (hier Stud. 1 bis 4) starten bereits mit einem Growth Mindset in das Studium. Hier kann der Kurs diese Überzeugung verstärken. Die Botschaft wird in den vier Fällen als hilfreich wahrgenommen, da sie gut zu den bisherigen Überzeugungen passt. So könnte der Kurs ein Growth Mindset stabilisieren und vor einem Rückgang schützen, der zum Teil in anderen Studien (Diederich und Spatz 2022b; Limeri et al. 2020a) über das erste Semester beobachtet wurde. Da die Studierenden bisher noch von keinen Schwierigkeiten im ersten Semester berichten, könnte sich ihre Überzeugung von Beginn des Semesters aber auch ohne den Kurs halten. Es wird sehr interessant, wie sich diese Gruppe weiterentwickelt, insbesondere auch nach potenziellen Rückschlägen z.B. in der Klausurenphase.

Bei Stud. 5 steht die Botschaft des Kurses dagegen im Konflikt mit den vorherigen fixen Überzeugungen. Hier kann der Kurs für einen Reflexionsprozess sorgen. Auch wenn in den Freifeldern die Growth Mindset Botschaft aus dem Kurs wiedergegeben wird, werden weiterhin eher fixe Werte in den Mindset Skalen angekreuzt. Trotz dessen berichtet diese Person von einem problemlosen Start in das erste Semester.

Demgegenüber sind die fixen Überzeugungen bei Stud. 6 zu Beginn nicht so stark ausgeprägt, so dass

die Inhalte des Kurses vollständig überzeugen können. Diese klare Growth Haltung auch in den Freitextfeldern zusammen mit einer Zunahme des fachspezifischen Selbstkonzeptes spricht dafür, dass der Kurs hier einen positiven Einfluss hatte. Dennoch berichtet diese Person von bleibenden Schwierigkeiten, insbesondere beim Zeitmanagement, und es bestehen erhöhte Abbruchsintentionen. Auch wenn ein:e Studierende:r einen Growth Mindset annimmt, bleibt das Physikstudium eine große Herausforderung und es kann gute Gründe geben, sich gegen das Studium zu entscheiden. Hier könnte der Kurs dabei helfen, dass ein möglicher Abbruch nicht aus Selbstzweifeln heraus entsteht.

In der letzten Gruppe zeigt sich, dass sich fixe Überzeugungen auch nach der Kursteilnahme halten können. Durch die Online-Intervention allein ist es nicht gelungen, alle Formen von fixen Überzeugungen zu adressieren und zu ändern. Hier zeigt sich, dass diese sehr hartnäckig sein können und sehr unterschiedliche Formen annehmen. Eine weitere Überarbeitung des Kurses wäre möglich. Es bleibt allerdings unklar, ob man mit diesem Format hier wesentlich größere Effekte erzielen kann. Die Mindset Messung mit jeweils einem Item zu Beginn und am Ende des Kurses zeigt, dass hier bereits ein Impuls mit großer Effektstärke gesetzt wird (Diederich et al. 2023). Ein Problem besteht darin, dass dieser Impuls allerdings nur zu einem einzigen Zeitpunkt erfolgt. Eine Wiederholung der Botschaft zu mehreren Zeitpunkten scheint hier vielversprechender.

Das Feedback der Studierenden zeigt, dass die Inhalte des Kurses in dieser Form als insgesamt hilfreich wahrgenommen werden. Einige Studierende könnten von zusätzlichen Maßnahmen profitieren, in denen die Inhalte vertieft werden. So könnte man zum Beispiel Tutor:innen schulen und diese als Multiplikator:inne nutzen, um die Mindset-Botschaft sowie die Grundprinzipien von gutem selbstständigem Lernen immer wieder aufzugreifen und zu verstärken (vgl. hier den Ansatz von Cutts et al. 2010 mit Informatikstudierenden). Einige Studierende könnten von Gruppengesprächen profitieren, um sicherzugehen, dass die Mindset-Botschaft klar ankommt und um einen aktiven Reflexionsprozess zu fördern.

Die Analyse der Nicht-Teilnehmenden zeigt, dass auf der einen Seite fast 40 % der 36 Studierenden auch ohne Kurs eine klare Growth Mindset Haltung vertreten, während bei 25% klare fixe Aussagen erkennbar sind. Nur eine Minderheit von 6 Studierenden gibt an, bleibende Probleme beim Studieneinstieg zu haben, darunter nur eine Person mit Fixed Mindset. Hierbei ist zu beachten, dass durch die Art der Fragestellungen mit Selbstangaben mit einer Verzerrung zu rechnen ist. So könnten mögliche Probleme in der Fixed Mindset Gruppe nicht angegeben werden, weil das eigene Fähigkeitsniveau nicht kritisch reflektiert wird. Hier können Daten nach den Klausurergebnissen weitere Anhaltspunkte geben.

7. Limitationen und Fazit

Die Studie weist mehrere Limitationen auf. Zum einen ist die Teilnehmendenzahl niedrig und es gibt eine Selbstselektion durch die freiwillige Kursteilnahme. Eine Erweiterung der Studie mit Teilnehmenden, die im Zuge einer Veranstaltung (z.B. im Vorkurs) verpflichtend an dem Kurs teilnehmen, könnte hier weitere Perspektiven geben. Zusätzlich umfassen die bisherigen Daten einen sehr begrenzten Zeitraum. Hier sind im zweiten Semester Gruppengespräche und eine weitere Erhebung geplant, welche die einzelnen Profile ergänzen können. Da qualitative Daten nur zu einem Zeitpunkt nach der Kursteilnahme erhoben wurden, können hier keine Veränderungen durch den Kurs beobachtet werden. Hier könnte eine Studie, die mehrfach mit Freitextfeldern arbeitet anstatt mit einer Mischung aus Likert-Skalen und Freitextfeldern zusätzliche Informationen liefern. Dabei ist allerdings zu bedenken, dass die Verwendung von Freitextfeldern selbst einen Reflexionsprozess und eine Veränderung im Mindset bei den Studierenden auslösen kann, da so bewusst über die sonst meist unterbewussten Fähigkeitstheorien nachgedacht wird. Dies kann ebenfalls bei Likert-Erhebungen auftreten, allerdings ist bei der aktiven Reflexion in Freitextfeldern ein größerer Effekt zu erwarten.

Insgesamt bewerten die Studierenden den Kurs positiv und dieser könnte in einigen Fällen einen positiven Einfluss auf die Motivation und den Studienerfolg haben. Eine große Effektstärke in Bezug auf den Verbleib im Studium oder auf die Noten durch den Onlinekurs allein ist aus mehreren Gründen nicht zu erwarten:

- a) Einige Studierende vertreten schon vor Kursteilnahme ein Growth Mindset.
- b) Einige Studierende könnten trotz Growth Mindset sich gegen eine Fortsetzung des Studiums entscheiden.
- c) Bei einigen Studierenden bestehen auch nach Kursteilnahme weiterhin einige potenziell hinderliche fixe Überzeugungen.

Punkt c zeigt, dass das Potenzial der Mindset-Theorie durch den Onlinekurs allein nicht ausgereizt wird. Mit begleitenden Maßnahmen könnten hier größere Effekte erreicht und die Studierenden noch stärker motiviert werden. Insgesamt gibt es bisher keine Hinweise auf eine negative Wirkung des Kurses. Der Kurs könnte als ein kompakter Baustein von vielen den Start in das Studium erleichtern und soll im Laufe des Jahres als Open Educational Ressource zur Verfügung gestellt werden. Bitte melden Sie sich bis dahin beim Erstautor, wenn Sie die Materialien nutzen möchten.

8. Literatur

Bauer, Anna B.; Woitkowski, David; Reuter, Dirk; Reinhold, Peter (2022): Fachliche und überfachliche Herausforderungen in der Studienein-

- gangsphase Physik. In: Uwe Fahr, Kenner Alessandra, Holger Angenent und Alexandra Eßer-Lüghausen (Hg.): Hochschullehre erforschen. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden (Diversität und Bildung im digitalen Zeitalter), S. 339–361.
- Burnette, Jeni L.; Billingsley, Joseph; Banks, George C.; Knouse, Laura E.; Hoyt, Crystal L.; Pollack, Jeffrey M.; Simon, Stefanie (2022): A systematic review and meta-analysis of growth mindset interventions: For whom, how, and why might such interventions work? In: *Psychological bulletin*.
<https://doi.org/10.1037/bul0000368>
- Burnette, Jeni L.; O'Boyle, Ernest H.; VanEpps, Eric M.; Pollack, Jeffrey M.; Finkel, Eli J. (2013): Mind-sets matter: a meta-analytic review of implicit theories and self-regulation. In: *Psychological bulletin* 139 (3), S. 655–701.
<https://doi.org/10.1037/a0029531>
- Cutts, Q.; Cutts, E.; Draper, S.; O'Donnell, P.; Safrey, P. (2010): Manipulating Mindset to Positively Influence Introductory Programming Performance. New York N.Y.: ACM.
<https://doi.org/10.1145/1734263.1734409>
- 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 <https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phydid-b/article/view/1135>, zuletzt geprüft am 16.05.2023.
- Diederich, M.; Spatz, V. (2022a): The role of domain-specific growth mindset (implicit theories) at the beginning of STEM university studies: Comparing new and old measures. [Manuskript eingereicht zur Publikation]. In: *IOP Journal of Physics: Conference Series*.
- Diederich, M.; Spatz, V. (2022b): Welche Rolle spielt das Mindset beim Studienabbruch im MINT-Studium? Eine fächerübergreifende Erhebung im ersten Semester. In: *PhyDid B - Didaktik Der Physik - Beiträge Zur DPG-Frühjahrstagung, 1*. Online verfügbar unter <https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phydid-b/article/view/1283>, zuletzt geprüft am 16.05.2023.
- Diederich, M.; Spatz, V.; Rehberg, J.; Wilhelm, T. (2023): Weiterentwicklung einer synergetischen Mindset Intervention für die MINT-Studieneingangsphase. [Im Druck] In: v. Vorst, H. (Hrsg.). *Lernen, lehren und forschen in einer digital geprägten Welt, Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Aachen 2022*.
- Dweck, C. S. (2006): Mindset: The new psychology of success.: Random House.
- Dweck, C. S.; Leggett, E. L. (1988): A social-cognitive approach to motivation and personality. In: *Psychological review* 95 (2), S. 256–273.
<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.
<https://doi.org/10.1177/1745691618804166>
- Elizabeth Tipton; Christopher Bryan; Jared Scott Murray; Mark McDaniel; Barbara Lynn Schneider; David S Yeager (2022): Why Meta-Analyses of Growth Mindset and Other Interventions Should Follow Best Practices for Examining Heterogeneity. ResearchGate.
<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.34070.01605>
- 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).
<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. <https://doi.org/10.1187/cbe.19-09-0169>
- Macnamara, Brooke N.; Burgoyne, Alexander P. (2022): Do growth mindset interventions impact students' academic achievement? A systematic review and meta-analysis with recommendations for best practices. In: *Psychological bulletin*.
<https://doi.org/10.1037/bul0000352>
- OECD (2019): PISA 2018 Ländernotiz Deutschland. Online verfügbar unter https://www.oecd.org/pisa/publications/PISA2018_CN_DEU_German.pdf, zuletzt geprüft am 16.05.2023.
- 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 16.05.2023.
- Rehberg, Jana; Wilhelm, T.; Spatz, V.; Diederich, M. (2023): Längsschnittstudie und Online-Workshop zum physikspezifischen Mindset. [Im Druck]. In: v. Vorst, H. (Hrsg.). *Lernen, lehren und forschen in einer digital geprägten Welt, Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Aachen 2022, Band 43*.

- Rehberg, Jana; Wilhelm, Thomas; Spatz, Verena; Goldhorn, Laura (2017): Pilotierung eines Mindsetfragebogens mit Physik-(Lehramts-)Studierenden. In: *GDCP Tagungsband*, S. 397–400. Online verfügbar unter https://www.gdcp-ev.de/wp-content/tb2020/TB2020_397_Rehberg.pdf, zuletzt geprüft am 16.05.2023.
- Schuetze, B. (2022): The Research-Practice Divide Is Not Only an Issue of Communication, but of Values: The Case of Growth Mindset. <http://dx.doi.org/10.26153/tsw/21506>
- Sisk, V. F.; Burgoyne, A. P.; Sun, J.; Butler, J. L.; Macnamara, B. N. (2018): To What Extent and Under Which Circumstances Are Growth Mind-Sets Important to Academic Achievement? Two Meta-Analyses. In: *Psychological science* 29 (4), S. 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. In: *EUR J SCI MATH ED* 9 (3), S. 92–109. <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.
- Thiel, F.; Veit, S.; Blüthmann, I.; Lepa, S.; Ficzk, M. (2008): Ergebnisse der Befragung der Studierenden in den Bachelorstudiengängen an der Freien Universität Berlin. Sommersemester 2008. Freie Universität Berlin. Online verfügbar unter https://www.researchgate.net/publication/265596914_Ergebnisse_der_Befragung_der_Studierenden_in_den_Bachelorstudiengängen_an_der_Freien_Universität_Berlin_Sommersemester_2008, zuletzt geprüft am 15.06.2023.
- Yeager, D. S.; Dweck, C. S. (2020): What can be learned from growth mindset controversies? In: *The American psychologist* 75 (9), S. 1269–1284. <https://doi.org/10.1037/amp0000794>
- Yeager, David S.; Romero, Carissa; Paunesku, Dave; Hulleman, Christopher S.; Schneider, Barbara; Hinojosa, Cintia et al. (2016): Using Design Thinking to Improve Psychological Interventions: The Case of the Growth Mindset During the Transition to High School. In: *Journal of educational psychology* 108 (3), S. 374–391. <https://doi.org/10.1037/edu0000098>

Anhang

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.



Belastungsquellen in der Studieneingangsphase Physik

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

Georg-August-Universität Göttingen, Physik und ihre Didaktik, Friedrich Hund-Platz 1, 37077 Göttingen

*simon.lahme@uni-goettingen.de

Kurzfassung

Die Studieneingangsphase Physik wird von Studierenden oftmals als herausfordernd empfunden, was sich in Belastungsempfindungen ausdrücken kann. Um die Ursachen dieser Belastung besser nachzuvollziehen, wurden Physikmono- und -zweifächerbachelorstudierende der Universität Göttingen in ihrem ersten und zweiten Semester in einer Panelstudie nahezu wöchentlich an 44 Messzeitpunkten nach ihren bis zu drei zentralsten Belastungsquellen gefragt. Die insgesamt 3467 Antworten wurden in einer strukturierten Inhaltsanalyse in 20 Kategorien in vier Dimensionen (universitäre, private, globale und sonstige Belastungsquellen) zusammengefasst und kodiert. Zentrale Belastungsquellen sind die wöchentlichen Übungsblätter (speziell in der Mathematik), die Mathematik-Lehrveranstaltungen selbst sowie die Prüfungen und Prüfungsvorbereitung. Dabei bilden die Anzahl und Art der jeweils genannten Belastungsquellen den Verlauf des Semesters ab und zeigen die in den einzelnen Semesterwochen charakteristischen Schlüsselherausforderungen auf. So können perspektivisch passgenaue Unterstützungsmaßnahmen ins Physikstudium implementiert werden.

1. Das Projekt „Belastungstrajektorie“

Die Studieneingangsphase Physik wird von Studierenden oft als herausfordernd empfunden, da sie mit universitären Anforderungen auf verschiedensten Ebenen (fachlich, aber auch metakognitiv, sozial, etc.) verbunden ist (Bauer et al., 2019). Kennzeichnend hierfür ist die zuletzt immer weiter gestiegene Studienabbruchquote, die in der Fächergruppe Physik/Geowissenschaften in universitären Bachelorstudiengängen mit 60% zuletzt ein Allzeithoch erreichte und damit höher als in allen anderen Fächergruppen ist (Heublein et al., 2017; Heublein et al., 2022). Der Studienabbruch erfolgt in 42% der Fälle in der Fächergruppe Mathematik/Naturwissenschaften bereits im ersten Studienjahr (Heublein et al., 2017). Eine mangelnde Passung zwischen universitären Anforderungen und individuellen Lernressourcen der Studierenden kann zu Stress-/Belastungserleben führen (Ortenburger, 2017; Schwedler, 2017). Im Projekt „Belastungstrajektorie“ wird daher an der Universität Göttingen das Belastungserleben der Studierenden in der Studieneingangsphase Physik untersucht. Ziel ist, im Rahmen einer Panelstudie bei Physikhauptfach- und -zweifächerbachelorstudierenden (i. W. B. Sc. und Lehramt) die wahrgenommene Belastung im Verlauf der Studieneingangsphase mit hoher zeitlicher Auflösung auf Wochenebene zu erheben. Perspektivisch können Diagnose- und Unterstützungsmaßnahmen für die Studierenden abgeleitet und zeitlich passgenau implementiert werden. Vorarbeiten (Cirkel et al., 2023; Lahme et al., 2022) zeigen, wie sich die wahrgenommene Belastung, gemessen mit dem Perceived Stress Questionnaire (Levenstein et al., 1993; dt. Version Fliege et al., 2001), sich über den Verlauf des ersten und zweiten Studiensemesters entwickelt (s. Abb.1). In diesem Beitrag soll es darum

gehen, welche Belastungsquellen die Studierenden nennen, d. h. welche Gründe aus Studierendensicht zu Belastungserleben führen. Die Forschungsfrage ist dabei: Welche Quellen sind aus Sicht der Studierenden ursächlich für ihre Belastungsempfindungen?

Im Beitrag wird beschrieben, wie ausgehend von 3467 erhobenen Freitextantworten der Studierenden ein Kategoriensystem zu den Belastungsquellen gebildet und wie sich dieses in den Forschungsstand einordnen lässt. Daran schließt sich eine Analyse der Kodierungen an, welche auch die jeweilige Relevanz der Belastungsquellen im zeitlichen Verlauf der Studieneingangsphase aufzeigt.

2. Forschungsstand zu Belastungsquellen

In der Literatur werden im Kontext der Studieneingangsphase verschiedenster Fächer Faktoren identifiziert und diskutiert, die zu einem Belastungserleben und mitunter auch zu Studienabbruch führen können. Speziell fürs Studienfach Physik hat Albrecht (2011) in einer Literaturübersicht ausgehend von Vorarbeiten von Heublein et al. (2010) zehn Bedingungsfaktoren für Studienabbruch identifiziert. Hierzu zählen Herkunftsbedingungen (soziale Herkunft, die familiäre Umgebung, sozio-ökonomischer Status), die Studienvoraussetzungen (schulische Vorkenntnisse, besonders im Bereich Mathematik), Studienmotivation (intrinsische Motivation, Fachinteresse), Lebensbedingungen (familiäre und partnerschaftliche Situation, gesundheitliche Probleme) und die finanzielle Situation (inkl. Erwerbstätigkeit). Außerdem wurden psychische und physische Ressourcen (z. B. bezüglich des Lernprozesses, Konzentrations- und Kommunikationsfähigkeiten, psychische Stabilität), die Leistungsfähigkeit (inkl. Lernstrategien, Lernmotivationen und Zeitmanagement), Studienbedingungen

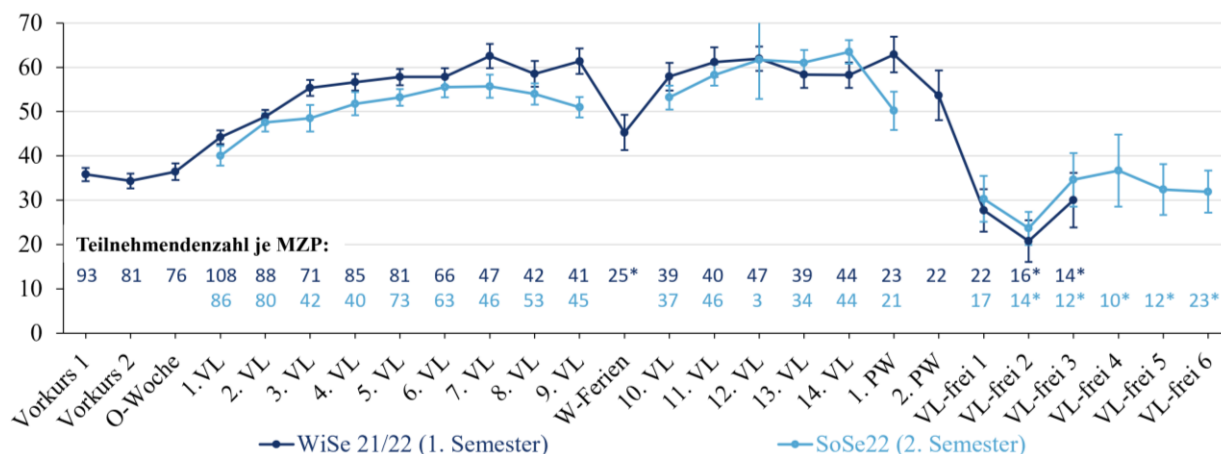


Abb.1: Belastungstrajektorie des ersten und zweiten Studiensemesters Physik. Dargestellt sind auf der artifiziiellen Skala von 0 (minimale) bis 100 (maximale Belastung) Mittelwert und Standardfehler der Belastung der Studierenden je Messzeitpunkt, vom Vorkurs, über die Orientierungswoche (O-Woche), die Vorlesungszeit (VL), die Weihnachtsferien (W-Ferien, nur WiSe), die Prüfungswochen (PW) und die vorlesungsfreie Zeit (VL-frei). Angegeben ist zudem die Anzahl an Teilnehmenden je Messzeitpunkt. Mit * markierte Messungen erfolgten im zweiwöchigen, sonst im einwöchigen Abstand.

(z. B. Genderverhältnis, Lehrqualität, Betreuung, Anforderungen) und soziale Integration an der Universität als Faktoren identifiziert. Albrecht zeigt, dass vor allem inhaltliche Anforderungen, mangelnde Studienmotivation und Studienbedingungen (z. B. Organisation des Studiums, unbefriedigendes fachliches Niveau) bei Physikhauptfach- und -lehramtsstudierenden Exmatrikulationsmotive sind.

Schwedler (2017) hat mit vier konsekutiven Fragebögen im Semesterverlauf und zusätzlichen Interviews „Ursachen und Auslöser der Fehlbeanspruchung“ (S.173) für Chemie-Erstsemesterstudierende untersucht. Sie zeigte, dass primär die inhaltlich-fachlichen Anforderungen des Studiums belastend sind, die nach qualitativen (dominierend) und quantitativen Gründen sowie Prüfungsversagen differenziert werden können. Zu Semesterbeginn sind vor allem qualitative Belastungsquellen genannt worden, in der zweiten Semesterhälfte hingegen häufiger quantitative, besonders im Zusammenhang mit dem Laborpraktikum für Allgemeine Chemie und der Klausurvorbereitung. Zusätzlich wurden mit geringerer Bedeutung noch organisatorische, physische (inkl. Krankheit) und soziale Belastungsquellen genannt. Unter den Fächern wird an erster Stelle primär als qualitative Belastung die Mathematik, an zweiter Stelle vor allem quantitativ das Laborpraktikum genannt. Als herausforderndste Lernform wird das häusliche Lernen (inkl. Übungsaufgaben und Vorlesungsnachbereitung) gesehen, gefolgt von Vorlesungen, Prüfungen und dem Laborpraktikum. Übungen und Tutorien werden hingegen kaum genannt.

In einer fächerübergreifenden Studie mit 4087 Bachelorstudierenden (davon 16% in der Fächergruppe Naturwissenschaften/Physik) hat Ortenburger (2013) gezeigt, dass Stressempfinden im Studium vor allem mit Zeitnot und Leistungsdruck, aber auch mit Zukunftsangst, Überforderung und Unsicherheit assoziiert wird. In der Studie wurden neben dem Studium, welches Pensum, Anforderungen und Perspektiven umfasst, auch noch zehn weitere Lebensbereiche

berücksichtigt, die sich in vier übergeordnete Bereiche clustern ließen: Der erste umfasst die Arbeit (z. B. Erwerbstätigkeit) und finanzielle Situation, der zweite die Freizeit und Sozialkontakte, der dritte Kinder, Haushalt und Partnerschaft und der vierte die familiäre Situation, Gesundheit und Wohnsituation. Besonders der erste Bereich aus Arbeit und finanzieller Situation sowie die Freizeit werden von etwa 40% der Studierenden als (sehr) stark, bei etwa genauso vielen Studierenden aber auch als (gar) nicht belastend empfunden. Ortenburger schlussfolgert daher, dass gerade die Studienfinanzierung, die sich mitunter auch auf die Freizeit auswirke, zwischen belasteten und nicht belasteten Studierenden diskriminiere.

3. Methodik und Datenerhebung

3.1. Datenbasis: Wöchentliche Freitextantworten

Im Rahmen der Panelstudie „Belastungstrajektorie“ an der Universität Göttingen wurde zusätzlich zur wöchentlichen Belastungsmessung mit dem Perceived Stress Questionnaire eine Freitextfrage eingesetzt, in der die Studierenden bis zu drei ihrer Ansicht nach momentan zentralen Belastungsquellen stichwortartig angeben sollten. Die Datenerhebung erfolgte anonym, anfangs mit Papierfragebogen, später und insbesondere in der vorlesungsfreien Zeit mit einer Online-Umfrage, im Wintersemester 21/22 (WiSe 21/22) im Rahmen der Erstsemester-Vorlesung „Rechenmethoden der Physik“ sowie im Sommersemester 22 (SoSe 22) im Rahmen der Zweitsemester-Vorlesung „Experimentalphysik II“ wöchentlich (in der vorlesungsfreien Zeit zweiwöchentlich). Je Messzeitpunkt (44 insgesamt) nahmen bis zu 108 Studierende teil; die genauen Teilnehmendenzahlen sind Abb.1 zu entnehmen. Die Studierenden gaben je Messzeitpunkt $M = 1.65$, $SD = 0.38$ Belastungsquellen an, in den Vorlesungswochen tendenziell etwas mehr ($M = 1.83$, $SD = 0.25$) als außerhalb dieser ($M = 1.26$, $SD = 0.38$). Im WiSe 21/22 wurden von den Studierenden insgesamt 2219, im SoSe 22 insgesamt 1248 Belastungsquellen angegeben, die im

Rahmen einer qualitativen Inhaltsanalyse induktiv kategorisiert wurden (Mayring, 2015).

3.2. Kategoriensystem zu Belastungsquellen

Das Kategoriensystem zu Belastungsquellen im Physikstudium (Kurzform s. Abb.2, Langform s. Zusatzmaterial) besteht aus vier übergeordneten Dimensionen, die sich darin unterscheiden, wie sehr die Belastungsquellen mit dem Studium zusammenhängen. So gibt es universitäre Belastungsquellen, die immanent durch das Studium bedingt sind, globale Belastungsquellen, die an der Schnittstelle zwischen Studium und Privatleben stehen oder beide Lebensbereiche gleichermaßen betreffen sowie private Belastungsquellen, die sich zwar aufs Studium auswirken können, aber nicht durch dieses hervorgerufen werden. Zudem gibt es sonstige Belastungsquellen, da sich die stichwortartigen Freitextantworten nicht immer eindeutig einer Kategorie zuordnen ließen. Die Dimensionen schlüsseln sich wie nachfolgend beschrieben in 20 Kategorien, teils noch mit Subkategorien, auf.

3.2.1. Universitäre Belastungsquellen

Die universitären Belastungsquellen adressieren Rahmenbedingungen und Anforderungen des Studiums. Unter „Studienbedingungen (U1)“ werden alle Belastungen kodiert, die durch generelle Studien- und universitäre Rahmenbedingungen erzeugt werden. Dies reicht von Richtlinien über Strukturen, Angebote und Gegebenheiten bis hin zur Ausstattung der Universität und umfasst z. B. das Pendeln zwischen Fakultäten, terminliche Überschneidungen zwischen Lehrveranstaltungen, die Vorlesungszeiten selbst oder Bürokratie. Die Kategorie „Übergang Schule – Hochschule bzw. Semesterstart (U2)“ beinhaltet sämtliche Belastungen, die durch den Übergang von der Schule ins erste Studiensemester oder den Übergang von der vorlesungsfreien Zeit ins nächst-höhere Semester hervorgerufen werden. Hierzu zählen die Eingewöhnung in den Studienalltag, Unterschiede zum schulischen Lernen oder das Fehlen bzw. Aufarbeiten notwendiger Vorkenntnisse. Die „Studienorganisation (U3)“ umfasst sämtliche Belastungen, die mit der individuellen, selbstgesteuerten Organisation, Planung

und Strukturierung des Studiums verbunden sind, z. B. bei der Wahl von Lehrveranstaltungen und der Stundenplanerstellung. Im Gegensatz dazu adressiert die Kategorie „Individueller Studienalltag/Zeitmanagement (U4)“ die individuelle, selbstgesteuerte Wochenplanung und das Zeitmanagement, etwa bezüglich der Koordination von Terminen oder des Einteilens der Arbeitszeit für Übungsblätter, Protokolle oder Prüfungsvorbereitung. Im Bereich „Studienbezogene Selbstregulation (U5)“ werden sämtliche Ängste, Unsicherheiten, motivationale Faktoren und Strategien kodiert, die im unmittelbaren Zusammenhang zum Studium stehen, was von Studienzweifeln über Leistungsdruck und Versagensängsten bis hin zu Prokrastination und Lernstrategien reicht.

In den Kategorien U6 bis U10 werden konkrete Anforderungen des Physikstudiums erfasst. In „Protokolle (U6)“ werden alle Belastungen rund um das Anfertigen der Protokolle fürs physikalische Grundpraktikum kodiert, was sowohl das Anforderungsniveau („Protokolle müssen zu perfekt sein“) als auch Anzahl und Umfang der Protokolle beinhalten kann. In „Vor- & Nachbereitung der Vorlesung (U7)“ sowie „Vorlesungsinhalte (U8)“ werden Belastungen durch Aktivitäten des Selbststudiums vor und nach den Vorlesungen sowie durch die neuen Lern-/Vorlesungsinhalte (Schwierigkeit und Umfang der Vorlesungsinhalte) selbst berücksichtigt. In „Übungsblätter (U9)“ werden Belastungen aus den für Physik- und Mathematikvorlesungen üblichen, oft wöchentlichen Übungsblättern kodiert. Auch hier kann zwischen Anforderungsniveau (z. B. Aufgabenschwierigkeit) und Umfang (z. B. Aufwand, Fristen) unterschieden werden; mitunter werden aber auch ohne nähere Erläuterung Übungsblätter (einzelner Lehrveranstaltungen) genannt. In „Prüfungen & Prüfungsvorbereitung (U10)“ erfolgt die Kodierung sämtlicher Belastungsquellen, die im Zusammenhang mit den Anforderungen rund um die Prüfungszulassung/-vorbereitung, die eigentlichen Prüfungsphase und den damit verbundenen Unsicherheiten und Ängsten stehen.

Zusätzlich zu den genannten, konkreten universitären Belastungsquellen gibt es noch die Kategorie „Unspezifische Nennung von Veranstaltungen & Fächern

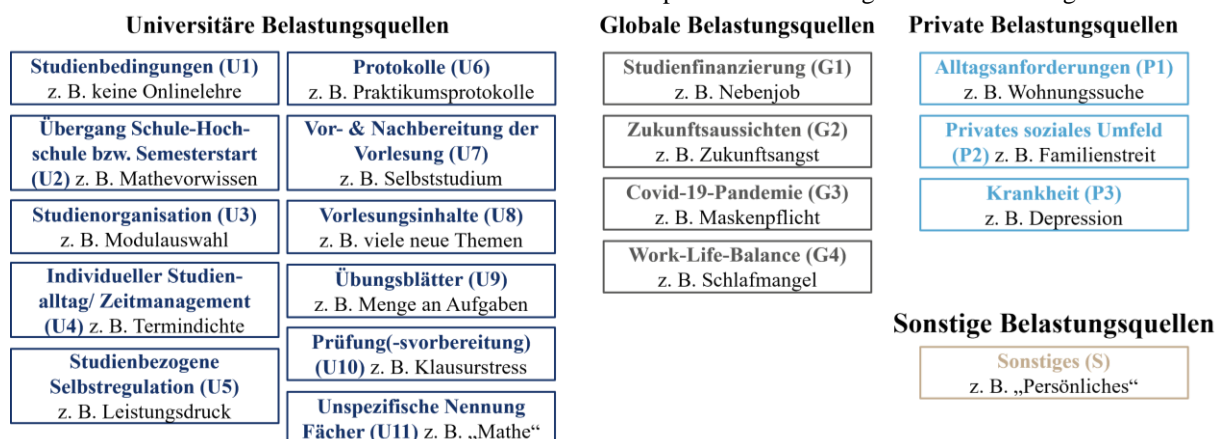


Abb.2: Übersicht über die vier Dimensionen und insgesamt 19 Kategorien des Kategoriensystems zu Belastungsquellen in der Studieneingangsphase Physik. Das vollständige Kategoriensystem ist diesem Beitrag als Zusatzmaterial beigefügt.

(U11)“, da durch die kurzen Freitextfelder im Instrument viele Studierende wenig präzise einzelne Fächer (z. B. Mathematik) oder Lehrveranstaltungen (z. B. Mathematik für Physiker) nannten. Hier wird in entsprechenden Subkategorien zwischen Mathematik- und Physiklehrveranstaltungen, dem Physikpraktikum, dem Vorkurs vor Studienbeginn sowie sonstigen Lehrveranstaltungen/Fächern (z. B. Chemie-Praktikum) unterschieden. Auf diese Weise können diese offensichtlich universitären Belastungsquellen miterfasst werden, wenngleich nicht spezifiziert wird, worin die jeweilige Belastung besteht.

Die in der universitären Dimension induktiv gebildeten Kategorien stehen in Einklang mit den in Kapitel 2 beschriebenen Belastungsquellen in der Literatur. So ähnelt U1 den Studienbedingungen und U2 den Studienvoraussetzungen und teils auch der sozialen Integration in der Universität nach Albrecht (2011). U3 greift die organisatorische Komponente von Fehlbeanspruchung nach Schwedler (2017), U4 die Assoziation von Stress mit Zeitnot nach Ortenburger (2013) auf. U5 kombiniert Aspekte der Studienmotivation, Leistungsfähigkeit und psychischen und physischen Ressourcen nach Albrecht (2011) sowie des Leistungsdrucks, der Überforderung und Unsicherheit nach Ortenburger (2013). U6 bis U10 schlüsseln die inhaltlich-fachlichen Anforderungen nach Schwedler (2017) auf, die ebenfalls Übungsblätter, Vorlesungen, Praktikumsprotokolle und Prüfungsversagen als Quellen für Fehlbeanspruchung identifizierte. Dabei werden U6, U8 und U9 wie bei Schwedler auch nach qualitativen (Anforderungsniveau) und quantitativen (Umfang) Aspekten in Subkategorien differenziert, allerdings ist dies bei vielen Antworten in der Belastungsstudie nicht möglich, sodass häufig auch unspezifisch in den jeweiligen Kategorien kodiert werden musste. U11 orientiert sich an der Überlegung von Schwedler (2017), ebenfalls auch nach den jeweiligen Fächern zu unterscheiden.

3.2.2. Globale Belastungsquellen

Als globale Belastungsquelle zählt die Kategorie „Studienfinanzierung (G1)“, mit der alle Antworten rund um finanzielle Sorgen, eine Erwerbstätigkeit neben dem Studium oder die Bewerbung auf Stipendien kodiert werden. Darüber hinaus werden im Gegensatz zur Kategorie U5 globale, mitunter unspezifische Ängste, Sorgen und Unsicherheiten mit der Kategorie „Zukunftsansichten (G2)“ erfasst. Hierzu zählen z. B. der Klimawandel, politische Entwicklungen oder nicht spezifizierte Zukunftsängste. Durch die Datenerhebung im WiSe 21/22 werden auch alle Belastungsquellen rund um die „Covid-19-Pandemie (G3)“ gesondert kategorisiert, welche von der Maskenpflicht, über Quarantänebestimmungen bis hin zu Auswirkungen auf Präsenz- und Distanzlehre reichen. Die „Work-Life-Balance (G4)“ adressiert Belastungen, die aus einem Ungleichgewicht zwischen Studium, privaten Verpflichtungen und Erholung resultieren. Dies kann sich sowohl zu Lasten privater

Interessen (z. B. wenig Freizeit) als auch universitärer Anforderungen (z. B. nicht genügend Zeit fürs Studium durch private Verpflichtungen) oder mangelnder Erholung (z. B. Schlafmangel) ausdrücken.

Die Kategorie G1 findet sich in der Literatur sowohl bei Albrecht (2011) als finanzielle Situation als auch bei Ortenburger (2013) im Bereich Arbeit und finanzielle Situation wieder. G2, d. h. Zukunftsangst wird von Studierenden auch nach Ortenburger mit Stress assoziiert. G4 adressiert das Zusammenspiel der von Ortenburger betrachteten Lebensbereiche.

3.2.3. Private Belastungsquellen

Im privaten Bereich werden von den Studierenden drei Arten von Belastungsquellen genannt: Dies sind zum einen „Alltagsanforderungen (P1)“, z. B. Haushaltsführung, Wohnsituation, private Aktivitäten, Hobbies. Ergänzt werden diese durch Belastungen im „privaten sozialen Umfeld (P2)“, d. h. durch private soziale Kontakte in Familie, im Freundeskreis oder in Wohngemeinschaften, aber auch durch das Aufbauen eines neuen sozialen Umfelds oder Einsamkeit. Drittens nennen die Studierenden „Krankheiten (P3)“, die sowohl momentaner als auch chronischer, sowohl physischer als auch psychischer Natur sein können (z. B. von Erkältungen bis hin zu Depressionen) unabhängig davon, ob eine konkrete Diagnose (z. B. Narkolepsie) oder ein unspezifisch schlechter Gesundheitszustand (z. B. Erschöpfung) genannt wird.

Die Kategorie P1 fasst die Lebensbereiche Haushalt, Freizeit und Wohnsituation nach Ortenburger (2013), die Kategorie P2 die Lebensbereiche Sozialkontakte, Partnerschaft und familiäre Situation zusammen. Letztere weist auch Überschneidungen mit den Herkunfts- und Lebensbedingungen bei Albrecht (2011) und der sozialen Dimension bei Schwedler (2017) auf. P3 findet sich explizit bei Ortenburger (2013) im Lebensbereich Gesundheit, bei Albrecht (2011) unter Lebensbedingungen sowie psychische und physische Ressourcen und bei Schwedler (2017) in der physischen Dimension wieder. Der von Ortenburger noch identifizierte Lebensbereich Kinder wird im Kategoriensystem nicht aufgegriffen, da in der Stichprobe keine derartige Nennung auftrat. Entsprechende Belastungsquellen würden mit G2 kodiert werden.

3.2.4. Sonstige Belastungsquellen

Als „Sonstige Belastungsquellen (S)“ werden Antworten kodiert, die unter keine der anderen Kategorien fallen oder nicht sinnvoll zuordbar sind, aber eine Belastung darstellen können. Hierzu zählen etwa schlechtes Wetter, die unspezifische Beschreibung eigener Personeneigenschaften (z. B. Leichtsinnigkeit) oder die nicht präzisierete Nennung weiterer Belastungsquellen (z. B. „Persönliches“).

3.3. Interrating zur Reliabilitätsprüfung

Mithilfe des Kategoriensystems wurden alle Belastungsquellen kodiert. Zur Reliabilitätsprüfung wurde ein Teil des Datensatzes (ca. 28% bzw. 33% aller Freitextantworten im WiSe 2021/22 bzw. SoSe 22)

einem Interrating unterzogen. Dazu wurden über den gesamten Erhebungszeitraum verteilt (Vorkurs, Vorlesungsstart, Semestermitte, Prüfungsphase und vorlesungsfreie Zeit) je Semester fünf Messzeitpunkte ausgewählt und von drei Ratern kodiert. Zwei der drei Rater waren Physik-Lehramtsstudierende in der Mitte des Bachelorstudiums, sodass ins Interrating auch eine studentische Perspektive mit einbezogen werden konnte, was eine bessere Interpretation der genannten Belastungsquellen erlaubte. Die Kodierung der drei Rater erfolgte zunächst unabhängig voneinander, im Anschluss wurden Unterschiede gemeinsam diskutiert und auf Basis dessen die Ratings überarbeitet. In Tab.1 sind die Kappas (Cohens für zwei, Fleiss für drei Rater) vor und nach der Diskussion für beide Semester zusammengefasst und werden nachfolgend nach Landis und Koch (1977) interpretiert.

Bereits vor der Diskussion ergaben sich für beide Semester jeweils zwischen zwei und allen drei Ratern Werte von $\kappa_{\text{prä}} = .68$ bis $\kappa_{\text{prä}} = .80$ (substantial), danach von $\kappa_{\text{post}} = .88$ bis $\kappa_{\text{post}} = .97$ (almost perfect). Die Änderungen auf Basis der Diskussion ergeben sich einerseits durch einzelne versehentlich fehlende oder falsche Kodierungen (Tippfehler) und andererseits durch die Ausschärfung der Kategorien U2, U10, P1, P2 und G4, die von den Ratern bei einzelnen Antworten unterschiedlich aufgefasst wurden. P1 wurde stärker von G4 abgegrenzt (wann private Aktivitäten und Verpflichtungen als private und wann als globale Belastungsquelle gelten), U2 auch um

Belastungsquellen, die sich auf den Start ins neue Semester und nicht nur den Studienstart beziehen, erweitert sowie U10 auch für Unsicherheiten und Ängste bezüglich der Prüfungen und Prüfungsvorbereitungen geöffnet. Insgesamt kann das finale Kategoriensystem auf Basis der Interratingergebnisse als trennscharf angesehen werden.

Tab.1: Cohens' Kappa bei zwei bzw. Fleiss' Kappa bei drei Ratern vor und nach der Diskussion ($\kappa_{\text{prä}}$ bzw. κ_{post}) unterschiedlicher Kodierungen für das Interrating bei 609 (WiSe 21/22) bzw. 411 (SoSe22) Belastungsquellen. Werte von .61 bis .80 gelten als substantial, höhere als almost perfect (Landis & Koch, 1977). Kodierung und Vergleich der Ratings erfolgten auf Ebene der 29 Subkategorien.

Vergleich	WiSe 21/22		SoSe 22	
	$\kappa_{\text{prä}}$	κ_{post}	$\kappa_{\text{prä}}$	κ_{post}
Rater 1 & 2	.80	.92	.79	.95
Rater 1 & 3	.78	.92	.76	.97
Rater 2 & 3	.76	.91	.74	.96
Rater 1, 2 & 3	.71	.88	.68	.95

4. Ergebnisse: Relevanz der Belastungsquellen

4.1. Relative Häufigkeiten im Semestervergleich

In Abb.3 ist dargestellt, wie häufig die Kategorien im WiSe 21/22 und SoSe 22 anteilig an der Gesamtzahl an Freitextantworten kodiert wurden. Zwischen beiden Semestern gibt es nur geringe Unterschiede; tendenziell häufiger wurden nur im SoSe 22

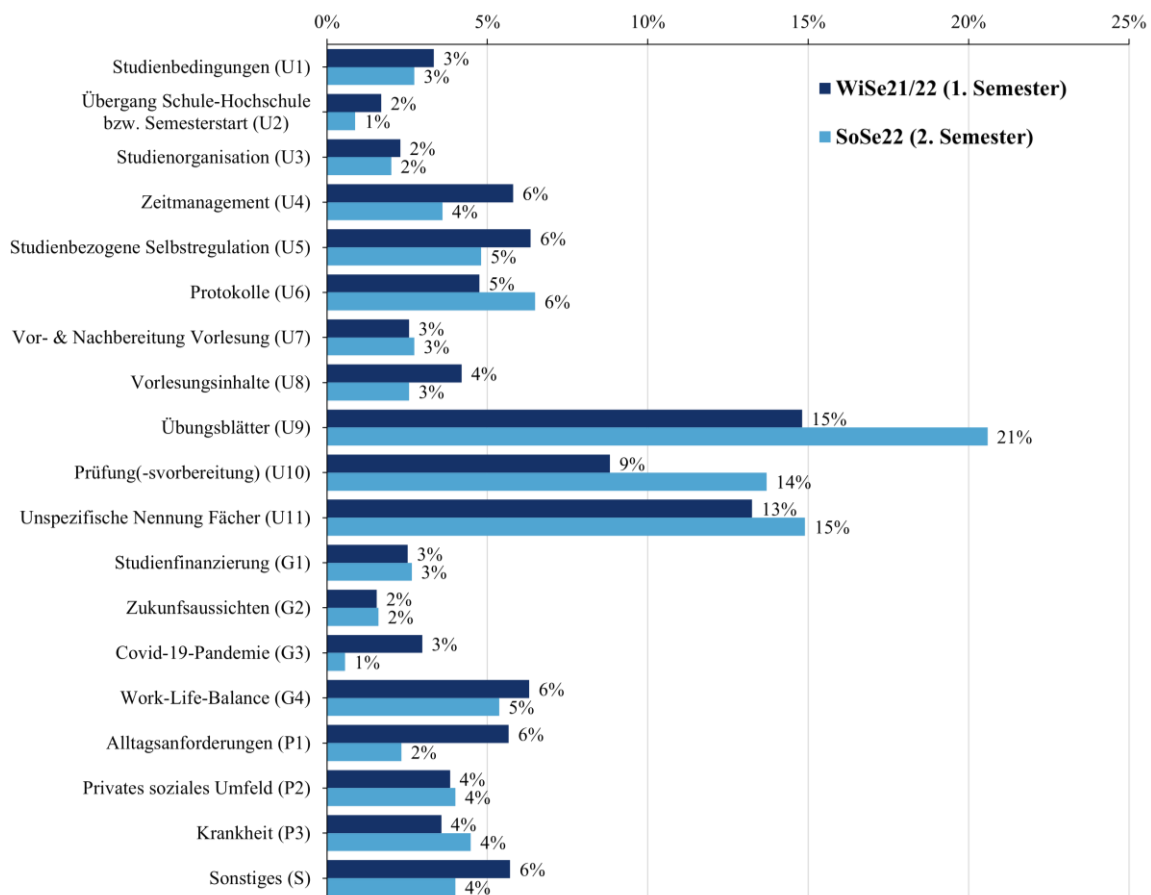


Abb.3: Relative Häufigkeit der mit den Hauptkategorien kodierten Belastungsquellen im ersten und zweiten Semester.

Übungsblättern (U9) und Prüfung(-svorbereitung) (U10) kodiert, was insofern plausibel ist, als dass die Physikhauptfachstudierenden im SoSe 22 in Analytische Mechanik ein weiteres Übungsblatt mit Pflichtabgabe gibt (anstelle des freiwilligen Übungsblatts in Rechenmethoden der Physik im WiSe 21/22). In beiden Semestern spielen mit 9% bis 21% aller Kodierungen drei Belastungsquellen eine zentrale Rolle (alle anderen Kategorien kommen auf Anteile von maximal 6%): Übungsblätter (U9), Prüfung(-svorbereitung) (U10) und Unspezifische Nennung Fächer (U11). Die ersten beiden Kategorien sind insofern nicht verwunderlich, als dass die zentralen Herausforderungen im Physikstudium, auch zeitlich betrachtet, die Bearbeitung der wöchentlichen Übungszettel (in Göttingen im Schnitt vier pro Woche) und die Vorbereitung und Durchführung der Prüfungen gegen Semesterende darstellen. Die hohe unspezifische Nennung der Fächer ist auf das offene Format kurzer Freitextfelder zurückzuführen, in denen die Studierenden oftmals nur wenig Auskunft über die konkreten Gründe für die Belastung genannt haben.

Um dennoch einen besseren Einblick darin zu erhalten, um welche Lehrveranstaltungen es sich dabei handelt, wurde dies so weit möglich in einer Subkategorie erfasst. Die meisten Nennungen entfallen auf die Lehrveranstaltung Mathematik für Physiker (47% im WiSe21/22, 39% im SoSe22) und an zweiter Stelle auf das Physiklaborpraktikum (22% in WiSe21/22, 33% in SoSe22) fallen, die verbleibenden Nennungen verteilen sich etwa gleichmäßig auf alle anderen Lehrveranstaltungen. Da bezüglich des Praktikums explizit fast immer die Praktikumsprotokolle genannt wurden, ist zu vermuten, dass diese der Hauptgrund für unspezifische Nennungen sind. Hinter der häufigen Nennung der Veranstaltung Mathematik für Physiker könnte hingegen vor allem die Übungszettel stehen, denn eine analoge Kodierung der Antworten in der Kategorie Übungsblätter (U9) zeigt, dass bei expliziter Nennung einer Lehrveranstaltung im

Zusammenhang mit Übungsblättern (im WiSe 21/22 bei 48%, im SoSe 22 bei 47% der Nennungen der Fall) vorwiegend (zu 85% im WiSe 21/22, zu 67% im SoSe 22) Mathematik für Physiker genannt wird.

Die Ergebnisse decken sich mit denen von Schwedler (2017) und Ortenburger (2013), dass das Belastungserleben primär durchs Studium, besonders dessen kognitiv-fachliche Anforderungen geprägt wird und den Daten entsprechend analog zu Chemie-Studierenden das häusliche Lernen insbesondere mit den Übungsblättern, die Mathematiklehrveranstaltungen, das Laborpraktikum und die Prüfungen die zentralen Lernformen und Lehrveranstaltungen für das Belastungserleben sind. Außerdem wurden, wie auch bei Schwedler (2017), kaum Übungen/Tutorien und das Laborpraktikum primär quantitativ in Bezug auf die Protokolle und nicht etwa die Experimente genannt. Anders als bei Ortenburger spielt die Studienfinanzierung in den Antworten jedoch eine geringe Rolle.

4.2. Relative Häufigkeiten im Semesterverlauf

In Abb.4 und Abb.5 sind die relativen Häufigkeiten der vier Belastungsdimensionen und ausgewählter universitärer Belastungsquellen im Verlauf des ersten und zweiten Studiensemesters dargestellt. Zum Vergleich sind je Messzeitpunkt stets prozentuale Anteile bezüglich des Dreifachen der jeweiligen Gesamtanzahl an Probanden angegeben, da jede Person bis zu drei Belastungsquellen angeben konnte. Dadurch ist auch dargestellt, wie oft keine Belastungsquelle angegeben wurde – ein Indikator dafür, welche Phasen als stärker oder weniger belastend empfunden werden. Tatsächlich korreliert die relative Häufigkeit genannter Belastungsquellen mit der mittleren Gesamtbelastung je Messzeitpunkt mit $r(44) = .77$. So werden besonders zwischen der sechsten/siebten Vorlesungswoche und der Prüfungsphase viele Belastungsquellen genannt. Peaks gibt es auch zu Studienbeginn im Vorkurs und in der zweiten Prüfungsphase zum Ende der vorlesungsfreien Zeit. Abb.4 zeigt, dass die

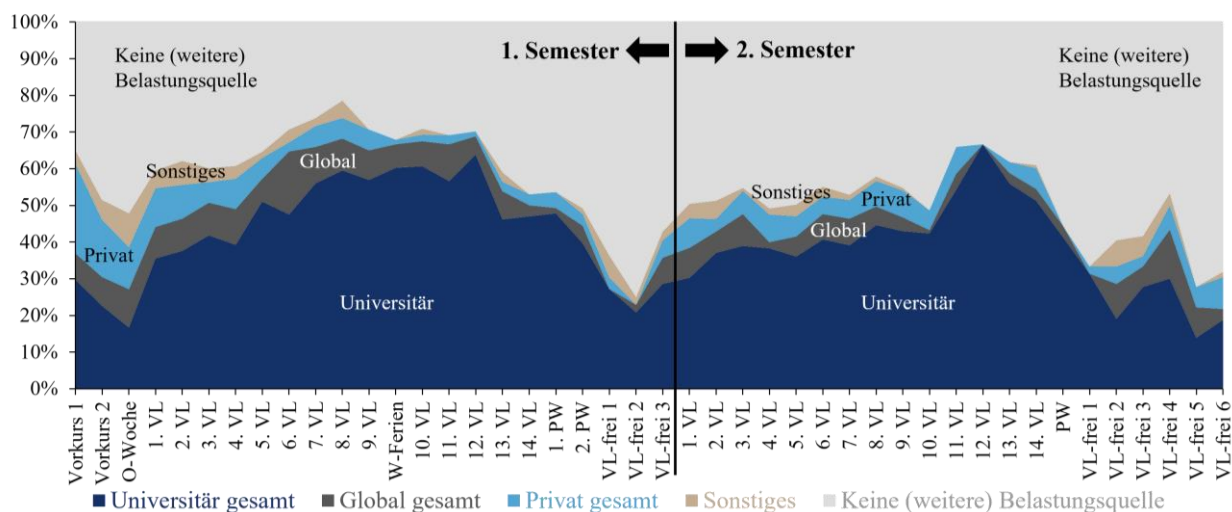


Abb.4: Relative Häufigkeit der Kodierungen in den vier Dimensionen des Kategoriensystems je Messzeitpunkt im ersten und zweiten Studiensemester bezüglich des Dreifachen der Anzahl an Teilnehmenden am jeweiligen Messeitpunkt (da bis zu drei Belastungsquellen nennbar). Dadurch wird berücksichtigt, wie oft die Teilnehmenden keine (weiteren) Belastungsquellen angaben, sodass die Silhouette auch ein Maß dafür ist, wie viele Belastungsquellen jeweils tatsächlich angegeben wurden.

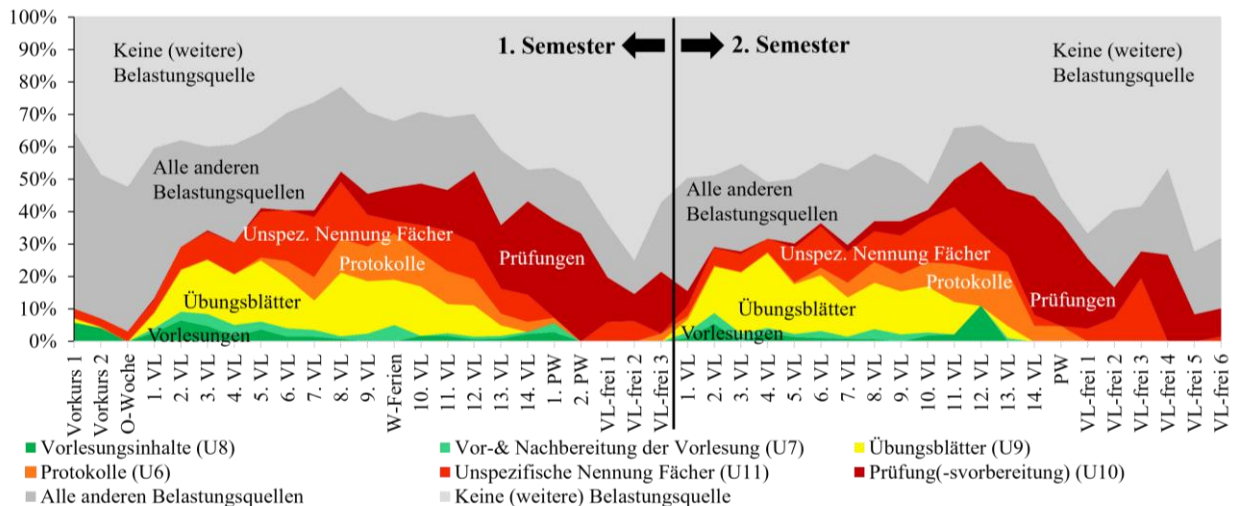


Abb.5: Relative Häufigkeit der Kodierungen mit ausgewählten universitären Belastungsquellen je Messzeitpunkt im ersten und zweiten Studiensemester bezüglich des Dreifachen der Anzahl an Teilnehmenden am jeweiligen Messzeitpunkt (da bis zu drei Belastungsquellen nennbar). Dadurch wird berücksichtigt, wie oft die Teilnehmenden keine (weiteren) Belastungsquellenangaben, sodass die Silhouette auch ein Maß dafür ist, wie viele Belastungsquellen jeweils tatsächlich angegeben wurden.

Belastungsquellen über die gesamte Studieneingangsphase primär universitär bedingt sind, private und globale Belastungsquellen besonders während des Vorkurses und der ersten Vorlesungswochen relevant sind, also jener Zeit, in der die Studierenden sich zunächst am neuen Studienort und im neuen Umfeld orientieren müssen. Abb.5 dann, dass mithilfe der ausgewählten universitären Belastungsquellen Vorlesungsinhalte (U8), Vor-/Nachbereitung der Vorlesungen (U7), Übungsblätter (U9), Protokolle (U6), Unspezifische Nennung der Fächer (U11) und Prüfung(-svorbereitung) (U10) ein charakteristischer Verlauf sowohl im ersten als auch zweiten Studiensemester beschrieben werden kann. So werden ganz zu Beginn der Vorlesungszeit die Vorlesungsinhalte genannt, ab der zweiten Vorlesungswoche dominieren Übungsblätter (und die unspezifische Nennung der Fächer, was, wie zuvor beschrieben, oftmals auch mit den Übungsblättern zusammenhängt). Ab der sechsten Vorlesungswoche kommen Praktikumsprotokolle hinzu, ab Mitte der Vorlesungszeit werden zunehmend Prüfungen und die Prüfungsvorbereitung genannt, welches zur Prüfungsphase hin die dominierende Belastungsquelle wird, da dann keine Übungsblätter oder Protokolle mehr anfallen. In der vorlesungsfreien Zeit sind mit Blick auf Zweitermine die Prüfungen sowie die unspezifische Nennung einzelner Fächer (u.a. in den Semesterferien stattfindende Programmierkurse) die zentralen Belastungsquellen. Die Ergebnisse stehen in Einklang mit denen von Schwedler (2017) für Chemie-Studierende, dass in der ersten Semesterhälfte eher qualitative Belastungsquellen vor allem im Bereich der Übungsblätter und Mathematik-Lehrveranstaltungen und in der zweiten Semesterhälfte eher quantitative Belastungsquellen im Zusammenhang mit dem Laborpraktikum und der Klausurvorbereitung genannt werden.

Insgesamt kann mit diesen Belastungsquellen und deren relativer Häufigkeit die Studieneingangsphase beschrieben werden, wobei sich in den einzelnen

Wochen jeweils zentrale Schlüsselherausforderungen (z. B. Übungsblätter, Protokolle und Prüfungen) zeigen, die das Belastungserleben dominieren. Dies bietet perspektivisch das Potential, die Studierenden in den jeweiligen Zeiträumen gezielt bei der Bewältigung dieser Schlüsselprobleme zu unterstützen, z. B. durch entsprechende Unterstützungsangebote.

5. Fazit und Ausblick

Das Erleben der Studieneingangsphase Physik wird durch eine Vielzahl an Belastungsquellen moderiert, die zumeist universitär, seltener privat oder global (d. h. beide Lebenswelten gleichermaßen betreffend) sind. Zentrale Belastungsquellen sind die Übungsblätter (besonders in der Mathematik), die Mathematik-Lehrveranstaltungen selbst (da von den Studierenden nicht näher spezifiziert) sowie Prüfungen und Prüfungsvorbereitung. Die universitären Belastungsquellen Vorlesungsinhalte, Übungsblätter, Praktikumsprotokolle und Prüfungen bilden dabei den zeitlichen Verlauf des Semesters ab und zeigen, dass in den jeweiligen Semesterwochen spezifische Schlüsselherausforderungen (z. B. Vorlesungen und Übungsblätter zu Semesterbeginn, Praktikumsprotokolle in der Semestermitte und Prüfungen ab Semestermitte bis Ende der Prüfungsphase) bestehen.

In weiteren Schritten bedarf es einer tiefergehenden Analyse der Belastungsquellen sowie der Implementation von Unterstützungsmaßnahmen in die Hochschullehre. In Gruppendiskussionen mit Studierenden können zunächst noch weiter die Hintergründe der Belastungsquellen, insbesondere zur unspezifischen Nennung der Lehrveranstaltungen und Fächer (U11) und im Bereich der Übungsblätter und Prüfungen (U9 und U10) aufgeklärt werden. Daraufhin können für weitere quantitative Erhebungen geschlossene Items formuliert werden, da bislang nur die den Studierenden jeweils bewussten Belastungsquellen erfasst wurden. Die Erkenntnisse münden in die Entwicklung und Implementation gezielter, auf die jeweiligen

Schlüsselherausforderungen im Semesterverlauf zeitlich abgestimmter Unterstützungsmaßnahmen.

Eine erste Maßnahme, die an der Universität Göttingen im Wintersemester 22/23 bereits in den Physik-Vorkurs implementiert wurde, ist ein Online-Selbstlernkurs zu Studienstrategien (Diedrich & Spatz, 2021), der implizit auch ein lernförderliches Growth-Mindset fördert. Dabei werden sowohl explizit die zu Studienbeginn zentralen Schlüsselprobleme Vorlesungen (vor-/nachbereiten) und Übungsblätter bearbeiten als auch implizit die studienbezogene Selbstregulation adressiert (vgl. Kategorien U7, U8, U9 und U5). In künftigen Arbeiten wird analysiert, inwieweit sich diese Intervention auf das Mindset und das Belastungserleben der Studierenden auswirkt.

6. Literatur

- Albrecht, A. (2011). *Längsschnittstudie zur Identifikation von Risikofaktoren für einen erfolgreichen Studieneinstieg in das Fach Physik* [Dissertation, Freie Universität Berlin]. <https://refubium.fu-berlin.de/handle/fub188/4415>
- Bauer, A., Lahme, S., Woitkowski, D. & Reinhold, P. (2019). PSΦ: Forschungsprogramm zur Studieneingangsphase im Physikstudium. *PhyDid B - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung - Aachen 2019*, 53–60. <http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/download/934/1061>
- Cirkel, J., Lahme, S. Z., Hahn, L., Schneider, S. & Klein, P. (2023). Die Belastungstrajektorie des 1. und 2. Studienseesters Physik. In v. Vorst, H. (Hrsg.), *Lernen, lehren und forschen in einer digital geprägten Welt, Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Aachen 2022*, Band 43, 354-357. https://gdcp-ev.de/wp-content/uploads/securepdfs/2023/05/E24_Cirkel.pdf
- Diederich, M., Spatz, V., Rehberg, J., Wilhelm, T. (2023). Weiterentwicklung einer synergetischen Mindset Intervention für die MINT-Studieneingangsphase. In v. Vorst, H. (Hrsg.), *Lernen, lehren und forschen in einer digital geprägten Welt, Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Aachen 2022*, Band 43, 551-554. https://gdcp-ev.de/wp-content/uploads/securepdfs/2023/05/PSY16_Diederich.pdf
- 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>
- Heublein, U., Hutzsch, C., Schreiber, J., Sommer, D. & Besuch, G. (2010). *Ursachen des Studienabbruchs in Bachelor- und in herkömmlichen Studiengängen: Ergebnisse einer bundesweiten Befragung von Exmatrikulierten des Studienjahres 2007/08*. Forum Hochschule 2|2010. <https://hsdbs.hof.uni-halle.de/documents/t1944.pdf>
- Heublein, U., Ebert, J., Hutzsch, C., Isleib, S., König, R., Richter, J. & Woisch, A. (2017). *Zwischen Studientenerwartungen und Studienwirksamkeit: Ursachen des Studienabbruchs, beruflicher Verbleib der Studienabbrecherinnen und Studienabbrecher und Entwicklung der Studienabbruchquote an deutschen Hochschulen*. Forum Hochschule 1|2017. https://www.dzhw.eu/pdf/pub_fh/fh-201701.pdf
- Heublein, U., Hutzsch, C. & Schmelzer, R. (2022): *Die Entwicklung der Studienabbruchquoten in Deutschland*. DZHW Brief 5|2022. https://doi.org/10.34878/2022.05.dzhw_brief
- Lahme, S. Z., Cirkel, J. O., Hahn, L., Klein, P., Langendorf, L., Schneider, S. (2022). Belastungstrajektorie in der Studieneingangsphase Physik. *PhyDid B - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung 2022*, 57-64. <https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phydid-b/article/view/1249/1504>
- Landis, J. T. & Koch, G. G. (1977). The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. *International Biometric Society*, 33(1), 159-174. <https://doi.org/10.2307/2529310>
- Levenstein, S., Prantera, C., Varvo, V., Scribano, 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)
- Mayring, P. (2015). *Qualitative Inhaltsanalyse: Grundlagen und Techniken*. 12. Auflage. Beltz.
- Ortenburger, A. (2013). *Beratung von Bachelorstudierenden in Studium und Alltag: Ergebnisse einer HISBUS-Befragung zu Schwierigkeiten und Problemlagen von Studierenden und zur Wahrnehmung, Nutzung und Bewertung von Beratungsangeboten*. HIS: Forum Hochschule 3|2013. 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>

Author contributions¹

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

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

Danksagung

Wir danken unseren Hilfskräften Laura Pflügl, Stine Gerlach und Marlene Breither für ihre Unterstützung bei der Datenaufbereitung und beim Interrating.

Einführung in die Quantenphysik über die Astronomie

Tobias Reinsch^{*}, Lukas Maczewsky⁺, Philipp Scheiger[#], Holger Cartarius[#], Ronny Nawrodt^{*}

^{*} 5. Physikalisches Institut, Abt. Physik und ihre Didaktik, Pfaffenwaldring 57, 70569 Stuttgart

⁺Experimentelle Festkörperphysik, Universität Rostock, Albert-Einstein-Str. 23, 18059 Rostock

[#]AG Fachdidaktik der Physik und Astronomie, Friedrich-Schiller-Universität Jena, 07743 Jena
treinsch@pi5.physik.uni-stuttgart.de

Kurzfassung

Die Quantenrevolution 2.0 erfordert neben einem vertieften theoretischen Verständnis von Verschränkung, Wellenfunktionen und deren Eigenschaften vor allem praktische Fähigkeiten, um diese Technologien in der Praxis umsetzen zu können. Für die Arbeit an Quantentechnologien müssen Studierende daher ein breites Spektrum experimenteller Fertigkeiten erlernen. Damit dies einer breiten Gruppe an Studierenden zugänglich gemacht wird, bedarf es einem aktivierenden Einstieg. Erfahrungsgemäß haben Schüler*innen und Studierende ein hohes Interesse an der Astronomie, unabhängig ihrer schulischen Leistungen. Wir stellen daher einen Einstieg in die Quantenphysik über die Astronomie vor. Fertigkeiten aus den Bereichen Photonik, Messtechnik und Atomphysik werden anschließend für das Kennenlernen moderner Quantensensoren aus NV-Zentren in Diamanten angewendet. Des Weiteren verknüpfen wir auf klassischem Weg mehrere Bereiche der modernen Physik mit der Quantenphysik. Dieser Zugang eignet sich für Schüler*innen, Lehramtsstudierende sowie für Ingenieure, die bisher wenig Berührungspunkte mit der Quantenphysik hatten.

1. Einleitung

Die Lehre der Quantenphysik lässt sich vielschichtig und diverse Wege bestreiten. Aus einer wirtschaftlichen Sichtweise sind Fertigkeiten, die Elemente der Quantenrevolution 2.0 bespielen, von besonderer Relevanz. Grundprinzipien der Quantensensorik, des Quantencomputings sowie der Quantenkryptographie nehmen hierbei einen hohen Stellenwert ein, da aus diesen Bereichen bereits zeitnah Applikationen in der Industrie eingesetzt werden sollen [1],[2]. Die Wesenszüge der Quantenphysik, wie sie nach Müller und Küblbeck beschrieben werden, haben sich für die Lehre in der Sekundarstufe II bereits etabliert [3]. Die Grundkonzepte daraus sind die statistische Vorhersagbarkeit, die Fähigkeit zur Interferenz, eindeutige Messergebnisse und das Komplementaritätsprinzip. Diese Wesenszüge zielen besonders auf Interferometer- und Einzelphotonenexperimente ab. Eigene Experimente, welche nicht auf Simulationen oder Analogien beruhen sind nach wie vor komplex aufzubauen, teuer und oder ohne einen merklichen Zugewinn praktischer Fertigkeiten verbunden [4]. In diesem Beitrag wird ein Konzept vorgestellt, das die Lücke zwischen Theorie und experimentellen Fertigkeiten aus der Quantenphysik etwas schließen soll. Es dient als Ergänzung bereits vorhandener Lehrkonzepte und orientiert sich an einer experimentell, technischen Perspektive der Quantensensorik und baut dabei auf dem Beitrag auf [5]. Da es nicht den einen Quantensensor und es auch vielseitige Kandidaten für

Qubits gibt, werden in diesem Beitrag nur Experimente mit NV-Zentren in Diamanten diskutiert, welche in Kombination mit dem Einstieg über die Astronomie einige Vorteile bieten.

2. Astronomie und NV-Zentren?

Ein experimenteller Einstieg in die Quantenphysik bietet natürlicherweise einige Hürden. Zum einen sind es komplexe theoretische Überlegungen, um Daten zu interpretieren zu können, zum anderen sind interdisziplinäre Fertigkeiten aus verschiedenen Teilbereichen der Physik erforderlich, dazu gehören Optik, Atom- und Festkörperphysik und Messtechnik. Wie bereits in [5] beschrieben, eignet sich ein Einstieg in die Quantensensorik über die Astronomie besonders gut, da grundlegende Konzepte wie die Quantisierung der Energieniveaus, der Spin, der Zeeman-Effekt, aber auch Datenanalysen rund um Spektren bereits behandelt werden. Die Astronomie dient dabei als Einstieg, nutzt das häufig hohe Interesse [6] und bereitet die Lernenden auf das anspruchsvollere Gebiet der Quantensensorik vor. Als Quantensensor dient hierbei ein mit NV-Zentren besetzter Diamant. NV-Zentren sind Bereiche in Diamanten, bei denen ein Stickstoffatom und eine benachbarte Fehlstelle den Platz zweier Kohlenstoffatome einnehmen. Diese Zentren kommen mit unterschiedlicher Ladung vor. Aufgrund der optischen Eigenschaften wird in aktueller Forschung überwiegend mit dem [NV]⁻-Zentrum gearbeitet, welches mit zwei freien Elektronen ein System mit Gesamtspin $S=1$ ausbildet und für eine leicht rosafarbene Erscheinung des Diamanten sorgt

[7]. Mit NV-Zentren besetzte Diamanten können als Einzelphotonenquellen, Qubits und Magnetfeldsensoren eingesetzt werden und sind Teil aktueller Forschung. Dabei werden die Diamanten optisch angeregt und die Fluoreszenzintensität gemessen. Durch eine gezielte Einstrahlung von Mikrowellenstrahlung lässt sich der Grundzustand der NV-Zentren manipulieren, was sich in einer Abnahme der Fluoreszenzintensität bemerkbar macht. So lassen sich ODMR-Spektren, wie in Abbildung 1 dargestellt, aufnehmen. Äußere Magnetfelder beeinflussen durch eine Aufweitung der Energieniveaus diese Spektren. Auch lässt sich in gepulsten Aufbauten Rabi-Streuung sowie Manipulierung und Überlagerung von Spinzuständen zeigen.

3. Didaktische Vorteile der NV-Diamanten für den Einsatz in der Lehre

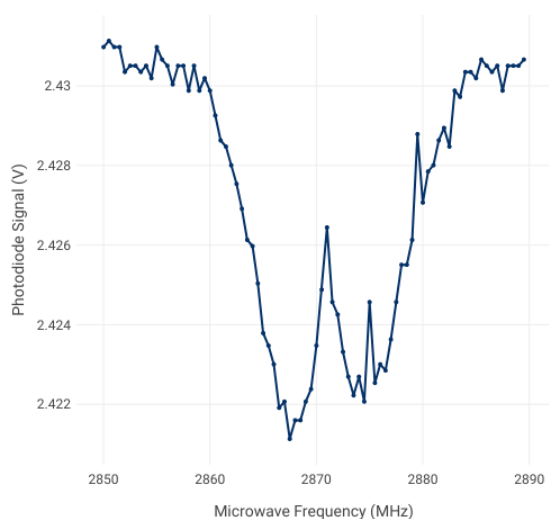


Abb. 1: ODMR Spektrum eines mit NV-Zentren besetzten Diamanten. Die Aufspaltung der Energieniveaus kommt durch innere und äußere Magnetfelder zustande. Zu sehen sind die $m_s = \pm 1$ Zustände des Triplet-Grundzustands zu sehen. Die Daten wurden am nebenstehenden Aufbau und der dazugehörigen Software aufgenommen und visualisiert.

Die Verwendung von NV-Zentren Diamanten in der Lehre bietet einige Vorteile gegenüber anderen Experimenten. Die Fluoreszenz des NV-Zentrums kann mit 637 nm visuell beobachtet werden. Die Anregung kann über eine grüne LED oder Laserdiode geschehen. Anregungen mit einer UV-LED lassen zudem direkte Beobachtungen der Fluoreszenz zu, die auch ohne Filterung des Anregungslichts beobachtet werden kann. Gleichzeitig sind die benötigten Komponenten für erste Gehversuche vergleichsweise günstig einzukaufen, da die Anregung der Grundniveaus bei etwa 2,8 GHz liegen. Ein weiterer Vorteil ist die mögliche Differenzierung. Beginnend mit der Fluoreszenz als Einstieg für die Diskussion diskreter Energieniveaus hin zu programmierbaren Qubits in aufwändigeren Aufbauten ist die Bandbreite an Möglichkeiten für die Adressierung verschiedener Zielgruppen von

Sekundarstufe II über Praktikumsexperimente an Hochschulen bis hin zu Fortbildungen mit Industriepartnern groß.

4. Einfacher Aufbau für die Magnetfelddetektion

In Abbildung 2 ist ein einfacher Aufbau dargestellt, der für die Untersuchung der NV-Zentren bis hin zur ODMR-Spektroskopie zulässt. Links im Aufbau ist eine Laserdiode eingebaut, deren Licht auf den Diamanten in der Mitte mittels einer Linse gebündelt wird. Direkt am Diamanten ist eine Mikrowellenantenne montiert. Das Fluoreszenzlicht wird über eine weitere Sammellinse auf eine Photodiode gebündelt und dort detektiert. Der Aufbau bietet trotz seiner Einfachheit bereits die Möglichkeit den Zeeman-Effekt direkt zu beobachten. In aufwändigeren Aufbauten können zusätzliche Aspekte des Quantencomputings untersucht werden.



Abb. 2: Einfacher NV-Aufbau der Firma Advanced Quantum für die Lehre. Die Datenaufnahme erfolgt über ein lokales Netzwerk und die Steuerung über einen beliebigen Browser [8].

5. Inhaltliche und methodische Kompetenzen

Am zuvor vorgestellten Aufbau lassen sich methodische wie inhaltliche Kompetenzen herausarbeiten, die am Experiment erlernt werden können und sich auch teilweise in der Einführung über der Astronomie wiederfinden und vorbereitet werden können. Dazu gehört der Aufbau einfacher optischer Aufbauten sowie das Verständnis von Strahlenoptik, Sammellinsen und der Einsatz von Farbfiltern. Auch die Messung von Lichtintensität spielt in der Astrophysik, genauer den Photometriemethoden, eine entscheidende Rolle. Generell hat das Aufnehmen, Verarbeiten und Interpretieren von Spektren in der Astrophysik einen hohen Stellenwert. Die Messwerterfassung findet sich ebenso in beiden Bereichen wieder. Während der Arbeit mit diesem Aufbau lassen die zuvor erlernten Fertigkeiten anwenden und vertiefen. Inhaltlich werden in der Astrophysik Themen wie die diskreten Energieniveaus, Schwarzkörperstrahlung, der Zeeman-Effekt und Spin bei der Interpretation der Spektren vorbereitet. Im Quantensensorikteil werden diese Themen um Elemente der Festkörperphysik, dem Potentialtopf, die Superposition von Zuständen und der Spinmanipulation ergänzt. Experimentell wird am NV-Experiment der Umgang mit Lasern, das

Arbeiten mit Mikrowellenquellen und Messmethoden, wie die Arbeit am Oszilloskop zusätzlich gelehrt.

6. Ausblick

Abhängig von den speziellen Anforderungen verschiedener Zielgruppen können verschiedene Schwerpunkte gesetzt werden. Für die Sekundarstufe II bietet sich ein solcher Unterrichtseinstieg sicherlich an. Auch hier sind die Schwerpunkte nicht festgelegt und flexibel einsetzbar. So lässt sich in einem interdisziplinären Unterrichtskonzept beispielsweise der Schwerpunkt auf die Programmierung legen. Sowohl in der Astrophysik (Datenauswertung der Beobachtungsdaten) sowie in der Quantenphysik (Spektren und Intensitäten aufnehmen, aufbereiten und darstellen bis hin zur hardwarenahen Implementierung von Quantenalgorithmen) ist die Informatik nativ verankert und ein fester Bestandteil. Das Konzept stellt eine Möglichkeit dar, echte experimentelle Kompetenzen anhand von Objekten mit aktuellem Forschungsbezug zu erwerben und ist daher ein lohnenswerter Weg für die Lehre, um ergänzend zu bisherigen Lehrmethoden flexibel eingesetzt zu werden.

7. Literatur

- [1] Quantensensoren – Auf dem Weg in die Anwendung: https://www.dpg-physik.de/veroeffentlichungen/publikationen/physikkonkret/pix/pk_39-2019_quantensensoren_entwurf_2019-11-13-web.pdf (Stand 5/2023)
- [2] Müller, R., Greinert, F., Quantentechnologien: Für Ingenieure. Berlin, Boston: De Gruyter Oldenbourg, (2023),
Url: <https://doi.org/10.1515/9783110717211>
- [3] milq und die Wesenszüge der Quantenphysik: <https://www.milq.info/milq-und-die-wesenszuege-der-quantenphysik/> (Stand 5/2023)
- [4] Quantenphysik im Experimentierkoffer: <http://www.quantenkoffer.com/quantenkoffer/> (Stand 5/2023)
- [5] Reinsch, T., Maczewsky, L., Cartarius, H., & Nawrodt, R. (2022). Quantenphysik und Astronomie – mehr als nur bunte Farben?. In: PhyDid B - Didaktik Der Physik - Beiträge Zur DPG-Frühjahrstagung, URL: <https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phydid-b/article/view/1295>
- [6] 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>
- [7] Siyushev, P. et al. (2013): Optically Controlled Switching of the Charge State of a Single Nitrogen-Vacancy Center in Diamond at

Cryogenic Temperatures. In: Physical Review Letters, URL:

<https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.110.167402> (Stand 5/2023)

- [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 im Rahmen des IQST-Verbunds und QPhoton durch die Carl-Zeiss-Stiftung gefördert. Des Weiteren wird diese Arbeit durch das Graduiertenkolleg GRK 2642 gefördert

Erarbeitung eines spiralcurricularen Blended Learning Konzepts für die Mathematik- ausbildung der Studiengänge Lehramt Physik

Lydia Kämpf*, Frank Stallmach*

*Universität Leipzig, Institut für Didaktik der Physik, Abteilung Hochschuldidaktik Physik, Prager Straße 36,
04317 Leipzig

lydia.kaempf@uni-leipzig.de; stallmac@physik.uni-leipzig.de

Kurzfassung

In den Staatsexamensstudiengängen Lehramt Physik in Sachsen sind in den ersten vier Semestern durch die Kombination zweier Lehramtsfächer nur jeweils zehn Leistungspunkte pro Semester für die Physik-Fachausbildung vorgesehen. Eine hinreichende Mathematik-Ausbildung wird durch die Integration der Mathematikausbildung in Form Mathematischer Methoden Seminare in die Physik-Module sichergestellt. Sie sind an den aktuellen physikalischen Problemen ausgerichtet und geben den Studierenden just-in-time das benötigte mathematische Hintergrundwissen.

Im vorgestellten Projekt werden die Mathematischen Methoden der ersten beiden Semester der Lehramtsstudiengänge Physik an der Universität Leipzig in ein Blended Learning Format überführt, in dem über digitale Lehrformate wie Lehrvideos und Simulationen, sowie Präsenzseminare die mathematischen Inhalte vermittelt und mit den physikalischen Anwendungen verknüpft werden. Die Videos dienen der Strukturierung des Selbststudiums. Sie enthalten u. a. interaktive Aufgabenstellungen und formative Tests, um den Studierenden ein Feedback mit konkreten Handlungsvorschlägen zu geben. Gleichzeitig zeigen Sie dem Lehrenden Defizite des Selbststudiums zur Planung der Präsenzseminare auf. Die Anwendung der Mathematik auf konkrete physikalische Probleme geschieht in den vertiefenden Mathematikseminaren mittels kollaborativer Lehr-Lern-Sequenzen.

1. Einleitung

In der Studieneingangsphase der Lehramtsstudiengänge Physik stehen die Studierenden vor der Herausforderung eine gewisse Studierfähigkeit zu entwickeln und den Übergang von induktiven, fremdgesteuerten Lehrmethoden der Schule zum deduktiven, selbstregulierten Vorgehen in der Universität erfolgreich zu vollziehen [5,11]. Dieser Übergang fällt den Studierenden in den naturwissenschaftlichen Fächern und besonders in Mathematikmodulen sehr schwer, sodass von einem regelrechten Mathematikshock zu Beginn des Studiums gesprochen werden kann [1, 14,9]. In Physikstudiengängen schlägt der Transfer erlernter Rechenstrategien der Mathematikmodule in die Physik zur Beschreibung verschiedener Phänomene oft fehlt [3]. Dafür muss die Verzahnung der Physik und Mathematik als Language of Science verdeutlicht und der Übergang in das selbstregulierte Lernen unterstützt werden.

Eine didaktische Aufarbeitung der Studieneingangsphase ist essenziell, um den Lernenden mit ihren heterogenen Lernvoraussetzungen bei dem Sprung in ein selbstorganisiertes universitäres Lernen zu unterstützen [5,10]. Blended Learning Ansätze bieten die Möglichkeit, ein hohes Maß an Differenzierung anzubieten. Die Nutzer dieser Angebote sind in der Lage, ihr Lerntempo, ihre Lernzeit, mögliche Wiederholungen und die Nutzung angebotener Materialien an ihre individuellen Lernstrategien anzupassen und damit mit einer gewissen Hilfestellung im Laufe des Kurses selbstreguliertes Lernen zu erlernen [20,2,4].

Das Konzept des Flipped Classrooms als eine Form des Blended Learnings wird in schulischen und universitären Kontexten derzeit stark beforscht, wobei potenzielle Gelingfaktoren, wie beispielsweise das Potential zur kognitiven Aktivierung, Angemessenheit der Inhalte und Bearbeitungszeit, Methodenvielfalt, Spontanität und eine positive Haltung der Lehrperson, sowie die konstruktive Unterstützung der Lernenden, benannt werden [20,4,15,2]. Im Folgenden wird der Entwicklungsstand unseres spiralcurricularen Blended Learning Ansatzes für die Mathematikausbildung der Lehramtsstudiengänge Physik in der Studieneingangsphase an der Universität Leipzig vorgestellt. Dabei wird auf den Kursaufbau und die zentralen Elemente des Kurses eingegangen. Am Beispiel der Rechnung mit komplexen Zahlen wird das Konzept im Detail erläutert und erste Ergebnisse der Evaluation vorgestellt.

2. Das allgemeine Kursdesign

Mit der Neugestaltung der Studienordnung der Staatsexamensstudiengänge für das Lehramt der Universität Leipzig sind die Lehramtsstudiengänge und die Bachelor of Science Studiengänge für die Physik vollständig getrennt worden. Damit entstand Freiraum, um ein spezielles Angebot für die Staatsexamensstudiengänge Lehramt Physik zu schaffen, das auf die Anforderungen bezüglich der Fachausbildung in Physik und Mathematik für Studierende mit dem Berufsziel Physiklehrende zugeschnitten werden konnte. Allerdings limitiert die universitär streng vorgegebene Drittelung der Leistungspunkte zwischen

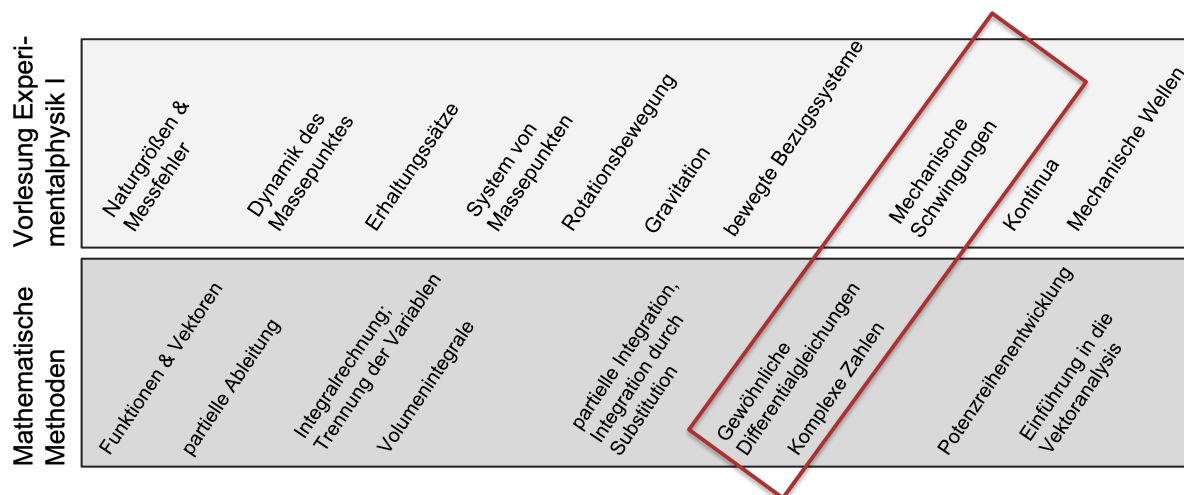


Abb. 1: In den mathematischen Methoden werden Inhalte der Physikvorlesung mathematisiert und gelöst. So werden parallel zur Behandlung der mechanischen Schwingungen Differentialgleichungen und komplexe Zahlen eingeführt, um die Schwingungsgleichung zu lösen.

der Physik, dem frei wählbaren zweiten Lehramtsfach und der Bildungswissenschaften diesen Freiraum bezüglich des Umfangs an Lehrveranstaltungen für die Physik und die dazu notwendige Mathematikausbildung. Deshalb wurde die Entscheidung getroffen, die mathematische Ausbildung in den Lehramtsstudiengängen Physik in die Experimentalphysikmodule der ersten beiden Semester durch semesterbegleitende Mathematische Methoden Seminare zu integrieren [17,18]. Die Einbindung der mathematischen Inhalte in die Physikveranstaltungen hat den Vorteil der Behandlung wichtiger mathematischer Konzepte parallel zu ihrer Anwendung in physikalischen Problemen der zugehörigen Physikvorlesung (siehe Abb. 1). Diese verzahnte Lehre macht die mathematischen Themenkomplexe für die Studierenden relevant, anschlussfähig und fördert das Durchdenken sowohl der mathematischen als auch physikalischen Lerninhalte [3]. Der extraneous cognitive load wird durch einheitliche Notation und Sprachgebrauch im Vergleich zu getrennten Physik- und Mathematikmodulen reduziert [16].

Die Module Experimentalphysik I und II sind so konzipiert, dass in einem zweiwöchigen Turnus die Mathematischen Methoden die Inhalte der Physikvorlesung mit ihrer mathematischen Beschreibung aufgreifen. Mathematik, die an verschiedenen Stellen der Physikausbildung relevant ist, wird spiralcurricular an diesen Stellen unter anderen Gesichtspunkten betrachtet. So werden mathematische Werkzeuge, wie die komplexen Zahlen, in der Experimentalphysik I zur Beschreibung von Schwingungen und in der Experimentalphysik II zur Beschreibung von Wechselstromwiderständen unter verschiedenen Gesichtspunkten wiederholt und damit vertieft und gefestigt. Um die Fülle der relevanten mathematischen Themenkomplexe in den zweiwöchigen Seminaren zu vermitteln, wurden bisher die Mathematischen Methoden Seminare vorlesungsartig gestaltet und die

Studierenden mit der Vertiefung und Anwendung in physikalischen Aufgaben im Selbststudium alleingelassen. Auch der Übergang vom ersten zum zweiten Semester, der oft mit einem Wechsel der Lehrenden einhergeht, ist für die begleitende Mathematikausbildung aus Sicht der Studierenden oft nicht optimal, weil das Anforderungsniveau wechselt und auch das Vorwissen aus dem ersten Modul nicht immer in adäquater Form genutzt wurde.

3. Die Umstrukturierung der Mathematischen Methoden in ein Blended Learning Format

Viele Studienanfänger geben eine hohe Belastung durch die für die Physik benötigte Mathematik an [1, 14,9], da sie noch nicht geübt sind, in einem selbstregulierten Selbststudium komplexe Inhalte zu erarbeiten. Um das Studium in den ersten Semestern besser zu begleiten und zu strukturieren, werden die Mathematischen Methoden Seminare seit dem Wintersemester 2022/2023 schrittweise in ein Blended Learning Format überführt (siehe Abb. 2). Das Selbststudium wird durch interaktive Erklärvideos, einem zugehörigen Skript, ersten Aufgaben in formativen Tests, sowie weiterführender Literatur unterstützt. Die Studierenden erlernen durch die Videos die wichtigsten Grundlagen der verschiedenen mathematischen Themenkomplexe in Eigenregie und testen ihr Wissen in ersten leichten Aufgaben. Nach deren Beantwortung erhalten sie formatives Feedback über das weitere Vorgehen in ihrem persönlichen Lernweg. Das erlernte Wissen wird im anschließenden Präsenzseminar vertieft und auf konkrete physikalische Anwendungen der parallelen Physikvorlesung übertragen. Um den Transfer in die Physik weiterzuführen, bearbeiten die Studierenden auf den physikalischen Übungsblättern Aufgaben, die mittels der neu erlernten Mathematik am effektivsten zu lösen sind. Das erste Selbststudium wird damit zum Lernraum, das Seminar zum Übungsraum und das anschließende Selbststudium, in dem physikalische Inhalte mit der

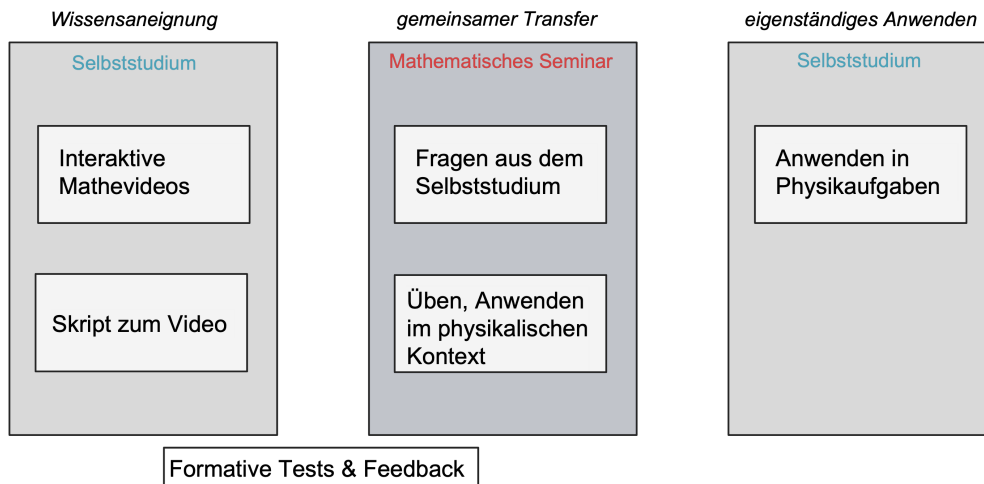


Abb.2: Der Lern- und Übungsraum der Mathematischen Methoden Seminare werden durch interaktive Erklärvideos für das Selbststudium und einem anwendungsorientierten Seminar als Präsenzveranstaltung getauscht.

neu erlernten Mathematik gelöst werden zum weiteren Übungs- und Transfer-Raum. Das aufgezeigte Konzept der Mathematischen Methoden Seminare entspricht damit dem Konzept des Flipped Classrooms.

4. Elemente des modulübergreifenden spirallcurricularen Blended Learning Mathematikurses

Das Selbststudium des Blended Learning Kurses der Mathematischen Methoden Seminare wird vor allem durch die interaktiven Videos strukturiert, in denen die mathematischen Inhalte eingeführt werden. Die dadurch freigewordene Lernzeit der Präsenzseminare wird für Fragen und Probleme aus dem Selbststudium und vor allem für Festigungs- und Transferaufgaben genutzt.

4.1. Interaktive H5P-Mathematikvideos

Das zentrale Element des Selbststudiums stellen interaktive Erklärvideos dar. Sie sind eigens für die Lehramtsstudiengänge Physik nach Gütekriterien guter Erklärvideos [8, 7] konzipiert und beinhalten alle wichtigen und verständnisförderlichen Grundlagen der zu behandelnden Themen sowie erste Verständnisfragen. Die Forschung zur Lernwirksamkeit von Erklärvideos kritisiert oft die fehlende Aktivierung der Lernenden und ein folgliches "sich berieseln lassen", ohne das Dargebotene zu durchdringen [12]. Unter Nutzung einer frei zugänglichen Software, wie z.B. H5P, werden die Mathematikvideos des Kurses mit verschiedenen Interaktionen versehen. H5P ist eine offene Software zum Erstellen verschiedenster interaktiver Lerninhalte, die in Lehr-Lern-Management Plattformen, wie Moodle, eingebunden werden können. In unserem Mathematik-Szenario werden interaktive H5P-Inhalte genutzt, um nach zentralen Aussagen der Videos Verständnisfragen oder kurze Rechenaufgaben zu stellen, die das gerade Gesehene thematisieren und die Studierenden damit die neu gelernten Inhalte anwenden lassen (siehe Abb. 3). Der Wissenstransfer wird dadurch noch während das

Video bearbeitet wird initiiert. Die Interaktionen fordern die Lernenden zum Mitdenken und sprichwörtlichen Interagieren mit dem Video auf. Ein individuelles Feedback zeigt den Lernenden ihren Lernstand auf. Da die verschiedenen Antworten den Lehrenden einsehbar sind, können diese Aussagen zu Verständnisschwierigkeiten treffen und ihr Seminar auf die Bedürfnisse der Studierenden anpassen.

Weitere interaktive Schaltflächen, wie das Springen im Video je nach Beantwortung von Fragen oder Buttons mit versteckten grundlegenden beziehungsweise weiterführenden Informationen (siehe Abb. 3), bieten ein breites Differenzierungsangebot für die heterogene Lerngruppe der Studienanfänger [20,2,4]. Die Studierenden sind frei in ihrer Entscheidung, wann, wo oder wie oft sie ein Video schauen. Damit sind interaktive Lehr-Lern-Szenarien für die individuellen Bedürfnisse der Studieneingangsphase sehr gut geeignet.

4.2. Formativer Abschlusstest

Am Ende einer jeden Themeneinheit wird ein abschließendes Quiz bearbeitet. Es fasst die Themen der Videos zusammen, wendet die Mathematik in einem ersten leichten physikalischen Beispiel an und gibt den Studierenden einen Ausblick auf das kommende Seminar. In dem personalisierten Feedback erhalten die Lernenden Auskunft über ihren individuellen Lernstand und die Lehrende anonymisierte Informationen über den erreichten Kenntnisstand der gesamten Gruppe.

4.3. Das Präsenzseminar

Das Seminar zu einem Themengebiet bereiten die Lehrenden mit den Informationen zum Kenntnisstand aus den anonymisierten formativen Tests vor. Sie beginnen es mit einer Fragerunde zu allen Schwierigkeiten des Selbststudiums. Um die Studierenden zu aktivieren und die behandelten Themen ins Gedächtnis zu rufen, wird diese mit wenigen kurzen Fragen zu den Inhalten der Videos unterstützt. Anschließend

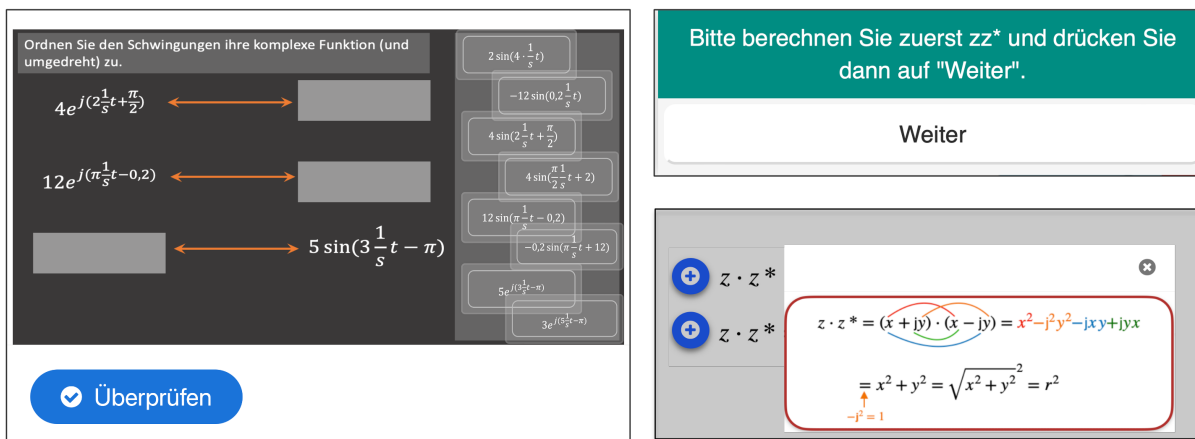


Abb.3: Aufgaben, Arbeitsaufträge, Verzweigungen und weiterführende Informationen regen die aktive Mitarbeit der Zuschauenden an.

werden alle Fragen, die nicht das Wiederholen des Videos verlangen, beantwortet.

Der Fokus des Seminars liegt im Üben und im Transfer des mathematischen Gerüsts auf relevante physikalische Anwendungen. Im Seminar werden verschiedene physikalische Phänomene mathematisch beschrieben, die sie in der zugrundeliegenden Experimentalphysikvorlesung derzeit thematisieren. Damit wird die Relevanz der Mathematik und die Übertragbarkeit der Language of Science in die Physik verdeutlicht. In der Bearbeitung verschiedener Aufgaben werden die Studierenden immer selbstständiger und die Lehrperson nimmt im Laufe des Seminars die Rolle eines Lernbegleiters und Mentors ein [4].

4.4. Physikalisch-mathematische Übungsaufgaben

Um die Vernetzung der Mathematik und Physik weiter voranzutreiben, werden auf den physikalischen Übungsblättern solche Aufgaben gestellt, die die Studierenden mittels erlernter Mathematik lösen müssen. Diese bewerteten Übungsblätter geben darüber hinaus einen Aufschluss über die individuelle Anwendbarkeit der Mathematik.

5. Ergebnisse erster Szenarien im Blended Learning Format

Im Wintersemester 2022/23 wurden erstmals drei Themengebiete in einem Blended Learning Format durchgeführt, sowie die Akzeptanz der neuen Materialien und die Wissensstände direkt nach dem Schauen der Videos und nach dem Besuchen des Präsenz-Seminars überprüft. In dieser Zeit entstanden Szenarien zu komplexen Zahlen, zur Potenzreihenentwicklung und Näherungsfunktionen, sowie zur Einführung in die Vektoranalysis. Alle drei Szenarien wurden im Zeitraum vom Dezember 2022 bis Januar 2023 erprobt. Die Umfrage zur Qualität und Akzeptanz der Videos wurde nach der Lektion zu den Komplexen Zahlen erhoben. Die vorgestellten Daten zur Qualität der Videos und dem Lernstand konzentrieren sich auf das Szenario zu komplexen Zahlen und ihrer Anwendung zur Beschreibung von mechanischen Schwingungen, die in den Experimentalphysikvorlesung

unmittelbar nach der vorlesungsfreien Zeit zum Jahreswechsel behandelt wurden. Auf die entsprechend umfragebasierten Datenerhebungen zu den Szenarien Potenzreihenentwicklung und Einführung in die Vektoralgebra wurde in diesem Durchgang der Entwicklung des neuen Blended Learning Konzepts verzichtet, da die Studierenden in ihrer ersten Prüfungszeit keinen großen Mehraufwand durch Erprobungen ausgesetzt werden sollten.

5.1. Umfrage zur Qualität der Erklärvideos

Da die Akzeptanz der neuen Materialien und Lehrformen eine Voraussetzung für die erfolgreiche Durchführung des Kurses ist, wurde zu Beginn eine Umfrage zu den zwei Erklärvideos über die komplexen Zahlen zu den Gütekriterien guter Erklärvideos in Anlehnung an den Fragenkatalog von Kulgemeyer [8, 7] durchgeführt. In der Umfrage gaben die Studierenden die Passung des Videos an die Qualitätskriterien mittels einer vierstufigen Likert-Skala an. Jedes der untersuchten Qualitätsmerkmale wurde aus Studierendensicht gut bis sehr gut in den Erklärvideos umgesetzt (siehe Abb. 4), was für eine hohe Qualität des Lehr-Lern-Materials in der ersten Erprobung spricht.

Neben den allgemeinen Kriterien guter Erklärvideos wurde darüber hinaus die Innovation der interaktiven Elemente als Aktivierungs- und Fokussierungshilfe der Erklärvideos erfragt. Ein Anteil von 78% der Befragten gaben an, dass sie das Video durch seine interaktiven Elemente zur aktiven Bearbeitung der Inhalte animierte. Diese Aussage ist ein Indikator, dass die Interaktionen einen Mehrwert für die Qualität von instruktionalen Videos haben kann, und die Studierenden entgegen einigen Kritiken [12] zur aktiven Bearbeitung der Themen gelenkt werden können.

Ein zweiter wichtiger Punkt im vorgestellten Konzept der Mathematischen Methoden ist die parallele Erarbeitung der Mathematik und Physik, die die Relevanz und Anschlussfähigkeit der Mathematischen Methoden stärkt. Die Relevanz der Mathematischen Methoden für die Physik am Beispiel der komplexen Zahlen für die Beschreibung Schwingungen erkennen 90%

Daten der Qualitätsstudie der Videos zu komplexen Zahlen (N=42)

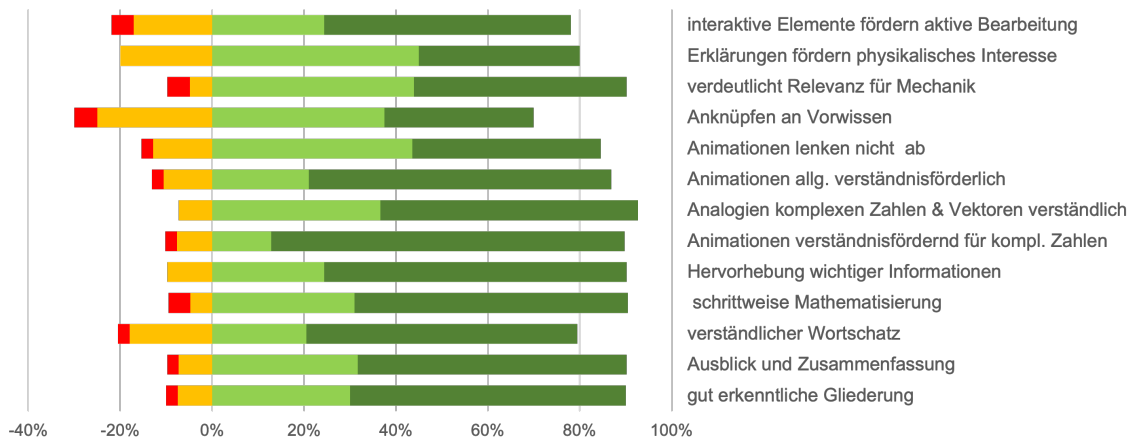


Abb.4: Die Umfrage zu den Qualitätskriterien der Mathematikvideos zeigt, dass die Mehrheit der Zuschauer diese als gut bis sehr gut bewerten.

der Studierenden, sodass die Verzahnung für die Studierenden als sehr ersichtlich eingestuft werden kann. Der dritte wichtige Pfeiler des vorgestellten Konzepts ist der spiralcurriculare Aufbau des Kurses. Ein Anteil von 93% der Befragten beurteilten die Analogie der komplexen Zahlen zur Vektorrechnung im Zweidimensionalen, welche als Vorwissen aus der Oberstufe bekannt ist, als verständlich. Damit sind die drei wichtigen Pfeiler, das spiralcurriculare Prinzip, die Verzahnung mit der Physik und die Aktivierung durch Interaktionen im Video in der ersten Erprobung erfolgreich in unserem Lehr-Lern-Szenario umgesetzt worden.

5.2. Lernstandserhebung nach dem einführenden Selbststudium

Die Qualität der Mathematikvideos des Selbststudiums lässt sich nicht nur ausschließlich durch äußere Kriterien detektieren, sondern beinhaltet auch das Verständnis der Studierenden. Um den Wissenstransfer der Videos zu untersuchen, wurde ein unangekündigter Test T1 (siehe Abb. 2) zu Beginn des zugehörigen Präsenzseminars und damit vor einer gemeinsamen Vertiefung durchgeführt. Da der Test wenigstens eine Nacht nach der Bearbeitung der Videos durchgeführt wurde, untersucht dieser Test das Langzeitgedächtnis [6,19]. Von einem Pre-Post-Test-Design wurde abgesehen, da die Studierenden kein bis kaum Vorwissen zu den komplexen Zahlen haben da diese nicht mehr verpflichtend laut Lehrplänen der Sekundarstufe II in Sachsen und den meisten anderen Bundesländern gelehrt werden [13].

Der Test zur Überprüfung des Wissenstandes nach dem Bearbeiten der Videos beinhaltete kurze Rechenaufgaben zu den Grundrechenoperationen und der Darstellung von Schwingungen als komplexe Funktionen und wurde ohne Hilfsmittel gelöst. Abb. 5 zeigt die Testergebnisse der im Seminar anwesenden Studierenden. Die Lernziele des Beherrschens der

jeweiligen Grundrechenoperationen mit komplexen Zahlen an einfachen Beispielen wurden erreicht. Allein bei der Arbeit mit dem komplex Konjugierten haben die Studierende Defizite.

Alle im Test abgefragten Themenkomplexe wurden durch zusammenfassende Drag-and-Drop oder Multiple-Choice-Aufgaben im Video gesichert (siehe Abb. 3). Nur die Berechnungen mit dem komplex Konjugierten wurden hinter Stopps versteckt, sodass das Video auch ohne aktive Beantwortung fortfährt. Obwohl die Musterlösung im Video gegeben ist, wurde diese Testaufgabe nicht gut gelöst. Damit eröffnet sich eine Forschungsfrage nach möglichen Qualitätskriterien für implementierte Aufgaben und dem generellen Impact von Interaktionen auf das Verständnis der im Video gezeigten Inhalte.

5.3. Lernstandserhebung nach dem vertiefenden Seminar

Um die in den Mathematischen Methoden Seminaren behandelten Themen weiter in die Physik zu transferieren, werden auf den physikalischen Übungsblättern Aufgaben gestellt, zu deren Lösung das mathematische Wissen der vorherigen Seminare nötig ist. In der Übungsserie nach dem Seminar zu komplexen Zahlen wurde daher eine Aufgabe zu diesem Thema gestellt. Deren Beantwortung war sehr gut. Die Studierenden sind in der Lage, mit den im Szenario erlernten Wissen zu komplexen Zahlen unter Nutzung von Hilfsmitteln zu operieren.

6. Zusammenfassung und Ausblick

Die Erprobung dreier Blended Learning Szenarien der Mathematischen Methoden zeigt, dass die Studierenden mit den erstellten Materialien gut arbeiten konnten, sie als qualitativ ansprechend empfanden und gute Ergebnisse in ersten Tests zum Wissenstand erzielten. Um die Einflussstärke der Videos und des Blended Learning-Konzepts auf den Lernerfolg

Wissensstand nach den einführenden Videos zu komplexen Zahlen (N=24)

T1

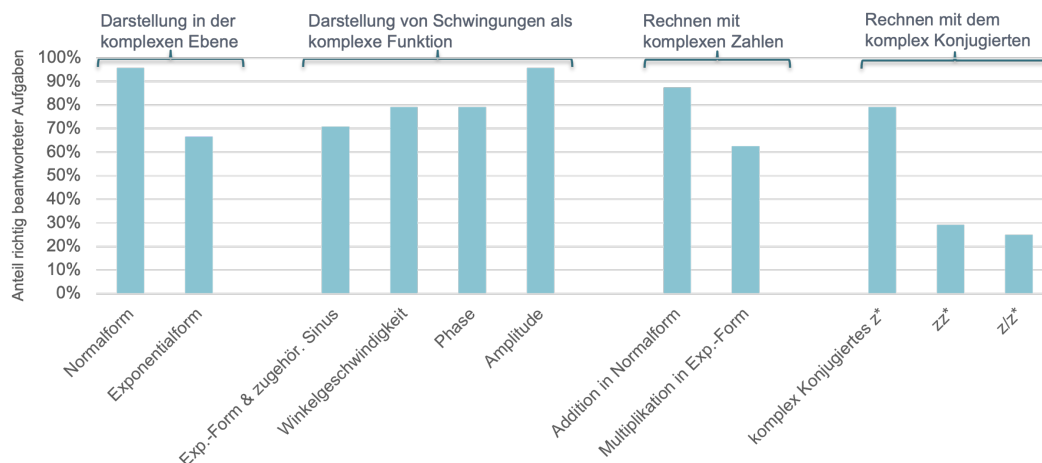


Abb.5: Nach der Bearbeitung der Videos wurde das Verständnis der Kernaussagen des Videos unangekündigt getestet.

festzustellen, muss in der nächsten Erprobungsphase eine valide Studie designend werden. Das Langzeitwissen zu den komplexen Zahlen dieser Kohorte wird beim spiralcurricularen Aufgreifen dieser Thematik im folgenden Modul Experimentalphysik II bei der Behandlung von Wechselstromwiderständen geprüft. Dieses spiralcurriculare Vorgehen wird auf die gesamten mathematischen Themen der ersten beiden Semester übertragen. Alle fehlenden Materialien werden erstellt und erstmals erprobt

7. Literatur

- [1] Bausch, Isabell u.a. (2014): Mathematische Vor- und Brückenkurse. Springer
- [2] Diekjürgen, Diana; Minah, Margitta (2021): Blended Learning.
- [3] Dunn, Jason W.; Barbanel, Julius (2000): One model for an integrated math/physics course focusing on electricity and magnetism and related calculus topics. *American Journal of Physics*, 68(8), 749-757.
- [4] Finkenberger, Frank (2018): *Flipped Classroom im Physikunterricht*. Logos Verlag Berlin.
- [5] Fischer, Pascal Rolf (2014): *Mathematische Vorkurse im Blended-Learning-Format: Konstruktion, Implementation und wissenschaftliche Evaluation*. Springer-Verlag.
- [6] Karnath, Hans Otto; Thier, Peter (2012): *Kognitive Neurowissenschaften*. Berlin: Springer.
- [7] Kulgemeyer, Christoph (2020): A framework of effective science explanation videos informed by criteria for instructional explanations. *Research in Science Education*, 50(6), 2441-2462.
- [8] Kulgemeyer, Christoph (2020): Didaktische Kriterien für gute Erklärvideos. *Lehren und Lernen mit Tutorials und Erklärvideos*. Weinheim: Beltz, 70-75.
- [9] Lumpe, Matthias (2019): Studienabbruch in den MINT-Fächern: Fallstudien an der Universität Potsdam und mögliche Folgerungen. *Alles auf Anfang! Befunde und Perspektiven zum Studieneingang*, 177-192.
- [10] Pilotto, Lisa Maria (2021): "Blended Learning." *Innere Differenzierung in der Erwachsenenbildung*. Wiesbaden
- [11] Quinn, Diana; Jorge Aarão (2020): "Blended learning in first year engineering mathematics." *ZDM* 52. S.927-941.
- [12] Richtberg, Stefan; Girwidz, Raimund (2019): Learning physics with interactive videos—possibilities, perception, and challenges. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1287, No. 1, p. 012057). IOP Publishing.
- [13] Sächsisches Staatsministerium für Kultus (2019): *Lehrplan Gymnasium Mathematik*. (siehe: <https://www.schulportal.sachsen.de/lplandb/>)
- [14] Schild, Nikola (2021): *Eignung von domänenspezifischen Studiengangvariablen als Prädiktoren für Studienerfolg im Fach und Lehramt Physik (Volume 307)*. Logos Verlag Berlin.
- [15] Sharma, Pete (2017): Blended learning design and practice. In *Digital Language Learning and Teaching* (pp. 167-178). Routledge.
- [16] Tindall-Ford, Sharon; Agostinho, Shirley; Sweller, John (2020): *Advances in cognitive load theory*. London: Routledge.
- [17] Fakultät Physik und Geowissenschaften Universität Leipzig (2018): *Prüfungsordnung für den Lehramtsstudiengang mit dem Abschluss Erste Staatsprüfung für das Höhere Lehramt an Gymnasien*.
- [18] Fakultät Physik und Geowissenschaften Universität Leipzig (2018) *Studienordnung für den Lehramtsstudiengang mit dem Abschluss Erste Staatsprüfung für das Lehramt an Oberschulen*.
- [19] Urhahne, Detlef; Dresel, Markus; Fischer, Frank (Eds.) (2019): *Psychologie für den Lehrberuf*. Springer Berlin Heidelberg.

- [20] Volk, Benno (2020): Vorlesungen vor dem Hintergrund aktueller Flipped Classroom-Ansätze. *Lob der Vorlesung: Vorschläge zur Verständigung über Form, Funktion und Ziele universitärer Lehre*, 205-226.

Danksagung

Herrn Prof. Dr. W. Oehme und Herrn Dr. P. Rieger (Didaktik der Physik) gilt unser Dank für ihre ausdauernde Unterstützung bei der Integration der Mathematikausbildung in die Experimentalphysikmodule der Physik Lehramtsstudierenden. Die Umsetzung unseres Blended Learning Konzepts wird von der Universität Leipzig und dem Freistaat Sachsen im Rahmen der Gewährung eines Landesgraduiertenstipendiums seit Oktober 2022 gefördert.

Interaktive Lern- und Übungsaufgaben in der Physiklehrmatsausbildung

Bianca Watzka*

*Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Universitätsplatz 2, 39106 Magdeburg

Bianca.Watzka@ovgu.de

Kurzfassung

Das konstruktivistische Verständnis von Lernen betont, dass Lernen ein aktiver Prozess ist, bei dem Lernende Wissen aktiv konstruieren, indem sie neue Informationen mit ihrem vorhandenen Wissen verknüpfen. Der Ansatz der interaktiven Lernpfade unterstützt dieses Verständnis, indem er individualisierte Lernwege anbietet, bei denen die Lernenden ihr eigenes Lerntempo bestimmen und ihr Wissen und Verständnis durch gezielte (interaktive) Aufgaben aufbauen können. Offen bleibt die Frage, ob es Unterschiede in der Herangehensweise an das Lernen mit interaktiven Lernpfaden in verschiedenen Lehrformaten (Online vs. Präsenz) gibt.

Ein interaktiver, webbasierter Lernpfad mit einer Vielzahl interaktiver Aufgaben wurde in geführter Online-Lehre, geführter Präsenzlehre und im asynchronen Selbststudium eingesetzt und evaluiert. Die Stichprobe (N = 66) bestand aus Lehramtsstudierenden der Physik. Sie bearbeiteten den Lernpfad mit den interaktiven Aufgaben mit dem Ziel, fachdidaktisches Wissen aus vergangenen Vorlesungen auf ein konkretes Thema anwenden zu lernen.

Die Aktivitäten der Teilnehmenden und die jeweiligen Bearbeitungserfolge wurden mit Hilfe von xAPI-Statements in einem Learning Record Store erfasst und anschließend analysiert. Die Ergebnisse zeigten u.a., dass Lernenden im Selbststudium signifikant kürzere Bearbeitungszeiten, ein chaotischeres Lernverhalten und im Mittel geringere Bearbeitungserfolge aufweisen. Außerdem setzten die Lernenden im Selbststudium, die einen hohen Bearbeitungserfolg erzielten, andere Schwerpunkte als Lernende, die einen geringen Bearbeitungserfolg erzielten.

1. Aktives Lernen

Aktives Lernen steht im Gegensatz zum traditionellen Frontalunterricht. Letzterer ist dadurch gekennzeichnet, dass der Lehrende das Wissen vermittelt und die Lernenden im Wesentlichen passiv zuhören und mitschreiben. Bonwell und Eison (1991) beschreiben den Ansatz des aktiven Lernens durch charakteristische Maßnahmen, die die Lernenden dazu bringen, Dinge zu tun und darüber nachzudenken. Eine aktive Auseinandersetzung mit den Lerninhalten verspricht einen effektiveren Wissensaufbau und höhere Lernerfolge (vgl. Ulrich und Brieden, 2021; Prince, 2004; Hake, 1998). In den letzten Jahren wurden verschiedene Werkzeuge entwickelt, die Lehrende bei der Aktivierung ihrer Studierenden unterstützen. Beispiele sind Audience-Response-Systeme (z.B. Poll Everywhere, etc.), interaktive Quizzes (z.B. Kahoot!, etc.) oder Vorlagen für interaktive Arbeitsblätter und Workbooks (z.B. WunderBooks) oder interaktive Aufgaben (z.B. H5P oder LearningApps).

Einige dieser Tools können per iFrame oder LTI (vgl. Watzka et al. 2019 und Watzka, 2022) in das eigene Lernmanagementsystem eingebunden werden, sodass während des Lernens kein Medienwechsel stattfinden muss und somit keine störenden Unterbrechungen entstehen. Auch hinsichtlich der Feedbackmöglichkeiten unterscheiden sich die verschiedenen Tools zum Teil erheblich. Daher erscheint es sinnvoll,

Vergleiche hinsichtlich der Lernförderlichkeit zur besseren Kontrollierbarkeit auf ein Tool zu beziehen. Im vorliegenden Beitrag geht es um die Evaluation von Lernpfaden, die mit dem Tool H5P erstellt wurden. Dementsprechend werden im Folgenden Studien- und Evaluationsergebnisse im Zusammenhang mit H5P zusammengefasst.

Mit der Lernförderlichkeit interaktiver Aufgaben im Stile von H5P befassten sich in jüngster Zeit eine Reihe von Anwendern verschiedenster wissenschaftlicher Disziplinen. Eine Übersicht gibt der Beitrag von Watzka (2022), wobei dort Ergebnisse von Evaluationen dann detaillierter aufgeführt sind, wenn die Analysen auf standardisierten Daten / Methoden wie logFiles bzw. xAPI-Daten, Fragebögen oder Interviews basierten.

An dieser Stelle ist hier nur die evaluationsübergreifende Quintessenz der Ergebnisse angegeben, nämlich, dass der Einsatz von H5P...

- die Lernerfolge vergrößert (Santos et al., 2019, Wicaksono et al., 2021; Sinnayah et al., 2021)
- die Motivation steigert (Wicaksono et al., 2021, Mir et al., 2021)
- das Erkennen relevanter Informationen erleichtert (Wicaksono et al., 2021, Thurner et al. 2022)
- die Lernzeit steigert (Santos et al., 2019; Watzka, 2022).

1.1. Lernpfade

Lernpfade sind strukturierte Wege oder Vorgehensweisen, die darauf abzielen, das Wissen und die Fähigkeiten von Lernenden in Bezug auf bestimmte Inhalte zu erweitern und zu vertiefen (Roth, 2015, Pöhler, 2018). Lernpfade sind häufig als webbasierte Lernumgebungen nach der Art eines Baukastensystems realisiert und enthalten folgende Elemente:

- verbindliche Lernziele zur Schaffung von Zieltransparenz
- aufeinander abgestimmte Arbeitsaufträge und Lernaufgaben (oft in interaktiver Form)
- Hilfen und Feedback
- Wahloptionen, die das lineare Durcharbeiten nicht erzwingen.

1.2. Analyse von Lernpfaden

Die Analyse von Lernwegen ermöglicht es, potenzielle Schwachstellen im Lehr- und Lernprozess der Lernenden zu identifizieren. Durch die Analyse der Lernwege, Lernfortschritte und Misserfolge der Lernenden können Lehrende gezielt auf Schwierigkeiten reagieren und die Lernwege entsprechend anpassen.

Lernwege verlaufen häufig nicht linear, sondern oszillieren oder sind durch Umwege gekennzeichnet. Ursachen für die Variation der Lernwege sind neben den individuellen Wissensstrukturen der Lernenden, die sich aufgrund von Vorerfahrungen und Vorwissen bereits herausgebildet haben (Pöhler, 2018), auch affektive Komponenten wie Interessen oder Einstellungen.

Messgrößen von Lernwegen sind beispielsweise:

- Zeitpunkte und -dauern der Bearbeitung einzelner Aufgaben / Elemente
- Häufigkeiten incl. Wiederholungen und Auslassungen von Aufgaben / Elementen
- Reihenfolgen der Bearbeitungen
- Erreichte Punktzahl, Abzüge aufgrund von Fehlern
- Häufigkeiten von Hilfeaufrufen
- Log Files z.B. zur Nutzung der Navigationsoptionen etc.

1.3. Effektivität von webbasierten Lernpfaden

Die Ergebnisse zur Untersuchung der Lerneffektivität von Lernpfaden sind vielfältig, auch weil sie unterschiedliche Facetten der Lerneffektivität beleuchten. Neben dem Wissenserwerb und dem Kompetenzaufbau (vgl. Roth und Wiesner, 2014) werden insbesondere im Bereich des E-Learning auch Aspekte zur Lerneffektivität gezählt, die in engem Zusammenhang mit Abbruchquoten und der Adaptivität von Lernmaterialien stehen (Joseph et al., 2022; Rahayu et al., 2023). Die Möglichkeit, Lernwege individuell an die eigenen Bedürfnisse anzupassen, fördert die Zufriedenheit und das Durchhaltevermögen der Lernenden (Joseph et al., 2022). Auf der Seite der

fachlichen Kompetenzen können Lernpfade zum Wissenserwerb beitragen, was vor allem für den Bereich der Mathematik gezeigt werden konnte (z.B. Christopoulos et al. 2020).

Die vorliegende Evaluation soll dazu beitragen, das Lernverhalten der Lernenden beim Lernen mit Lernpfaden zu untersuchen. Die zentrale Frage dabei ist, welche Lernwege die Lernenden beschreiten und ob es markante Merkmale in den Lernpfaden gibt, die den Lernerfolg vorhersagen können. Coronabedingt kamen verschiedene Szenarien der Lernpfade zum Einsatz, so dass auch die Rolle von angeleiteter Führung beim Durchlaufen von Lernpfaden untersucht werden kann.

2. Methodik

2.1. Stichprobe

Die Stichprobe umfasst insgesamt 66 Lehramtsstudierende mit dem Schwerpunktfach Physik. Davon waren 55 Studierende an der LMU München eingeschrieben, davon 33 männlich. An der OVGU Magdeburg waren 11 Studierende in der Stichprobe vertreten, davon 8 männlich. Die Studierenden in München befanden sich zwischen dem 7. und 9. Fachsemester, die Studierenden in Magdeburg hatten den 6-semesterigen Bachelorstudiengang abgeschlossen und befanden sich zum Zeitpunkt der Befragung im ersten Fachsemester des Masterstudiengangs. Alle Studierenden hatten bereits die fachphysikalischen Experimentalvorlesungen, die einführende fachdidaktische Vorlesung und die experimentellen Laborpraktika absolviert. Darüber hinaus waren alle Studierenden mit der Bearbeitung der interaktiven Aufgaben und der verwendeten Symbolik vertraut. Die Stichprobe wurde in drei Gruppen aufgeteilt: Präsenz, Online, Selbststudium.

2.2. Ablauf

Vor dem Lernen mit dem interaktiven, webbasierten Lernpfad wurden in allen drei Gruppen zu Beginn u.a. Kontrollvariablen wie Geschlecht, Fachsemester und Studiengang abgefragt.

Anschließend erfolgte in der Online- und Präsenzgruppe das angeleitete Lernen durch den Lernpfad mit den interaktiven Aufgaben. Dazu öffneten die Studierenden und die Dozierende / der Dozierende den webbasierten Lernpfad jeweils auf ihren eigenen Endgeräten. Die Dozierende / der Dozent moderierte den Weg durch den Lernpfad, indem sie / er Wechsel zwischen Folien oder Aufgabenbearbeitungen initiierte. Die Aktionen der Studierenden wurden dabei kontinuierlich über die xAPI erfasst.

Die Selbstlerngruppe bearbeitete den Lernpfad mit den interaktiven Aufgaben ohne Anleitung von zu Hause aus.

2.3. Instruktionsmaterial

Das Instruktionsmaterial basiert auf der H5P-Vorlage Branching Scenario (vgl. Watzka, 2022) und ist für eine Bearbeitungszeit von 90 Minuten konzipiert. Er

enthält aufeinander aufbauende Elemente und drei fachdidaktische Vertiefungsoptionen, die im besten Fall im Sinne eines ganzheitlichen Lernens alle bearbeitet werden. Markenzeichen der Vorlage Branching Scenario sind die Auswahlfragen (Abb. 1). Sie sind neutral formuliert und führen im dargestellten Beispiel zu fachdidaktischen Vertiefungen, die aufgrund der unterschiedlichen Anforderungen verschiedene Aufgabenformate enthalten.

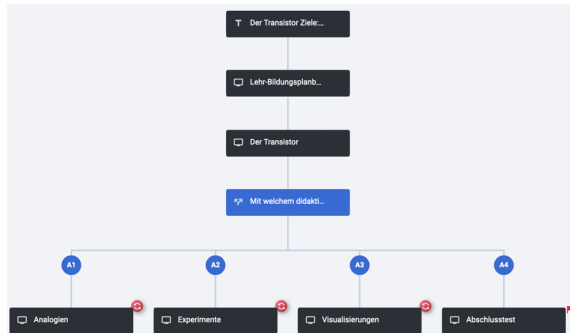


Abb. 1: Struktur des Lernpfades mit Auswahlfragen (eine ausführliche Beschreibung ist bei Watzka (2022) zu finden)

2.4. Erhebungsinstrumente

H5P ist standardmäßig mit einer xAPI-Schnittstelle ausgestattet. xAPI steht für Experience API und ist auch unter dem Namen TinCan bekannt (Torrance & Houck, 2017). Die xAPI-Schnittstelle liefert Daten nach einem festen Schema an eine Lernaktivitätsdatenbank, auch Learning Record Store (LRS) genannt. Die xAPI-Aussagen basieren auf dem einfachen Muster: Subjekt | Verb | Objekt und können bei Bedarf um weitere Informationen wie Ergebnisse oder Zeitstempel ergänzt werden.

Damit kann praktisch jede Aktivität eines Lernenden mit der Lernumgebung nachvollzogen werden (Santos, Cordon & Palomo-Duarte, 2019).

Für die Analyse der Lernpfade wurden folgende Variablen erfasst:

- Bearbeitungszeiten,
- Bearbeitungserfolge / Aufgabenpunkte,
- Wiederholungen,
- Bearbeitungsreihenfolgen, und -abbrüche
- Sprünge zwischen Informationseinheiten und Aufgaben.

2.5. Analyse

Die Analyse der Lernwege erfolgte halb-quantitativ (siehe Abb. 2-6). Dazu wurden Sehnendiagramme der Lernwege in Python programmiert. Die äußeren farbigen Ringelemente stellen die Informationseinheiten bzw. Aufgaben der Lernumgebung dar, wobei die Größe der Kreisbögen proportional zu den mittleren Bearbeitungszeiten ist. Die farbigen Sehnen im Kreis zwischen den Einheiten stellen Sprünge zwischen den Informationseinheiten bzw. Aufgaben dar. Eine Sehne beginnt immer bei der gleichfarbigen Einheit

und endet bei der andersfarbigen Einheit. Die Breite der Sehne ist proportional zur Häufigkeit des Sprungs innerhalb einer Gruppe.

3. Ergebnisse

Die meiste Zeit verbrachten die Studierenden mit den Grundlagen und die wenigste Zeit mit dem historischen Exkurs.

Die Ergebnisse eines t-Tests für unabhängige Stichproben zeigen für die Bearbeitungszeit einen signifikanten Unterschied hoher Effektstärke zwischen den beiden Gruppen (Online + Präsenz) und der Selbstlerngruppe ($t_{60} = 10.88$, $p < .001$, 95 % CI [14.17, 20.56], $d = 5.4$). Die Lernenden im Selbststudium brachen die Bearbeitung früher ab als die Lernenden in der Präsenz- oder Online-Lerngruppe. Bezüglich des Lernerfolgs zeigen die Ergebnisse eines t-Tests für unabhängige Stichproben einen signifikanten Unterschied hoher Effektstärke zwischen den beiden Gruppen (Online + Präsenz) und der Gruppe Selbststudium ($t_{60} = 10.49$, $p < .001$, 95 % CI [20.58, 30.28], $d = 8.2$). Die Lernenden im Selbststudium erzielten weniger Punkte als die Lernenden in der Präsenz- oder Online-Lerngruppe. Darüber hinaus korrelieren die Bearbeitungszeit und der Bearbeitungserfolg hoch miteinander (Pearson $r = .698$, $p < .001$, 95 % CI [.609, .830]).

Die Unterschiede in den Lernwegen der Studierenden der drei Gruppen sind in den Diagrammen (Abb. 2-6) dargestellt. Die Lerneinheiten des äußeren Rings sind: (1) Lernziele, (2) Anwendungskontexte, (3) Funktionen von Transistoren, (4) Visualisierungen, (5) Grundlagen, (6) Aufg. 1, (7) Aufg. 2, (8) Aufg. 3, (9) Aufg. 4 und (10) Geschichtliches.

Allen Gruppen gemeinsam (vgl. Abb. 2-4) ist die relativ gleichmäßige Verteilung der Bearbeitungszeit auf die einzelnen Lerneinheiten. So verbringen alle Studierenden den größten Teil ihrer Zeit mit der Bearbeitung der Lerneinheit Grundlagen (Segment Nr. 5) und der Bearbeitung der Aufgaben (Segmente Nr. 6-9).

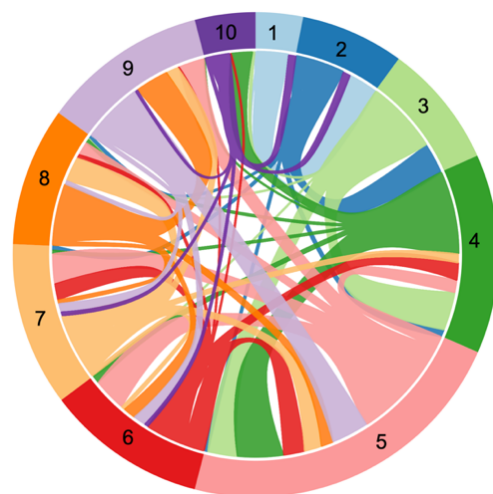


Abb. 2: Lernwege in der geführten Online-Lehre (Watzka, 2022)

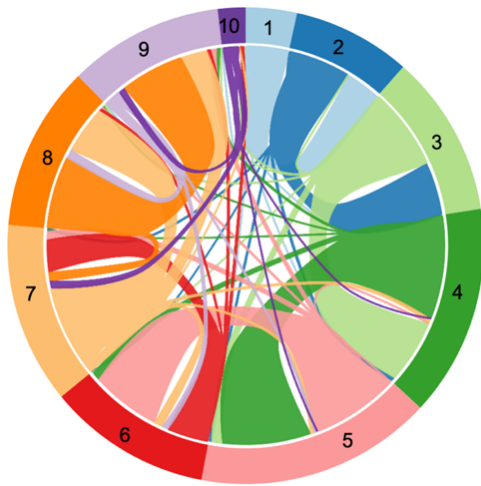


Abb. 3: Lernwege in der geführten Präsenz-Lehre (Watzka, 2022)

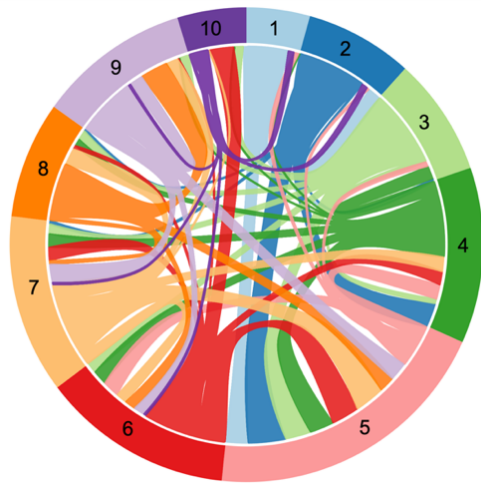


Abb. 4: Lernwege während des Selbststudiums (Watzka, 2022)

Interessant ist der Vergleich der Bearbeitungszeiten von Lernenden mit hohem Bearbeitungserfolg im Vergleich zu Lernenden mit niedrigem Bearbeitungserfolg in der Gruppe Selbststudium (vgl. Abb. 5-6).

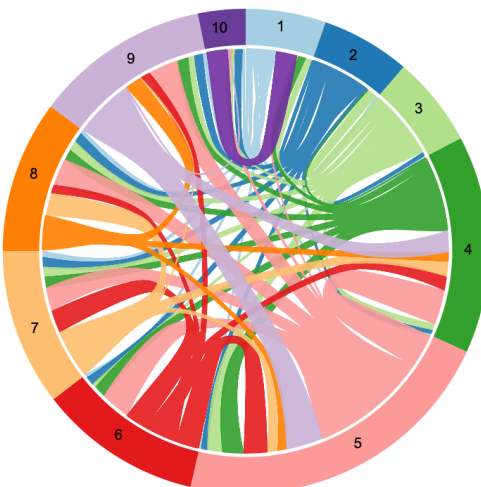


Abb. 5: Lernwege von Low Performern (< 50 Punkte)

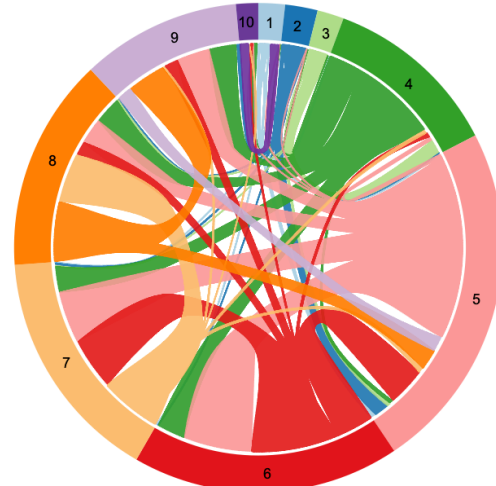


Abb. 6: Lernwege von High Performern (> 95 Punkte)

High Performer setzten im Vergleich zu Low Performern andere Schwerpunkte bei den Lerneinheiten. High Performer konzentrierten sich auf Grundlagen (5) und Aufgaben (6-9) und eher weniger auf Lernziele (1), Anwendungskontexte (2) und Funktionen von Transistoren (3). Die Low Performer hingegen beschäftigten sich deutlich länger mit den Lerneinheiten Lernziele (1), Anwendungskontexte (2), Funktionen von Transistoren (3) und Geschichte.

4. Diskussion

Die Ergebnisse zeigen Unterschiede in den Lernwegen in Abhängigkeit von der Betreuung. Dies wirkt sich vor allem negativ auf den Lernerfolg im Selbststudium aus, bei dem keine Führung durch den Lernpfad erfolgte. Gründe für das schlechtere Abschneiden der Lernenden im Selbststudium könnten in der Bearbeitung ohne Anleitung liegen. Im Selbststudium werden die Lerneinheiten im Durchschnitt kürzer und vermutlich auch weniger intensiv bearbeitet. Betrachtet man die Gruppe des Selbststudiums genauer und unterscheidet dort zwischen hohem und niedrigem Bearbeitungserfolg, so zeigt sich auch innerhalb dieser Gruppe ein Unterschied in der Bearbeitungszeit und in der Schwerpunktsetzung. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass es eine Gruppe von Lernenden gibt, die im Selbststudium mehr Anleitung benötigt, um einen hohen Lernerfolg zu erzielen. Adaptive Lernpfade, die mehr Unterstützung speziell für diese Gruppe von Lernenden bieten, sind eine Möglichkeit, dies zu erreichen.

5. Literatur

- Bonwell, C. C., & Eison, J. A. (1991). Active learning: Creating excitement in the classroom. Washington: The George Washington University, School of Education and Human Development.
- Christopoulos, A., Pellas, N., & Laaksi, M.-J. (2020). A Learning Analytics Theoretical Framework for STEM Education Virtual Reality Applications, *Education Sciences*, 10, 317.

- Hake, R. (1998). Interactive-Engagement vs. Traditional Methods: A Six-Thousand-Student Survey of Mechanics Test Data for Introductory Physics Courses, *American Journal of Physics*, 66(1), pp. 64-74.
- Joseph, L., Abraham, S., Mani, B. P., & N., R. (2022). Exploring the Effectiveness of Learning Path Recommendation based on Felder-Silverman Learning Style Model: A Learning Analytics Intervention Approach, *Journal of Educational Computing Research*, 60(6), pp. 1464-1489.
- Mir, K., Iqbal, M. Z., & Shams, J. A. (2021). Investigation of Students' Satisfaction about H5P Interactive Video on MOODLE for Online Learning, *International Journal of Distance Education and E-Learning*, 7(1), pp. 71-82.
- Pöhler, B. (2018). Konzeptuelle und lexikalische Lernpfade und Lernwege zu Prozenten. Wiesbaden: Springer Spektrum.
- Prince, M. (2004). Does Active Learning Work? A Review of the Research, *Journal of Engineering Education*, 93(3), pp. 223-231.
- Rahayu, N.W., Ferdiana, R., & Kusumawardani, S. S. (2023). A systematic review of learning path recommender systems, *Education and Information Technologies*, 28, pp. 7437-7460.
- Roth, J. (2015). Lernpfade – Definition, Gestaltungskriterien und Unterrichtseinsatz. In J. Roth, E. Süß-Stepancik & H. Wiesner (Hrsg.), *Medienvielfalt im Mathematikunterricht. Lernpfade als Weg zum Ziel* (S. 3–25). Wiesbaden, Springer Spektrum.
- Santos, D. R., Cordon, C. R., & Palomo-Duarte, M. (2019). Extending H5P Branching Scenario with 360 scenes and xAPI capabilities: A case study in a local networks course. In *2019 International Symposium on Computers in Education (SIIE)* (pp. 1-6). IEEE.
- Sinnayah, P., Salcedo, A., & Rekhari, S. (2021). Reimagining physiology education with interactive content developed in H5P, *Advances in Physiology Education*, 45(1), pp. 71-76.
- Thurner, S., Schön, S., Schirmbrand, L., Tatschl, M., Teschl, T., Leitner, P., & Ebner, M. (2022). An exploratory mixed-method study on H5P videos and video related activities in a MOOC environment, *International Journal of Technology-Enhanced Education*, 1(1), pp. 1-18.
- Torrance, M. & Houck, R. (2017). Making Sense of xAPI, *TD AT Work Guide*, ASTD Press.
- Ulrich, I., & Brieden, M. (2021). Studierenden-zentrierte Hochschullehre aus lernpsychologischer Sicht. In: J. Noller, C. Beitz-Radzio, D. Kugelmann, S. Sontheimer, S. Westerholz (Hrsg.) *Studierendenzentrierte Hochschullehre. Perspektiven der Hochschuldidaktik*. Springer VS, Wiesbaden.
- Watzka, B. (2022). Interaktive Lern- und Übungsaufgaben in der Physiklehrmatsausbildung - Vergleich zwischen Online-, Präsenz- und Selbststudium, *Lessons Learned* 2(2), <https://doi.org/10.25369/ll.v2i2.53>
- Watzka, B., Richtberg, S., Schweinberger, M., & Girwidz, R. (2019). Interaktives Üben mit H5P. *NiU - Physik* 30 (173), pp. 22-27.
- Wicaksono, Setiarini, Novawan, & Ikeda (2021). The Use of H5P in Teaching English, *Advances in Social Science, Education and Humanities Research*, 514, pp. 227-230.

Lehr-Lernüberzeugungen und Lehrhandeln studentischer Tutor*innen

Robin Dexheimer-Reuter, Verena Spatz, Thomas Trebing

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

Kurzfassung

Studentische Tutor*innen leisten an vielen Universitäten einen wichtigen Beitrag zur Lehre, empirisch ist ihre Arbeit jedoch bisher nur wenig untersucht. Im Kontext universitärer Informatiklehre konnten beispielsweise Auswirkungen von Lehr-Lernüberzeugungen der Tutor*innen auf ihre Bewertung durch die Übungsteilnehmenden nachgewiesen werden. Vergleichbare Untersuchungen im Bereich der universitären Physikübungen fehlen bisher jedoch. So ist es weitgehend unklar, inwiefern sich die Lehr-Lernüberzeugungen von Physiktutor*innen, vermittelt über ihr Lehrhandeln, auf den Erfolg der Übungsteilnehmenden in der betreffenden Lehrveranstaltung auswirken (entsprechend dem Mediationsmodell der COACTIV Studie für schulischen Mathematikunterricht). Folglich untersucht das aktuelle Projekt in mehreren Grundlagen- und Nebenfachlehrveranstaltungen am Fachbereich Physik der TU Darmstadt dieses Mediationsmodell. Das Lehrhandeln ist hierbei operationalisiert durch die von den Übungsteilnehmenden wahrgenommene Lehrqualität. Des Weiteren werden die Klausurnote und die Zufriedenheit der Übungsteilnehmenden mit der Betreuung erfasst. Im Beitrag werden die Skalenbildung und Ergebnisse der Pilotierung vorgestellt.

1. Studentische Tutor*innen in vorlesungsbegleitenden Physikübungen an der TU Darmstadt

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 (Glathe, 2017; Kröpke, 2015; Zitzelsberger et al., 2019). Sie sind in unterschiedlichen Funktionen beispielsweise bei Praktika, im Übungsbetrieb oder bei Prüfungen tätig. Im Folgenden liegt der Fokus auf studentischen Tutor*innen, welche vorlesungsbegleitende Übungen betreuen.

Das Konzept zu vorlesungsbegleitenden Übungen am Fachbereich Physik der TU Darmstadt hat zum Ziel, dass statt frontaler Lehrmethoden, wie z.B. in klassischen „Vorrechnenübungen“, eine möglichst aktive Auseinandersetzung der Übungsteilnehmenden (im Folgenden Teilnehmende genannt) mit den Veranstaltungsinhalten realisiert wird. Hierzu arbeiten die Teilnehmenden in Kleingruppen selbstständig an Aufgaben und werden dabei von studentischen Tutor*innen unterstützt. Die Tutor*innen haben jedoch meist keinen Einfluss auf die Aufgabenwahl, diese obliegt den Dozent*innen bzw. Assistent*innen der jeweiligen Veranstaltung (Glathe, 2017).

Alle Tutor*innen nehmen vor Beginn ihrer Tätigkeit an einer fachspezifischen Schulung teil. Dabei wird neben anderen Aspekten, wie beispielsweise dem Korrigieren von Hausübungen, insbesondere das „Prinzip der minimalen Hilfe“ vermittelt (Trebing, 2015). Dieses besagt, dass die Lehrenden nur so viel Unterstützung geben wie notwendig ist, damit die Lernenden mit dem selbständigen Problemlösen fort-

fahren können (Aebli, 2006). Ergänzend hierzu können die fünf Hilfestufen von Zech (1996) als Orientierung dienen, um einzuschätzen, ob eine Hilfe angemessen ist.

2. Einbettung in den Forschungsstand

Trotz der Bedeutung von tutorieller Lehre an vielen Hochschulen liegen im deutschsprachigen Raum nur wenige Studien hierzu vor. Bisherige Erhebungen nehmen meist in den Blick, welche Effekte unterschiedliche Vorlesungs- und Übungskonzepte oder Tutor*innenschulungen haben, siehe z. B. (Daniel-siek et al., 2017; Deneke et al., 1988; Glathe, 2017; Haenze et al., 2013; Rohde & Stahlberg, 2019). Die Frage nach dem Einfluss von Persönlichkeitsmerkmalen wie Überzeugungen oder Einstellungen der Tutor*innen wird nur selten gestellt.

Glathe (2017) konnte für Informatikübungen Einflüsse der Lehr-Lernüberzeugungen der Tutor*innen auf die Bewertung der Tutor*innen durch die Teilnehmenden nachweisen. Daher scheinen vergleichbare Untersuchungen auch für die universitäre Lehre der Physik relevant.

Die Befunde aus dem schulischen Kontext zum Einfluss der Lehr-Lernüberzeugungen von Lehrkräften sind äußerst heterogen. Beispielsweise konnte für den schulischen Physikunterricht das Factio-Project (Krüger et al., 2017) Einflüsse der Lehr-Lernüberzeugungen der Lehrkräfte auf die Unterrichtsqualität finden, während die IPN-Videostudie (Seidel et al., 2006) keine derartigen Zusammenhänge feststellte.

Für den schulischen Mathematikunterricht wurde innerhalb der COACTIV-Studie (Kunter et al., 2011) ein Mediationsmodell bestätigt. Dieses besagt, dass die Überzeugungen der Lehrkräfte die Leistung der

Lernenden nicht direkt, sondern vermittelt über das Lehrhandeln beeinflussen. Hierbei wurden sowohl positive Effekte der konstruktivistischen Überzeugungen als auch negative Auswirkungen der transmissiven Überzeugungen festgestellt.

3. Fragestellung und theoretische Fundierung

Es ergibt sich aus dem oben zusammengefassten Forschungsstand die Fragestellung, ob und wie die Lehr-Lernüberzeugungen studentischer Tutor*innen in universitären Physikübungen die Zufriedenheit der Teilnehmenden mit der Betreuung sowie deren Erfolg in der betreffenden Lehrveranstaltung beeinflussen. Dieser Fragestellung wird in der hier vorgestellten Studie nachgegangen.

Nach Kunter et al. (2011, S. 235) sollen Überzeugungen 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“ verstanden werden. Lehr-Lernüberzeugungen sind demnach die Ansichten und Überzeugungen darüber, wie Lernen und Lehren funktioniert und gestaltet werden sollte.

In verschiedenen Studien konnte die folgende zweidimensionale Struktur der Lehr-Lernüberzeugungen aufgezeigt werden: Neben einer transmissiven Sichtweise, wonach die Lernenden eine eher passive Rolle einnehmen und das Wissen von den Lehrenden an die Lernenden direkt weitergegeben wird, existiert eine (meist negativ korrelierte) konstruktivistische Sichtweise (Glathe, 2017; Korneck et al., 2013; Kunter et al., 2011; Seidel et al., 2006), die Lernen als einen aktiven Prozess begreift. Gemäß der konstruktivistischen Sicht können Lehrende also die Lerngelegenheiten bereitstellen, die es den Lernenden erlauben, sich das Wissen zu erschießen. Auch die hier vorgestellte Studie orientiert sich an diesem zweidimensionalen Modell.

Außerdem wird das bereits erwähnte Mediationsmodell der COACTIV-Studie auf den Bereich der tutoriellen universitären Lehre übertragen, woraus sich die folgende Hypothese ableitet: Die Lehr-Lernüberzeugungen studentischer Tutor*innen beeinflussen, vermittelt über ihr Handeln in der vorlesungsbegleitenden Übung, die Zufriedenheit und den Erfolg der Teilnehmenden ihrer Übung. Der zur Überprüfung dieser Hypothese notwendigen Skalenbildung ist der Rest dieses Beitrages gewidmet. Für eine Erläuterung des Studiendesigns sei auf Dexheimer-Reuter et al. (2022) verwiesen.

4. Operationalisierung und Skalenbildung

Es müssen insbesondere die Lehr-Lernüberzeugungen studentischer Tutor*innen und ihr Handeln in der Übung erfasst werden. Letzteres wird operationalisiert durch die von den Teilnehmenden wahrgenommene Lehrqualität. Außerdem muss die Zufriedenheit der Teilnehmenden mit der Übung erhoben werden

sowie ihr Erfolg in der Lehrveranstaltung (gemessen anhand der Klausurnote).

Im Folgenden werden die Items bzw. Skalen dargestellt, welche in die Pilotierung eingegangen sind. Es handelt sich bei allen Skalen um sechsstufige Likert Skalen.

4.1. Lehr-Lernüberzeugungen der Tutor*innen

Zur Erfassung der Lehr-Lernüberzeugungen werden angepasste COACTIV-Items zu lerntheoretischen Überzeugungen verwendet. Diese fassen Lehr-Lern- und epistemologische Überzeugungen zusammen. Die Items zu epistemologischen Überzeugungen sind handlungsnah und daher auch für unsere Studie verwendbar. Des Weiteren weisen die COACTIV-Skalen die bereits beschriebene zweidimensionale Struktur auf, jedoch sind beide Skalen noch in Subskalen unterteilt, welche verschiedene inhaltliche Aspekte der übergeordneten Skala abbilden. Insbesondere aus testökonomischen Gründen war für unsere Erhebung nicht geplant diese Struktur beizubehalten.

Die meisten Items wurden mit leichten Anpassungen vom schulischen Mathematikunterricht auf die tutorielle Physiklehre übertragen. Drei von vier Items der Subskala Einschleifen von technischem Wissen aus der Skala zur transmissiven Orientierung behandeln jedoch den Erwerb numerischen Faktenwissens. Da dieser für die universitäre Lehre nicht relevant ist, wurden diese Items entfernt. Abzüglich dieser gingen 40 Items in die Pilotierung ein, davon 32 zu Lehr-Lernüberzeugungen und 8 zu epistemologischen Überzeugungen.

Außerdem wurden 10 Items von Glathe (2017) zu Lehr-Lernüberzeugungen genutzt, die auf Übersetzungen des Approaches to Teaching Inventory (Johannes et al., 2011) beruhen. Da diese von Glathe bereits an den Kontext tutorieller Lehre angepasst wurden, waren nur geringfügige Änderungen einzelner Items notwendig. Somit ergab sich eine Gesamtzahl von 50 Items für die Pilotierung des Fragebogens für die Tutor*innen.

4.2. Durch die Teilnehmenden wahrgenommene Lehrqualität und Zufriedenheit mit der Übung

Zur Erhebung der wahrgenommenen Lehrqualität wurden 43 COACTIV-Items genutzt. Diese gliedern sich in die drei Skalen: Effizienz der Klassenführung, Potential zur kognitiven Aktivierung und konstruktive Unterstützung, wobei auch diese Skalen jeweils Subskalen besitzen. Erneut konnten viele Items mit leichten Änderungen übernommen werden. Bei den Items im allgemein-pädagogischen Bereich waren aufgrund des anderen Lehr-Lernsettings tendenziell stärkere Änderungen notwendig. Außerdem ist zu beachten, dass sich einige der Items mit den Aufgabenstellungen beschäftigen (hauptsächlich aus der Skala zur kognitiven Aktivierung). Da die Auswahl der Aufgaben im vorlesungsbegleitenden Übungsbetrieb nicht in den Verantwortungsbereich der Tutor*innen

fällt, war davon auszugehen, dass diese nur schwach mit den übrigen Items korrelieren.

Aus der oben beschriebenen COACTIV-Skala zur kognitiven Aktivierung wurden fünf Items identifiziert, welche Aspekte des Prinzips der minimalen Hilfe abbilden (davon stammen vier aus der Subskala zur kognitiven Selbstständigkeit und ein Item aus der Subskala zur Diskussion). Ebenfalls zur Erfassung des Prinzips wurden zwei weitere Items aus Glathe (2017) und ein Item aus Trebing (2016) verwendet. Diese wurden durch drei weitere selbst entwickelte Items ergänzt, welche insbesondere die Anwendung verschiedener Hilfestufen abdecken.

Außerdem wurde ein weiteres Item zu den Aufgabenstellungen selbst erstellt. Insgesamt kam auch dieser Fragebogen auf 50 Items.

5. Pilotierung

Ziel der Pilotierung war es, reliable und ökonomische Skalen zu erhalten. Die Testökonomie ist insbesondere wichtig, da durch das Erhebungsdesign Übungszeit in Anspruch genommen wird und Personen wahrscheinlich mehrmals befragt werden, beispielsweise weil sie an mehreren Grundlagenveranstaltungen teilnehmen, in denen erhoben wird.

5.1. Think-aloud Studie

Vor der eigentlichen Pilotierung wurden beide Fragebögen jeweils dreimal von Testpersonen mittels der Think-Aloud Methode bearbeitet. Ziel hierbei war die Überprüfung auf Verständnisschwierigkeiten und unzureichende Passung der Formulierungen für den universitären Kontext. Aus dieser Studie ergaben sich kleinere Änderungen einzelner Items, es zeigten sich jedoch keine grundlegenden Probleme.

5.2. Datenerhebung

Die Datenerhebung der Pilotierung fand innerhalb von zwei Wochen während des Sommersemesters 2022 als Paper-Pencil Erhebung in den Übungsgruppen statt. Erhoben wurde in zwei Physik-Grundlagenveranstaltungen für das Hauptfach und drei Physik-Nebenfachveranstaltungen.

Pro Tutor*in war der Rücklauf an Teilnehmendenfragebögen zwischen einem und 12, wobei der Median bei drei lag. Dieser niedrige Rücklauf lag maßgeblich an den geringen Teilnehmendenzahlen der Übungen. Eine mögliche Ursache für diese geringe Beteiligung ist, dass es sich beim Sommersemester 22 um das erste Präsenzsemester nach der Coronapandemie handelte.

5.3. Umgang mit fehlenden Daten

Zuerst wurde überprüft, wie häufig Items (nicht) beantwortet wurden. Folgendes Item aus dem Studierendenfragebogen wurde zu mehr als 10 % nicht beantwortet: „Unser*e Tutor*in akzeptiert, z. B. an der Tafel, auch mal Fehler und lässt uns damit weitermachen, bis wir selbst sehen, dass etwas nicht stimmt.“ Ein Abgleich mit den Think-aloud Aufnahmen zeigte,

dass die im Item beschriebene Situation (Vorrechnen an der Tafel) selten in den Übungen vorkommt. Folglich wurde das Item entfernt. Die übrigen Items wurden alle zu mehr als 95 % bearbeitet.

Es wurden nur Fragebögen ausgewertet, bei denen mindestens 80 % der verbliebenen Items bearbeitet wurden (Mummendey & Grau, 2008). Hieraus ergab sich ein Datensatz bestehend, aus 183 Fragebögen von Teilnehmenden und 48 Fragebögen von Tutor*innen. Vor der Auswertung wurden die fehlenden Werte jeweils mit dem Median des entsprechenden Items ersetzt.

5.4. Tutor*innenfragebogen

Mit 48 (verwertbaren) Fragebögen ist der Datensatz zu klein für eine Faktorenanalyse. Jedoch wurde, wie oben erläutert, die 2D Struktur der Lehr-Lernüberzeugungen in verschiedenen Kontexten empirisch bestätigt. Daher konnte auf eine Faktorenanalyse verzichtet werden. Die Auswahl geeigneter Items erfolgte innerhalb der beiden Dimensionen mittels der beiden folgenden Kriterien:

Die Itemschwierigkeit ist ein Maß dafür, wie viele Personen beim entsprechenden Item eine hoch kodierte Antwort gegeben haben. Wobei hoch kodierte Antworten in diesem Fall einer Zustimmung zum Item entsprechen. Bei einer zu hohen oder zu niedrigen Itemschwierigkeit kann nicht mehr zwischen Personen mit hoher und niedriger Merkmalsausprägung unterschieden werden. Folglich werden Items mit Itemschwierigkeit im mittleren Bereich bevorzugt, als Cut-offs wurden 0,2 und 0,8 gesetzt (Mummendey & Grau, 2008).

Als weiteres Kriterium wurde die Trennschärfe herangezogen. Sie ist ein Maß dafür, wie sehr ein Item mit den übrigen Items der Skala korreliert, sie sollte also nicht zu gering sein. Der Cut-off wurde mit 0,3 eher niedrig gewählt (Mummendey & Grau, 2008), da es sich bei den lerntheoretischen Überzeugungen um verhältnismäßig heterogene Konstrukte handelt.

Für die Dimension der konstruktivistischen Überzeugungen ergab sich hieraus eine Skala mit acht Items, davon sieben aus dem Bereich der Lehr-Lernüberzeugungen und eines zu epistemologischen Überzeugungen. Mit $\alpha = 0,79$ ist die Reliabilität ausreichend (Streiner, 2003).

Bei der Dimension der transmissiven Überzeugungen ergab sich aus den beiden statistischen Kriterien eine Skala mit 19 Items. Aus testökonomischen Gründen wurden hieraus Items ausgewählt, sodass alle inhaltlichen Aspekte abgebildet bleiben. Hierdurch entsteht eine Skala mit acht Items, sechs davon zu Lehr-Lern- und zwei zu epistemologischen Überzeugungen und einer ausreichenden Reliabilität von $\alpha = 0,76$.

Somit konnten aus dem ursprünglichen Itempool von 50 Items 16 geeignete Items in zwei Dimensionen ausgewählt werden. Alle verbleibenden Items basieren auf Items der COACTIV-Studie.

5.5. Teilnehmendenfragebogen

Beim Teilnehmendenfragebogen gab es sehr hohe Itemschwierigkeiten bei den Items zum Prinzip der minimalen Hilfe, genauer gesagt den beiden Items von Glathe (2017) und den drei selbst erstellten Items. Da das Prinzip der minimalen Hilfe jedoch als wichtiger Aspekt der Lernunterstützung gilt (Trebing, 2015, 2016), wurden die Items nicht entfernt, sondern angepasst. Da sie ohne zusätzliche Pilotierung in die Haupterhebung eingehen sollten, wurde darauf geachtet, sie möglichst wenig zu ändern. Insbesondere die Satzstruktur blieb unverändert. Dieses Vorgehen wird an folgendem Beispiel verdeutlicht, wobei fett gedruckter Text für hinzugefügten Text steht: „Unser*e Tutor*in gibt statt konkreter Lösungshilfen zunächst **nur Hinweise und Lösungshilfen**.“

Bei vielen aus COACTIV stammenden Items zu allgemein-pädagogischen Aspekten waren die Itemschwierigkeiten zu hoch oder zu niedrig, weshalb sie aussortiert werden mussten. Besonders betroffen war die Skala der Gruppenführung (fünf von sechs Items). Bei der Skala der konstruktiven Unterstützung entfallen 11 von 16 Items, es verblieb hauptsächlich die Subskala zur adaptiven Erleichterung. Diese ist am stärksten fachdidaktisch ausgerichtet, während die anderen Subskalen primär emotionale und motivationale Aspekte der Unterstützung abdecken.

Mögliche Gründe für den Wegfall der allgemein pädagogischen Items können die teilweise sehr kleinen Gruppen sein, welche oft nur eine einstellige Anzahl an Teilnehmenden haben, sodass Maßnahmen der Gruppenführung kaum notwendig scheinen. Eine weitere mögliche Ursache sind die, im Vergleich zum schulischen Kontext, flacheren Hierarchien, da die Tutor*innen selbst noch Studierende und den Teilnehmenden der Übung zum Teil nur wenige Semester voraus sind.

Da dem Fragebogen eine Reihe von Items zum Prinzip der minimalen Hilfe hinzugefügt und viele Items angepasst wurden, war für den Teilnehmendenfragebogen mit 183 (verwertbaren) Datensätzen eine explorative Faktorenanalyse angebracht.

6. Durchführung der Faktorenanalyse

Zunächst wurde das Kaiser-Meyer-Olkin-Kriterium bzw. die Measure of sampling adequacy überprüft: Hierbei zeigte ein einzelnes Item eine MSA $< 0,5$ und musste daher entfernt werden. Die übrigen Items haben mit $> 0,6$ eine ausreichende MSA. Der Gesamtdatensatz hat eine MSA = 0,86 und ist somit gut geeignet (Kaiser & Rice, 1974).

Im nächsten Schritt ging es darum, die Anzahl an benötigten Faktoren zu bestimmen. Hierfür gibt es verschiedene Methoden und es ist auch ratsam mehrere zu verwenden (Watkins, 2018). Unter Verwendung der Verfahren der Parallelanalyse, Velicer's Minimum Average Partial (MAP) Test und der Hull-Methode wurden die folgenden möglichen Faktorenzahlen berechnet: 1,3,4,5 und 6. Die einfaktorielle Lösung wurde ausgeschlossen, da ein gemeinsamer Faktor für die Items bezüglich des Lehrhandelns und der Aufgabenstellungen nicht sinnvoll ist. Die übrigen möglichen Faktorenzahlen wurden jeweils betrachtet.

Anschließend wurden die Ladungen mittels Hauptachsenanalyse berechnet. Da zu erwarten war, dass die verschiedenen Faktoren bezüglich des Lehrhandelns untereinander korrelieren, wurde eine Oblique Rotation gewählt (Oblimin). Items wurden aus den verschiedenen Lösungen jeweils nach der 0,4; 0,3; 0,2-Regel (Howard, 2016) entfernt. Diese Regel ist eine Kombination mehrerer Faustregeln und besagt, dass Items mindestens eine Ladung von 0,4 auf ihren Faktor haben sollten, die Nebenladungen 0,3 nicht überschreiten dürfen und der Abstand von Neben- und Hauptladung mindestens 0,2 sein muss.

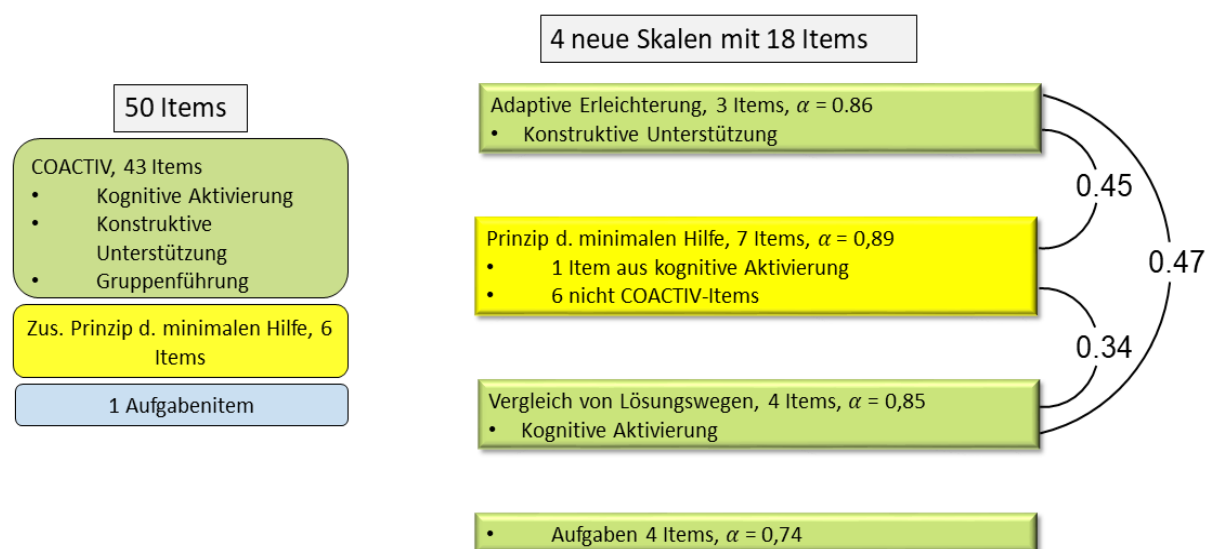


Abb.1: Vergleich des ursprünglichen Itempools (links) mit den vier neu entstandenen Skalen (rechts).

Bei den sechs- und fünf-faktoriellen Lösungen war jeweils mindestens ein Faktor nicht stabil, beispielsweise weil er nur aus zwei Items bestand oder eine zu niedrige Reliabilität. Die vier- und drei-faktoriellen Lösungen sind beide stabil und haben inhaltlich konsistente Faktoren. Folglich wird die vier-faktorielle Lösung gewählt, weil ansonsten ein Faktor grundlos entfernt werden würde.

7. Ergebnisse der Faktorenanalyse

Von den vier neuen Skalen bilden drei Skalen Aspekte des Lehrhandelns der Tutor*innen ab, während die vierte Skala die in den Übungen verwendeten Aufgabenstellungen behandelt. Mit insgesamt 18 Items hat sich die Anzahl der Items, verglichen mit dem ursprünglichen Itempool, deutlich reduziert. Die Reliabilitäten der Skalen befinden sich in einem ausreichenden bis guten Bereich, siehe Abbildung 1.

Die Skala der adaptiven Erleichterung besteht aus drei Items aus der gleichnamigen COACTIV-Subskala, welche Teil der konstruktiven Unterstützung ist. Bei der adaptiven Erleichterung geht es um ausreichende fachliche Unterstützungen und Erklärungen an kritischen Stellen durch die Tutor*innen, wie das Beispielitem „Unser*e Tutor*in erklärt besonders an schwierigen Stellen ganz langsam und sorgfältig.“ verdeutlicht. Die Skala Vergleich von Lösungswegen besteht aus vier Items aus der COACTIV-Subskala zur diskursiven Behandlung unterschiedlicher Schülerlösungen, welche Teil der kognitiven Aktivierung ist. Ein beispielhaftes Item für diese Skala ist: „In der Physikübung diskutieren wir häufiger über die verschiedenen Lösungswege, die wir gefunden haben.“ Somit sind von den drei ursprünglichen COACTIV-Skalen die konstruktive Unterstützung und kognitive Aktivierung in den neuen Skalen (teilweise) abgebildet. Wie sich zuvor bereits abgezeichnet hatte, ist der Aspekt der Gruppenführung in den neuen Skalen nicht mehr enthalten. Hier scheinen die Items aus dem schulischen Kontext auch mit Anpassungen nicht auf den der tutoriellen Lehre übertragbar.

Die dritte neue Skala bzgl. des Lehrhandelns ist das Prinzip der minimalen Hilfe mit sieben Items. Hierbei stammt ein Item aus der COACTIV-Skala zur kognitiven Aktivierung und drei Items stammen aus Glathe (2017) und Trebing (2016), siehe das Beispiel aus Abschnitt 5.5. Außerdem sind die drei selbsterstellten Items, beispielsweise „Unser*e Tutor*in gibt auch Hinweise zum richtigen Vorgehen bei Aufgaben.“, enthalten. Die Aufgabenskala besteht aus vier COACTIV-Items, beispielsweise „Die Aufgaben variieren so, dass man sieht, was man verstanden hat.“

Wie zu erwarten, korreliert die Aufgabenskala mit vier Items nicht relevant mit den Skalen zum Lehrhandeln der Tutor*innen, während die anderen drei Skalen untereinander mäßig stark korrelieren.

8. Ausblick

Nach Abschluss der im Artikel beschriebenen Skalenbildung begann im Wintersemester 22/23 die Haupterhebung, hierbei konnten bereits Datensätze von 420 Teilnehmenden und 52 Tutor*innen gesammelt werden. Im Sommersemester 2023 finden weitere Erhebungen statt.

Aus den bisher erhobenen Daten wurde bereits erkenntlich, dass bei den Items zum Prinzip der minimalen Hilfe keine zu hohen Itemschwierigkeiten mehr auftraten. Die nach der Pilotierung vorgenommenen Änderungen haben ihren Zweck somit erfüllt.

Die so erhobenen Daten werden anschließend genutzt, um den Zusammenhang zwischen den Lehr-Lernüberzeugungen der Tutor*innen, der wahrgenommenen Lehrqualität und dem Erfolg in der Lehrveranstaltung zu untersuchen und so das anfangs eingeführt Mediationsmodell zu überprüfen.

Falls Sie Interesse an der Verwendung der hier vorgestellten Fragebögen haben, wenden Sie sich gerne an robin.dexheimer-reuter@physik.tu-darmstadt.de.

9. Literaturverzeichnis

- Aebli, H. (2006). *Zwölf Grundformen des Lehrens: Eine allgemeine Didaktik auf psychologischer Grundlage* (13. Aufl.). Klett Cotta.
- Danielsiek, H., Hubwieser, P., Krugel, J., Magenheimer, J., Ohrndorf, L., Ossenschmidt, D., Schaper, N. & Vahrenhold, J. (2017). Kompetenzbasierte Gestaltungsempfehlungen für Informatik-Tutorenschulungen. In M. Eibl & M. Gaedke (Vorsitz), *INFORMATIK 2017*. Symposium im Rahmen der Tagung von Gesellschaft für Informatik, Bonn.
- Deneke, M., Heger, M. & Liese, R. (1988). Fachtutorien und Fachtutorenausbildung in Mathematik: Bericht über ein Tutorenseminar im Fachbereich Mathematik der Technischen Hochschule Darmstadt. *Zeitschrift für Hochschuldidaktik*, 12(1-2), 106–123.
- Dexheimer-Reuter, R., Spatz, V. & Trebing, T. (2022). Auswirkungen der Lehr-Lernüberzeugungen studentischer Tutor*innen. In H. Grötzebauch & S. Heinicke (Hrsg.), *PhyDid B, Didaktik der Physik: Beiträge zur virtuellen DPG-Frühjahrstagung* (S. 53–56).
- Glathe, A. (2017). *Effekte von Tutorentraining und die Kompetenzentwicklung von MINT-Fachtutor*innen in Lernunterstützungsfunktion* [Dissertation]. TU Darmstadt, Darmstadt.
- Haenze, M., Fischer, E., Schreiber, S., Biehler, R. & Hochmuth, R. (2013). Innovationen in der Hochschullehre: empirische Überprüfung eines Studienprogramms zur Verbesserung von vorlesungsbegleitenden Übungsgruppen in der Mathematik. *Zeitschrift für Hochschulentwicklung*, 8(4), Artikel 9, 89–103. <https://doi.org/10.3217/zfhe-8-04/09>

- Howard, M. C. (2016). A Review of Exploratory Factor Analysis Decisions and Overview of Current Practices: What We Are Doing and How Can We Improve? *International Journal of Human-Computer Interaction*, 32(1), 51–62.
<https://doi.org/10.1080/10447318.2015.1087664>
- Johannes, C., Fendler, J., Hoppert, A. & Seidel, T. (2011). *Projekt LehreLernen (2008-2010): Dokumentation Erhebungsinstrumente*. Verlagshaus Monsenstein und Vannerdat.
- Kaiser, H. & Rice, J. (1974). Little Jiffy, Mark Iv. *Educational and psychological measurement*, 111–117.
- Korneck, F., Kohlenberger, M., Oettinghaus, L., Kunter, M. & Lamprecht, J. (2013). Lehrerüberzeugungen und Unterrichtshandeln im Fach Physik. *PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung, Jena*.
- Kröpke, H. (2015). *Tutoren erfolgreich im Einsatz: Ein praxisorientierter Leitfaden für Tutoren und Tutorentrainer*. Verlag Barbara Budrich.
- Krüger, M., Szogs, M. & Korneck, F. (2017). Welche Kompetenz beeinflusst welche Aspekte der Unterrichtsqualität? 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. 376–379).
- Kunter, M., Baumert, J., Blum, W., Klusmann, U., Krauss, S. & Neubrand, M. (Hrsg.). (2011). *Professionelle Kompetenz von Lehrkräften: Ergebnisse des Forschungsprogramms COACTIV*. Waxmann.
- Mummendey, H. D. & Grau, I. (2008). *Die Fragebogen-Methode* (5. Aufl.). Hogrefe.
- Rohde, J. A. & Stahlberg, N. (2019). Welches Lehrverhalten zeigen geschulte Tutor/innen? Eine explorative Analyse selbst- und fremdwahrnehmungsbasierter Reflexionsberichte. *die hochschullehre*, 5, 1–28.
- Seidel, T., Prenzel, M., Rimmele, R., Dalehefte, I. M., Herweg, C., Kobarg, M. & Schwindt, K. (2006). Blicke auf den Physikunterricht. Ergebnisse der IPN Videostudie. *Zeitschrift für Pädagogik*, 52(6), 799–821.
- 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
- Trebing, T. (2015). Tutorien: Das Prinzip der minimalen Hilfe in der universitären Rechenübung. In O. Zitzelsberger, B. Kühner-Stier, J. Meuer, G. Rößling & T. Trebing (Hrsg.), *Schriften zur allgemeinen Hochschuldidaktik: Bd. 1. Neue Wege in der tutoriellen Lehre in der Studieneingangsphase: Dokumentation der gleichnamigen Tagung im März 2014 an der TU Darmstadt* (S. 101–113). WTM Verlag für wissenschaftliche Texte und Medien.
- Trebing, T. (2016). Prinzip der minimalen Hilfe im Tutor/innen-Lehrfilm: Schulungseinsatz und erste Ergebnisse. In A. Esser, H. Kröpke & H. Wittau (Hrsg.), *Tutorienarbeit im Diskurs III: Qualifizierung für die Zukunft* (S. 73–84). WTM-Verlag für wissenschaftliche Texte und Medien.
- Watkins, M. W. (2018). Exploratory Factor Analysis: A Guide to Best Practice. *Journal of Black Psychology*, 44(3), 219–246.
<https://doi.org/10.1177/0095798418771807>
- Zech, F. (1996). *Grundlagen Mathematikdidaktik: Theoretische und praktische Anleitungen für das Lehren von Mathematik* (8. Aufl.). Beltz.
- Zitzelsberger, O., Trebing, T., Rößling, G., General, S., Glathe, A., Gölz, J., Heil, H., Rudolph, T., Stefanovska, B. & Sürder, M. (Hrsg.). (2019). *Blickpunkt Hochschuldidaktik: Bd. 135. Qualifizierung von Fachtutor*innen in interdisziplinärer Perspektive*. wbv.

Lernmaterialien für die Studieneingangsphase Physik

Kai Cardinal*, **Julia-Marie Franken****, **Andreas Borowski*****, **Philipp Schmiemann****, **Heike Theyßen***

*Universität Duisburg-Essen, Didaktik der Physik, ** Universität Duisburg-Essen, Biology Education Research and Learning Lab, ***Universität Potsdam, Didaktik der Physik
kai.cardinal@uni-due.de

Kurzfassung

In der Studieneingangsphase Biologie und Physik spielt das fachspezifische Wissen zu Studienbeginn eine zentrale Rolle für den Studienerfolg. Dabei werden in Biologie und Physik durch das Konzeptverständnis und in Physik zusätzlich durch die Fähigkeit zur Wissensanwendung, d. h. zur erfolgreichen Bearbeitung fachspezifischer Problemlöseaufgaben, der Studienerfolg vorhergesagt. Im Verbundprojekt EASTER (Einfluss der Förderung spezifischer Wissensarten auf den Studienerfolg in Biologie und Physik) sollen diese Fähigkeiten gezielt durch fachspezifische Lernmaterialien gefördert werden. Zur Förderung von Wissensanwendung werden daher Lösungsbeispiele eingesetzt. Im Beitrag wird die Konzeption dieser „EASTER-Lösungsbeispiele“ vorgestellt. Sie orientieren sich strukturell an dem Modell des wissenszentrierten Problemlösens, setzen empirische Erkenntnisse zur wirksamen Gestaltung von Lösungsbeispielen um und beziehen sich inhaltlich auf Themen des ersten Fachsemesters, insbesondere die Newton'sche Mechanik.

1. Hintergrund

1.1. Studienerfolg und Vorwissen

In der Fächergruppe Naturwissenschaften und Mathematik ist eine überdurchschnittlich hohe Studienabbruchquote von ca. 50 % zu verzeichnen (Heublein et al., 2022). Hier sticht die Physik mit einer Abbruchquote von ca. 60 % negativ heraus (Heublein et al., 2022). Gleichzeitig besteht ein hoher Bedarf an Fachkräften aus dem MINT-Bereich (Vollmer, 2015). Es erscheint ratsam, Maßnahmen zur Minderung von Studienabbruch bzw. Förderung von Studienerfolg zu entwickeln. Als ein wichtiger Prädiktor für Studienerfolg hat sich in mehreren Studien das fachspezifische Vorwissen erwiesen (Binder et al., 2019; Buschhüter et al., 2017; Hell, et al., 2007; Sorge et al., 2016; Woitkowski, 2019). Zur differenzierten Betrachtung des fachspezifischen (Vor-)Wissens unterscheiden Hailikari, Nevgi und Lindblom-Ylänne (2007) vier Wissensarten:

- Faktenwissen (knowledge of facts)
- Konzeptverständnis (knowledge of meaning)
- Wissensvernetzung (integration of knowledge)
- Wissensanwendung (application of knowledge).

Dabei kann Wissensanwendung näher durch die Fähigkeit zur erfolgreichen Bearbeitung fachlicher Problemlöseaufgaben charakterisiert werden. Dies entspricht im Wesentlichen dem wissenszentrierten fachbezogenen Problemlösen (Friege, 2001). Die von Friege beschriebenen Schritte des Problemlöseprozesses umfassen nach der Problemrepräsentation die Auswahl oder Erarbeitung eines Problemschemas sowie die

Ausarbeitung und Evaluation der Lösung (Friege, 2001).

Es konnte gezeigt werden, dass mit dem Studienerfolg im ersten Fachsemester in Biologie insbesondere das Konzeptverständnis zu Studienbeginn korreliert (Binder et al., 2019). In Physik kommt zu dem Konzeptverständnis die zu Studienbeginn verfügbare Wissensanwendung als signifikanter Prädiktor hinzu (Binder et al., 2019). Dabei wurde in der Studie von Binder et al. (2019) das Anwendungswissen über die Fähigkeit erhoben, zu gegebenen fachspezifischen Problemlöseaufgaben einen geeigneten Lösungsansatz zu benennen. Dies entspricht im Modell von Friege der Auswahl eines Problemschemas. Darüber hinaus konnte gezeigt werden, dass die mathematischen Fähigkeiten und Fertigkeiten, die im Problemlöseprozess der Ausarbeitung der Lösung (Friege, 2001) und somit ebenfalls der Wissensanwendung zuzuordnen sind, in einem starken Zusammenhang mit dem Studienerfolg im ersten Fachsemester Physik stehen (Buschhüter et al., 2017).

1.2. Projekt EASTER: Ziele & Forschungsfragen

Das Forschungsprojekt EASTER (Einfluss der Förderung spezifischer Wissensarten auf den Studienerfolg in Biologie und Physik) baut auf den vorliegenden Ergebnissen zu fachspezifisch prädiktiven Wissensarten für Studienerfolg in der Studieneingangsphase auf. Das übergeordnete Ziel besteht darin, die oben genannten bisher rein korrelativ nachgewiesenen Zusammenhänge im Rahmen einer Interventionsstudie auf Kausalität zu prüfen. Dazu werden zunächst Lernmaterialien zur

fachspezifischen Förderung der Wissensarten Konzeptverständnis bzw. Wissensanwendung für das erste Fachsemester sowohl in Biologie als auch in Physik entwickelt.

Diese sollen im Rahmen einer Interventionsstudie im Wintersemester 2023/24 im Hinblick auf ihre Lernwirksamkeit sowohl hinsichtlich der adressierten Wissensart als auch in Bezug auf den Studienerfolg am Ende des ersten Fachsemesters untersucht werden (Theyßen et al., in Druck). Neben einem Erkenntnisgewinn bezüglich fachspezifischer Ursachen von Studienerfolg wird damit auch ein praktischer Ertrag in Form theoriebasiert entwickelter und empirisch überprüfter Lernmaterialien für den Einsatz in der Studieneingangsphase angestrebt.

Zur Förderung der Wissensart Konzeptverständnis werden Lernmaterialien entwickelt, die auf Begriffsnetzen (concept maps) basieren („EASTER-Begriffsnetze“). Begriffsnetze allgemein sind strukturelle Repräsentationen von deklarativem Wissen (Ruiz-Primo & Shavelson, 1996). Sie visualisieren, wie Konzepte Inhalte organisieren (Mandl & Fischer, 2000) und repräsentieren konzeptuelles Wissen in präziser Form (Martinez et al., 2013). Sie bieten sich somit an, um Lernende beim Wissenserwerb und beim Aufbau von Konzepten zu unterstützen (Novak, 1990; Novak, 2010). Der vorliegende Beitrag geht nicht näher auf die Konzeption der EASTER-Begriffsnetze ein, sondern legt den Fokus auf die Lernmaterialien zur Förderung der Wissensart Wissensanwendung. Hierfür wird die Methode des Lernens aus Lösungsbeispielen (worked examples) eingesetzt. Die Konzeption der „EASTER-Lösungsbeispiele“ wird im Folgenden am Beispiel der Physik genauer vorgestellt und begründet. Die Umsetzung in der Biologie ist soweit möglich analog, wobei hier das mathematische Arbeiten aus curricularen Gründen praktisch keine Rolle spielt.

2. Lösungsbeispiele zur Förderung von Wissensanwendung

2.1. Grundlagen

Bei Lösungsbeispielen handelt es sich um (Problemlöse-)Aufgaben mit ausgearbeitetem und kommentiertem Lösungsweg (z.B. Koenen et al., 2016; Renkl & Schworm, 2002). Ihr Einsatz wird insbesondere für stark strukturierte Domänen wie Mathematik oder Naturwissenschaften empfohlen (z. B. Atkinson et al, 2000; Renkl & Atkinson, 2003). Da sie sowohl die Auswahl eines Lösungsansatzes, als auch die Ausarbeitung der Lösung (inkl. Rechenfähigkeiten) fördern (Atkinson et al., 2000; Paas & van Merriënboer, 1994; Renkl & Atkinson, 2003), sind sie daher zur Förderung von Wissensanwendung besonders gut geeignet.

In zahlreichen Studien zum Erwerb von Problemlösefähigkeit wurde die Wirksamkeit der Bearbeitung von Lösungsbeispielen zu

Problemlöseaufgaben gezeigt (z. B. Kalyuga, et al., 2001; Paas & van Merriënboer, 1994; Sweller & Cooper, 1985). Auch für die Studieneingangsphase konnte z. B. Kujath (2016) in der Informatik die Wirksamkeit einer Förderung fachspezifischer Problemlösefähigkeit durch ein videogestütztes Lösungsbeispiel zeigen. Vom Lernen mit Lösungsbeispielen können insbesondere Novizen:innen profitieren, da der Lösungsweg bereits ausgearbeitet präsentiert wird (z. B. Kalyuga et al., 2001; Kalyuga et al., 2003).

Zur Konstruktion von lernwirksamen Lösungsbeispielen liegen zahlreiche, empirisch fundierte Empfehlungen vor (z. B. Atkinson et al., 2000; Renkl & Schworm, 2002 und Renkl, 2014):

Innerhalb eines Lösungsbeispiels (intra-example features) ist es (lern)förderlich, wenn...

- a) ... Text- und Bildelemente sinnvoll miteinander verknüpft sind (Text-Bild Integration),
- b) ... Sinnabschnitte und Teilziele markiert werden,
- c) ... einzelne Handlungsschritte zusammengefasst werden,
- d) ... zentrale Begriffe (farblich) hervorgehoben werden,
- e) ... Selbsterklärungen durch Prompts eingefordert werden.

Über die Lösungsbeispiele hinweg (inter-example features) sollten zu einem Problemtyp mehrere Lösungsbeispiele mit unterschiedlichen Oberflächenmerkmalen präsentiert werden. Umgekehrt sollten Lösungsbeispiele mit gleichen Oberflächenmerkmalen zu unterschiedlichen Problemtypen konstruiert werden, um die Abstraktion des Lösungsansatzes von den Oberflächenmerkmalen zu fördern. Um das eigenständige Problemlösen zu fördern, ist es zudem empfehlenswert, die Unterstützung innerhalb der Lösungsbeispiele im zeitlichen Verlauf schrittweise zu reduzieren (fading; vgl. Lindet al., 2004; Renkl & Atkinson, 2003; Renkl et al., 2000; Salden et al., 2009).

2.2. Konzeption

Die im Projekt entwickelten EASTER-Lösungsbeispiele wurden auf Basis der oben skizzierten theoretischen und empirischen Grundlagen konzipiert. Im Folgenden werden zuerst die physikalischen Inhalte der EASTER-Lösungsbeispiele vorgestellt. Aufbauend darauf werden Aspekte der intra-example features zur Struktur, Gestaltung und dem Einsatz von Prompts sowie die Abfolge der einzelnen EASTER-Lösungsbeispiele (inter-example features) näher erläutert.

2.2.1. Physikalische Inhalte

Die EASTER-Lösungsbeispiele wurden für die Studieneingangsphase Physik entwickelt (vgl. 1.2)

und beziehen sich daher primär auf Inhalte der Experimentalphysik im ersten Fachsemester (Konferenz der Fachbereiche Physik, 2005; Universität Duisburg-Essen, 2014). Sie behandeln physikalische Problemlöseaufgaben zur Newton'schen Mechanik, insb. zu den Inhalten Bewegung, Impuls, Kraft und Energie. Als Lösungsansätze für die Aufgaben, ergeben sich somit die Anwendung der allgemeinen Bewegungsgleichung, die Aufstellung eines Kraftansatzes oder die Nutzung von Energieerhaltung bzw. Impulserhaltung in einem physikalischen System, wobei auch mehrere Ansätze zur Lösung einer Aufgabe kombiniert werden können. Bei der Ausarbeitung liegt der Fokus auf einem von drei Basiskonzepten für den Physikunterricht der gymnasialen Oberstufe (KMK, 2020): Superposition und Komponenten, Erhaltung und Gleichgewicht, Mathematisieren und Vorhersagen. Das vierte Basiskonzept Zufall und Determiniertheit wird aufgrund geringer Passung zum Stoff des ersten Semesters nicht berücksichtigt.

Formal lassen sich dem Basiskonzept Superposition und Komponenten die Lösungsansätze zur allgemeinen Bewegungsgleichung und zum Kraftansatz zuordnen und dem Basiskonzept Erhaltung und Gleichgewicht die Lösungsansätze Energieerhaltung und Impulserhaltung (vgl. Abb. 1).

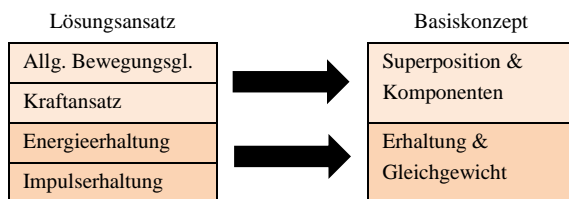


Abb.1: Zuordnung der Lösungsansätze zu den Basiskonzepten

Das dritte Basiskonzept Mathematisieren und Vorhersagen wird nicht durch einen Lösungsansatz gefördert, sondern durch den Einsatz mathematischer Operationen im späteren Verlauf der Bearbeitung der Aufgabe (vgl. Abb. 2).

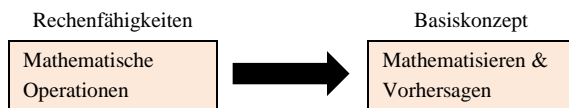


Abb.2: Förderung des dritten Basiskonzeptes durch Anwendung von mathematischen Operationen

2.2.2. Struktur der EASTER-Lösungsbeispiele

Die Umsetzung der gestalterischen Empfehlungen (vgl. 2.1) und der physikalischen Inhalte (vgl. 2.2.1) wird hier an einem EASTER-Lösungsbeispiel mit einer Aufgabe zur Newtonschen Mechanik veranschaulicht. Abbildung 3 zeigt ein Beispiel für einen Aufgabenstamm, auf das sich die folgenden illustrierenden Beispiele des EASTER-Lösungsbeispiels beziehen.

Aufgabe Basketball

Eine Basketballspielerin möchte einen Basketball von der Mitte eines Basketballfeldes in den 12,42 m entfernten Korb werfen. Der Korb hängt in einer Höhe von 3,05 m. Sie wirft den Ball aus einer Höhe von 1,82 m unter einem Winkel von 48° zum Boden. Berechnen Sie, mit welcher Geschwindigkeit die Spielerin den Ball abwerfen muss, damit dieser im Korb landet.

Abb. 3: Aufgabenstamm zum EASTER-Lösungsbeispiel „Basketball“

Das ausgearbeitete Lösungsbeispiel ist gemäß des Problemlöseprozesses nach Friege's Modell des wissenszentrierten Problemlösens (2001) strukturiert und enthält vier übergeordnete Problemlöseschritte (vgl. 1.2): (1) Problempräsentation, (2) Erarbeitung oder Auswahl eines Lösungsansatzes, (3) Ausarbeitung einer Lösung und (4) Evaluation der Lösung. Diese sind in den EASTER-Lösungsbeispielen in Teilschritte in Anlehnung an den physikalischen Modellierungskreislauf nach Trump (2015) unterteilt. Alle Problemlöseschritte und Teilschritte sind in den EASTER-Lösungsbeispielen durch Überschriften kenntlich gemacht.

Bei der Problempräsentation (1) wird die Aufgabenstellung paraphrasiert. Gegebenenfalls werden physikalische Vereinfachungen diskutiert zu denen die Aufgabe keine Informationen enthält, beispielweise die (Vernachlässigung der) Ausdehnung von Körpern oder die Vernachlässigung von Reibungskräften. Zudem wird eine Skizze zur Visualisierung der gegebenen Situation angefertigt. In den EASTER-Lösungsbeispielen wird dieser Problemlöseschritt mit der Überschrift Verstehen und Visualisieren bezeichnet und zerfällt in die Teilschritte Aufgabe wiedergeben und fokussieren sowie Skizze erstellen.

Die Erarbeitung bzw. Auswahl eines Problemschemas (2) wird in den EASTER-Lösungsbeispielen als Lösungsansatz finden tituliert und gliedert sich in die Teilschritte Überlegungen zum Ansatz und Mathematisieren. Hier wird ein Lösungsansatz begründet dargelegt. Je nach Aufgabe werden verschiedene Lösungsansätze diskutiert, bevor die Auswahl eines passenden Lösungsansatzes getroffen wird. Dieser wird zuerst in einer allgemeinen Form aufgestellt und dann für die Situation in der Aufgabe spezifiziert. Falls möglich, werden hierbei Strategien formuliert, die auf ähnliche Aufgaben übertragen werden können. So ist z. B. bei den Aufgaben zur allgemeinen Bewegungsgleichung (vgl. Abb. 3) die Wahl eines Koordinatensystems für den Aufwand bei der weiteren Bearbeitung ausschlaggebend, aber nicht für das Ergebnis. Dies wird im EASTER-Lösungsbeispiel „Basketball“ thematisiert und den Studierenden wird eine mögliche Vorgehensweise

für die Wahl eines geeigneten Koordinatensystems in drei Schritten vorgeschlagen (siehe Anhang A): (a) Die Achsen des Koordinatensystems sollen in der Ebene der Bewegung liegen, (b) eine Achse möglichst parallel zu einer ggf. wirkenden Kraft und (c) der Koordinatenursprung in einen in der Aufgabenstellung gegebenen Punkt, z. B. den Start- oder Endpunkt einer Bewegung. Das Ergebnis dieses Schrittes ist ein auf die Aufgabenstellung und das gewählte Koordinatensystem angepasster Lösungsansatz. Im EASTER-Lösungsbeispiel „Basketball“ sind dies z. B. zwei Gleichungen für die Bewegung in Richtung der gewählten x- und y-Achse, in denen die in der Aufgabe angegebenen Randbedingungen berücksichtigt sind.

Die Ausarbeitung der Lösung (3) wird in den EASTER-Lösungsbeispielen genauso bezeichnet, wie im Modell von Friege (2001) und besteht aus den Teilschritten Mathematisch arbeiten, Werte einsetzen, und das Ergebnis physikalisch interpretieren. Im ersten Teilschritt werden unter anderem Formeln/Gleichungen mithilfe mathematischer Operationen umgestellt oder ineinander eingesetzt, um schließlich nach der gesuchten physikalischen Größe aufzulösen. Im nächsten Teilschritt werden die gegebenen Werte eingesetzt und das Ergebnis ausgerechnet. Das Ergebnis wird im dritten Teilschritt schließlich wieder in den Kontext der Aufgabensituation gesetzt, indem ein Antwortsatz formuliert wird. Falls die mathematische Lösung mehrere Ergebnisse liefert, wird in diesem Teilschritt auch überprüft, inwiefern diese im Kontext der Aufgabe physikalisch sinnvoll sind.

Der letzte Problemlöseschritt (4) wird wie im Modell von Friege (2001) als Evaluation der Lösung bezeichnet und zerfällt nicht in Teilschritte. Hier werden abhängig von der konkreten Aufgabe unterschiedliche Möglichkeiten thematisiert, die Richtigkeit der Lösung zu überprüfen. Hierzu zählen eine Überprüfung der Einheiten oder eine Abschätzung der Plausibilität der als Ergebnis erhaltenen Größenordnung. Auch werden Überlegungen angestellt oder verlangt (vgl. 2.2.4), ob sich eine Variation der erhaltenen Größen in der erwarteten Weise im Ergebnis niederschlägt, z. B., dass eine geringere Beschleunigung zu einer geringeren Geschwindigkeit führt.

2.2.3. Umsetzung der Gestaltungsempfehlungen (intra-example features)

Bei der Gestaltung der EASTER-Lösungsbeispiele wurden die in 2.1. vorgestellten intra-example features berücksichtigt. Die Text-Bild Integration (Punkt a, vgl. 2.1) wird dadurch erreicht, dass Abbildungen nummeriert und beschriftet sind und im Text in räumlicher Nähe explizit adressiert werden. Dabei unterstützen die Abbildungen gezielt die Aussagen im Text, indem z. B. im EASTER-Lösungsbeispiel „Basketball“ die drei Schritte zur

Wahl des Koordinatensystems mit drei entsprechenden Abbildungen illustriert werden, sodass erst die letzte Abbildung das finale Koordinatensystem zeigt (siehe Anhang A).

Die Einteilung in Sinnabschnitte (Punkt b, vgl. 2.1) wird durch die in 2.2.2. beschriebene Strukturierung entlang der Schritte des Problemlöseprozesses realisiert. Zudem werden einzelne Handlungsabschnitte erklärend zusammengefasst (Punkt c, vgl. 2.1) (Abb. 4).

Nach der Wahl der allgemeinen Bewegungsgleichung als Lösungsansatz, konnte diese mithilfe der Festlegung des Koordinatensystems und den Werten aus dem Aufgabenstamm auf die gegebene Situation angepasst werden. Die Gleichung kann nun nach der gesuchten Größe aufgelöst werden.

Abb.4: EASTER-Lösungsbeispiel „Basketball“: Zusammenfassung von Handlungsschritten

Das Nachvollziehen der Rechnungen wird, wie in Abbildung 5 dargestellt, dadurch entlastet, dass gegebene und nicht gegebene Variablen in unterschiedlichen Farben dargestellt sind (Punkt d, vgl. 2.1).

$$\begin{aligned} \text{(I)} \quad & x_B = v_0 \cdot \cos \alpha \cdot t_W + x_A \quad | - x_A \\ \Leftrightarrow & x_B - x_A = v_0 \cdot \cos \alpha \cdot t_W \quad | \div (v_0 \cdot \cos \alpha) \\ \Leftrightarrow & \frac{x_B - x_A}{v_0 \cdot \cos \alpha} = t_W \end{aligned}$$

Abb.5: Farbkodierung bei den Rechnungen

Die Einforderung von Selbsterklärungen wird im Zusammenhang mit dem Einsatz von Prompts (Punkt e, vgl. 2.1) im nächsten Abschnitt genauer erläutert.

2.2.4. Einsatz von Prompts

Um die eigenständige Problemlösefähigkeit der Studierenden zu fördern, sollen die Studierenden während der Auseinandersetzung mit den EASTER-Lösungsbeispielen Prompts bearbeiten. Hierbei handelt es sich um operationalisierte Aufgabenstellungen, bei denen die Studierenden eine Erklärung schreiben, eine Skizze zeichnen oder vollenden oder ein oder mehrere Rechenschritte ausführen müssen. In den EASTER-Lösungsbeispielen werden verschiedene Arten von Prompts eingesetzt. Diese sind in einem EASTER-Lösungsbeispiel durchnummeriert. Vertiefende Prompts dienen der eigenständigen Vertiefung eines (Teil-) Bearbeitungsschrittes, fortführende Prompts arbeiten auf den folgenden (Teil-) Bearbeitungsschritt hin. Fortführende Prompts fordern z. B. zur Erstellung bzw. Ergänzung einer Skizze oder zur Ausführung von Rechenoperationen auf (vgl. Abb. 6).

Vertiefende Prompts können noch in erklärende Prompts und variierende Prompts unterteilt werden. Die erklärenden Prompts fordern die Studierenden

auf, einen im EASTER-Lösungsbeispiel nicht explizit erläuterten (Teil-) Bearbeitungsschritt selbst zu begründen. Variierende Prompts fordern in der Regel zur Variation eines Arbeitsschritts innerhalb einer Aufgabe auf (vgl. Abb. 7).

3 Setzen Sie alle gegebenen Werte (mit Einheiten!) in die Gleichung ein. Nutzen Sie dabei die oben angegebenen Werte für das in Abbildung 4 gewählte Koordinatensystem (mit Punkt A im Ursprung).

Abb.6: EASTER-Lösungsbeispiel „Basketball“: fortführender Prompt

4 Setzen Sie nun für das andere Koordinatensystem (Ursprung senkrecht unterhalb von A auf dem Boden; vgl. S. 3) die Werte ein. Markieren Sie die Änderungen gegenüber der ersten Variante.

Abb.7: EASTER-Lösungsbeispiel „Basketball“: variierender Prompt

Gegen Ende eines Lösungsbeispiels werden auch Variationen verlangt, die eine Reflexion des gesamten Lösungsprozesses verlangen, z. B. durch die Variation von Randbedingungen oder Umsetzung eines alternativen (bereits behandelten) Lösungsansatzes.

2.2.5. Systematik und Fading in der Abfolge der EASTER-Lösungsbeispiele (inter-example features)

Es wurden insgesamt 15 EASTER-Lösungsbeispiele mit den in 2.2.1. bis 2.2.4. beschriebenen Merkmalen entwickelt.

In jedem EASTER-Lösungsbeispiel liegt der Fokus auf einem (maximal auf zwei) von vier Lösungsansätzen und einem oder mehreren Schritten des Problemlöseprozesses. Abbildung 8 zeigt die Abdeckung der Lösungsansätze und Problemlöseschritte durch die EASTER-Lösungsbeispiele. Das Beispiel „Basketball“ (vgl. Abb. 2, in der Tabelle Nr. 2) befasst sich mit dem Lösungsansatz allgemeine Bewegungsgleichung und setzt Schwerpunkte im zweiten Problemlöseschritt.

Lösungsansatz	Problemlöse-schritt	Problem-repräsentation	Erarbeitung und Auswahl eines Lösungsansatzes	Ausarbeitung der Lösung	Evaluation der Lösung
Allgemeine Bewegungsgleichung		1, 4	2	3, 4	3, 4
Impulserhaltung		5, 6, 7	5, 6	14	
Kraftansatz		9	8, 10, 15	8, 9	8, 9
Energieerhaltung			11, 12, 13, 15		12, 13

Abb. 8: Schwerpunktsetzung bei einzelnen EASTER-Lösungsbeispielen (Stand Wintersemester 2022/23)

Um die Verallgemeinerung des Lösungsansatzes über Oberflächenmerkmale hinweg zu fördern, variieren die EASTER-Lösungsbeispiele zu einem

Lösungsansatz in den Kontexten, (vgl. 2.1). Sie werden in der Regel nacheinander behandelt. Dabei nehmen innerhalb der Sequenz von EASTER-Lösungsbeispielen zu einem Lösungsansatz die Anforderungen an Selbsterklärungen zu. Dies wird sowohl über die Anzahl und Komplexität der Prompts als auch über die Komplexität der Aufgabenstellungen erreicht. Mit Beginn einer Sequenz zu einem weiteren Lösungsansatz sinkt die Komplexität der Aufgabenstellung, um den Lösungsansatz an einem eindeutigen Beispiel einzuführen, und nimmt im Verlauf der Sequenz erneut zu. Ähnliches gilt für die Anzahl und Komplexität der Prompts. Eine Ausnahme stellen hierbei die fortführenden Prompts (vgl. 2.2.4) zu mathematischen Operationen dar, deren Komplexität auch über die Sequenzen zu verschiedenen Lösungsansätzen hinweg ansteigt.

3. Ausblick

Im Wintersemester 2022/23 wurden die 15 EASTER-Lösungsbeispiele in einer Lerngruppe pilotiert. Hierbei bearbeiteten 7 bis 11 Studierende der Studieneingangsphase Physik der Universität Duisburg-Essen die EASTER-Lösungsbeispiele innerhalb von sechs Sitzungen á 90 Minuten. Erste Eindrücke aus der Pilotierung zeigen, dass der Großteil der Studierenden die EASTER-Lösungsbeispiele in der vorgegebenen Zeit bearbeiten konnte und der Cognitive Load (vgl. Sweller, 2010) der Studierenden bei der Bearbeitung der EASTER-Lösungsbeispiele in einem mittleren Bereich (einer siebenstufigen Skala) lag. Dies deutet weder auf eine Über- noch auf eine Unterforderung der Studierenden bei der Bearbeitung hin und spricht für die Praktikabilität der Lernmaterialien.

Für die Haupterhebung im Wintersemester 2023/24 werden die Daten der Pilotierung weiter ausgewertet und die EASTER-Lösungsbeispiele dementsprechend überarbeitet.

4. Literatur

Atkinson, R. K., Derry, S. J., Renkl, A. & Wortham, D. (2000). Learning from Examples: Instructional Principles from the Worked Examples Research. *Review of Educational Research, 70*(2), 181–214.

Binder, T., Sandmann, A., Sures, B., Friege, 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>

Buschhüter, D., Spoden, C. & Borowski, A. (2017). Studienerfolg im Physikstudium: Inkrementelle Validität physikalischen Fachwissens und physikalischer Kompetenz. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 23*(1), 127–

141. <https://doi.org/10.1007/s40573-017-0062-7>
- Friege, G. (2001). *Wissen und Problemlösen: eine empirische Untersuchung des wissenszentrierten Problemlösens im Gebiet der Elektrizitätslehre auf der Grundlage des Experten-Novizen-Vergleichs*. Logos-Verlag.
- 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.
- Hell, B., Trapmann, S. & Schuler, H. (2007). Eine Metaanalyse der Validität von fachspezifischen Studierfähigkeitstests im deutschsprachigen Raum. *Empirische Pädagogik*, 21(3), 251–270.
- Heublein, U., Hutzsch, C. & Schmelzer, R. (2022). *Die Entwicklung der Studienabbruchquoten an den deutschen Hochschulen*. Deutsches Zentrum für Hochschul- und Wissenschaftsforschung (DZHW).
- Kalyuga, S., Chandler, P., Tuovinen, J. & Sweller, J. (2001). When problem solving is superior to studying worked examples. *Journal of Educational Psychology*, 93(3), 579-588.
- Kalyuga, S., Ayres, P., Chandler, P. & Sweller, J. (2003). *The Expertise Reversal Effect*. *Educational Psychologist*, 38(1), 23–31.
- KMK (2020). *Bildungsstandards im Fach Physik für die Allgemeine Hochschulreife*. Carl Link.
- Koenen, J., Emden, M. & Sumfleth, E. (Hrsg.) (2016). *Chemieunterricht im Zeichen der Erkenntnisgewinnung. Ganz In – Materialien für die Praxis*. Münster: Waxmann.
- Konferenz der Fachbereiche Physik (2005): *Empfehlungen der Konferenz der Fachbereiche Physik (KFP) zu Bachelor- und Masterstudiengängen in Physik*. https://www.kfp-physik.de/dokument/Empfehlungen_Ba_Ma_Studium.pdf
- Kujath, B. (2016). *Lernwirksamkeits- und Zielgruppenanalyse für ein Lehrvideo zum informatischen Problemlösen*. Universitätsverlag Potsdam.
- Lind, G., Friege, G., Kleinschmidt, L. & Sandmann, A. (2004). Beispiellernen und Problemlösen. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 10, 29–49.
- Mandl, H. & Fischer, F. (2000). Mapping-Techniken und Begriffsnetze in Lern- und Kooperationsprozessen. In H. Mandl & F. Fischer (Hrsg.), *Wissen sichtbar machen. Wissensmanagement mit Mapping-Techniken* (S. 3-12). Hogrefe
- Martínez, G., Pérez, Á. L., Suero, M. I., & Pardo, P. J. (2013). The effectiveness of concept maps in teaching physics concepts applied to engineering education: Experimental comparison of the amount of learning achieved with and without concept maps. *Journal of Science Education and Technology*, 22(2), 204-214.
- Novak, J. D. (1990). Concept mapping: A useful tool for science education. *Journal of research in science teaching*, 27(10), 937-949.
- Novak, J. D. (2010). *Learning, creating, and using knowledge: Concept maps as facilitative tools in schools and corporations*. Routledge.
- Paas, F. & van Merriënboer, J. J. G. (1994). Variability of Worked Examples and Transfer of Geometrical Problem-Solving Skills: A Cognitive-Load Approach. *Journal of Educational Psychology*, 86(1), 122-133.
- Renkl, A., Atkinson, R. K. & Maier, U. H. (2000). From Studying Examples to Solving Problem: Fading Worked-Out Solution Steps Helps Learning. *Proceedings of the Cognitive Science Society*, 22(22).
- Renkl, A. & Schworm, S. (2002). Lernen, mit Lösungsbeispielen zu lehren. *Zeitschrift für Pädagogik* (45), 259 – 270.
- Renkl, A. & Atkinson, R. K. (2003). Structuring the Transition from Example Study to Problem Solving in Cognitive Skill Acquisition: A Cognitive Load Perspective. *Educational Psychologist*, 38(1), 15–22.
- Renkl, A. (2014). The worked-out-examples principle in multimedia learning. In R. Mayer (Ed.), *Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (2nd revised ed., pp. 391-412). Cambridge University Press.
- Ruiz-Primo, M. A. & Shavelson, R. J. (1996). Problems and issues in the use of concept maps in science assessment. *Journal of Research in Science Teaching*. *The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching*, 33(6), 569-600.
- Salden, R., Alevin, V., Renkl, A. & Schonke, R. (2009). Worked examples and tutored problem solving: Redundant or synergistic forms of support?. *Topics in Cognitive Science*, 1(1), 203-213.
- Sorge, S., Petersen, S. & Neumann, K. (2016). Die Bedeutung der Studierfähigkeit für den Studienerfolg im 1. Semester in Physik. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 22(1), 165–180.
- Sweller, J. & Cooper, G. A. (1985). The Use of Worked Examples as a Substitute for Problem Solving in Learning Algebra. *Cognition and Instruction*, 2(1), 59-89.
- Sweller, J. (2010). Element interactivity and intrinsic, extraneous, and germane cognitive load. *Educational Psychology Review*, 22,

- 123–138. *Learning Algebra. Cognition and Instruction*, 2(1), 59–89.
- Theyßen, H., Borowski, A., Cardinal, K., Franken, J. & Schmiemann, P. (im Druck): Wissensarten und Studienerfolg. Vorstellung einer Interventionsstudie in den Fächern Biologie und Physik. *Tagungsbandbeitrag GDGP Jahrestagung 2023 - Aachen*.
- Trump, S. (2015). *Mathematik in der Physik der Sekundarstufe III!*?. Universität Potsdam.
- Universität Duisburg-Essen (2014). *Modulhandbuch für das Bachelor-Programm Physik an der Universität Duisburg-Essen*.
<https://www.uni-due.de/imperia/md/content/physik/modulhandbuch-ba-physik2014-12-11.pdf>
- Vollmer, M. (2015). *Bestimmung von Fachkräfteengpässen und Fachkräftebedarfen in Deutschland: Fokus-Studie der deutschen nationalen Kontaktstelle für das Europäische Migrationsnetzwerk (EMN)*. Bundesamt für Migration und Flüchtlinge.
<https://www.bamf.de/SharedDocs/Anlagen/DE/EMN/Studien/wp64-emn-bestimmung-fachkraefteengpaesse-und-bedarfe.pdf?blob=publicationFile&v=18>
- Woitkowski, D. (2019). Erfolgreicher Wissenserwerb im ersten Semester Physik: Analyse mithilfe eines Niveaumodells. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 25(1), 97-114.

Danksagung

Das Forschungsprojekt EASTER wird gefördert vom BMBF in der Förderlinie „Studienerfolg und Studienabbruch II“ (Förderkennzeichen 16PX21015A und 16PX21015B).

Anhang

A: EASTER-Lösungsbeispiel „Basketball“: Wahl des Koordinatensystems

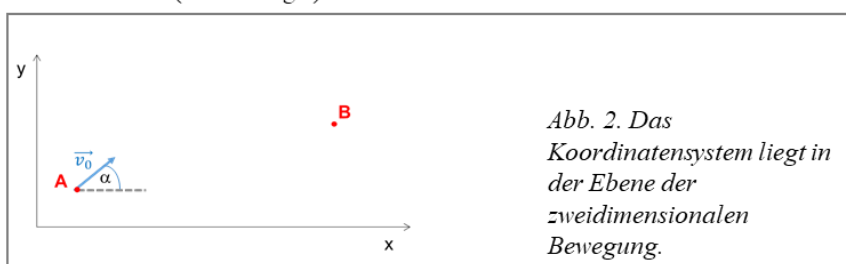
2. Lösungsansatz finden

2.2 Mathematisieren

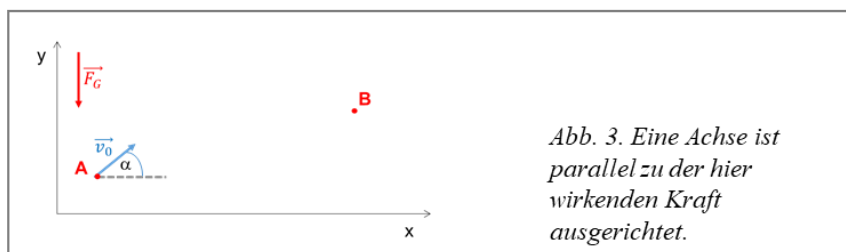
Der erste Schritt zur Mathematisierung ist die Wahl des Koordinatensystems. Obwohl die Wahl keinen Einfluss auf das Ergebnis hat, können die weiteren Überlegungen und Rechnungen durch eine sinnvolle Wahl in der Regel erleichtert werden. Es ist ratsam, das Koordinatensystem so zu legen, ...

- ... dass die Achsen des Koordinatensystems in der Ebene der Bewegung liegen (um die Zweidimensionalität der Bewegung auszunutzen und mit zwei Achsen auszukommen).
- ... dass eine wirkende Kraft oder Beschleunigung parallel zu einer der Achsen verläuft.
- ... dass ein gegebener Punkt der Bewegung im Ursprung des Koordinatensystems liegt.

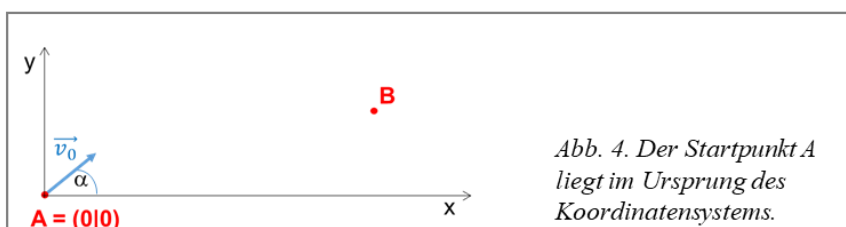
Zu a) Hier ist die Ebene der Bewegung durch die Punkte A und B festgelegt und identisch mit der Zeichenebene (Abbildung 2).



Zu b) Auf den Ball wirkt während des Fluges nur die Gewichtskraft \vec{F}_G , senkrecht nach unten. Dementsprechend wird eine Achse (hier die y-Achse) parallel zur Gewichtskraft gelegt. Somit verläuft die x-Achse parallel zum Erdboden (Abbildung 3).



Zu c) Der Startpunkt A der Bewegung wird in den Koordinatenursprung gelegt (Abbildung 4). Dadurch hat der Anfangspunkt die Koordinaten $x_A = 0$ m und $y_A = 0$ m, der Endpunkt B hat positive x- und y-Koordinaten.



Multiple Repräsentationen und Zeichenaktivitäten als Zugänge zu Vektorfeldkonzepten

Larissa Hahn*, Pascal Klein*

*Georg-August-Universität Göttingen, Physik und ihre Didaktik, Friedrich-Hund-Platz 1, 37077 Göttingen
larissa.hahn@uni-goettingen.de

Kurzfassung

Um Vektorfeldkonzepte wie die Divergenz in physikalischen Kontexten anzuwenden, ist ein konzeptionelles Verständnis notwendig. Bisherige empirische Forschungsergebnisse zeigten hierbei zahlreiche Schwierigkeiten von Studierenden im Umgang mit dem Divergenzkonzept auf, die sich beispielsweise auf die visuelle Interpretation der Kovariation von Komponenten und Koordinaten zurückführen lassen. Im Einklang mit lerntheoretischen Erkenntnissen erscheint daher der Einsatz multipler Repräsentationen bei der Vermittlung dieser Konzepte plausibel. Aus diesem Grund wurden Lehr-/Lernmaterialien (LLM) entwickelt, die einen visuellen Zugang zum Divergenzkonzept anhand multipler Repräsentationen und Zeichenaktivitäten ermöglichen. Der Einfluss der Zeichenaktivitäten als Zwischensubjektfaktor wurde in zwei Wirksamkeitsstudien mit Physikstudierenden der Studieneingangsphase untersucht. Vergleiche zwischen einer Interventionsgruppe, die mit Zeichenaktivitäten instruiert wurde, und einer Kontrollgruppe, die ohne Zeichenaktivitäten instruiert wurde, ergaben signifikante Unterschiede bzgl. der Performanz (Antwortkorrektheit und -sicherheit) von Physikstudierenden in einem Transfertest nach der Bearbeitung des LLM ($N = 84$). Darüber hinaus zeigten sich signifikante Performanzunterschiede zwischen LLM-nahen und LLM-fernen Aufgaben innerhalb des Transfertests, woraus sich der Bedarf für weiterführende, zielgerichtete Instruktionen vor allem zum Konzept der Kovariation ableiten lässt.

1. Einleitung

In der Hochschulphysik, z. B. der Strömungsmechanik, spielen Vektoren und Vektorfelder eine zentrale Rolle. Diese werden entweder algebraisch als Formel oder graphisch als Vektorfelddiagramm repräsentiert (siehe Abb.1, links). Bei der Darstellung einer Größe als Vektorfeld ist die Divergenz des Feldes, ein Maß für seine Quellen und Senken, für physikalische Anwendungen von besonderer Bedeutung (Griffith, 2013). Dies gilt vor allem für die Elektrodynamik, eines der größten Teilgebiete der Physik. Hier ergab eine Studie von Burkholder et al. (2021), dass eine umfassende Vorbereitung der Vektorrechnung in hohem Maße mit den Leistungen der Studierenden in der Studieneingangsphase korreliert ist. Weitere Untersuchungen legten jedoch auch offen, dass es den Studierenden häufig an einem konzeptionellen Verständnis der Darstellung von Vektorfeldern und insbesondere der Divergenz fehlt; dies ist allerdings für das Verständnis der physikalischen Inhalte von besonderer Bedeutung (Bollen et al., 2015; Pepper et al., 2012; Singh & Maries, 2013). Studien zeigten beispielsweise, dass Studierende die Divergenz eines Vektorfeldes wörtlich interpretierten, anstatt sich auf die physikalisch-mathematischen Konzepte zu beziehen, und dass sie Schwierigkeiten hatten, die Divergenz eines Vektorfelddiagramms zu bestimmen (Ambrose, 2015; Baily et al., 2016; Bollen et al., 2015, 2016, 2018; Klein et al., 2018, 2019, 2021; Pepper et al., 2012; Singh & Maries, 2013). Besonders überraschend ist, dass Studierende häufig Probleme mit dem Konzept der Divergenz als solches hatten, obwohl sie

wussten, wie man diese mathematisch berechnet (Singh & Maries, 2013). Mehrere Studien vertieften diese Forschungsrichtung und identifizierten verschiedene Lernschwierigkeiten, die eng mit der kartesischen Darstellung der Divergenz verknüpft sind. Hierbei zeigte sich, dass insbesondere das Konzept der Kovariation zwischen Feldkomponenten und Koordinaten, welches grundlegend für das Verständnis partieller Vektorableitungen ist, Studierenden Probleme bereitete (siehe Abb.1, rechts). Sie verwechselten Komponenten mit Koordinaten, machten Fehler bei der Vektorkomponentenzerlegung oder assoziierten die Änderung eines Vektorpfeils mit seiner Länge (Barniol & Zavala, 2014; Bollen et al., 2017; Gire & Price, 2012; Pepper et al., 2012). Die Analyse der Blickdaten von Studierenden bei der Betrachtung von Vektorfelddiagrammen bestätigte die oben genannten Schwierigkeiten (Klein et al., 2018, 2019, 2021). Darüber hinaus konnte gezeigt werden, dass konzeptionelle Lücken bzgl. vektoranalytischer Inhalte zu einem unsachgemäßen Verständnis und Fehlern bei der Nutzung essentieller Prinzipien in physikalischen Anwendungsbereichen führten, z. B. in der Elektrostatik oder im Elektromagnetismus (Ambrose, 2004; Bollen et al., 2015, 2016; Jung & Lee, 2012; Li & Singh, 2017). Da in der gängigen Praxis häufig formal-abstrakte, mathematische Erklärungsansätze genutzt werden (Smith, 2014), wird an dieser Stelle die Notwendigkeit innovativer Zugänge sowie entsprechender Lehr-/Lernmaterialien (LLM) deutlich.

Vor dem Hintergrund bisheriger Ergebnisse zu studentischen Lernschwierigkeiten im Kontext der

Vektoranalysis entwickelten Klein et al. (2018, 2019, 2021) multi-repräsentationale Lehr-/Lernmaterialien, die eine visuelle Evaluation der Divergenz anhand der Kovariation von Feldkomponenten und Koordinaten in einem Vektorfelddiagramm instruieren. Diese wurden später um eine dedizierte Vorübung zu partiellen Ableitungen sowie Zeichenaktivitäten zur kognitiven Entlastung beim Lernen erweitert (Hahn & Klein, 2023a). Anhand eines mixed-methods-Designs wurde der Einfluss der Zeichenaktivitäten im Rahmen zweier Wirksamkeitsstudien mit Physikstudierenden der Studieneingangsphase untersucht. Hierbei zeigte sich unter anderem, dass die Studierenden, die mit Zeichenaktivitäten instruiert wurden, im Vergleich zur Kontrollgruppe ohne Zeichenaktivitäten signifikant besser in einem Transfertest zu partiellen Ableitungen abschnitten. Daran anschließend unterzieht dieser Beitrag die Transferleistung der Studierenden infolge der Intervention einer ausführlichen Analyse und untersucht den Einfluss der Lehr-/Lernmaterialien bzw. der Zeichenaktivitäten auf das Verständnis der Kovariation. Letztere beschreibt dabei die Änderung einer Größe abhängig von einer anderen (siehe Kap. 2 für eine Erläuterung im Kontext von Vektorfeldern).

2. Fachdidaktischer Hintergrund: Multi-repräsentationales Lernen im Kontext der Vektoranalysis

Auf Grundlage bisheriger Forschungsergebnisse zum qualitativen Verständnis der Divergenz von Vektorfeldern betonen Wissenschaftler:innen den Einsatz (multipler) visueller Repräsentationen zur Förderung des Konzeptwissens zur Divergenz (Bollen et al., 2017; Klein et al., 2018; Singh & Maries, 2013). Da verschiedene Repräsentationen unterschiedliche Merkmale eines Konzepts oder eines Lerngegenstands fokussieren und sich somit gegenseitig ergänzen und einschränken, ermöglichen multiple, visuelle Repräsentationen ein tiefes Verständnis grundlegender (natur-)wissenschaftlicher Konzepte (Ainsworth, 1999; Rau 2017; Seufert, 2003). Darüber hinaus ergaben empirische Studien, dass ein flexibler und bewusster Einsatz verschiedener Repräsentationen positive Auswirkungen auf den Wissenserwerb, die Entwicklung von Konzeptverständnis und die Problemlösungsfähigkeiten besitzt (Chiu & Linn, 2014; Nieminen et al., 2012; Rau, 2017).

Die visuelle Interpretation der Divergenz von Vektorfeldern basiert auf drei sequenziell ablaufenden, mentalen Prozessen: (1) der Zerlegung einzelner Vektoren eines Vektorfelddiagramms in ihre Komponenten, (2) der Aufrechterhaltung dieser Zerlegung, und (3) der Beurteilung ihrer (Längen-)Änderung in Richtung der Basisvektoren des Koordinatensystems (Hahn & Klein, 2021). Die Veränderung einer Größe (hier: Länge der Komponenten F_x / F_y) in Abhängigkeit einer anderen (hier: kartesische x -/ y -Koordinate), die Kovariation (Abb.1, rechts), kennzeichnet dabei ein typisches Prinzip in der Physik, für dessen

Beurteilung mentale Gedächtnisoperationen (Zerlegung, Aufrechterhaltung, Abgleich) essentiell sind. Diese Operationen stellen jedoch besondere Anforderungen an das visuell-räumliche Arbeitsgedächtnis und sorgen so für eine erhöhte kognitive Belastung (Baddeley 1986; Logie 1995). Bisherige Forschung in diesem Bereich zeigte, dass die Externalisierung visuell-räumlicher Informationen das Arbeitsgedächtnis entlasten kann (Bilda & Gero, 2005; Hahn & Klein, 2022a). Die Skizzierung visueller Hilfen unterstützt eine solche Externalisierung, weshalb aktuelle Forschungsergebnisse eine Ergänzung multi-repräsentationaler und vor allem visueller Instruktionen durch Zeichenaktivitäten, wie das Einzeichnen visueller Hinweise, befürworten (Ainsworth & Scheiter 2021; Kohnle et al., 2020). Derartige Aufgaben erfüllen die visuell-räumlichen Anforderungen des naturwissenschaftlichen Lernens und ermöglichen infolge der kognitiven Entlastung eine effektive Ausführung anderer Aufgaben (Ainsworth et al., 2011; Bilda & Gero, 2005; Hahn & Klein, 2022a).

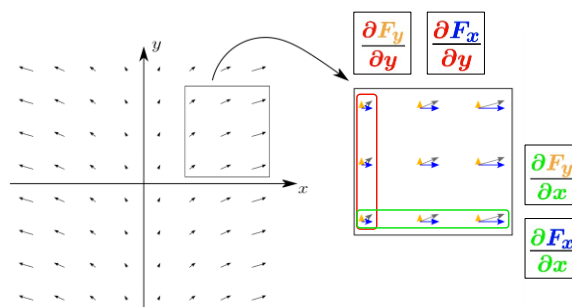


Abb.1: Vektorfelddiagramm des ebenen Vektorfeldes $\vec{F}(x, y) = x\hat{e}_x + \hat{e}_y$ (linke Seite). Das Rechteck hebt eine Region hervor, in der die partiellen Ableitungen der y -Komponente F_y (orange) und der x -Komponente F_x (blau) entlang der kartesischen Koordinaten in x -Richtung (grün) und y -Richtung (rot) ausgewertet werden (rechte Seite). Die F_y -Komponente (orange; $F_y = 1$) ändert sich weder in y -Richtung (rot) noch in x -Richtung (grün), daher sind die partiellen Ableitungen $\frac{\partial}{\partial y}F_y$ und $\frac{\partial}{\partial x}F_y$ gleich Null. Die F_x -Komponente (blau; $F_x = x$) nimmt in positive x -Richtung zu (grün) und ist in y -Richtung konstant (rot), daher gilt $\frac{\partial}{\partial x}F_x > 0$ und $\frac{\partial}{\partial y}F_x = 0$.

Frühere Studien bestätigten diese theoretischen Überlegungen, indem sie positive Lernergebnisse von Zeichenaktivitäten in (multi-)repräsentationalen Lernumgebungen nachweisen konnten, z. B. im Kontext der Vektoranalysis (Hahn & Klein, 2022a), der Immunbiologie (Hellenbrand et al., 2019), der Quantenmechanik (Kohnle et al., 2020) und der Chemie (Leopold & Leutner, 2012; Wu & Rau, 2018). So steigerte das Zeichnen die Aufmerksamkeit und das Engagement mit der Repräsentation, ermöglichte Studierenden, Details und relevanten Teilen einer Darstellung mehr Aufmerksamkeit zu schenken, und unterstützte so das (visuelle) Verständnis von Konzepten.

In Anlehnung an die Forschungslinie zum multi-repräsentationalen Lernen entwickelten Klein et al., (2018) textbasierte Instruktionen zur visuellen Interpretation der Divergenz. Diese beziehen sich auf zwei verschiedene mathematische Ansätze: Fluss durch Fläche (integraler Ansatz) und Kovariation von Komponenten und Koordinaten (differentieller Ansatz) in Vektorfelddiagrammen. Eine klinische Eye-Tracking-Studie zeigte einen quantitativen Anstieg des konzeptionellen Verständnisses nach Bearbeitung der Instruktion (Klein et al., 2018). In nachgelagerten Interviews berichteten einige Proband:innen jedoch von Schwierigkeiten mit repräsentationsspezifischen mentalen Operationen, z. B. der Vektorkomponentenzerlegung und der Evaluation der partiellen Ableitungen. Sie gaben außerdem an, dass visuelle Hilfsmittel, z. B. Skizzen der Komponentenzerlegung, hilfreich sein könnten, um ihr Verständnis zu verbessern. In einer experimentellen Folgestudie verglichen Klein et al. (2019) daher zwei Instruktionen der differentiellen Strategie mit und ohne visuellen Hilfestellungen zur Komponentenzerlegung im Vektorfelddiagramm und stellten fest, dass das Hinzufügen visueller Hilfen tatsächlich zu besseren Lernergebnissen führte. Darüber hinaus zeigte sich eine positive Korrelation mit der Antwortsicherheit der Lernenden, indem Studierende der Interventionsgruppe, die mit visuellen Hinweisen instruiert wurde, ihren Antworten mehr Vertrauen schenkten (Klein et al., 2017, 2019; Lindsey & Nagel, 2015). Die Transferleistung der Studierenden und die von ihnen wahrgenommene Schwierigkeit der Aufgabe während des Problemlösens verbesserten sich jedoch nicht signifikant im Vergleich zur vorherigen Studie, was darauf hindeutet, dass die visuellen Hilfen die Schwierigkeiten der Studierenden in Bezug auf die Komponentenzerlegung und partielle Ableitungen nicht vollständig überwinden konnten. Eine dritte Studie, die eine ähnliche Instruktion untersuchte, ergab, dass vor allem Studierende mit hohen oder mittleren räumlichen Fähigkeiten von der Instruktionsunterstützung profitierten, während Studierende mit geringen räumlichen Fähigkeiten eine hohe kognitive Belastung wahrnahmen (Klein et al., 2021).

Alle drei vorgestellten Wirksamkeitsstudien wurden durch Blickdatenanalysen unterstützt, die ein charakteristisches Blickverhalten von leistungsstarken Studierenden offenlegten. Dieses Blickverhalten spiegelt exekutive Handlungen der Wahrnehmung wider und kann mit der zeilen- und spaltenweisen Evaluation der Feldkomponenten entlang der kartesischen Koordinatenrichtungen, einer prozeduralen Abbildung der Kovariation, assoziiert werden.

3. Forschungsinteresse

Auf Basis der vorgestellten theoretischen Überlegungen und empirischen Ergebnisse der Vorarbeiten wurden die multi-repräsentationalen Lehr-/Lernmaterialien zur Divergenz (Klein et al., 2018, 2019, 2021) weiterentwickelt und deren Wirksamkeit im Rahmen zweier Studien untersucht (Hahn & Klein, 2023a).

Die erste Studie fokussierte dabei die Auswertung verschiedener Leistungsvariablen als Indikator für die Wirkung der Instruktion, während die zweite Studie die kognitive Verarbeitung des LLM mit Eye-Tracking untersuchte. Im Folgenden werden ausgewählte Ergebnisse der Studien kurz zusammengefasst, um daran anschließend das Forschungsziel sowie die Forschungsfragen und Hypothesen dieses Beitrags herzuleiten.

3.1. Studie von Hahn & Klein (2023a)

Die Weiterentwicklung der multi-repräsentationalen Lehr-/Lernmaterialien zur Divergenz (Klein et al., 2018, 2019, 2021) umfasste zum einen die Ergänzung dedizierter Vorübungen zur Komponentenzerlegung und partiellen Ableitungen (Hahn & Klein, 2023a; Abb.2). Darüber hinaus wurden Zeichenaktivitäten integriert, z. B. die Skizzierung von Vektorkomponenten oder die Markierung von Zeilen und Spalten zur Unterstützung der Auswertung entlang der Koordinatenrichtungen (Hahn & Klein, 2021). Mit Blick auf die dargelegten theoretischen Überlegungen verfolgte die Weiterentwicklung der Lehr-/Lernmaterialien das Ziel, kognitiv zu entlasten, die Auseinandersetzung mit der instruierten Strategie zu fördern und die Entwicklung eines konzeptionellen Verständnisses von Divergenz zu unterstützen, das auf weitere Konzepte übertragen werden kann.

2. Zeichnen Sie nun für jeden Vektor der nachfolgenden oberen Vektorzeile die Zerlegung in die Komponenten F_x und F_y ein. Skizzieren Sie anschließend die jeweilige y -Komponente der Vektoren in der zweiten Zeile (F_y) und die jeweilige x -Komponente in der dritten Zeile (F_x). Nutzen Sie die Gitterpunkte als Startmarkierungen für die Vektorpfeile.

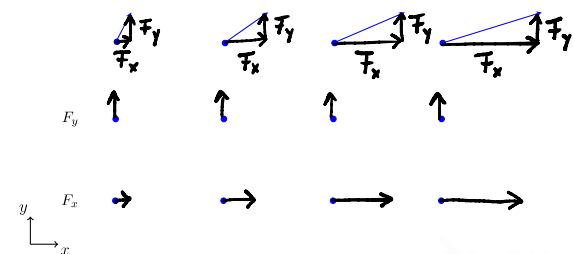


Abb.2: Ausschnitt der Vorübung zur Komponentenzerlegung und partiellen Ableitungen mit Zeichenaktivitäten (IG). Die Kontrollgruppe (KG) bearbeitete die gleichen Aufgaben ohne Zeichenaktivitäten.

Im Vergleich einer Interventionsgruppe, die mit Zeichenaktivitäten instruiert wurde, und einer Kontrollgruppe ohne Zeichenaktivitäten wurde der Einfluss der zeichnerischen Aktivitäten im Rahmen dieser Intervention anhand verschiedener Performanzindikatoren (Antwortkorrektheit, Antwortsicherheit) sowie des Blickverhaltens von Studierenden bei der Bearbeitung der LLM und dem anschließenden Problemlösen untersucht (Hahn & Klein, 2023a). Analysen ergaben, dass Studierende, die mit zeichnerischen Aktivitäten instruiert wurden, beim anschließenden Problemlösen effektive, experten-ähnliche Verhaltensweisen zeigten ($N = 53$). Darüber hinaus ergaben sich signifikante Gruppenunterschiede zugunsten der Interventionsgruppe bzgl. der wahrgenommenen kognitiven Belastung beim Lernen und Problemlösen

sowie der Antwortkorrektheit und -sicherheit von Physikstudierenden bei der Bearbeitung verschiedener Aufgaben zur Bestimmung der Divergenz von Vektorfelddiagrammen nach der Instruktion ($N = 84$). Dieser Gruppenunterschied zeigte sich auch über die unmittelbare Anwendung des Gelernten hinaus. In einem Transfertest erreichte die Interventionsgruppe signifikant höhere Antwortscores (IG 0.81 ± 0.20 vs. KG 0.67 ± 0.31 ; Welch $t(66.87) = 2.31$, $p = 0.02$, $d = 0.51$) und antwortete mit signifikant höherer Sicherheit (IG 0.68 ± 0.32 vs. KG 0.46 ± 0.36 ; $t(82) = 2.94$, $p = 0.004$, $d = 0.64$) als Studierende der Kontrollgruppe. Beide Gruppenunterschiede äußerten sich dabei mit mittlerer Effektstärke nach Cohen (1988).

3.2. Forschungsfragen und Hypothesen

Der angesprochene Transfertest zielte darauf ab, die partiellen Ableitungen verschiedener Vektorfelddiagramme als < 0 , > 0 , oder $= 0$ zu bestimmen (Abb.3). Dies umfasste sowohl die Bestimmung der für die Divergenz relevanten partiellen Ableitungen $\frac{\partial}{\partial x} F_x$ und $\frac{\partial}{\partial y} F_y$ (LLM-nah) als auch der LLM-fernen partiellen Ableitungen $\frac{\partial}{\partial x} F_y$ und $\frac{\partial}{\partial y} F_x$. Der Transfer bestand dabei zum einen darin, statt die partiellen Ableitungen als $= 0$ oder $\neq 0$ zu bestimmen, wie für die visuelle Evaluation der Divergenz erforderlich, ihr konkretes Vorzeichen (< 0 , > 0 , oder $= 0$) zu ermitteln. Die repräsentationsspezifische Schwierigkeit liegt hierbei in der Koordination der Richtung der einzelnen Vektoren in Bezug zur Achsenrichtung. Zum anderen beinhaltete die Transferaufgabe eine Übertragung der Strategie zur visuellen Evaluation der partiellen Ableitungen $\frac{\partial}{\partial x} F_x$ und $\frac{\partial}{\partial y} F_y$ auf die für die Divergenz irrelevanten partiellen Ableitungen $\frac{\partial}{\partial x} F_y$ und $\frac{\partial}{\partial y} F_x$. Letzteres erfordert dabei ein fundiertes Konzeptwissen der Kovariation, welches beispielsweise die Übertragung des Gelernten auf die Rotation von Vektorfeldern ermöglicht oder das Verständnis Vektorfeld-unabhängiger kovariater Zusammenhänge, z. B. die Definition der Zähigkeit reibungsbehafteter Fluide in der Mechanik, unterstützt.

Aus den eingangs erwähnten Schwierigkeiten von Studierenden zur Kovariation und ihrer dargelegten Relevanz für die Vektoranalysis sowie darüber hinaus ergibt sich die Frage nach dem Einfluss der entwickelten LLM auf das studentische Konzeptwissen zur Kovariation. Ziel dieses Beitrags ist daher eine Analyse der Performanz (Antwortkorrektheit und Antwortsicherheit) der Studierenden bei der Bestimmung LLM-naher und LLM-ferner partieller Ableitungen im Transfertest. Mit Blick auf die Ergebnisse der Vergleiche zwischen Interventions- und Kontrollgruppe im gesamten Transfertest werden dabei folgende Forschungsfragen und Hypothesen formuliert:

FF1: Welchen Einfluss haben die multi-repräsentationale Lehr-/Lernmaterialien zur Divergenz von

Vektorfeldern auf die Transferleistung (Antwortkorrektheit und -sicherheit) bei LLM-nahen und LLM-fernen partiellen Ableitungen?

FF2: Welche Unterschiede zeigen sich zwischen Studierenden, die mit und ohne Zeichenaktivitäten instruiert wurden, hinsichtlich ihrer Leistung (Antwortkorrektheit und -sicherheit) in Transferaufgaben, die LLM-nahe und LLM-ferne partielle Ableitungen thematisieren?

H1: Studierende, die mit Zeichenaktivitäten instruiert wurden, erreichen eine höhere Antwortkorrektheit in LLM-nahen und LLM-fernen Transferaufgaben im Vergleich zu Studierenden, die ohne Zeichenaktivitäten instruiert wurden.

H2: Studierende, die mit Zeichenaktivitäten instruiert wurden, geben eine höhere Antwortsicherheit in LLM-nahen und LLM-fernen Transferaufgaben an im Vergleich zu Studierenden, die ohne Zeichenaktivitäten instruiert wurden.

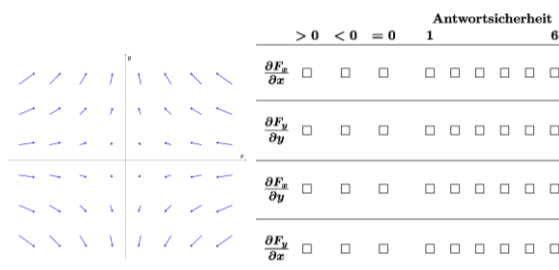


Abb.3: Ausschnitt aus dem Transfertest. Die Aufgabe besteht darin, zu dem gegebenen Vektorfelddiagramm (links) das Vorzeichen (< 0 , > 0 , oder $= 0$) der partiellen Vektorableitungen $\frac{\partial}{\partial x} F_x$, $\frac{\partial}{\partial y} F_y$, $\frac{\partial}{\partial y} F_x$ und $\frac{\partial}{\partial x} F_y$ zu bestimmen. Für die ersten beiden partiellen Ableitungen liegt der Transfer dabei in der Vorzeichenbestimmung, für die letzten beiden partiellen Ableitungen muss zusätzlich die instruierte Evaluationsstrategie partieller Ableitungen der Divergenz auf LLM-ferne partielle Ableitungen übertragen werden. Außerdem geben die Studierenden ihre Antwortsicherheit auf einer sechsstufigen Likert-Skala (1 = „absolut sicher“ bis 6 = „absolut unsicher“) an. Der Transfertest umfasst drei Vektorfelddiagramme und somit insgesamt 12 Items (sechs LLM-nahe Items Cronbach’s $\alpha = 0.76$ Antwortkorrektheit und Cronbach’s $\alpha = 0.98$ Antwortsicherheit; sechs LLM-ferne Items Cronbach’s $\alpha = 0.80$ Antwortkorrektheit und Cronbach’s $\alpha = 0.98$ Antwortsicherheit).

4. Material und Methoden

Die Stichprobe besteht aus 84 Physikstudierenden (B. Sc. und Lehramt) und wurde im Rahmen eines freiwilligen Physik-Vorkurses vor Studienbeginn an der Georg-August-Universität Göttingen akquiriert. Im Rahmen einer Selbstlernphase absolvierten die Studierenden zunächst einen Konzepttest zur Vektorkomponentenzerlegung und Divergenz, bevor sie das dreiseitige LLM zur Divergenz-Beurteilung bearbeiteten (Abb.2). Dies umfasste neben einer Instruktion zur visuellen Evaluation der Divergenz auch eine Vorübung zur Komponentenzerlegung, bei der die

Studierenden die Veränderungen von Vektorkomponenten entlang einer Zeile oder Spalte beurteilten, d. h. partielle Ableitungen isoliert evaluierten. Anschließend bearbeiteten sie einen Posttest (Problemlösen und Konzeptwissen), einen Fragebogen zu den mentalen Anforderungen sowie einen Transfertest (Abb.3). Interventionsgruppe (IG; mit Zeichenaktivitäten, $N = 43$) und Kontrollgruppe (KG; ohne Zeichenaktivitäten, $N = 41$) wiesen keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich ihres Vorwissens sowie verschiedener soziodemographischer Variablen auf. Eine ausführliche Beschreibung der Stichprobe, des Studiendesigns und der verwendeten Testinstrumente ist in Hahn & Klein (2023a) zu finden.

Die statistische Analyse von Innersubjekteffekten bzgl. verschiedener Performanzindikatoren bei LLM-nahen und LLM-fernen partiellen Ableitungen sowie der Vergleich von Interventions- und Kontrollgruppe erfolgten mithilfe (un-)gepaarter (Welch) t -Tests und durch Bezugnahme auf die Interpretation von Cohen (1988).

5. Ergebnisse

Antwortkorrektheit sowie Antwortsicherheit unterschieden sich hochsignifikant zwischen LLM-nahen und LLM-fernen partiellen Ableitungen (Abb.4, orange). So erreichten die Studierenden signifikant höhere Antwortcores für die LLM-nahen Aufgaben (0.80 ± 0.26) im Vergleich zu den LLM-fernen Aufgaben (0.69 ± 0.32), mit kleiner Effektstärke [$t(83) = -3.99$, $p < 0.001$, $d = 0.44$]. Ähnliche Ergebnisse zeigen sich auch für die Antwortsicherheit, wo die Studierenden angaben, bei den LLM-nahen Aufgaben signifikant sicherer zu antworten (0.59 ± 0.35) als bei den LLM-fernen Aufgaben (0.53 ± 0.37), ebenfalls mit kleiner Effektstärke [$t(83) = -3.44$, $p < 0.001$, $d = 0.38$]. Antwortkorrektheit und -sicherheit sind hierbei hoch miteinander korreliert (Pearson $r = 0.84$, $p < 0.001$).

Darüber hinaus zeigen Vergleiche zwischen Interventions- und Kontrollgruppe signifikante Unterschiede in der Antwortkorrektheit sowie -sicherheit für LLM-nahe und -ferne partielle Ableitungen (Abb.4, blau). Studierende, die mit Zeichenaktivitäten instruiert wurden, lösten sowohl Aufgaben mit LLM-nahen als auch LLM-fernen Ableitungen mit signifikant höherer Korrektheit als Studierende der Kontrollgruppe, mit kleiner bis mittlerer Effektstärke [LLM-nahe Ableitungen $t(66.15) = 2.44$, $p = 0.009$, $d = 0.54$; LLM-ferne Ableitungen $t(82) = 1.81$, $p = 0.038$, $d = 0.40$]. Außerdem gaben Studierende der Interventionsgruppe signifikant höhere Sicherheiten bei der Beantwortung LLM-naher sowie -ferner Aufgaben an, mit mittleren Effektstärken [LLM-nahe Ableitungen $t(77.93) = 3.13$, $p = 0.001$, $d = 0.69$; LLM-ferne Ableitungen $t(82) = 2.73$, $p = 0.004$, $d = 0.60$].

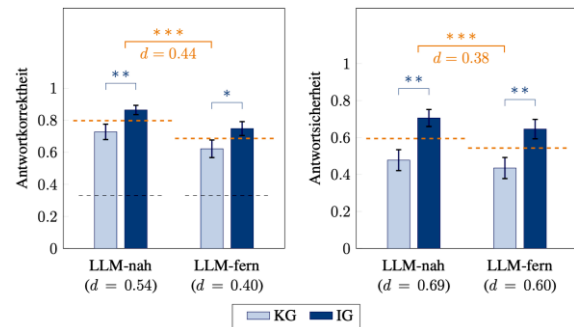


Abb.4: Antwortkorrektheit (links) und Antwortsicherheit (rechts) für LLM-nahe und LLM-ferne partielle Ableitungen im Vergleich zwischen Interventions- und Kontrollgruppe im Transfertest. Antwortkorrektheit und -sicherheit werden für LLM-nahe und LLM-ferne Transferaufgaben (orange) mittels gepaarter t -Tests (zweiseitig) verglichen. Vergleiche zwischen Interventionsgruppe (IG) und Kontrollgruppe (KG) für die LLM-nahen und die LLM-fernen Transferaufgaben (blau) erfolgen mittels ungepaarter (Welch) t -Tests (einseitig); */**/** statistische Signifikanz ($p < 0.05$ / $p < 0.01$ / $p < 0.001$), n.s. „(statistisch) nicht signifikant“, was p -Werte > 0.05 anzeigt, Effektstärke d , gestrichelte Linien geben die Ratewahrscheinlichkeit an, Fehlerbalken stellen 1 SEM dar.

6. Diskussion und Ausblick

Dieser Beitrag untersucht die Performanz von Studierenden in einem Transfertest zu partiellen Ableitungen von Vektorfeldkomponenten im Anschluss an die Bearbeitung von multi-repräsentationalen LLM zur visuellen Interpretation der Divergenz. Beim Vergleich von Antwortkorrektheit und Antwortsicherheit zeigte sich hierbei, dass Studierende die LLM-nahen partiellen Ableitungen mit höherer Korrektheit und Sicherheit in einem Vektorfelddiagramm bestimmen konnten als die LLM-fernen partiellen Ableitungen (FF1). Klein et al. (2018) berichteten für die Verwendung einer ähnlichen Instruktion (ohne Vorübung zur Komponentenerlegung und Zeichenaktivitäten), dass Studierende in einem Transfertest zur Beurteilung von Divergenz und Rotation, wobei sowohl LLM-nahe als auch LLM-ferne partielle Ableitungen integriert wurden, einen Score von 54% erzielten. In der hier untersuchten Studie bestimmten Studierende 70% der LLM-fernen Ableitungen korrekt, worin ein erheblicher Mehrwert der Weiterentwicklung des LLM durch Vorübung und Zeichenaktivitäten sichtbar wird.

Umso deutlicher zeigt sich dieser Effekt beim Vergleich von Interventions- und Kontrollgruppe für LLM-nahe und LLM-ferne Transferaufgaben. Hier erreichte die Interventionsgruppe, die mit Zeichenaktivitäten instruiert wurde, einen Score von 75% bei der Beurteilung der LLM-fernen partiellen Ableitungen. Somit konnten mithilfe von Zeichenaktivitäten stärkere Lerneffekte bzgl. LLM-ferner Transferaufgaben erzielt werden als in vorangegangenen Studien bzgl. der unmittelbaren Umsetzung der instruierten Strategie (69%; Klein et al., 2018). Darüber hinaus

pflanzen sich die signifikanten Leistungsunterschiede zwischen Interventions- und Kontrollgruppe im Transfertest sowohl in LLM-nahen als auch in LLM-fernen Transferaufgaben fort (FF2, H1, H2). Dies unterstützt die positiven Ergebnisse bisheriger Studien zum Einsatz von Zeichenaktivitäten in (multi-)repräsentationalen Lernumgebungen (z. B. Kohnle et al., 2020) und betont den Mehrwert des Skizzierens für die Evaluation der Kovariation von Komponenten und Koordinaten auch über den konkreten Lerngegenstand hinaus.

Aus fachdidaktischer Perspektive zeigt der Leistungsunterschied bei der Bestimmung LLM-naher und LLM-ferner Aufgaben allerdings auch, dass die zusätzliche Bestimmung des Vorzeichens Studierenden kaum Probleme bereitete (Scores vergleichbar mit Problemlösungsscores; Hahn & Klein, 2023a), der Transfer zu nicht-explicit instruierten partiellen Ableitungen hingegen schon. Die Studierenden erwiesen sich demnach trotz hoher Performanz bei der Divergenzbeurteilung (Antwortkorrektheit in beiden Gruppen über 80%; Hahn & Klein, 2023a) infolge der Instruktion nur bedingt fähig, das Prinzip der Kovariation über den Anwendungskontext des LLM hinaus zu nutzen. Dieses Ergebnis impliziert, dass ein kausaler Zusammenhang, nach dem sich aus einem Verständnis partieller Ableitungen im Kontext der Divergenz unmittelbar und stringent ein universelles Konzeptverständnis der Kovariation ergibt, nicht gegeben ist. An dieser Stelle zeigt sich daher die Notwendigkeit für explizite LLM zum Kovariationsprinzip, z. B. zusätzlich zur aktuell verwendeten Instruktion zur Divergenz und der Vorübung zur Komponentenzzerlegung. Blickdatenanalysen zum Repräsentationswechsel zwischen Vektorfelddiagramm und Formel zeigten studentische Lernschwierigkeiten bzgl. der Kovariation bei verwandten Aufgabenanforderungen auf, und schlossen daraus ebenfalls auf Bedarf einer dedizierten Intervention zum Kovariationsprinzip (Hahn & Klein, in Druck). Dies verdeutlicht die Relevanz einer ausführlichen Einführung und Übung der Kovariation von Komponenten und Koordinaten in der universitären Lehre zur Vektoranalysis. Für die Lehrpraxis empfiehlt sich eine solche Einführung zu Beginn einer Vektoranalysis-Einheit vor der Definition von vektoriellen Feldkonzepten und den zugehörigen Integralsätzen, z. B. zunächst anhand partieller Ableitungen von Skalarfeldern. Mit Blick auf die hier vorgestellten Ergebnisse kann dabei insbesondere der Einsatz von Zeichenaktivitäten empfohlen werden.

Die geplante Weiterentwicklung der LLM zielt neben der Ausarbeitung expliziter Instruktionen zur Kovariation vor allem auf die Integration von eye movement modelling examples (EMME) ab (Hahn & Klein, in Druck; Klein et al., 2021). Auf den Eye-Tracking-Ergebnissen dieser Studie aufbauend veranschaulichen EMME-Videos die visuelle Vorgehensweise beim Umgang mit Vektorfelddiagrammen anhand der Blickbewegungen eines: einer Experten:in (Hahn & Klein, 2023a; Jarodzka et al. 2013). Dies adressiert

die visuell-räumlichen Anforderungen des Lerngegenstandes und unterstützt die Forderung von Bollen et al. (2016) nach modernen, digital-gestützten Unterrichtsszenarien für die Instruktion vektoranalytischer Konzepte, da der traditionelle Unterricht nicht ausreicht, um ein vollständiges Verständnis von Differentialoperatoren zu ermöglichen. Darüber hinaus werden auf Basis bisheriger Forschungsergebnisse Lernaufgaben und OER-Einheiten zur Vektoranalysis entwickelt (Hahn & Klein, 2022b; Hahn et al., 2023), die über die Divergenz hinaus auch die Rotation sowie die Integralsätze von Gauß und Stokes thematisieren und neben den bestehenden Instruktionen auch Simulationen und physikalische Anwendungsbeispiele integrieren. Deren Wirksamkeit wird im Rahmen einer Implementationsstudie in universitären Lehrveranstaltungen der Studieneingangsphase untersucht (Hahn & Klein, 2023b). Weiterführende Analysen zielen darüber hinaus auf den Zusammenhang eines umfassenden Verständnisses vektoranalytischer Konzepte und deren Anwendung in der physikalischen Praxis ab.

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)
- 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), 1-7, <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>
- Baddeley, Alan D. (1986): *Working Memory* (Oxford, UK: Oxford University Press)
- 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>

- Bilda, Zafer; Gero, John S. (2005): Does sketching off-load visuo-spatial working memory. In: *Studying Designers*, 5, 145-160, <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=ca905009ddb33c1ef5eaac6d0947d3c45f62ab74>
- 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 (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; 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>
- Chiu, Jennifer L.; Linn, Marcia C. (2014): Supporting knowledge integration in chemistry with a visualization-enhanced inquiry unit. In: *Journal of Science Education and Technology*, 23, 37–58, <https://doi.org/10.1007/s10956-013-9449-5>
- Cohen, Jacob (1988): *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates)
- 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>
- Griffiths, David J. (2013): *Introduction to electrodynamics* (Boston: Pearson)
- 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, <https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phydid-b/article/view/1151>
- Hahn, Larissa; Klein, Pascal (2022a): 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, https://www.gdcp-ev.de/wp-content/tb2022/TB2022_384_Hahn.pdf
- Hahn, Larissa; Klein, Pascal (2022b): Vektorielle Feldkonzepte verstehen durch Zeichnen? Erste Wirksamkeitsuntersuchungen. In: *PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*, 1, S. 119-126, <https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phydid-b/article/view/1259/1485>
- Hahn, Larissa; Blaue, Simon A.; Höhn, P.; Merkert, N.; Klein, Pascal (2023): Open Educational Resources für den Hochschulbereich: Anschauliche Vektoranalyse für die Studieneingangsphase. Akzeptiert bei: *PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*, 1.
- Hahn, Larissa; Klein, Pascal (2023a): Analysis of eye movements to study drawing in the context of vector fields. In: *Frontiers in Education*, 8, 1162281, <https://doi.org/10.3389/feduc.2023.1162281>
- Hahn, Larissa; Klein, Pascal (2023b): The impact of multiple representations on students' understanding of vector field concepts: Implementation of simulations and sketching activities into lecture-based recitations in undergraduate physics. In: *Frontiers in Psychology*, 13, 1012787, <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.1012787>
- Hahn, Larissa; Klein, Pascal (in Druck): Clustering eye-movement data uncovers students' strategies for coordinating equations and diagrams of vector fields. Accepted in: *Educational Studies in Mathematics*, doi: 10.1007/s10649-023-10243-y
- Hellenbrand, Johannes; Mayer, Richard; Opfermann, Maria; Schmeck, Annett; Leutner, Detlev (2019): How generative drawing affects the learning process: An eye-tracking analysis. In: *Applied Cognitive Psychology*, 33(6), 1147-1164. <https://doi.org/10.1002/acp.3559>
- Jarodzka, Halszka; Van Gog, Tamara; Dorr, Michael; Scheiter, Katharina; Gerjets, Peter (2013): Learning to see: Guiding students' attention via a model's eye movements fosters learning. In: *Learning and Instruction*, 25, 62-70, <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2012.11.004>
- 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; 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>
- 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; 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>
- 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>
- Leopold, Claudia; Leutner, Detlev (2012): Science text comprehension: Drawing, main idea selection, and summarizing as learning strategies. In: *Learning and Instruction*, 22(1), S. 16-26. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2011.05.005>
- 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>
- Lindsey, Beth A.; Nagel, Megan L. (2015): Do students know what they know? Exploring the accuracy of students' self-assessments. In: *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 11(2), 020103, <https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.11.020103>
- Logie, Robert H. (1995): *Visuo-Spatial Working Memory* (Hove, UK: Lawrence Erlbaum)
- 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>
- 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)
- 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>

Offene Projektaufgaben mit Smartphone-Experimenten für die Studieneingangsphase Physik

Simon Z. Lahme^{1,a}, Matthias Fipp¹, Pascal Klein¹, Andreas Müller²

¹ Georg-August-Universität Göttingen, Physik und ihre Didaktik, Friedrich Hund-Platz 1, 37077 Göttingen, Deutschland

² University of Geneva, Department of Physics and Institute of Teacher Education, Boulevard du Pont d'Arve 40, 1211 Genève, Switzerland

^a simon.lahme@uni-goettingen.de

Kurzfassung

Zur Förderung von Neugier, Interesse und sozialer Eingebundenheit sowie zur Unterstützung des selbstgesteuerten, vernetzenden, forschungsbasierten Lernens wurden an der Universität Göttingen in die Erstsemesterveranstaltung Experimentalphysik I für Physikhauptfach- und -zweifächerbachelorstudierende „undergraduate research projects“ implementiert. In Kleingruppen arbeiteten die Studierenden über zwei Monate lang an jeweils einer von sechs Experimentierprojektaufgaben. Diese erforderten die Smartphone-gestützte Erfassung eigener Messdaten und deren Auswertung sowie eine Präsentation der Ergebnisse auf einem wissenschaftlichen Poster. Die Arbeit in den Projektgruppen und insbesondere die Ausgestaltung der Aufgabenstellungen wiesen einen hohen Offenheitsgrad auf. In diesem Beitrag werden die Entwicklung und Konzeption dieser Projektaufgaben anhand eines Theorierahmens zur Entwicklung von Experimentieraufgaben beschrieben, welches die Zielgruppe, die Lernziele, die eigentliche Aufgabenkonzeption, das Design der Lernmaterialien und die Implementation in die Lehre sowie dabei zu beachtende organisatorische Faktoren umfasst.

1. „Undergraduate research“ mit Smartphones in der Studieneingangsphase Physik

Der erfolgreiche Start ins Physikstudium ist mit einem akademischen Identitätsbildungsprozess auf drei Anforderungsebenen verbunden (Bauer et al., 2019): Auf der fachlichen Ebene müssen die Studierenden die kognitiven, physikalischen und mathematischen Anforderungen des Physikstudiums bewältigen. Auf der Metakognitionsebene sind u. a. Strategien des selbstregulierten Lernens, die Entwicklung eines förderlichen Fähigkeitsselbstkonzepts und reflektierende Prozesse verortet. Auf der Sozialisierungsebene ist eine Enkulturation ins Fach und in die Community mit ihren spezifischen Einstellungen, Werten und Normen erforderlich. In der Studieneingangsphase Physik sollen die Studierenden also nicht nur neues Fachwissen erwerben, sondern dieses beispielsweise auch vernetzen können, neue Lernstrategien zum selbstregulierten Lernen entwickeln, Neugier und Interesse bezüglich der Studieninhalte wecken und einen Prozess sozialer Einbindung in die Physik-Community und ihre Peer-Group erfahren.

Der Erreichung dieser Ziele können u. a. offene Experimentiersituationen dienen, in denen Studierende gemeinsame Experimente designen, Messdaten aufnehmen und auswerten. Dadurch können Sie nicht nur experimentelle Fähigkeiten erwerben, sondern auch Wissens Elemente aus Grundlagenvorlesungen und Theorie mit Praxis vernetzen und vertiefen, Methoden wissenschaftlichen Denkens kennenlernen, Motivation wecken und ihre eigenen persönlichen

und sozialen Kompetenzen weiterentwickeln (Welzel et al., 1998). Entscheidend ist der Offenheitsgrad der Experimentiersituation, da kochbuchartige Anleitungen und ein stärkerer Fokus auf der Wiederholung von Vorlesungsinhalten anstelle des Kompetenzerwerbs sich als nicht wirksam gezeigt haben, z. B. im Erwerb von Fachwissen (Holmes et al., 2017) und adäquaten Vorstellungen zur Experimentalphysik (Teichmann et al., 2022), und nicht das Interesse der Studierenden fördern (Rehfeldt, 2017). Dagegen haben sich offene Experimentiersituationen als lernwirksam erwiesen, etwa in Form von „design labs“, in denen Studierenden bei engem „scaffolding“ eigene Experimente designen sollen (Karelina & Etkina, 2007) oder „undergraduate research projects“ (URPs), in denen Kleingruppen von Studierende über einen längeren Zeitraum an einem Experimentierprojekt arbeiten (Ahmad & Al-Thani, 2022; Oliver et al., 2023; Ruiz-Primo et al., 2011; Russell et al., 2007). Letztere eignen sich insbesondere zur Förderung von „higher order thinking skills“ (HOTs) wie Autonomie, Neugier, Kreativität und Fähigkeiten im Problemlösen und kritischen Denken (Mieg et al., 2022; Murtonen & Balloo, 2019; Walsh et al., 2019).

Immanent zu URPs gehört die Erhebung eigener Messdaten. Die Bereitstellung von Laborequipment und -räumen stellt jedoch hohe Anforderungen an verfügbare Ressourcen und ist mitunter mit einer Einschränkung der Autonomie und Flexibilität der Studierenden verbunden, z. B., wenn es nur feste Laborzeiten gibt. Gerade in der Studieneingangsphase, in der die Studierenden den Experimentierprozess erst

einmal kennenlernen und Erfahrungen sammeln sollen, bieten daher Smartphones mit den darin verbauten Sensoren eine einfache Möglichkeit, den Studierenden eine eigene, zeitlich und räumlich flexible, ressourcenarme Datenerhebung auch jenseits universitärer Laborräume. Entsprechend werden seit über zehn Jahren eine Vielzahl an Smartphone-basierten Physik-Experimenten in unterschiedlichsten Themengebieten entwickelt, wie das Review von Monteiro und Martí (2022) und auch die Sammlung an Beispielerperimenten von Kuhn und Vogt (2019) zeigen. Die Nutzung von Smartphones als Messinstrument findet dabei auch Einzug in universitäre Lehre, in Form von Vorlesungsexperimenten (Staacks et al., 2022) und experimentellen Übungsaufgaben (Hütz et al., 2019; Kaps et al., 2022; Klein, 2016), in Laborpraktika insbesondere während der Covid19-Pandemie (Lahme et al., 2023a) sowie für URPs (Barro et al., 2023). Dabei wird auch das Potential von Smartphone-Experimenten untersucht, etwa mit Blick auf motivationale Effekte (Hochberg, 2018), die Wirkung auf Repräsentationskompetenz (Klein et al., 2018) und Konzeptwissen (Kaps & Stallmach, 2022) oder zur Reduktion von „extraneous cognitive load“ (Becker et al., 2020; Kaps & Stallmach, 2022).

An der Universität Göttingen wurden daher im Wintersemester 22/23 URPs mit Smartphone-Experimenten in die Studieneingangsphase Physik implementiert, um vernetzendes, selbstreguliertes Lernen, aber auch die Entwicklung etwa von Neugier und Interesse bezüglich der Studieninhalte und eine Enkulturation in die Physik-Community und Peer-Group zu fördern. Zielgruppe des Programms „Digitalgestütztes vernetztes Lernen in der Studieneingangsphase Physik“ (s. Lahme et al. (2023c) zur Übersicht) waren Physikmono- und -zweifächerbachelorstudierende der Erstsemestervorlesung Experimentalphysik I. In Kleingruppen sollten die Studierenden selbstständig ein Smartphone-Experiment planen, durchführen und auswerten sowie die Ergebnisse auf einem wissenschaftlichen Poster präsentieren. Die Projektarbeiten wurden durch sechs offene Experimentieraufgaben vorstrukturiert, von denen jede Gruppe jeweils eine bearbeitete. In diesem Beitrag werden die Entwicklung und Konzeption dieser Aufgaben beschrieben.

2. Entwicklung von sechs Experimentierprojektaufgaben für die Studieneingangsphase Physik

In Vorarbeiten (Lahme et al., 2023d) haben wir bereits argumentiert, dass die Entwicklung von Experimentieraufgaben sechs Designprinzipien folgen kann. Zunächst werden die Zielgruppe der Experimentieraufgaben charakterisiert (“Think of who your learners are.”) und Lernziele definiert (“Think of what your learners should learn.”). Unter Berücksichtigung von organisatorischen Faktoren (“Think of the circumstances in your lab.”) kann dann eine generelle Aufgabenkonzeption vorgenommen werden (“Think of an experimental task for your target group to reach your learning objectives.”). Daran schließt sich die

Entwicklung der eigentlichen Lernmaterialien an (“Think of the materials you need for the conduction of your experimental task.”), die in die eigene Lehre implementiert werden können (“Think of the actual use of your task with your target group and your designed materials.”). Die Experimentieraufgaben können dann evaluiert und iterativ weiterentwickelt werden. Anhand dieser Designprinzipien und der bei Lahme et al. (2023d) beschrieben, jeweils zu berücksichtigenden Aspekte wird die Entwicklung der Experimentierprojektaufgaben im Folgenden erläutert.

2.1. Zielgruppe

Die Aufgaben richteten sich originär an die ca. 160 Studierenden in der Erstsemester-Lehrveranstaltung Experimentalphysik I an der Universität Göttingen im Wintersemester 2022/23. Für 125 von Ihnen liegen demographische Angaben vor. 81 von ihnen sind Physikmono-, 18 Physikzweifächerbachelorstudierende (i. W. gymnasiales Lehramt mit Unterrichtsfach Physik); 104 von ihnen sind im ersten, 21 in einem höheren Semester. Die Erstsemesterstudierenden haben (in Ergänzung zu ihrem Schulwissen) im Vorfeld an der Universität höchstens den Mathematik- und/oder mathematisch-orientierten Physik-Vorkurs besucht. Im ersten Semester belegen sie parallel die Lehrveranstaltung Rechenmethoden der Physik, die Monobachelorstudierende noch eine zusätzliche Mathematik-Lehrveranstaltung sowie den ersten Teil des physikalischen Grundpraktikums, Zweifächerbachelorstudierenden weitere Lehrveranstaltungen in ihrem Zweifach. Die Vorerfahrungen insbesondere im freien Experimentieren sind sehr heterogen, von keinerlei Schüler:innenexperimenten in der Schule (z. B. nur Demoexperimente, teils durch die Covid19-Pandemie bedingt) bis hin zu Teilnahmen bei Wettbewerben wie Jugend forscht. Smartphones wurden von 66 Studierenden bislang überhaupt nicht für Experimente genutzt, die anderen Studierenden haben zumindest vereinzelt mal z. B. im Physikunterricht Smartphones etwa zur Zeitmessung, Videoanalyse oder besonders im Bereich Akustik und Pendelschwingungen genutzt. Ein Großteil der Studierenden (109) hat bereits Vorerfahrungen mit Projektarbeit, z. B. in Gruppenarbeiten in der Schule oder der Facharbeit in der Oberstufe, jedoch nicht zwingend im naturwissenschaftlichen Bereich. Die Interessen und Einstellungen der Studierenden zum Fach Physik und zum Experimentieren können aufgrund der Studienwahl insgesamt als hoch angenommen werden.

2.2. Lernziele

Mit den Experimentierprojektaufgaben sind sowohl allgemeine als auch spezifische, an den Inhalt der jeweiligen Aufgaben geknüpfte Lernziele verbunden. Auf übergeordneter Ebene sollen die Studierenden im ersten Studiensemester exemplarisch selbst ein Experiment inklusive Datenerhebung, Auswertung und Ergebnispräsentation auf Postern durchführen, um einen Einblick in experimentalphysikalische Forschung (jenseits des Laborpraktikums, welches im ersten

Semester nur Physikmonobachelorstudierende besuchen) zu erhalten. Auf diese Weise sollen das akademische Selbstkonzept, Interesse und HOTS wie Neugier, Autonomie, Kreativität und Problemlösen sowie insgesamt das selbstregulierte Lernen gefördert werden. Zusätzlich sollen der Erwerb digitaler Kompetenzen und kommunikativer Kompetenzen etwa im Bereich Präsentieren von Ergebnissen angeregt werden. Außerdem wird durch die Experimentieraufgaben eine Vernetzung und Vertiefung der Vorlesungsinhalte aus der Experimentalphysik I (inhaltlicher Bezugsrahmen) und der Rechenmethoden der Physik (z. B. bei der Datenauswertung) sowie ggf. dem begleitenden physikalischen Grundpraktikum angestrebt, um eine Theorie-Praxis-Verzahnung zu ermöglichen und die Relevanz der Lerninhalte aufzuzeigen. Ferner soll die Zusammenarbeit in Kleingruppen das Zugehörigkeitsgefühl zur Physikcommunity, zu Peers und der Universität stärken. Die übergeordneten Lernziele sind also primär affektiver und selbstregulativer Natur und adressieren z. B. weniger die explizite Entwicklung von Experimentierkompetenz. Darüber hinaus sind mit jeder Aufgabe spezifische physik- und mathematikbezogene sowie methodische Lernziele verbunden. Diese hängen von der inhaltlichen Ausrichtung der jeweiligen Experimentierprojektaufgabe ab und werden in den Aufgabendokumenten (s. Kapitel 2.5) explizit aufgeführt. Sie dienen vor allem der Orientierung für die Studierenden und adressieren etwa zentrale physikalische Konzepte der Aufgaben, die Modellierung der Messdaten mit Modellen oder die selbstständige Planung, Durchführung und Auswertung von Messdaten mit Smartphones und unter Berücksichtigung von Messunsicherheiten.

2.3. Organisatorische Faktoren

Die Studierenden sollten an den Experimentierprojektaufgaben über einen längeren Zeitraum semesterbegleitend arbeiten können. Durch die Integration in die Lehrveranstaltung Experimentalphysik I sollte die Projektarbeit allerdings bereits vor dem Vorlesungsende und der Prüfungsphase abgeschlossen sein und gleichzeitig nicht in der allerersten Vorlesungswoche beginnen, in der die Studierenden bereits mit vielen anderen Dingen ausgelastet sind. Somit ergab sich ein Zeitraum für die Projektarbeit von etwa zwei Monaten, wobei die Studierenden durch die parallelen Lehrveranstaltungen nicht durchgehend an den Projektaufgaben arbeiteten. Die Projektarbeit sollte autark, selbstgesteuert, außerhalb klassischer Laborpraktika und außerhalb der Vorlesungs- und Übungszeit erfolgen. Zur begleitenden Unterstützung stand jedoch eine zweiwöchentlich stattfindende, freiwillige, 90-minütige Saalübung zur Verfügung. Da die Studieneingangsphase per se eine für die Studierenden herausfordernde, mitunter Belastungserzeugende Zeit ist (Lahme et al., 2022a), wurde der Workload wie folgt kalkuliert: Die Lehrveranstaltung Experimentalphysik I wird mit insgesamt 6 ECTS (150 Echtstunden) vergütet, wovon jeweils etwa die

Hälfte auf die Präsenzzeit (in Vorlesung und Übung) und auf die wöchentlichen Übungsblätter inklusive weiteren Selbststudiums entfallen. Da die Projektarbeit wie implementiert (s. Kapitel 2.6) ein Drittel der Prüfungsvorleistung (in den Vorjahren ausschließlich Übungsblätter) ausmachte, sollte die Projektarbeit also mit einem Aufwand von etwa 1 ECTS, d. h. 25 Echtstunden je Studierenden verbunden sein.

2.4. Aufgabenkonzeption

Im Rahmen der Projektarbeit sollen die Studierenden über einen längeren Zeitraum interessensgeleitet eigene Experimente designen, durchführen und auswerten. Dabei sollen Inhalte verschiedener Lehrveranstaltungen (Experimentalphysik I, Rechenmethoden der Physik und ggf. physikalisches Grundpraktikum) vernetzt bzw. selbstständig erweitert werden. Entsprechend ist ein angemessen hoher Offenheits- und Schwierigkeitsgrad gewählt worden, der eine intensive Auseinandersetzung mit den Experimenten über zwei Monate hinweg ermöglicht und sämtliche experimentelle Aktivitäten von Design über Datenerhebung und Auswertung bis hin zur Interpretation und Präsentation der Ergebnisse umfasst. Da Gegenstand der Experimentalphysik I bis zur Semestermitte ausschließlich klassische Mechanik ist, adressieren die Aufgaben entsprechend Translations-, Rotations- und Rollbewegungen sowie mechanische Schwingungen. Für eine hohe Authentizität gehen die Aufgaben auch explizit auf, in Modellierungen sonst oft vernachlässigte Effekte (z. B. Reibung) ein und orientieren sich an mindestens einem fachwissenschaftlichen Artikel/Buchbeitrag. Alle Aufgaben nutzen Smartphones (die eingebauten Sensoren und die App phyphox oder die Kamera zur späteren Videoanalyse mit der Open Source Software Tracker) für die Datenerhebung und die Open Source Software SciDAVis (oder wahlweise Python bzw. Origin) für die Datenanalyse, um die Projektarbeit außerhalb universitärer Labore zu ermöglichen. Als weitere Experimentiermaterialien sind nur kostenfrei oder kostengünstig erhältliche Haushaltsgegenstände erforderlich. Die Aufgaben gehen aus Open Educational Resources aus dem Erasmus+ Projekt DigiPhysLab (Lahme et al., 2022b; www.jyu.fi/digiphyslab) hervor, in dem die dort entwickelten, eher für einzelne Praktikumstage konzipierten Aufgaben für URPs modifiziert wurden (i. W. bezüglich des Offenheitsgrads).

2.5. Design der Aufgabenmaterialien

Zu den Aufgaben gehören entsprechende Experimentieranleitungen (jeweils ca. vier Seiten lang), in denen die Grundideen der Aufgaben erläutert werden, um den Studierenden Orientierung für ihre Projektarbeit zu geben. Die Dokumente folgen dabei stets der gleichen Struktur aus elf Schritten (s. Tab.1).

Die Dokumente beginnen mit einer kurzen fachlichen Motivation und Vorstellung des Themas der Projektaufgabe inklusive klarer Zielformulierung. Es folgt ausformuliert in ca. drei Sätzen die Aufgabenstellung, die an das Ziel des Experiments anknüpft, in der

Regel eine vorformulierte Forschungsfrage enthält und die experimentelle Beantwortung mithilfe eines Smartphone-Experiments unter Berücksichtigung von Messunsicherheiten erfordert. Während das Ziel vorgegeben wird, bleibt die konkrete Umsetzung offen („Entwickeln Sie ein Experiment...“ oder „Untersuchen Sie mit Ihrem Smartphone/experimentell...“) und ist Aufgabe der Studierenden.

Damit diese Anhaltspunkte haben, wie sie diese offenen Aufgabenstellungen sinnvoll angehen können, werden im Anschluss drei bis sieben Leitfragen präsentiert, die Design, Durchführung und Auswertung des Experiments adressieren. Sie geben dabei keine konkreten Anweisungen, sondern regen dazu an, sich über bestimmte Aspekte und notwendige Schritte des Experiments Gedanken zu machen. Es folgt eine Aufschlüsselung der aufgabenspezifischen Lernziele, getrennt nach physik- und mathematikbezogenen sowie methodischen Lernzielen. Diese schaffen nicht nur Transparenz bezüglich der Erwartungen, sondern enthalten auch Indizien für die Aufgabebearbeitung, z. B. die Nennung zentraler Fachbegriffe, die Ausgangspunkt für Recherche und Einarbeitung in die Theorie darstellen können. Um die Anforderungen auch an das finale Produkt, ein wissenschaftliches Poster (s. Kapitel 2.6) transparent zu gestalten, folgen außerdem zwei bis drei Aspekte, die auf diesem Poster dargestellt werden sollen und greifen so auf die zuvor aufgeführte Aufgabenstellung zurück.

Zusätzlich beinhalten die Dokumente Hinweise für die Durchführung, etwa aufgabenspezifische organisatorische Tipps und Sicherheitshinweise sowie Vorschläge für geeignete Software (i. W. phyphox und SciDAVis). Insbesondere wird auf das der Aufgabe zugrundeliegende Paper als Ausgangspunkt für die eigene Projektarbeit verwiesen.

Daran schließen sich drei bis vier Anregungen an, wie die jeweilige Experimentieraufgabe individuell vertieft werden kann. So wird die Offenheit der Experimentieraufgabe unterstützt, den Studierenden eine interessensgeleitete Schwerpunktsetzung ermöglicht und verhindert, dass alle Studierenden am Ende exakt gleiche Experimente durchführen. Außerdem erfolgt durch diese Trennung zwischen Mindestanforderung und Vertiefungsmöglichkeiten eine Differenzierung, je nach Fortschritt der Studierenden.

Darüber hinaus finden sich in den Dokumenten noch aufgabenspezifische Literaturhinweise, Standardlehrwerke zum physikalischen Hintergrund, Paper und Buchbeiträge zum Experiment selbst sowie Literatur und Anleitungen zur Datenauswertung, dem Umgang mit Messunsicherheiten und dem mathematischen Hintergrund. Es wird auf weitere Hilfsmaterialien in separaten Dateien (Anleitungen für die Software, d. h. phyphox, SciDAVis und Tracker) verwiesen und für alle Aufgaben ein einheitlicher Zeitplan empfohlen, der die Schritte des Experimentierprozesses auf die zweimonatige Projektzeit aufschlüsselt und so zeitliche Orientierung und Unterstützung in der

Projektorganisation bietet. Die Aufgabendokumente schließen mit Hinweisen, wie die Studierenden in einer zweiwöchentlichen Saalübung, über ein anonymes Fragetool, per E-Mail und in Sprechstundenterminen individuelle Unterstützung erhalten.

Die Materialien sind übersichtlich und bestehen aus strukturierenden Elementen und oft nur durch Aufzählungszeichen gegliederten Stichwortsätzen. Dadurch soll die Struktur klar ersichtlich sein, eine Konzentration auf das Wesentliche erfolgen und erkennbar sein, dass es sich bei den Aufgabendokumenten nicht um kochrezeptartige Anleitungen, sondern Hinweise für offene Experimentierprojekte handelt.

Tab.1: Übersicht über die Struktur und Merkmale der Dokumente für die offenen Experimentierprojektaufgaben.

Strukturelement	Inhalte/Merkmale
1 Motivation und Überblick	Kurze fachliche Motivation & Vorstellung des Themas, Ziel der Aufgabe
2 Ihre Aufgabenstellung	Kurze, offene Formulierung der Aufgabenstellung
3 Diese Leitfragen können Sie bei der Bearbeitung unterstützen	Leitfragen zur Unterstützung bei Planung, Durchführung & Auswertung
4 Das sollen Sie in dieser Aufgabe lernen	Physikbezogene, mathematikbezogene & methodische Lernziele
5 Das soll Ihr Poster nachher unter anderem enthalten	Vorgaben zum Poster (z. B. Beantwortung der Fragestellung)
6 Noch ein paar Tipps und Hinweise zur Durchführung	Organisatorische Tipps, Sicherheitshinweise, Vorschläge für Software & ein Paper zum Start
7 Möglichkeiten zur Vertiefung der Aufgabe	Optionale Vertiefungsmöglichkeiten für individuelle Schwerpunktsetzung
8 Literaturhinweise	Zum physikalischen Hintergrund, dem Experiment & zur Datenauswertung
9 Weitere Hilfsmaterialien	i. W. Anleitung für Software
10 Empfohlener Zeitplan	Zeitliche Grobplanung der Aktivitäten
11 Wo Sie während der Projektarbeit Unterstützung bekommen	Hinweise auf Unterstützungsangebote (Saalübung, Sprechstunden, E-Mail)

2.6. Implementation

Der zeitliche Ablauf der Implementation der Aufgaben in die Lehrveranstaltung Experimentalphysik I von November 2022 bis Januar 2023 ist in Abb.1 dargestellt. In der zweiten Vorlesungswoche wurden die Studierenden in der zweiwöchentlichen Saalübung über die Projektarbeit, deren Ablauf und die Rahmenbedingungen informiert. In der dritten Semesterwoche erfolgte die Einteilung der Studierenden in Kleingruppen von drei bis fünf Studierenden sowie eine Zuordnung zu einer der insgesamt sechs Projektaufgaben. Aus organisatorischen Gründen und zur besseren Vernetzung der Studierenden wurden die Projektgruppen innerhalb des Personenkreises der wöchentlichen Übungsgruppen gebildet und den Studierenden

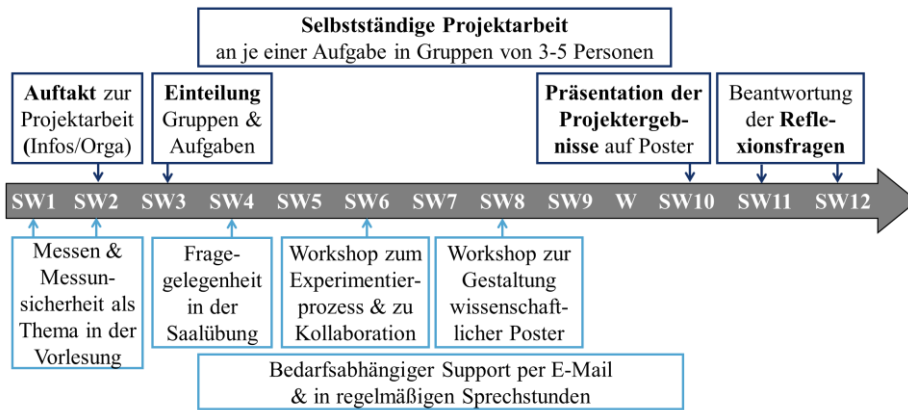


Abb.1: Übersicht über die Implementation der Projektaufgaben an der Universität Göttingen im Wintersemester 22/23 in den ersten 12 der insgesamt 14 Semesterwochen (SW) mit zwei Wochen vorlesungsfreier Weihnachtszeit (W) dazwischen. Oberhalb des Zeitstrahls ist der Ablauf der Projektarbeit dargestellt, unterhalb sind die Unterstützungsangebote zeitlich eingeordnet.

die Wahl zwischen jeweils zwei der sechs Projektaufgaben gegeben. Am Ende der dritten Semesterwoche erhielten die Studierenden sämtliche Aufgabenmaterialien über die an der Universität Göttingen genutzte Lernplattform Stud.IP. Ab dann hatten die Studierenden gut sechs Vorlesungswochen (zuzüglich zwei Wochen vorlesungsfreier Zeit um Weihnachten) Zeit, an ihren Projekten zu arbeiten und die Ergebnisse auf einem wissenschaftlichen Poster aufzubereiten und anschließend ihren Kommiliton:innen zu präsentieren. In dieser Zeit erhielten die Studierenden in drei dazwischenliegenden Saalübungen Unterstützung: In der ersten Saalübung wurden Fragen zur Projektarbeit und den Aufgabendokumenten geklärt, in der zweiten gab es einen Workshop zum physikalischen Erkenntnisgewinnungsprozess und Strategien des kollaborativen Arbeitens und in der dritten einen Workshop zur Gestaltung wissenschaftlicher Poster. Bereits im Vorfeld, in den ersten zwei Semesterwochen, wurden an zwei Vorlesungsterminen die Messung physikalischer Größen und der Umgang mit Messunsicherheiten behandelt. Ferner bestand während der Projektarbeit jederzeit die Gelegenheit, anonym über ein Fragetool, direkt per E-Mail oder in regelmäßig angebotenen Sprechstundenterminen Fragen zu stellen und Unterstützung zu erhalten.

Der Leistungsnachweis in der Projektarbeit erfolgte durch die Präsentation der Projektergebnisse auf einem wissenschaftlichen Poster als authentisches Kommunikationsmedium und durch die individuelle schriftliche Beantwortung von acht Fragen, die eine Kurzbeschreibung und Diskussion der Ergebnisse des Experiments sowie die Reflexion der Projektarbeit selbst umfasste (z. B. bezüglich der Relevanz, des Lernzuwachs, und der Zusammenarbeit in der Gruppe). Beide Lernprodukte wurden anhand eines im Vorfeld auch den Studierenden bereitgestellten Bewertungsbogens (Gruppenbewertung für das Poster, Einzelbewertung der Reflexionen) eingeschätzt. In beiden Fällen erhielten die Studierenden jeweils bis zu 60 Punkte, die auf die Punkte für die wöchentlichen Übungsblätter (12-mal 20 Punkte) aufaddiert wurden. Durch die Projektarbeit konnten die

Studierenden also bis zu einem Drittel der insgesamt 360 Punkte erreichen, wovon mindestens die Hälfte als Prüfungsvorleistung für die Teilnahme an der Modulabschlussklausur erzielt werden musste. Dadurch wurde die Projektarbeit in die Prüfungsmodalitäten der Lehrveranstaltung integriert und Verbindlichkeit geschaffen. Der Workload für die Projektarbeit wurde durch einen reduzierten Umfang der Übungsblätter im Vergleich zu den Vorjahren kompensiert.

Feedback erhielten die Studierenden in Form der Beantwortung, durch Diskussion mit ihren Kommiliton:innen in der Postersession und auf Anfrage etwa in den Sprechstunden. Gleichmaßen hatten die Studierenden in regelmäßigen Fragebögen, den abschließenden Reflexionsfragen und informellen Gesprächsgelegenheit, Rückmeldung zu den Experimentieraufgaben und der Organisation der Projektarbeit insgesamt zu geben.

3. Detailblick in eine Aufgabe

Gemäß den zuvor beschriebenen Designprinzipien sind sechs Experimentierprojektaufgaben entstanden. Die Aufgabendokumente sind als Open Educational Resources veröffentlicht (<https://doi.org/10.57961/49zr-w490>). Im Folgenden soll exemplarisch die Aufgabe C (Analyse von Smartphone-Sensoren) detaillierter vorgestellt werden. Hierbei handelt es sich um eine Aufgabe mit besonders hohem Offenheitsgrad, da die Studierenden anders als in anderen Aufgaben auch eine eigene Fragestellung formulieren sollen. Ziel der Aufgabe ist die vergleichende Analyse der Präzision/Akkuratheit der Beschleunigungssensoren in verschiedenen Smartphones. Dazu setzt sich die Aufgabenstellung aus zwei Teilen zusammen: „Untersuchen Sie in einem ersten Schritt die Präzision des Beschleunigungssensors der Smartphones aller Gruppenmitglieder und schätzen Sie dabei die Präzision (statistische Messunsicherheit) und Akkuratheit (etwaige Offsets in der Kalibrierung, d. h. systematische Messunsicherheiten) Ihrer Geräte ab. Entwickeln Sie in einem zweiten Schritt eine einfache Forschungsfrage, die durch eine Beschleunigungsmessung beantwortet werden kann. Designen Sie ein entsprechendes Experiment, um diese Frage zu

beantworten. Führen Sie das Experiment mit allen Smartphones Ihrer Gruppe durch und werten Sie Ihre Daten erneut unter Berücksichtigung der spezifischen Messunsicherheiten Ihrer Smartphones aus“ (Wortlaut im Aufgabendokument).

Die Studierenden sollen also zunächst die Beschleunigungssensoren verschiedener Geräte bezüglich der Präzision/Akkuratheit charakterisieren. Dazu können sie z. B. eine Vergleichsmessung vornehmen, bei der alle Smartphones in Ruhe auf einer Unterlage liegen, um so auf die statistische Messunsicherheit und durch Vergleich mit dem bekannten Wert für die Erdbeschleunigung auch systematische Messunsicherheiten zu quantifizieren. Im Anschluss sollen dann in einem selbst designten, kleinen Experiment die Geräte verglichen werden. Somit sollen die Studierenden „zu Themen aus dem Gebiet der Mechanik eigene kleine Experimente entwickeln und mit dem theoretischen Hintergrund physikalisch beschreiben“ (physikbezogenes Lernziel im Wortlaut), „verschiedene Lage-

und Streumaße für statistische Messwerte berechnen“ und „aus statistischen Schwankungen und Offsets von Messdaten Messunsicherheiten bestimmen und miteinander vergleichen“ (mathematikbezogene Lernziele im Wortlaut) können. Zudem sollen sie „die Messunsicherheiten bei der Verwendung eines Smartphones als Messgerät analysieren und charakterisieren“ sowie „eigenständig kleine Experimente planen, durchführen und auswerten“ (methodische Lernziele im Wortlaut) können. Abb.2 enthält einige Beispielergebnisse der Studierenden, die durch die Offenheit der Aufgabe sehr unterschiedlich sind.

Die Projektarbeit wird durch drei Leitfragen strukturiert, die die Studierenden dazu anregen, über die Funktionsweise und Gütekriterien von Sensoren, die Abhängigkeit der Präzision/Akkuratheit von der räumlichen Ausrichtung, dem Nutzungszweck des Smartphones sowie die Quantifizierbarkeit und systematische Vergleichbarkeit von Messunsicherheiten der Smartphones nachzudenken. Zudem werden die

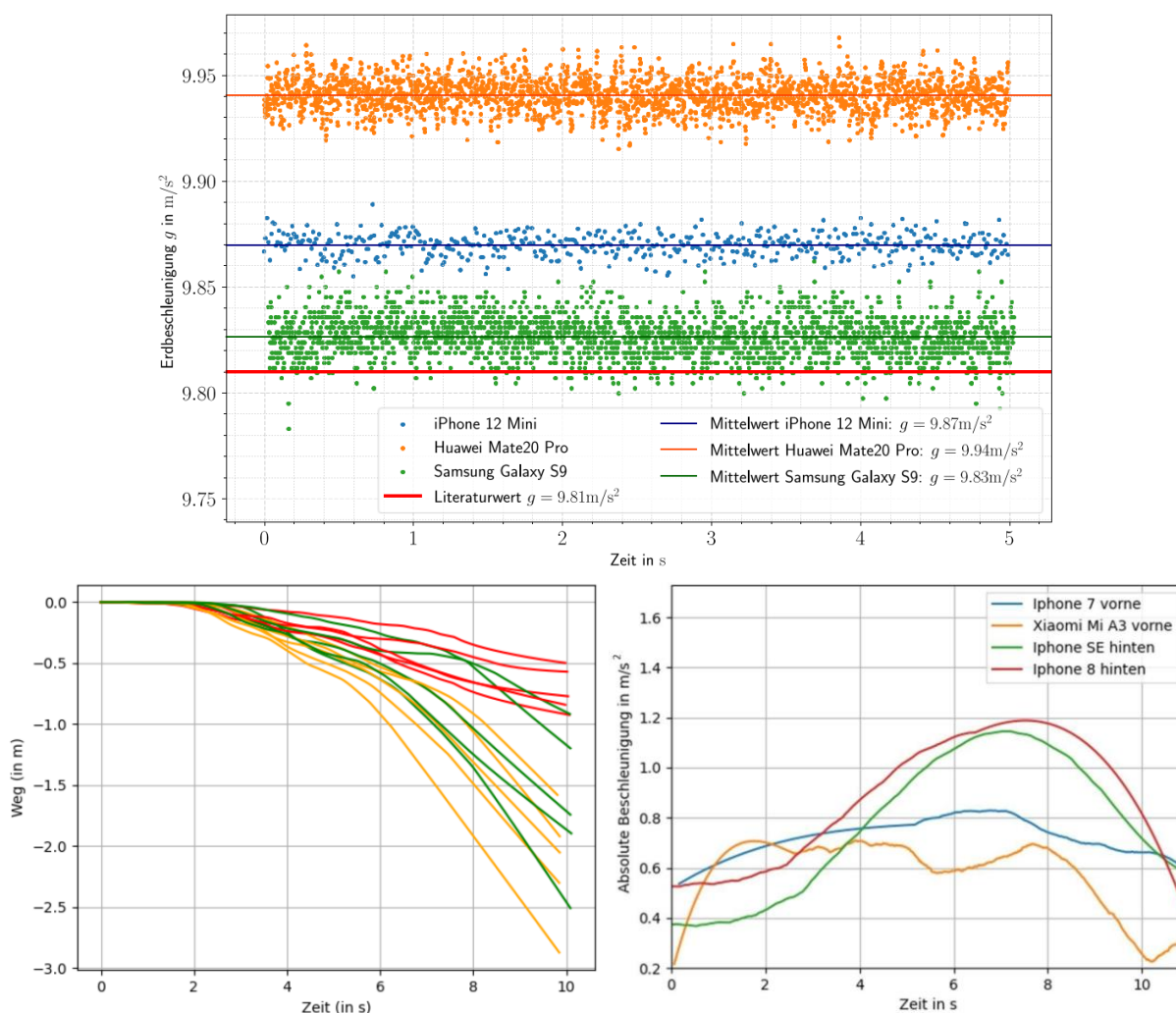


Abb.2: Auszüge aus den auf den Postern präsentierten Ergebnissen dreier Projektgruppen, die Aufgabe C (Analyse von Smartphone-Sensoren) bearbeiteten. Gruppe 1 (oben) hat die Messgenauigkeit, sowohl statistisch als auch systematisch, sowie die Auflösung von drei verschiedenen Smartphones gegenübergestellt. Gruppe 2 (unten links) hat in fünf Messwiederholungen untersucht, inwieweit aus den Beschleunigungsdaten der Smartphones dreier Hersteller (rot, grün, gelb) die zurückgelegte Wegstrecke rekonstruiert werden kann, wenn die Unterlage unter dem Smartphone mithilfe eines Seils 1 m weit gezogen wird. Gruppe 3 (unten rechts) hat gemessen, inwieweit bei einer Kurvenfahrt in einem Gelenkbus die Beschleunigung in den hinteren Sitzreihen höher als in den vorderen ist und inwieweit die Messwerte bei unterschiedlichen Smartphones variieren.

Studierenden auf das Paper von Monteiro et al. (2020) verwiesen, das als Ausgangspunkt für die Analyse der Messunsicherheiten der Smartphone-Sensoren dient. Weitere Literaturhinweise beziehen sich z. B. auf das Buch von Kuhn und Vogt (2019) als Inspirationsquelle für die Entwicklung der eigenen kleinen Smartphone-Experimente. Vertiefungsmöglichkeiten beziehen sich auf den Vergleich der Messunsicherheiten der Beschleunigungssensoren in verschiedenen Messbereichen, der Präzision/Akkuratheit weiterer Smartphone-Sensoren oder verschiedener Methoden der statistischen Datenauswertung.

4. Fazit und Ausblick

In diesem Beitrag wurde anhand eines Theorierahmens zu Designprinzipien von Experimentieraufgaben die Entwicklung von sechs Aufgaben für URPs beschrieben. Diese richteten sich an Physikstudierende der Studieneingangsphase und sollten neben der Vertiefung und Vernetzung von Fachinhalten und dem ersten Durchlaufen des physikalischen Erkenntnisprozesses vor allem selbstreguliertes Lernen, Neugier, Interesse, und soziale Eingebundenheit fördern. Die Aufgaben erfordern die eigenständige Datenaufnahme, Auswertung und Ergebnispräsentation auf Postern. Smartphones dienen der flexiblen Messdatenerfassung außerhalb universitärer Labore. Alle Aufgabendokumente haben die gleiche Struktur mit Motivation, Arbeitsauftrag, Lernzielen, Leitfragen und Literaturhinweisen, weisen einen hohen Offenheitsgrad auf und sind als Open Educational Resources verfügbar (<https://doi.org/10.57961/49zrw490>). Die Implementation am Standort Göttingen im Wintersemester 2022/23 erfolgte in einem Zeitraum von gut zwei Monaten flankiert durch diverse Unterstützungsangebote. Die Evaluation der Aufgaben und deren Implementation erfolgt perspektivisch anhand der Lernprodukte (39 wissenschaftliche Poster und 110 Beantwortungen der Reflexionsfragen), und der Antworten aus sechs Online-Fragebögen (ein Teil der verwendeten Items und Beispieldaten finden sich bei Lahme et al. (2023b)) zu verschiedenen Zeitpunkten während der Projektarbeit mit jeweils 19 bis 125 Teilnehmenden. So können „lessons learned“ für die Entwicklung und Implementation vergleichbarer Innovationen in die Hochschullehre formuliert werden. Eine Schnellauswertung von Freitextantworten zeigt, dass den Studierenden das freie, kreative Arbeiten, die Smartphone-Nutzung zur Erkundung physikalischer Alltagsphänomene sowie die Kleingruppenarbeit gefiel. Sie empfanden die Aufgabendokumente als verständlich. Die Projektarbeit ging jedoch auch mit einem hohen Anspruch und Aufwand einher.

5. Literatur

Ahmad, Z. & Al-Thani, N. J. (2022). Undergraduate Research Experience Models: A systematic review of the literature from 2011 to 2021. *International Journal of Educational Research*, 114, Artikel 101996. <https://doi.org/10.1016/j.ijer.2022.101996>

- Barro, S., Beguin, C., Brouzet, D., Charosky, L., Darmendrail, L. & Müller, A. (2023). *Smartphone experiments in Undergraduate Research*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2305.07483>
- 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>
- Becker, S., Klein, P., Gößling, A. & Kuhn, J. (2020). Using mobile devices to enhance inquiry-based learning processes. *Learning and Instruction*, 69, Artikel 101350. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2020.101350>
- Hochberg, K. (2016). *iMechanics: Smartphones als Experimentiermittel im Physikunterricht der Sekundarstufe II. Wirkung auf Lernerfolg, Motivation und Neugier in der Mechanik*. Dissertation, Technische Universität Kaiserslautern. https://kluedo.ub.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), Artikel 010129. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.13.010129>
- Hütz, S., Kühlen, S., Stampfer, C. & Heinke, H. (2017). Entwicklung und Evaluation modularer Vorlesungseinheiten mit Smartphone-Einsatz. *PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG Frühjahrstagung Dresden 2017*, 241–245. <http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/795/940>
- Karelina, A. & Etkina, E. (2007). Acting like a physicist: Student approach study to experimental design. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 3(2), Artikel 020106. <https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.3.020106>
- Kaps, A. & Stallmach, F. (2022). Development and didactic analysis of smartphone-based experimental exercises for the smart physics lab. *Physics Education*, 57(4), Artikel 45038. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/ac68c0>
- Klein, P. (2016). *Konzeption und Untersuchung videobasierter Aufgaben im Rahmen vorlesungsbegleitender Übungen zur Experimentalphysik (Mechanik)*. Dissertation, Technische Universität Kaiserslautern. <https://www.uni-goettingen.de/de/document/download/8f76f0f86ffc48a34292baaaddbaead8.pdf/Dissertation%20KLEIN%20Pascal.pdf>
- 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>

- Kuhn, J. & Vogt, P. (2019). *Physik ganz smart: Die Gesetze der Welt mit dem Smartphone entdecken*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-59266-3>
- Lahme, S. Z., Cirkel, J. O., Hahn, L., Klein, P., Langendorf, R. & Schneider, S. (2022a). Belastungstrajektorie in der Studieneingangsphase Physik. *PhyDid B - Beiträge zur Frühjahrstagung - virtuell 2022*, 57–64. <https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phydid-b/article/view/1249/1504>
- Lahme, S. Z., Klein, P., Lehtinen, A., Müller, A., Pirinen, P., Sušac, A. & Tomrlin, B. (2022b). *DiGiPhysLab: Digital Physics Laboratory Work for Distance Learning*. *PhyDid B – Didaktik der Physik – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung virtuell 2022*, 383–390. <https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phydid-b/article/view/1250/1503>
- Lahme, S. Z., Klein, P., Lehtinen, A., Müller, A., Pirinen, P., Rončević, L., & Sušac, A. (2023a). *Physics lab courses under digital transformation: A trilateral survey among university lab instructors about the role of new digital technologies and learning objectives*. Preprint auf arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2305.08515>
- Lahme, S. Z., Klein, P., Lehtinen, A., Müller, A., Pirinen, P., Rončević, L., & Sušac, A. (2023b). Evaluating digital experimental tasks for physics laboratory courses. *PhyDidB - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung Hannover 2023* [in diesem Tagungsband].
- Lahme, S. Z., Müller, A., Klein, P. (2023c). Lehrveranstaltungsverbindende Experimentieraufgaben im Physikstudium. In v. Vorst, H. (Hrsg.), *Lernen, lehren und forschen in einer digital geprägten Welt, Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Aachen 2022*, Band 43, 663–666. https://gdcp-ev.de/wp-content/uploads/securepdfs/2023/05/P020_Lahme.pdf
- Lahme, S. Z., Pirinen, P., Rončević, L., Lehtinen, A., Sušac, A., Müller, A. & Klein, P. (2023d). *A framework for designing experimental tasks in contemporary physics lab courses*. Preprint auf arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2302.14464>
- Mieg, H. A., Ambos, E., Brew, A., Galli, D. & Lehmann, J. (Hrsg.). (2022). *The Cambridge Handbook of Undergraduate Research*. University Press. <https://doi.org/10.1017/9781108869508>
- Monteiro, M. & Martí, A. C. (2022). Resource Letter MDS-1: Mobile devices and sensors for physics teaching. *American Journal of Physics*, 90(5), 328–343. <https://doi.org/10.1119/5.0073317>
- Monteiro, M., Stari, C., Cabeza, C. & Marti, A. C. (2021): Using mobile-device sensors to teach students error analysis. *American Journal of Physics*, 89(5), 477–481. <https://doi.org/10.1119/10.0002906>
- Murtonen, M. & Balloo, K. (Hrsg.). (2019). *Redefining Scientific Thinking for Higher Education: Higher-Order Thinking, Evidence-Based Reasoning and Research Skills*. Palgrave Macmillan. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-24215-2>
- Oliver, K. A., Werth, A. & Lewandowski, H. J. (2023). Student experiences with authentic research in a remote, introductory course-based undergraduate research experience in physics. *Physical Review Physics Education Research*, 19(1), Artikel 10124. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.19.010124>
- Rehfeldt, D. (2017). *Erfassung der Lehrqualität naturwissenschaftlicher Experimentalpraktika*. Logos.
- Ruiz-Primo, M. A., Briggs, D., Iverson, H., Talbot, R. & Shepard, L. A. (2011). Impact of undergraduate science course innovations on learning. *Science*, 331(6022), 1269–1270. <https://doi.org/10.1126/science.1198976>
- Russell, S. H., Hancock, M. P. & McCullough, J. (2007). Benefits of undergraduate research experiences. *Science*, 316(5824), 548–549. <https://doi.org/10.1126/science.1140384>
- Staacks, S., Dorsel, D., Hütz, S., Stallmach, F., Splith, T., Heinke, H. & Stampfer, C. (2022). Collaborative smartphone experiments for large audiences with phyphox. *European Journal of Physics*, 43(5), Artikel 055702. <https://doi.org/10.1088/1361-6404/ac7830>
- Teichmann, E., Lewandowski, H. J. & Alemanni, M. (2022). Investigating students' views of experimental physics in German laboratory classes. *Physical Review Physics Education Research*, 18(1), Artikel 010135. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.18.010135>
- Walsh, C., Quinn, K. N., Wieman, C. & Holmes, N. G. (2019). Quantifying critical thinking: Development and validation of the physics lab inventory of critical thinking. *Physical Review Physics Education Research*, 15(1), Artikel 010135. <https://doi.org/10.1103/physrevphyseducres.15.010135>
- Welzel, M., Haller, K., Bandiera, M., Hammelev, D., Koumaras, P., Niedderer, H., Paulsen, A., Robinault, K. & Aufschnaiter, 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.

Funding

Das Niedersächsische Ministerium für Wissenschaft und Kultur förderte dieses Projekt in der Linie „Innovative Lehr- und Lernkonzepte: InnovationPlus“.

Author contributions¹

Matthias Fipp: Conceptualization (supporting), Resources (supporting). Pascal Klein: Conceptualization (supporting), Funding acquisition, Supervision (equal), Writing – Review & Editing (equal). Simon Z. Lahme: Conceptualization (lead), Resources (lead), Visualization, Writing – Original Draft Preparation; Writing – Review & Editing (equal). Andreas Müller: Supervision (equal), Writing – Review & Editing (equal).

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

Open Educational Resources für den Hochschulbereich

- Anschauliche Vektoranalysis für die Studieneingangsphase -

Larissa Hahn*, Simon Alvar Blau*, Patrick Höhn[^], Nina Merkert⁺, Pascal Klein*

*Georg-August-Universität Göttingen, Physik und ihre Didaktik, Friedrich-Hund-Platz 1, 37077 Göttingen,

[^]Georg-August-Universität Göttingen, Institut für Informatik, Goldschmidtstraße 7, 37077 Göttingen,

⁺Technische Universität Clausthal, Abteilung Computational Material Sciences/Engineering, Arnold-Sommerfeld-Straße 6, 38678 Clausthal-Zellerfeld

larissa.hahn@uni-goettingen.de

Kurzfassung

In der Vektoranalysis werden Konzepte der Vektorrechnung und der höherdimensionalen Analysis verknüpft, um die physikalisch-technische Welt mathematisch zu beschreiben. Damit stellt sie einen zentralen Bestandteil universitärer Lehre in der Studieneingangsphase physikalisch-technischer Studiengänge dar; den Studienanfänger:innen bereitet die Vektoranalysis jedoch nachweislich Schwierigkeiten. Vor diesem Hintergrund wurden im Rahmen der niedersächsischen Förderlinie „Förderung von OER an Niedersächsischen Hochschulen“ als Kooperation zwischen der Physikdidaktik der Universität Göttingen, der Abteilung Computational Material Sciences/Engineering der TU Clausthal und dem Simulationswissenschaftlichen Zentrum Clausthal-Göttingen innovative Lehr-/Lernmaterialien zu verschiedenen Konzepten der Vektoranalysis entwickelt. Dies umfasst die Konzeption digital-gestützter Lernumgebungen sowie wissenschaftsnaher Anwendungsbeispiele unter Berücksichtigung vielseitiger didaktischer Ansätze, wie multiplen Repräsentationen, Zeichenaktivitäten, Simulationen und eye movement modelling examples (EMME). In fünf Lernmodulen werden diese als flexibel einsetzbare Open Educational Resources (OER) auf der Plattform ‚twillo‘ für Studierende und Lehrende physikalisch-technischer Studiengänge bereitgestellt.

1. Einleitung

Im Zuge der Open Education Bewegung, welche eine Öffnung der Bildung für breite Bevölkerungsschichten zum Ziel hat, forcieren Politik und Hochschulen zunehmend die Entwicklung von Open Educational Resources (OER; BMBF, 2022). Diese frei verfügbaren Bildungsmaterialien stehen unter offener Lizenz und können uneingeschränkt geteilt und verändert werden (Deutsche UNESCO-Kommission, 2020). So besteht die Möglichkeit, die OER an spezifische Lehr- und Lernkontexte anzupassen und kollaborativ weiterzuentwickeln. Die Entwicklung von OER bietet sich für alle Themen und Inhalte an, die hochschulübergreifend in universitären Lehrveranstaltungen vermittelt werden.

Die Vektoranalysis ist ein solcher Lerngegenstand in der Studieneingangsphase physikalisch-technischer Studiengänge. Sie verknüpft Konzepte der Vektorrechnung und der höherdimensionalen Analysis, um physikalisch-technische Anwendungen, z. B. in der Elektrodynamik oder Festkörpermechanik, mathematisch zu beschreiben. Aus der immanenten fachlichen Relevanz (für einen Abriss vektoranalytischer Grundlagen siehe Anhang) folgt eine große Bedeutung eines fundierten Verständnisses der Vektoranalysis für physikalisch-technische Studiengänge. So fanden 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 jedoch, dass vor allem die für das physikalische Verständnis relevanten konzeptionellen Hintergründe Studierenden Schwierigkeiten bereiten (Singh & Marries, 2013). Da in der gängigen Praxis häufig formal-abstrakte, mathematische Erklärungsansätze genutzt werden, zeigt sich an dieser Stelle die Notwendigkeit innovativer Lehr-/Lernmaterialien zur Vektoranalysis. Über klassische Lehrmittel hinaus ermöglicht die freie Zugänglichkeit und Modifizierbarkeit solcher Materialien, dass diese sowohl Lehrenden Anhaltspunkte bei der Konzeption universitärer Lehrveranstaltungen liefern, als auch Studierende beim selbstgesteuerten Lernen, z. B. zur Wiederholung und Vertiefung von Vorlesungsinhalten, unterstützen können.

Vor diesem Hintergrund wird der aktuellen Linie zur Open Education folgend in diesem Beitrag die Entwicklung forschungsbasierter, multi-repräsentationaler Open Educational Resources (OER) zur Vektoranalysis vorgestellt, die auf der visuellen Interpretation der vektoriiellen Feldkonzepte beruhen, Zeichenaktivitäten, Simulationen und eye movement modelling examples (EMME) als fachdidaktische Methoden integrieren und aktuelle Anwendungen aus den Ingenieurwissenschaften aufgreifen.

2. Fachdidaktischer Hintergrund

In diesem Abschnitt werden die empirischen und theoretischen Grundlagen für die Entwicklung der OER

diskutiert. Zu diesem Zweck werden zunächst bisherige empirische Ergebnisse zu studentischen Lernschwierigkeiten sowie blickbasiertem Problemlöseverhalten im Umgang mit Vektorfeldern und vektoriellen Feldkonzepten zusammengefasst, um anschließend den Mehrwert multipler Repräsentationen, sowie weiterer didaktischer Methoden, konkret Zeichenaktivitäten, Simulationen und eye movement modelling examples (EMME), zu erläutern.

2.1. Lernschwierigkeiten und Blickverhalten im Umgang mit vektoranalytischen Konzepten

Der Repräsentationswechsel zwischen der graphischen Darstellung von Vektorfeldern als Vektorfelddiagramm und der algebraischen Beschreibung als Formel (Gl. 1 Anhang) bereitet Studierenden zahlreiche Probleme (Bollen et al., 2017). Neben typischen Schwierigkeiten im Umgang mit Vektoren, u. a. bezüglich der Verwendung von Einheitsvektoren beim Skalar- oder Vektorprodukt (Barniol & Zavala, 2014), bereitet Studierenden bei der Konstruktion eines Vektorfelddiagramms anhand eines algebraischen Formelausdrucks vor allem die Vektoraddition Schwierigkeiten (Bollen et al., 2017). Beim umgekehrten Repräsentationswechsel von der graphischen zur algebraischen Form stellt vor allem 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) heraus, dass nur etwa 20% der Studienteilnehmenden bei der Frage nach einer Interpretation von „ $\vec{\nabla} \cdot \vec{F}$ “ und „ $\vec{\nabla} \times \vec{F}$ “ konzeptionell antworteten, die Mehrheit gab einen algebraischen Ausdruck an. 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, z. B. 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, und sowohl Divergenz als auch Rotation werden als globale Eigenschaften eines Feldes aufgefasst (Baily et al., 2016; Bollen et al., 2018). Singh und Maries (2013)

summierten 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 zahlreiche Lernschwierigkeiten, die sich vor allem auf die Vektorkomponentenzerlegung und das Konzept der Kovariation zwischen Feldkomponenten und Koordinaten in den partiellen Ableitungen beziehen. So zeigte sich beispielsweise, dass Studierende die Änderung eines Vektorpfeils mit seinem Wert verwechselten (Pepper et al., 2012). 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 physikalisch-technischen Anwendung in den Ingenieurwissenschaften zumeist als Summe infinitesimaler Änderungen interpretiert werden. Hier fanden Pepper et al. (2012), dass Studierenden sowohl die Berechnung als auch die Interpretation dieser Integrale als Summe infinitesimaler Änderungen Probleme bereitete. Verschiedene Studien in physikalisch-technischen Kontexten gingen über die Untersuchung von mathematischen Problemlöseszenarien der Vektoranalysis hinaus. Sie zeigten, dass konzeptionelle Lücken bezüglich vektoranalytischer Inhalte zu einem unsachgemäßen Verständnis und Fehlern bei der Anwendung essentieller Prinzipien in physikalisch-technischen Anwendungsbereichen führen, 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).

Die beschriebenen Schwierigkeiten bezüglich des Repräsentationswechsels vom Vektorfelddiagramm zur Formel sowie der Interpretation vektorieller Feldkonzepte anhand von Vektorfelddiagrammen konnten durch Analysen der Blickdaten von Studierenden mittels Eye-Tracking validiert werden (Hahn & Klein 2023a; 2023b; Klein et al., 2018; 2019; 2021). Diese ermöglichten außerdem die Identifikation und Charakterisierung zielführender visueller Verhaltensweisen und Prozeduren im Umgang mit dem Diagramm. So zeigten Studierende, die Vektorfelddiagramm und Formel korrekt zuordneten oder die Divergenz eines Vektorfeldes korrekt bestimmten, ein charakteristisches Blickverhalten auf dem Vektorfelddiagramm. Dieses spiegelt exekutive Handlungen der Wahrnehmung wider und kann mit der zeilen- und spaltenweisen Evaluation der Feldkomponenten entlang der kartesischen Koordinatenrichtungen assoziiert werden (Hahn & Klein, 2023a; 2023b; Klein et al., 2018; 2019; 2021).

2.2. Multiple Repräsentationen, Zeichenaktivitäten, Simulationen und eye movement modelling examples als fachdidaktische Methoden

Ein Überblick von Smith (2014) über verschiedene physikalische Lehrbücher verdeutlicht, dass die

Divergenz und der Integralsatz von Gauß in einführenden Texten zur Physik in der Regel als mathematischer Ausdruck gegeben allerdings nicht oder nur unzureichend qualitativ erläutert werden. 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 zu studentischen Lernschwierigkeiten und blickbasiertem Problemlöseverhalten im Kontext von Vektorfeldern empfehlen zahlreiche Autor:innen daher gezielte Interventionen, die einen visuellen Umgang mit Vektorfelddiagrammen und die Kovariation von Komponenten und Koordinaten adressieren und fokussieren. Dies unterstützt den grundsätzlichen didaktischen Konsens zum Einsatz multipler visueller Repräsentationen, deren Verwendung mit dem Wissenserwerb in Verbindung steht und denen positive Auswirkungen auf die kognitiven Prozesse von Lernenden zugeschrieben werden (Niemi et al., 2012; Rau, 2017). Dafür bedarf es jedoch entsprechender Repräsentationskompetenzen, die auf einem Verständnis davon beruhen, wie einzelne Repräsentationen Informationen darstellen und wie sie miteinander in Verbindung stehen (Ainsworth, 2006).

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. 2 Anhang) und zum anderen auf die integrale Repräsentation über den Fluss durch eine Randfläche im Sinne des Gauß'schen Integralsatzes (Gl. 4 Anhang) beziehen. In einer experimentellen Folgestudie wurde die Instruktion der differentiellen Strategie zusätzlich durch Hinweise zur Komponentenerlegung unterstützt und anschließend auf die Rotation eines Vektorfeldes übertragen (Klein et al., 2019; Gl. 3 Anhang). 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 Komponentenerlegung (Klein et al., 2018), weshalb zwei experimentelle Folgestudien Zeichenaktivitäten zur Unterstützung der visuellen Interpretation der Divergenz involvierten (Hahn & Klein, 2021; 2022a; 2023a). 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, 2022a; 2023a). Auf Basis dieser Ergebnisse wurden multi-repräsentationale Lernaufgaben zur Vektoranalyse, d. h. zu Divergenz, Rotation, den Integralsätzen von Gauß und Stokes, entwickelt (Hahn & Klein, 2022b) und in Übungen

eines Kurses zum Elektromagnetismus im zweiten Studiensemester implementiert (Hahn & Klein, 2023c).

Neben der Unterstützung instruktionsbasierten Lernens durch Zeichenaktivitäten zeigten mehrere 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). Dies unterstützt die Forderung von Bollen et al. (2016) nach modernen, digital-gestützten Unterrichtsszenarien, da der traditionelle Unterricht nicht ausreicht, um ein vollständiges Verständnis von Differentialoperatoren zu ermöglichen. Ein zudem im Zusammenhang mit multi-repräsentationalen Instruktionen häufig thematisierter Ansatz sind eye movement modelling examples (EMME), bei denen die visuelle Vorgehensweise anhand der Blickbewegungen eines:iner Experten:in veranschaulicht und somit gezielt gelenkt wird (Jarodzka et al. 2013). Ergebnisse einer Wirksamkeitsstudie von Jarodzka et al. (2013) zeigten ein zielgerichtetes visuelles Verhalten sowie eine verbesserte Interpretation relevanter Informationen infolge einer EMME-Intervention. Aufgrund der visuell-räumlichen Anforderungen des Lerngegenstandes eignet sich insbesondere der Kontext der Vektoranalyse für eine solche Intervention (Hahn & Klein, 2023b; Klein et al., 2021).

3. Praktische Anwendungen von Vektorfeldern

In den Ingenieurwissenschaften gibt es viele Bereiche, in denen Skalar- und Vektorfelder eine bedeutende Rolle spielen. Im Folgenden werden exemplarische Anwendungen der Vektoranalyse in verschiedenen praktischen Gebieten vorgestellt und auf bestehende Simulationen und Programme verwiesen.

3.1. Elektromagnetismus

In der modernen Technik gibt es viele Anwendungsbeispiele des Elektromagnetismus, von denen einige auf Vektorfelder zurückgreifen. Typische Beispiele hierfür sind der lineare Teilchenbeschleuniger nach Widerøe, der Elektro-Staubabscheider und der elektrische Generator, die auch in den OER aufgegriffen werden (siehe Kap. 4.2.2). Weitere Anwendungen des Elektromagnetismus sind Partikelfilter in Raumsonden und in magnetisch-induktiven Durchflusssensoren. Grundlage aller Anwendungen sind dabei die Maxwell'schen Gleichungen, die die wesentlichen Zusammenhänge und Eigenschaften elektrischer und magnetischer Felder zusammenfassen. Zu deren Bestimmung existieren einige kommerzielle und Open Source Simulationsprogramme. Implementierungen der Methode finden sich in den kommerziellen Programmen ANSYS Maxwell und COMSOL

Multiphysics bzw. im Open Source Code FEMM (Benkel et al., 2020). Letzteres wird in den hier behandelten Modulen zum Nachvollziehen ausgewählter Beispiele genutzt (<https://www.femm.info/wiki/Examples>).

3.2. Strömungsmechanik

Die Strömungsmechanik als Teilbereich der Mechanik beschäftigt sich mit dem Verhalten von Fluiden. Mathematisch lässt sich das Strömungsverhalten mit der Boltzmann'schen Transportgleichung beschreiben, die mit der Lattice-Boltzmann-Methode numerisch gelöst werden kann. In Situationen mit einer kleinen freien Weglänge kann die Gleichung in die Navier-Stokes-Gleichungen aus der Kontinuumsmechanik überführt werden. Dazu werden die mathematischen Grundlagen wie Vektorfelder, Divergenz und Rotation, die Operatoren Nabla und Laplace sowie der Satz von Gauß benötigt (z. B. für das Reynolds-Transporttheorem). Aufgrund der verteilten Charakteristik der betrachteten Variablen werden diese als Skalar- und Vektorfelder behandelt. Zu deren Bestimmung existiert eine Vielzahl kommerzieller und Open Source Simulationsprogramme. Unter den kommerziellen Programmen sind vor allem ANSYS Fluent, ANSYS CFX, COMSOL und STAR-CCM+ verbreitet. Im Open Source Umfeld wird vor allem OpenFOAM verwendet (Alobaid et al., 2022). Für einfache anschauliche Simulationen im Rahmen von OER kann auch die 2D-Software Energy2d von Charles Xie (2012) verwendet werden.

3.3. Festkörpermechanik

Ein weiteres wichtiges Anwendungsgebiet von Skalar- und Vektorfeldern ist die Mechanik von Festkörpern. Diese kann in Statik, Festigkeitslehre und Dynamik unterteilt werden. Im Rahmen der erstellten OER-Materialien wird auf mechanische Spannungen in der Festigkeitslehre, Dynamik und das Gravitationsfeld eingegangen. Mechanische Spannungen und Verformungen sind zentrale Größen zur Auslegung von Maschinenelementen im Maschinenbau. Da Kräfte durch Intensitäten und Richtungen charakterisiert werden, ist das Verständnis der Vektorrechnung für die Technische Mechanik relevant. Im Allgemeinen werden die verschiedenen Spannungen im Spannungstensor zusammengefasst. In der Ingenieurspraxis werden mechanische Probleme mithilfe der Finiten Elemente Methode (FEM) gelöst. Bekannte Implementierungen dieser Methode sind die kommerziellen Programme ANSYS, Abacus, NASTRAN und die Open Source Programme Elmer FEM, FEMM, CalculiX und FreeFEM (Goubej et al., 2021). Ein nicht-digitales Äquivalent ist die Spannungsoptik, die es ermöglicht, Spannungen in Bauteilen direkt sichtbar zu machen.

3.4. Populationsdynamik

Die Dynamik von miteinander interagierenden Populationen ist ein einfaches Beispiel für nicht-lineare gekoppelte Differentialgleichungen. Die Lotka-Volterra-

Gleichungen bestehen aus zwei Differentialgleichungen erster Ordnung für ein System von zwei konkurrierenden Spezies. Dabei kann eine Spezies als Räuber und die andere als Beute betrachtet werden. Entsprechend ist das Modell auch als Räuber-Beute-Modell bekannt. Darüber hinaus sind allerdings auch komplexere Modelle mit mehr als zwei Spezies und einer detaillierten Betrachtung der beteiligten Spezies möglich. Ein Beispiel hierfür ist die Bibliothek `population.js` des Concord-Consortiums (Horwitz et al., 2013). Im Rahmen der in Abschnitt 4.2.3 vorgestellten Simulation wird ein vereinfachtes Modell verwendet, das auf den Lotka-Volterra-Gleichungen

$$\begin{aligned}\frac{dN_1}{dt} &= N_1(\varepsilon_1 - \gamma_1 N_2) \\ \frac{dN_2}{dt} &= -N_2(\varepsilon_2 - \gamma_2 N_1)\end{aligned}$$

basiert. Die rechte Seite der Differentialgleichungen kann als Vektorfeld betrachtet werden; ihre Lösungen sind Kurven, deren Tangentenvektor in jedem Punkt dem vom Vektorfeld vorgegebenen Vektor entspricht.

4. Open Educational Resources: Materialentwicklung und ausgewählte Beispiele

Auf Grundlage bisheriger empirischer Ergebnisse zu studentischen Schwierigkeiten und Strategien, vor dem Hintergrund der vorgestellten fachdidaktischen Ansätze und unter Verwendung bereits vorhandener Materialien und Simulationsprogramme werden im Folgenden die Entwicklung und Struktur der OER erläutert. Ausgewählte Aufgaben und Materialien werden anschließend exemplarisch vorgestellt. Alle OER befinden sich in der Sammlung „Vektoranalysis in Physik und Technik“ auf dem ‚twillio‘-Portal (<https://www.twillio.de/education/sharing/components/collections?id=92d9de67-67c4-4272-a443-0ec33eec34a7&viewType=1>). Sie sind in editierbarem Format hinterlegt und zu den Simulationen und Web-Anwendungen ist der Quellcode für individuelle Anpassungen einsehbar.

4.1. Materialentwicklung

Die entwickelten OER sind in fünf Module gegliedert, deren Inhalte sukzessive aufeinander aufbauen. Im ersten Modul wird in die Historie von Vektorfeldern eingeführt. Das zweite Modul thematisiert verschiedene Repräsentationsformen von Vektorfeldern, vor allem als Vektorfelddiagramm, sowie den Wechsel zwischen den Formen. Im dritten Modul werden die differentiellen Definitionen von Divergenz und Rotation behandelt. Hierbei wird die Kovariation von Komponenten und Koordinaten fokussiert, indem vor den eigentlichen Feldkonzepten zunächst partielle Ableitungen thematisiert werden. Das nachfolgende Modul adressiert die integrale Definition der Feldkonzepte. Hier werden zunächst Weg- und Oberflächenintegrale behandelt, um anschließend differentiale und integrale Herangehensweisen in den Integralsätzen von Gauß und Stokes zu verbinden. Im letzten Modul wird das erworbene Wissen auf praktische

Beispiele aus den Ingenieurwissenschaften angewendet.

Die multi-repräsentationalen OER basieren im Wesentlichen auf den beschriebenen Vorarbeiten und entwickelten Lehr-/Lernmaterialien zur Vektoranalysis, insbesondere der Divergenz (Hahn & Klein, 2022b; 2023a). Diese wurden überarbeitet, durch Erklärungen, EMME, Kurzvideos, Konzeptfragen, (rechenbasierte) Übungsaufgaben und Simulationen ergänzt und als OER aufbereitet. Innerhalb der einzelnen Module greifen dabei viele verschiedene fachdidaktische Methoden und Ansätze ineinander mit dem Ziel, vielseitige Zugänge zur Vektoranalysis zu ermöglichen. Dabei bilden das dritte und vierte Modul den Kern der Lerneinheit, indem sie eine visuelle Interpretation von Divergenz und Rotation mithilfe der spalten- und zeilenweisen Evaluation der Feldkomponenten sowie von Weg- und Oberflächenintegralen anhand zweidimensionaler Vektorfelddiagramme instruieren. Diese wird durch entsprechende Zeichenaktivitäten unterstützt, wie z. B. das Einzeichnen der Feldkomponenten oder die Skizzierung der Projektion von Feldkomponenten auf die Normalen an eine Testfläche. Der ergänzende Einsatz von Simulationen, EMME und Videos dient einer Visualisierung der Prozeduren und Beziehungen zwischen verschiedenen Teilkonzepten, z. B. der Verbindung von differentieller und integraler Definition in den Integralsätzen. Die Verknüpfung digitaler Tools mit weiteren Methoden erfolgt hierbei z. B. durch Abzeichnen aus der Simulation, oder indem Ergebnisse mithilfe der Simulation überprüft werden. Darüber hinaus enthalten die Module Konzeptfragen und Übungsaufgaben zur Vertiefung und Routinisierung des Gelernten. Das fünfte Modul integriert abschließend eine Anwendung auf konkrete Beispiele aus den Ingenieurwissenschaften anhand bereits bestehender sowie zusätzlich entwickelter Simulationen und WebApps.

4.2. Ausgewählte Beispiele

Digital-gestützte Visualisierungen sind ein wesentlicher Bestandteil der entwickelten OER. In diesem Abschnitt werden daher drei entwickelte Simulationen und ihre Integration in die entsprechenden Module kurz vorgestellt.

4.2.1. Vektorfeld-Simulation v3ctor

Zur Visualisierung der zentralen vektoranalytischen Konzepte der OER, d.h. Feldkomponentenzerlegung, partielle Ableitungen, Weg- und Oberflächenintegrale, involvieren das zweite, dritte und vierte Modul verschiedene Features der Vektorfeld-Simulation v3ctor (Abb.1). Mit Blick auf die vorgestellten theoretischen Hintergründe greift die Simulation empirische Erkenntnisse über die Schwierigkeiten von Lernenden im Kontext der Vektoranalysis auf und nutzt interaktive und dynamische Features zur Unterstützung der visuellen Interpretation der vektoriiellen Feldkonzepte und Integralsätze. Konkret visualisiert die Simulation zweidimensionale Vektorfelder und ihre Feldkomponentenzerlegung, unterstützt eine

punktweise Auswertung von Divergenz und Rotation und ermöglicht das Einzeichnen von Rechtecken zur Bestimmung von Weg- und Oberflächenintegralen (Abb.1). Die Integration von v3ctor in die beschriebenen Module erfolgt dabei anhand konkreter Arbeitsaufträge, beispielsweise auf folgende Weise:

Betrachten Sie das Vektorfeld $\vec{C}(x, y)$ mit $\vec{C}(x, y) = xy\hat{e}_x + \hat{e}_y$. Beurteilen Sie für jeden der vier Quadranten, wie sich die Feldkomponenten der Vektoren entlang der x - bzw. y -Richtung verändern und schließen Sie daraus, ob die Divergenz innerhalb der Quadranten jeweils positiv, negativ oder Null ist. Überprüfen und begründen Sie Ihr Ergebnis mithilfe einer Rechnung. [Drittes Modul zur Divergenz und Rotation]

Nutzen Sie die Simulation, um den Fluss von $\vec{C}(x, y)$ durch den Rand eines Quadrates der Kantenlänge 1 zu bestimmen. Zeigen Sie rechnerisch, dass der Wert mit der linken Seite des Satzes von Gauß übereinstimmt. [Viertes Modul zum Satz von Gauß und Stokes]

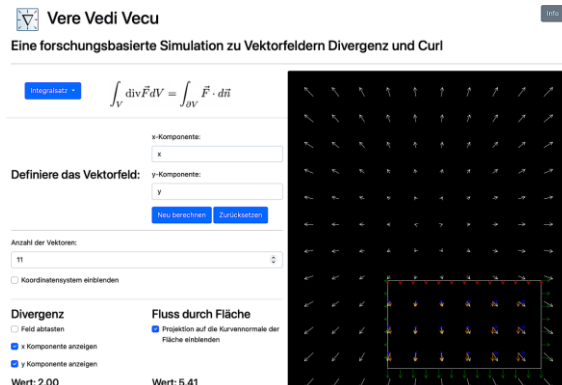


Abb.1: Benutzeroberfläche der Simulation v3ctor (<https://www.user.gwdg.de/physik.didaktik/v3ctor.html>).

4.2.2. Generator-Simulation

Wie bereits beschrieben, spielen Vektorfelder in der Elektrotechnik eine wichtige Rolle. Im Rahmen des vierten Moduls wird dieses Anwendungsfeld anhand des Beispiels eines Generators mit einer interaktiven Generator-WebApp (Abb.2) thematisiert. Die Simulation visualisiert die Induktion in einem Generator in Abhängigkeit von der Feldstärke des Magnetfelds, der Drehzahl des Rotors und des Lastwiderstands. Die Benutzeroberfläche erlaubt eine Anpassung der relevanten Größen, wobei der zeitliche Verlauf von Spannung und Stromstärke im nebenstehenden Diagramm dargestellt wird. Für fortgeschrittene Lernende kann auch auf das Rotor-Motion-Tutorial von FEMM verwiesen werden, das detailliertere numerischen Berechnungen erlaubt (<https://www.femm.info/wiki/RotorMotion>).

Eine exemplarische Aufgabenstellung im Modul lautet:

Wiederholen Sie die physikalischen Grundlagen des Elektromagnetismus und der Induktion. Berechnen Sie die zeitlichen Verläufe der Spannung

und Stromstärke von Hand für die unten genannten Werte und skizzieren Sie die berechneten Spannungs- und Stromstärkeverläufe:

- Feldstärke: 0.1 mT, 2 mT
- RPM: 0, 20, 100
- Lastwiderstand: 1 k Ω , 10 k Ω

Machen Sie sich mit der Generator-WebApp vertraut und testen Sie alle Features. Verändern Sie nun Feldstärke, Drehzahl und Lastwiderstand in der Simulation und beobachten Sie den Einfluss auf Spannung und Stromstärke. Erläutern Sie anhand einer geeigneten Skizze der Rotation im Magnetfeld die Verläufe von Spannung und Stromstärke.

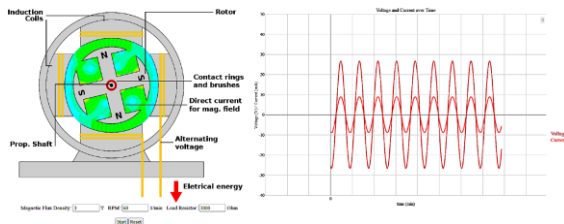


Abb.2: Benutzeroberfläche der Generator-WebApp (<https://oer.simzentrum.de/generator.html>). Modifiziert nach <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Generator.svg> (Creativ Commons CC0).

4.2.3. Populationsdynamik-Simulation

Die Anwendung von Vektorfeldern in der Populationsdynamik wird mithilfe einer Populationsdynamik-WebApp visualisiert (<https://oer.simzentrum.de/rabbit-evolution.html>), die numerische Lösungen der Lotka-Volterra-Gleichungen für zwei konkurrierende Spezies veranschaulicht. Dabei wird zum einen die voneinander abhängige Veränderung der beiden Spezies (linkes Diagramm) und zum anderen die sich zeitlich verändernde Population beider Spezies in Abhängigkeit der Zeit (rechtes Diagramm) graphisch dargestellt. Je nach gewählten Anfangswerten (initiale Populationsgrößen, Fressrate, Fortpflanzungsraten und Sterberate) können dabei geschlossene Verläufe um veränderliche Fixpunkte beobachtet werden.

Durch gezielte Manipulation der verschiedenen Einflussgrößen in der Populationsdynamik-WebApp kann deren Einfluss auf die Populationsentwicklung systematisch untersucht werden. Ein entsprechender Arbeitsauftrag im Modul lautet beispielsweise:

Wiederholen Sie die Grundlagen der Lotka-Volterra-Gleichungen. Machen Sie sich anschließend mit der Populationsdynamik-WebApp vertraut und testen Sie alle Features. Verändern Sie die verschiedenen Einflussgrößen ausgehend von den voreingestellten Werten und beobachten Sie ihren Einfluss auf die angezeigten Graphen. Diese stellen neben dem eigentlichen Verlauf das dem Verlauf zugrundeliegende Vektorfeld dar. Leiten Sie aus der Simulation Regeln für die zeitlichen Mittelwerte und die zeitliche Veränderung der Populationsgrößen ab.

5. Fazit und Ausblick

Die entwickelten OER werden bereits in universitären Lehrveranstaltungen zur numerischen Strömungsmechanik (TU Clausthal) und zum Elektromagnetismus (Universität Göttingen) eingesetzt. Darüber hinaus werden diese kontinuierlich erweitert, optimiert und ihre Wirksamkeit, z. B. bezüglich des Mehrwerts von eye movement modelling examples für den Lernkontext der Vektoranalysis, in empirischen (Implementations-)Studien untersucht. Alle Überarbeitungen und Ergebnisse fließen in die OER ein, deren aktuelle Version jederzeit auf dem ‚twillo‘-Portal frei zur Verfügung steht, geteilt und verändert werden kann.

6. Literatur

- 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>
- Alobaid, Falah; Almohammed, Naser; Farid, Mas-soud M.; May, Jan; Rößger, Philip; Richter, Andreas; Epple, Bernd (2022): Progress in CFD simulations of fluidized beds for chemical and energy process engineering. In: *Progress in Energy and Combustion Science*, 91, 100930, <https://doi.org/10.1016/j.peccs.2021.100930>
- 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>
- Benkel, Tara; Lao, Mayraluna; Liu, Yingzhen; Pardo, Enric; Wolfstädter, Simon; Reis, Thomas; Grilli, Francesco (2020): T-A-formulation to model electrical machines with HTS coated conductor coils. In: *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, 30(6), 1-7, <https://doi.org/10.1109/TASC.2020.2968950>

- BMBF (Hrsg.) (2022): OER-Strategie. Freie Bildungsmaterialien für die Entwicklung digitaler Bildung. URL: https://www.bmbf.de/SharedDocs/Publikationen/de/bmbf/3/691288_OER-Strategie.pdf?__blob=publicationFile&v=4
- 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 (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; 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>
- Deutsche UNESCO-Kommission (Hrsg.) (2020): Open Science – Perspektiven aus Deutschland auf die Erarbeitung der geplanten Empfehlung der UNESCO. URL: https://www.unesco.de/sites/default/files/2020-06/Open_Science_Perspektiven_aus_Deutschland_auf_UNESCO-Empfehlung_2020.pdf
- 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>
- Goubej, Martin; Königsmarková, Jana; Kampinga, Ronald; Nieuwenkamp, Jakko; Paquay, Stéphane (2021): Employing finite element analysis and robust control concepts in mechatronic system design-flexible manipulator case study. In: *Applied Sciences*, 11(8), 3689, <https://doi.org/10.3390/app11083689>
- 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 (2022a): 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
- Hahn, Larissa; Klein, Pascal (2022b): Vektorielle Feldkonzepte verstehen durch Zeichnen? Erste Wirksamkeitsuntersuchungen. In: *PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung, 1*, S. 119-126, URL: <https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phydid-b/article/view/1259/1485>
- Hahn, Larissa; Klein, Pascal (2023a): Analysis of eye movements to study drawing in the context of vector fields. In: *Frontiers in Education*, 8, 1162281, <https://doi.org/10.3389/feduc.2023.1162281>
- Hahn, Larissa; Klein, Pascal (in Druck): Clustering eye-movement data uncovers students' strategies for coordinating equations and diagrams of vector fields. Accepted in: *Educational Studies in Mathematics*, doi: 10.1007/s10649-023-10243-y
- Hahn, Larissa; Klein, Pascal (2023c): The impact of multiple representations on students' understanding of vector field concepts: Implementation of simulations and sketching activities into lecture-based recitations in undergraduate physics. In: *Frontiers in Psychology*, 13, 1012787, <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.1012787>
- Horwitz, Paul; McIntyre, Cynthia A.; Lord, Trudilene L.; O'Dwyer, Laura M.; Staudt, Carolyn (2013): Teaching 'evolution readiness' to fourth graders. In: *Evolution: Education and Outreach*, 6, 1-12, <https://doi.org/10.1186/1936-6434-6-21>
- Jarodzka, Halszka; Van Gog, Tamara; Dorr, Michael; Scheiter, Katharina; Gerjets, Peter (2013): Learning to see: Guiding students' attention via a model's eye movements fosters learning. In: *Learning and Instruction*, 25, 62-70, <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2012.11.004>
- Jung, Kyesam; Lee, Gyounggho (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; 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>
- 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; 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>
- 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>
- 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>
- 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>
- Xie, Charles (2012): Interactive heat transfer simulations for everyone. In: *The Physics Teacher*, 50(4), 237-240, <https://doi.org/10.1119/1.3694080>

Anhang

Ebene Vektorfelder im \mathbb{R}^2 werden typischerweise algebraisch durch die Komponentenzersetzung

$$\vec{v}(x, y, z = 0) = v_x(x, y)\hat{e}_x + v_y(x, y)\hat{e}_y \quad \{1\}$$

(x -Komponente v_x , y -Komponente v_y , kartesische Einheitsvektoren \hat{e}_x und \hat{e}_y) oder graphisch mithilfe von Pfeilen, dargestellt, welche Richtung und Betrag des Feldes in jedem Punkt repräsentieren. Für die physikalisch-technische Anwendung sind besonders die Eigenschaften des Feldes relevant. So gibt die Divergenz eines ebenen Vektorfeldes $\vec{v}(x, y, z = 0)$

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

in ihrer differentiellen Definition über die partiellen Ableitungen $\partial/\partial x$ und $\partial/\partial y$ Aufschluss über die Quellen und Senken von \vec{v} und seine Rotation

$$\operatorname{rot} \vec{v} = \vec{\nabla} \times \vec{v} = \left(\frac{\partial}{\partial x} v_y - \frac{\partial}{\partial y} v_x \right) \hat{e}_z \quad \{3\}$$

indiziert seine Wirbelstärke. In ihrer Anwendung werden häufig die integralen Definitionen der vektoriellen Feldkonzepte verwendet, die sich aus den Integralsätzen von Gauß,

$$\int_V \operatorname{div} \vec{v} dV = \oint_{\partial V} \vec{v} \cdot d\vec{n} \quad \{4\}$$

(für ein Volumen V mit der Oberfläche ∂V , dem Volumenelement dV und dem Flächendifferential $d\vec{n}$), und Stokes,

$$\int_A \operatorname{rot} \vec{v} \cdot d\vec{n} = \oint_{\partial A} \vec{v} \cdot d\vec{l} \quad \{5\}$$

(für eine Fläche A mit der Randkurve ∂A , dem Flächendifferential $d\vec{n}$ und dem vektoriellen Wegelement $d\vec{l}$), ergeben. Der Gauß'sche Integralsatz stellt hierbei eine Relation zwischen der Divergenz eines Vektorfeldes und dem Fluss durch eine Randfläche her, während der Stokes'sche Integralsatz die Rotation eines Vektorfeldes mit der Zirkulation entlang einer Randkurve verbindet. Diese Sätze und die daraus resultierenden Zusammenhänge fassen die wesentlichen Eigenschaften von Vektorfeldern zusammen.

Programmieren zur Lösungseingabe in Selbsttests

Dominik Giel

Hochschule Offenburg, Badstraße 24, 77652 Offenburg
dominik.giel@hs-offenburg.de

Kurzfassung

Selbsttests in Lernmanagementsystemen (LMS) ermöglichen es Studierenden, den eigenen Lernfortschritt einzuschätzen. Im Gegensatz zur Einreichung und Korrektur vollständig ausformulierter Aufgabenlösungen nutzen LMS überwiegend die Eingabe der Lösung im Antwort-Auswahl-Verfahren (Single-Choice). Nach didaktischen Ansatz „Physik durch Informatik“ geben die Lernenden stattdessen ihre Aufgabenlösungen in einer Programmiersprache ins LMS ein, was eine automatisierte Rückmeldung erleichtert und das Erreichen einer höheren Kompetenzstufe fördert. Es wurden zehn LMS-Selbsttests erstellt, bei denen die Lösungen zu einer Lehrbuch-Aufgabenstellung jeweils durch Eingabe in einer Programmiersprache und von einer Kontrollgruppe im Antwort-Auswahl-Verfahren abgefragt wurden. Ergebnisse aus dem ersten Einsatz dieser Selbsttests für die Lehrveranstaltung Physik im Studiengang Biotechnologie werden vorgestellt.

1. Zielsetzung

In der Studieneingangsphase ist die Physikvorlesung Teil der meisten Ingenieurstudiengänge. Die angehenden Ingenieure erwerben in der Physikvorlesung die Kompetenz zur Nutzung mathematischer Modelle für die Darstellung technischer Vorgänge. Dies geschieht in der Regel anhand einfacher Beispiele aus Mechanik, Wärmelehre und Elektrizitätslehre. Die Aufgabenstellungen umfassen zum Beispiel überlagerte Bewegungen (Schiefer Wurf), Kräftezerlegungen (Schiefe Ebene) und einfache Drehbewegungen (Starrer Rotator). Diese Themen bereiten vertiefende Vorlesungen wie technische Mechanik, Thermodynamik und Strömungslehre vor, indem sie die Anwendung mathematischer Methoden (Gleichungssysteme, Differenzialgleichungen, Extremwertprobleme und Fehlerfortpflanzung) anhand einfacher Beispiele erläutern. Aus Studierendensicht legt diese Fokussierung auf wenige, einfache Modelle das Auswendiglernen von Lösungsformeln nahe, was aus didaktischer Sicht nicht das erwünschte Lernziel ist. Konventionelle Lernmanagement-Systeme (LMS) verstärken mit Selbsttests im Antwort-Auswahl-Verfahren den studentischen Eindruck, das Ziel der Physikvorlesung bestehe in der korrekten Auswahl einer von fünf Antwortmöglichkeiten. Lassen sich Selbsttest in LMS so gestalten, dass sie eine Rückmeldung über das Erreichen eines Lernziels [1] über die unterste Stufe des „Erinnerns“ hinaus liefern?

2. Didaktisches Konzept

Um mit einem Selbsttest das Erreichen von Lernzielen oberhalb des „Erinnerns“ zu überprüfen, wurde im Rahmen des Projektes die Lösungseingabe einer konventionellen Übungsaufgabe modifiziert. Nach dem hier verwendeten didaktischen Konzept „Physik durch Informatik“ [2] müssen die

Studierenden die Lösung zu Übungsaufgaben in Form eines Quelltextes in der Programmiersprache Octave [3] formulieren, statt Zahlenwerte einzugeben oder eine Antwort auszuwählen. Ausgehend von konventionellen Übungsaufgaben, die häufig zur Berechnung einer physikalischen Größe auffordern („Bestimmen Sie die Eindringtiefe!“) wird die Aufgabenstellung zur Beschreibung einer Funktionsimplementierung umformuliert, („Implementieren Sie die Funktion *eindringtiefe*!“), die als Lösung eingereicht werden muss. Um die eingereichten Lösungen im LMS automatisiert zu bewerten, wird das Plug-in „CodeRunner“ [4] eingesetzt. Der von den Studierenden eingereichte Quellcode wird vom Plug-in anhand von mehreren vordefinierter Testfällen („test cases“) überprüft.

Test	Erwartet	Erhalten
✘ disp(eindringtiefe(500,6))	3750	500.062 ✘
✘ disp(eindringtiefe(500,12))	1875	500.122 ✘
✘ disp(eindringtiefe(300,6))	1350	300.062 ✘
✘ disp(eindringtiefe(300,0.6))	13500	300.008 ✘
✘ disp(eindringtiefe(50,6))	37.5	50.0618 ✘

Einige verborgene Testfälle sind ebenfalls fehlgeschlagen.
Ihr Code muss alle Tests bestehen, um eine Bewertung zu erhalten. Versuchen Sie es noch einmal.

Unterschiede anzeigen

Abb.1: Beispiel einer (negativen) Rückmeldung zu einer Abgabe im Selbsttest

Die Testfälle bestehen aus Parametern zum Funktionsaufruf zusammen mit dem erwarteten Ergebnis. Der Quellcode einer Einreichung wird dann als korrekt akzeptiert, sofern er bei allen vorgesehenen Testfällen das erwartete Resultat liefert, das durch eine Musterlösung bestimmt wird.

Um zu verhindern, dass eine Einreichung ausschließlich bei den Testfällen die erwartete Lösung liefert, ist es dabei optional möglich, einzelne Testfälle vor den Studierenden zu verbergen. Zur Rückmeldung erhalten die Studierenden die Gegenüberstellung zwischen den Testfall-Ergebnissen der Musterlösung und ihrer eigenen Lösung (Abb. 1), ohne dass der Quellcode der Musterlösung angezeigt wird.

3. Pilotversuch

Das didaktische Konzept wurde in einer Physikvorlesung des ersten Semesters der beiden Bachelor-Studiengänge Biotechnologie und Umwelttechnologie im Wintersemester 2022/23 an der Hochschule Offenburg erprobt. Zusätzlich zu den zwölf Übungsblättern wurde den Teilnehmern der Vorlesung die Nutzung der wöchentlichen Selbsttests auf der LMS zur Klausurvorbereitung empfohlen. Die Studierenden wurden bei der Einschreibung in den Moodle-Kurs zufällig in zwei Gruppen A und B eingeteilt. Nach einer einführenden Aufgabe zur Nutzung der Programmier-Selbsttests, die beide Gruppen zu Übungsblatt 1 angeboten wurden, erhielten Gruppe A und B jeweils abwechselnd Selbsttests im Antwort-Auswahl-Format (Übungsblätter 2,4,6,8,10 für Gruppe A, Übungsblätter 3,5,7,9 für Gruppe B) und Programmier-Aufgaben nach dem didaktischen Konzept "Physik durch Informatik" (Übungsblätter 3,5,7,9 für Übungsgruppe A, Übungsblätter 2,4,6,8,10 für Übungsgruppe B). Die Selbsttests basierten auf Aufgabenstellungen des Arbeitsbuches zum Tipler/Mosca [3]. Das Werk wurde den Studierenden auch zur Klausurvorbereitung empfohlen. N=19 (Gruppe A) bzw. N=17 (Gruppe B) der Teilnehmenden an der Abschlussklausur Physik nahm das Angebot der freiwilligen Selbsttests mindestens einmal wahr. Bei der Abschlussklausur erreichten die beide Teilgruppen A und B ähnlich hohe Durchschnitts-Punktezahlen (48 ± 18 Punkte bzw. 48 ± 20 Punkte).

4. Ergebnisse

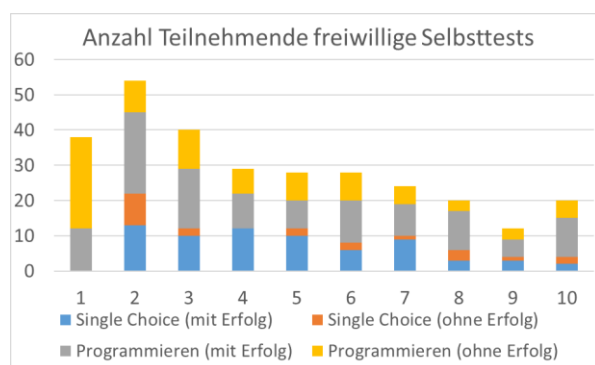


Abb.2: Teilnehmerzahlen an den freiwilligen Selbsttests

Der zeitliche Verlauf der Teilnehmendenzahlen ist in Abb.2 wiedergegeben. Am zweiten Selbsttest zu

Übungsblatt 2 nahm die maximale Teilnehmendenzahl (54) erreicht, davon wurden 23 als Programmierübungen (Gruppe B) und 13 Single-Choice-Aufgaben mit ähnlicher Fragestellung eingereicht. Im weiteren Semesterverlauf nahm die Teilnehmendenzahl stetig ab und erreichte beim Selbsttest zu Übungsblatt 9 mit 12 Teilnehmenden ein Minimum. Im Mittel nahmen 19 ± 8 Teilnehmende an den Programmier-Selbsttests und etwa gleich viele (15 ± 7) an den Single-Choice-Selbsttests teil. Im Mittel wurden (75 ± 14)% der Single-Choice und (64 ± 6)% der Programmier-Aufgaben erfolgreich bearbeitet (Abb.3).

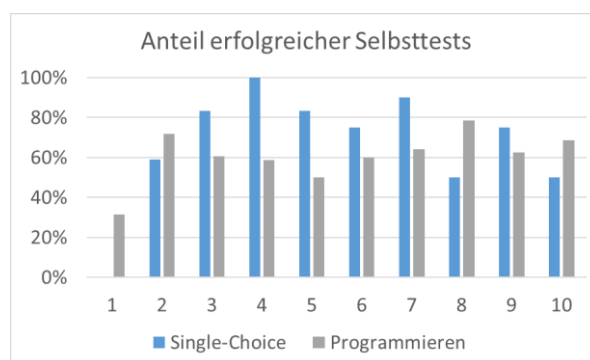


Abb.3: Anteile erfolgreicher Selbsttests (Single-Choice und Programmieren)

Zum Semesterende die Aufgabentypen im "paper-and-pen" Format evaluiert. Die Vorlesungsteilnehmer sollten dabei ihren Grad der Übereinstimmung zu jeweils 9 Aussagen zu den jeweiligen Aufgabentypen "Single-Choice" bzw. "Programmieraufgabe" angeben. Die Aussagen lauteten:

1. Manche Aufgaben vom Typ X habe ich nicht verstanden. (S1 und P1)
2. Die Aufgaben vom Typ X fand ich zu schwer. (S2 und P2)
3. Die Aufgaben vom Typ X fand ich interessant. (S3 und P3)
4. Ich hätte mir mehr Abwechslung in der Aufgabenstellung bei den Aufgaben vom Typ X gewünscht. (S4 und P4)
5. Die Aufgaben vom Typ X fand ich langweilig. (S5 und P5)
6. Der Aufgabentyp X war hilfreich für die Klausurvorbereitung. (S6 und P6)
7. Der Aufgabentyp X war hilfreich für die ein besseres Verständnis der Inhalte. (S7 und P7)
8. Der Aufgabentyp X war hilfreich für die Wiederholung des Stoffs. (S8 und P8)

9. Der Aufgabentyp X war für die Selbsteinschätzung des eigenen Wissens hilfreich. (S9 und P9)

Die Antwortmöglichkeiten und ihre Verteilung ist in Abb.4 (Aussagen 1 bis 5) und Abb.5 (Aussagen 6 bis 9) dargestellt.

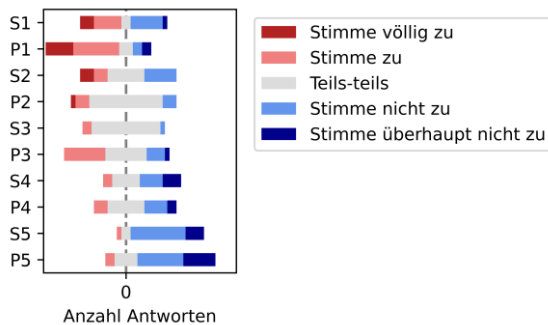


Abb.4: Verteilung der Antworten zu Aussagen S1 bis S5 zu den Single-Choice Aussagen und P1 bis P5 zu den Programmieraufgaben.

Bei den Aussagen S1 bis S5 bzw. P1 bis P6 wurden die Teilnehmer nach ihrer Einschätzung bezüglich Verständlichkeit, Schwierigkeitsgrad und Interessantheit bzw. Langeweils und Abwechslungsgrad gefragt. Hier ergibt sich die deutlichste Abweichung bei der Verständlichkeit (S1 bzw. P1): Die Aufgabenstellungen der Programmieraufgabe wurden schlechter verstanden als die Single-Choice-Aufgaben. Ansonsten liefern Programmieraufgaben und Single-Choice-Aufgaben ähnliche Werte.

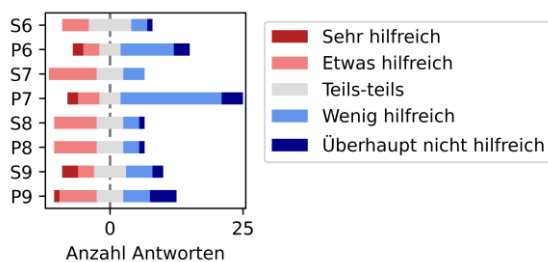


Abb. 5: Verteilung der Antworten zu Aussagen S6 bis S6 zu den Single-Choice Aussagen und P6 bis P6 zu den Programmieraufgaben.

Bei den Fragen S6 bis S9 bzw. P6 bis P9 wurden die Studierenden um ihre Einschätzung bezüglich des Nutzens („war hilfreich für“) der Aufgabentypen hinsichtlich Klausurvorbereitung, Verständnis, Wiederholung und Selbsteinschätzung gebeten. Den deutlichsten Unterschied ergibt sich bei den Fragen S7/P6, bei denen die Programmieraufgaben

überwiegend als wenig hilfreich zum besseren Verständnis des Stoffes eingestuft wurden.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Selbsttests, bei denen die Studierenden die Lösung physikalischer Aufgaben in Form eines Programmcodes eingeben müssen, werden von den Studierenden ähnlich genutzt und eingeschätzt wie vergleichbare Single-Choice-Aufgabenstellungen. Bei identischen Aufgaben schätzen die Studierenden Programmieraufgaben als schwerer verständlich ein als Fragestellungen im Antwort-Auswahl-Verfahren und als weniger hilfreicher bei der Erlangung eines besseren Verständnisses.

Die unterschiedliche Einschätzung könnte daher rühren, dass -anders als im Antwort-Auswahl-Verfahren- das Lösen der Aufgabe durch reines „Erinnern“ offensichtlich unmöglich ist, also tatsächlich eine höheres Lernziel erreicht werden muss. Um das Verständnis der Aufgabenstellung zu erleichtern, sollten daher Single-Choice-Aufgaben ergänzend eingesetzt werden, um Programmieraufgaben vorzubereiten. Im direkten Vergleich zu Single-Choice-Aufgaben erscheinen Programmieraufgaben den Teilnehmern weniger hilfreich. Indem Teile der korrekten Lösung oder auch ergänzende Kommentare zur Erläuterung in das Antwortfeld voreingetragen werden, lässt sich der Aufbau des Verständnisses gezielt unterstützen. Die Teilnehmenden erarbeiten so nur kurze Passagen der Lösung wie bei einem Lückentext, um Verständnisproblemen der Studierenden zu begegnen.

6. Literatur

- [1] Volk B. (2020) Ordnung von Lernzielen – Ordnung des Wissens. Die Bedeutung der Taxonomie von Bloom für die Wissenschaftlichkeit und Praxis der Hochschuldidaktik. In: Tremp P., Eugster B. (eds) *Klassiker der Hochschuldidaktik. Doing Higher Education*. Springer
- [2] Giel, D., (2022). Physik durch Informatik. In: Henning, P. A., Striwe, M. & Wölfel, M. (Hrsg.), 20. Fachtagung Bildungstechnologien (DELFI). Bonn: Gesellschaft für Informatik e.V.. (S. 215-216). <https://dx.doi.org/10.18420/delfi2022-038>
- [3] Eaton, J.W. Bateman, D., Hauberg, S., and Wehbring, R. (2022). GNU Octave version 7.3.0 manual: a high-level interactive language for numerical computations. <https://www.gnu.org/software/octave/>
- [4] Lobb, R. and Harlow, J., (2016). Coderunner: A tool for assessing computer programming skills. *ACM Inroads*, 7(1), pp.47-51.

- [5] Mills, D. and Zillgitt, M. eds., 2005.
Arbeitsbuch zu Tipler-Mosca Physik für
Wissenschaftler und Ingenieure. Elsevier-
Spektrum Akademischer Verlag.

Danksagung

Diese Arbeit wurde durch die Schwerpunktprofessur
Lehrinnovation gefördert (HaW-PROAKtif FKZ
03FHP127). Ich danke Frau Daniela Schlemmer für
ihre Hilfe bei der Konzeption und Auswertung der
Fragebögen.

Triangulation von Verbal- und Blickdaten:

Eine Eye-Tracking-Studie

Julia Hofmann*, Larissa Hahn*, Katarina Jelacic+, Ana Sušac+, Pascal Klein*

*Georg-August-Universität Göttingen, Physik und ihre Didaktik, Friedrich-Hund-Platz 1, 37077 Göttingen,

+Universität Zagreb, Horvatovac 102a, 10000 Zagreb

julia.hofmann01@stud.uni-goettingen.de

Kurzfassung

Eye-Tracking erlangt in der physikdidaktischen Forschung immer mehr Bedeutung, da durch diese Methode Rückschlüsse auf kognitive Prozesse von Lernenden möglich sind. Studien weisen darauf hin, dass eine detaillierte Interpretation von Blickdaten jedoch nur mit weiteren qualitativen Datenquellen möglich ist. In der vorliegenden Eye-Tracking-Studie wurden 16 Studierende des ersten Semesters aufgefordert, während des Problemlösens auf drei unterschiedliche Arten ihren Bearbeitungsprozess zu verbalisieren. Im Retrospective Thinking Aloud (RTA) beschrieben sie ihren Bearbeitungsprozess, nachdem die Aufgabe gelöst wurde. Im Cued Retrospective Thinking Aloud (cRTA) erhielten die Studierenden ein Video ihrer eigenen Blickdaten, anhand dessen der Bearbeitungsprozess beschrieben werden sollte. Im Concurrent Thinking Aloud (CTA) sprachen sie ihre Gedanken während des Lösens der Aufgabe laut aus. Das Forschungsinteresse lag darin, zu untersuchen, welchen Einfluss die Triangulation von Blick- und Verbaldaten durch RTA, cRTA und CTA auf die kognitive Belastung, das Blickverhalten und den Informationsgehalt der Erklärungen hat. Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass die kognitive Belastung beim CTA im Vergleich zum RTA und cRTA tendenziell am höchsten wahrgenommen wurde. Im Informationsgehalt der Erklärungen lassen sich signifikante Unterschiede offenlegen: Während beim cRTA besonders deskriptive Äußerungen zu Handlungsschritten im Problemlöseprozess geäußert wurden, konnten sich beim CTA und RTA vor allem Äußerungen zu physikalischen Interpretationen abbilden lassen.

1. Einleitung

Das Auge nimmt im Alltag ständig visuelle Reize wahr. Ob durch Werbeplakate am Straßenrand, Zeitungsmedien, Film oder Fernsehen - das Auge spielt eine wichtige Rolle bei der Aufnahme von Informationen. Es ist zudem Vermittler zwischen einem visuellen Stimulus und dessen kognitiver Verarbeitung in spezifischen Arealen des Gehirns (Blake, 2013). Zusätzlich werden durch das Sehorgan Informationen selektiert und die Aufmerksamkeit gelenkt.

Kurzum: Das Auge ist an höchst komplexen und zentralen Wahrnehmungs- und Verarbeitungsprozessen von visuellen Reizen beteiligt. Da es die Schnittstelle zwischen visuellem Reiz und kognitiver Verarbeitung ist, bieten auch die Blickbewegungen eines Menschen potenziell Einblicke in Denkprozesse. Die Methode des Eye-Trackings nutzt nahinfrarote Strahlung, um die Augenbewegung eines Menschen zu detektieren und diese hochaufgelöst aufzuzeichnen (Rakoczi, 2012).

Viele Wissenschaftsdomänen bedienen sich bereits der Blickdatenerfassung mittels Eye-Tracking. In Bereichen wie Usability Testings (Rakoczi, 2009), Marketing (Wedel & Pieters, 2017) aber auch den Sprachwissenschaften (Kruger & Steyn, 2014) wurden durch Eye-Tracking vielversprechende Ergebnisse erzielt, die Einblicke in die Verarbeitung bestimmter Stimuli zulassen. Die Methode wird

zudem immer populärer, um Lernprozesse von SchülerInnen oder Studierenden im Allgemeinen zu erforschen. Es zeigt sich, dass auch in der physikdidaktischen Forschung Eye-Tracking zunehmend mehr Aufmerksamkeit über die letzten Jahre erlangte (Hahn & Klein, 2022). Dabei stehen meist Problemlöseprozesse im Forschungsfokus und der thematische Schwerpunkt variiert von der Elektrizitätslehre (Rosengrant, Thomson & Mzoughi 2009) über Mechanik (Hejnova & Kekule, 2018) hin zum allgemeinen Verständnis von Graphen (Brückner et al., 2020). So vielversprechend die Methode zu sein scheint, darf nicht vernachlässigt werden, dass durch Blickdaten mentale Prozesse nie gänzlich aufgeklärt werden können. Zahlreiche Eye-Tracking-Studien weisen darauf hin, dass für eine detailliertere Interpretation der Daten zusätzliches Datenmaterial - zum Beispiel in Form von Verbaldaten - notwendig wäre (Hahn & Klein, 2022).

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurde diese Forschungslücke adressiert. Es wurde eine Eye-Tracking-Studie durchgeführt, die auf die Verknüpfung von Blick- und Verbaldaten abzielt. Die Studienteilnehmenden sollten während bzw. nach der Bearbeitung einer Aufgabe ihre eigenen Denkprozesse verbalisieren. Es wurden gezielt drei Methoden der Verbaldatenaufnahme evaluiert, die in der Forschung vielfach Anwendung finden: Dabei handelt es sich um das Retrospective, Cued Retrospective und Concurrent Thinking Aloud. Ziel

der Studie war es zu erforschen, welchen Einfluss die Triangulation von Blick- und Verbaldaten durch ebendiese Aufnahmemethoden auf die kognitive Belastung, das Blickverhalten und den Informationsgehalt der Erklärungen während des Problemlöseprozesses hat.

2. Wissenschaftlicher Hintergrund

2.1. Eye-Tracking

Die Blickbewegungen eines Menschen können Einblicke in das komplexe Zusammenspiel von Auge und kognitiven Prozessen und damit auch in zugrundeliegende Denk- oder Verarbeitungsprozesse geben (Airey & Eriksson, 2019; Karnath & Thier, 2012; Rakoczi, 2012). Heutzutage bieten computergestützte Eye-Tracking-Systeme die Möglichkeit, mit einer hohen Auflösung Blickbewegungen präzise durch nahinfrarote Strahlung zu erfassen (Blake, 2013).

Charakteristisch für das menschliche Auge sind stakkartoartige Bewegungen (Rakoczi, 2012). Diese lassen sich in zwei zentrale Bestandteile aufteilen: Fixationen und Sakkaden (Krauzlis, Goffart & Hafeld, 2017). Eine Fixation beschreibt einen nahezu stillen Zustand des Auges, bei dem ein Punkt oder ein Objekt über einen gewissen Zeitraum (ca. 0.3 s) betrachtet wird. Sehr schnelle und ruckartige Bewegungen des Auges zwischen aufeinanderfolgenden Fixationen werden Sakkaden genannt. Durch diese wird ein neues ursprünglich peripheres Objekt in den Fokus der Aufmerksamkeit gebracht.

In vielen Wissenschaftsdomänen, wie auch der Physikdidaktik, wird bereits mittels Eye-Tracking geforscht. Häufig zielten die Studien darauf ab, Problemlösestrategien offenzulegen oder auch eine Abhängigkeit von Leistung und Expertise einer Person zu untersuchen (Rosengrant, Thomson & Mzoughi 2009). Auch das Verständnis von physikspezifischen Diagrammen steht in einigen Studien im Forschungsfokus (Brückner et al., 2020; Sušac et al., 2019).

Eye-Tracking stellt eine vielversprechende Methode dar, die in der Physikdidaktik immer mehr Bedeutung erlangt. Jedoch können dadurch nicht alle kognitiven Prozesse gänzlich aufgeklärt werden (Rakoczi, 2012). Viele Studien weisen darauf hin, dass durch zusätzliches Datenmaterial verlässlichere Aussagen über Denkprozesse getroffen werden könnten (Brückner et al., 2020; Klein et al., 2021; Smith, Mestre & Ross, 2010; Sušac et al., 2019). Zur Generierung von unterstützenden Daten bieten sich bspw. schriftliche oder auch verbalisierte Erklärungen an (Hahn & Klein, 2022).

2.2. Verbaldatenmethoden

Eine Möglichkeit ergänzendes Datenmaterial zu generieren, bieten Verbalisierungen. Ericsson und Simon (1980) stellten das Concurrent Thinking Aloud (CTA) und das Retrospective Thinking Aloud (RTA) vor. Im CTA werden die eigenen Gedanken

gleichzeitig zu einer Tätigkeit verbalisiert. Im Gegensatz dazu werden beim RTA Gedanken vergangener Handlungen wiedergegeben. Durch die Kombination mit Eye-Tracking ergibt sich eine weitere Methode, die an das RTA angelehnt ist: Cued Retrospective Thinking Aloud (cRTA). Hier soll retrospektiv zu einem Video der eigenen Blickdaten berichtet werden.

Zahlreiche Studien haben sich bereits der Methode des CTA bedient und einige Einblicke in Problemlöseprozesse und -strategien sowie Lernhürden erlangen können (van den Haak, De Jong & Schellens, 2003; Van Someren, Barnard & Sandberg, 1994). Vernachlässigt werden sollte jedoch nicht, dass durch die gleichzeitige Verbalisierung der eigenen Gedanken eine weitere nicht zu vernachlässigende Aufgabe hinzukommt, die den Problemlöseprozess bspw. in Bezug auf die Leistung und Bearbeitungsdauer sowohl positiv als auch negativ beeinflussen könnte (Hoc & Leplat, 1983; van den Haak, De Jong & Schellens, 2003). Eine mögliche zusätzlich hinzukommende kognitive und somit lernhinderliche Belastung sollte auch nicht vernachlässigt werden (Park, Korbach & Brünken, 2020).

Das retrospektive Berichten beim RTA konnte in zahlreichen Studien bislang auch einige interessante Aufschlüsse über mentale Denkprozesse und Problemlösestrategien liefern (Van Gog et al., 2005; Camps, 2003). Ein Vorteil gegenüber dem CTA stellt hierbei insbesondere der uneingeschränkt ablaufende vorangegangene Bearbeitungsprozess dar (van den Haak, De Jong & Schellens, 2003). Dennoch muss beim RTA die zeitliche Entkopplung von Bearbeitungsprozess und Beschreibung der Gedankenschritte beachtet werden, da so unvollständige oder nicht wahrheitsgetreue Informationen wiedergegeben werden könnten (Ericsson & Simon, 1980).

Die Verbindung vom Blickdaten mit dem retrospektiven Berichten im cRTA erfuhr bislang wenig Anwendung (Van Gog et al., 2005). Das zusätzliche Bereitstellen des Blickdatenvideos könnte jedoch die Erinnerung an den Bearbeitungsprozess stützen und verlässlichere Erklärungen im Vergleich zum RTA generieren.

Die drei Methoden RTA, cRTA und CTA lassen vielversprechende Einblicke in Problemlöseprozesse zu. Durch eine systematische Evaluation der drei Methoden könnte sich ein konsistentes Bild des Informationsgehalts der drei Verbaldatenmethoden im Vergleich zeichnen.

2.3. (Fach-)Didaktische Perspektive

2.3.1. Problemlöseprozessmodell

Problemlöseumgebungen sind besonders dafür geeignet kognitive Prozesse zu untersuchen, weswegen sie Forschungsgegenstand vieler Studien sind. Das Problemlöseprozessmodell von Pölya stellt ein grundlegendes Modell dar, um

Problemlöseprozesse in vier Phasen zu charakterisieren (Heinrich, Bruder & Bauer, 2015): Verstehen des Problems, Ausdenken eines Plans, Ausführung des Plans und eine Rückschau. Durch diese vier sehr fundamentalen Phasen kann das Modell durchaus auch in der Physikdidaktik Problemlöseumgebungen beschreiben (Brandenburger, 2016).

2.3.2. Repräsentationsformen und Problemlöseumgebungen

Effektives Lernen und die nachhaltige Konstruktion von Wissen wird nach WissenschaftlerInnen unterstützt, wenn Repräsentationsformen eingesetzt werden (Ainsworth, 1999). In Problemlöseumgebungen können durch sog. multiple Repräsentationen besonders kognitive Prozesse unterstützt und ein tieferes Verständnis fachspezifischer Inhalte gefördert werden (Bollen et al., 2017).

Aus dem Bereich der Astrophysik ist das Hertzsprung-Russell-Diagramm (HRD) als Repräsentationsform von zentraler Bedeutung (Hanslmeier, 2020), um bspw. Sterne in Bezug auf vier zentrale Größen (absolute Magnitude, Leuchtkraft, Temperatur, Spektralklasse) zu charakterisieren. In Bereichen, wie der Elektrizitätslehre (Demtröder, 2004) oder der Strömungsmechanik (Rein, 2020), werden häufig Vektorfelder als Repräsentationsformen genutzt. So lassen sich Phänomene bspw. durch elektrische Felder oder Strömungsfelder beschreiben.

2.4. Forschungsfragen

Die Studienlage weist darauf hin, dass die Methode des Eye-Trackings unbedingt mit einer zusätzlichen qualitativen Datenquelle - wie Verbaldaten - verbunden werden sollte (Hahn & Klein, 2022). Im Rahmen der vorliegenden Studie wurde diese Forschungslücke adressiert und ein systematischer Vergleich von RTA, cRTA und CTA angestrebt. Es ergeben sich dabei die folgenden Forschungsfragen:

Welchen Einfluss hat die Triangulation von Blick- und Verbaldaten durch (a) Concurrent, (b) Retrospective und (c) Cued Retrospective Thinking Aloud auf...

- (FF1) die kognitive Belastung beim Problemlösen?
- (FF2) das Blickverhalten beim Problemlösen?
- (FF3) den Informationsgehalt der Erklärungen?

3. Methoden

3.1. Studiendurchführung

Die Eye-Tracking-Studie wurde zu Beginn des Wintersemesters 2022/23 an der Georg-August-Universität Göttingen durchgeführt. Insgesamt wurden 16 Physikstudierende des ersten Semesters rekrutiert. Davon waren sieben weiblich.

Das Studiendesign ist in Abb. 1 zu sehen. Zunächst wurde das Vorwissen der Teilnehmenden zur Astrophysik und zu Vektorfeldern in einem

Vorwissenstest abgeprüft. Während der Hauptphase der Studie wurden jeweils sechs Aufgaben zum HRD und zu Vektorfeldern bearbeitet. Gleichzeitig wurden hierbei Blickdaten über ein stationäres Eye-Tracking-System (Tobii X2, 120 Hz) erhoben. Die Teilnehmenden wurden außerdem dazu aufgefordert, ihre Gedanken im RTA, cRTA und CTA zu verbalisieren. An die Hauptphase schloss sich ein Fragebogen an, in dem die Teilnehmenden die subjektiv wahrgenommene kognitive Belastung einer jeden Verbaldatenmethode angeben sollten. Dieser Fragebogen wurde in Anlehnung an die Cognitive-Load-Skala von Klepsch, Schmitz und Seufert (2017) erstellt. Jedes der acht Items bestand aus einer Aussage (bspw. Item 3: Ich war bei der Aufgabenbearbeitung geistig stark eingeschränkt.). Jede Aussage sollte von den Teilnehmenden jeweils für RTA, cRTA und CTA eingeschätzt werden.

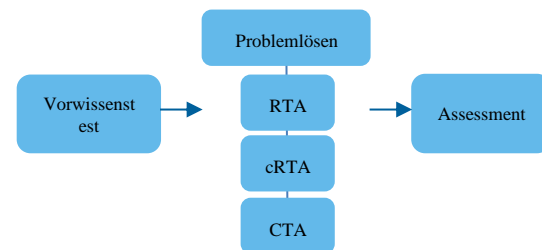


Abb. 1: Studiendesign mit Verbaldatenaufnahme durch Retrospective (RTA), Cued Retrospective (cRTA) und Concurrent Thinking Aloud (CTA). Das anschließende Assessment umfasst die Erhebung der kognitiven Belastung.

3.2. Eye-Tracking-Stimuli

Die Stimuli der Eye-Tracking-Studie bestanden aus zwölf Aufgaben zu zwei unterschiedlichen Kontexten (je sechs Aufgaben). In Abb. 2 und 3 ist jeweils eine Beispielaufgabe zum HRD und zu Vektorfeldern abgebildet. Es wurden jeweils zwei Aufgaben hintereinander unter Zuhilfenahme derselben Verbaldatenmethode bearbeitet. Die Aufgabenreihenfolge blieb gleich, lediglich die Reihenfolge der genutzten Verbaldatenmethoden wurde unter allen Teilnehmenden variiert.

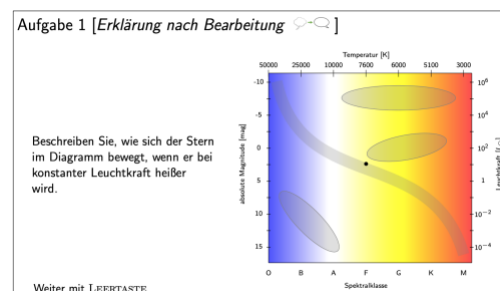


Abb. 2: Beispielaufgabe zum Hertzsprung-Russell-Diagramm.

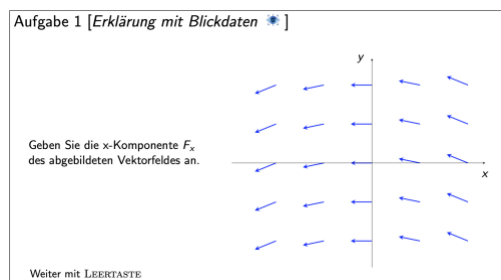


Abb. 3: Beispielaufgabe zu Vektorfeldern.

4. Ausgewählte Ergebnisse

4.1. Kognitive Belastung (FF1)

Die subjektiv wahrgenommene kognitive Belastung wurde anhand eines Fragebogens mit acht Items erhoben ($\alpha = .77$). Auf der zehnstufigen Skala ging 0 mit der niedrigsten und 10 mit der höchsten kognitiven Belastung einher. Die mittlere kognitive Belastung beim RTA betrug 3.72 (SD = 1.29), beim cRTA 3.45 (SD = 1.26) und beim CTA 4.45 (SD = 2.26). Eine Varianzanalyse (analysis of variance; ANOVA) mit Messwiederholung zeigte jedoch, dass kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den drei Methoden vorlag ($F(1.20,17.02) = 1.62$; $p = .22$; $\eta_p^2 = .10$).

4.2. Blickdaten (FF2)

Die Blickdaten wurden für beide Kontexte getrennt voneinander analysiert. Beim HRD standen für eine Aufgabe physikalisch relevante bzw. irrelevante Bereiche zum Lösen einer Aufgabe im Vordergrund. Hierfür wurden sog. Areas of Interest (AOI) analysiert und deren Betrachtungszeit (Total Visit Duration) zwischen den einzelnen Verbaldatenmethoden verglichen. Bei den Aufgaben zu Vektorfeldern wurden die Sakkadenbewegungen analysiert. In beiden Kontexten zeigten sich jedoch keine signifikanten Einflüsse der drei Verbaldatenmethoden auf das Blickverhalten der Teilnehmenden.

4.3. Verbaldaten (FF3)

In den Kodierungsprozess wurde jeweils eine HRD- und eine Vektorfeld-Aufgabe mit einbezogen. Die Kodierung und Kategorienbildung wurden deduktiv durchgeführt. Da Informationen über den Problemlöseprozess und deren Gehalt im Fokus standen, wurde hierzu das Modell von Pölya herangezogen und als Grundlage genutzt. Die vier Kategorien wurden angepasst und während des Prozesses weiter geschärft. Die vier Kategorien waren: Orientierung, Handlungsschritte, Vernetzung und Überprüfung (vgl. Tab. 1).

Für einen relativen Vergleich wurde für jede Person die Anzahl der kodierten Aussagen pro Kategorie pro Aufgabe durch die Gesamtanzahl getroffener Aussagen pro Aufgabe dividiert. Eine anschließende Mittelung über alle Teilnehmenden ergibt die

relativen Häufigkeiten, die eine Vergleichbarkeit zwischen den Studierenden herstellen. In Abb. 4 sind die relativen Häufigkeiten pro Kategorie zu sehen.

Im absoluten Vergleich wurden beim cRTA mehr Aussagen getroffen (Total: 116) als beim CTA (Total: 80) und beim RTA (Total: 68). Eine ANOVA mit Messwiederholung zeigte im relativen Vergleich für die Kategorien Orientierung ($F(2,18) = 4.40$; $p = .03$; $\eta_p^2 = .33$), Handlungsschritte ($F(2,18) = 13.78$; $p < .001$; $\eta_p^2 = .61$) und Überprüfung ($F(2,18) = 15.61$; $p < .001$; $\eta_p^2 = .63$) ein signifikantes Ergebnis.

Tab. 1: Beschreibung der Kategorien.

Kategorie	Beschreibung und Ankerbeispiel
Orientierung	Ablezen von Wörtern/Sätzen vom Bildschirm; Nennen von gesuchten Größen Bsp.: „Und jetzt soll eine Aussage zur Leuchtkraft getroffen werden.“
Handlungsschritte	Verbalisierung von Handlungen der Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft; Beschreibung und Verbalisierung von einzelnen Schritten auf dem Weg zur Lösung Bsp.: „Ich bin vorgegangen, indem ich erstmal alle Punkte angeschaut habe.“
Vernetzung	In Bezug setzen der Eigenschaften von Objekten des Diagramms (qualitativ und quantitativ); Verbalisierung von Zusammenhängen und Abhängigkeiten physikalischer Größen (qualitativ und quantitativ) Bsp.: „Also als die x-Achse größer wurde, wurde die y-Komponente auch größer.“
Überprüfung	Verbalisierung von Überprüfungen der eigenen Erkenntnisse Bsp.: „Dann habe ich mich da nochmal abgesichert.“

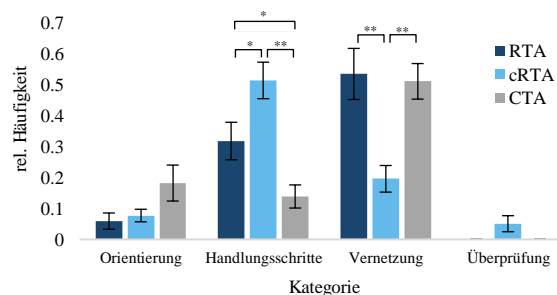


Abb. 4: Relative Häufigkeiten pro Kategorie (*: 5%-Signifikanzniveau; **: 1%-Signifikanzniveau).

5. Diskussion

Ziel der Eye-Tracking-Studie war die Untersuchung der Triangulation von Blick- und Verbaldaten durch RTA, cRTA und CTA. Dabei stand der dadurch hervorgerufene Einfluss auf die kognitive Belastung,

das Blickverhalten und der Informationsgehalt der Erklärungen im Fokus.

Es konnte herausgefunden werden, dass beim CTA in der Tendenz eine höhere kognitive Belastung im Vergleich zu den anderen beiden Methoden wahrgenommen wurde. Auch Park, Korbach und Brünken (2020) fanden heraus, dass die subjektiv wahrgenommene Belastung durch das zusätzliche Verbalisieren der Gedankengänge erhöht war.

Es ließ sich kein signifikanter Einfluss der Verbaldatenmethoden auf das Blickverhalten der Teilnehmenden sowohl für die HRD- als auch die Vektorfeld-feststellen.

Die drei Verbaldatenmethoden bringen einen unterschiedlichen Informationsgehalt mit sich. Die Analysen der Ergebnisse weisen darauf hin, dass signifikant mehr Aussagen zu Handlungsschritten während des Problemlöseprozesses beim cRTA im Vergleich zum RTA und CTA getroffen wurden. Dies könnte darauf zurückzuführen sein, dass die Betrachtung des Videos die Teilnehmenden dazu verleitet hat, lediglich zu reproduzieren, welche Bereiche des visuellen Stimulus nacheinander betrachtet wurden. Die Studierenden verfielen häufig in rein deskriptive Äußerungen zu aufeinanderfolgenden Tätigkeiten während des Löseprozesses.

In Bezug auf die Kategorie Vernetzung lässt sich bemerken, dass cRTA weniger Aufschluss über Aussagen zu physikalischen Interpretationen zugelassen hat. RTA und CTA bieten hier im Vergleich mehr Einblicke. Dieser Unterschied lässt sich eng in Verbindung mit dem Verbalisieren von Handlungsschritten erkennen. Beim cRTA scheint es, als ob die Studierenden eine Videobeschreibung abgeben und weniger Zusammenhänge physikalisch interpretiert haben.

Da beim RTA und cRTA retrospektiv berichtet wurde, muss beachtet werden, dass die Erklärungen durch die zeitliche Abkopplung nicht unbedingt den Bearbeitungsprozess in jedem Detail wiedergegeben haben. Es könnte sein, dass Informationen (unbewusst) hinzugefügt oder auch ausgelassen wurden (Camps, 2003). Weiter wurde den Studierenden beim RTA für die Erklärungen erneut der visuelle Stimulus präsentiert. Auch beim cRTA haben sie diesen in Verbindung mit ihren Blickdaten abermals sehen können. Es könnte sein, dass durch das wiederholte Betrachten des visuellen Stimulus auch neue Erkenntnisse mit in die Erklärungen einfließen und nicht alle Gedanken des eigentlichen Problemlöseprozesses wahrheitsgetreu abgebildet werden konnten (Klein, 2018).

5.1. Limitationen

Die Aussagekraft der durchgeführten Studie unterliegt gewissen Limitationen. Zu Beginn muss beachtet werden, dass sich die Anzahl der Teilnehmenden lediglich auf 16 Personen beschränkte. Weitere Erstsemesterstudierende ließen sich nicht rekrutieren, was auf den hohen

Zeitaufwand zu Beginn des Studiums zurückzuführen sein könnte. Die Vergleiche von RTA, cRTA und CTA beziehen sich somit immer nur auf Vergleiche von drei Gruppen mit vier bis sechs Personen, was bei einer Generalisierung der Ergebnisse unbedingt Berücksichtigung finden sollte.

Im Hinblick auf die Methode des cRTA muss bedacht werden, dass die zeitliche Abkopplung der Erklärungen zum Problemlöseprozess noch stärker ins Gewicht fällt als beim RTA. Dadurch könnte es zu noch größeren Gedächtnislücken kommen. Es wurde dennoch stets darauf Wert gelegt, den zeitlichen Versatz so gering wie möglich zu halten.

Weiter wurde die Kodierung lediglich durch eine Person durchgeführt. Es ist jedoch anzumerken, dass die Kodierung der Verbaldaten durch mehrere unabhängige KodiererInnen unumgänglich ist und die Interrater-Reliabilität ein wesentliches Qualitätsmerkmal darstellt. Dies könnten weiterführende Untersuchungen leisten.

6. Fazit und Ausblick

Die Erfassung von Blickdaten bietet eine vielversprechende Methode, Problemlöseprozesse zu untersuchen und die „Black Box“ der kognitiven Prozesse eines Menschen zu ergründen. Bisherige Eye-Tracking-Studien weisen jedoch vielfach darauf hin, dass zusätzliches Datenmaterial benötigt wird, um genauere Erkenntnisse über Denkprozesse zu erlangen (Hahn & Klein, 2022). Verbaldaten können an dieser Stelle als zusätzliche Datenquelle dienen. Die Ergebnisse der durchgeführten Studie zeigen, dass eine tendenziell erhöhte kognitive Belastung mit der Methode des CTA einherging. Dennoch zeigte sich kein Einfluss der drei Verbaldatenmethoden auf das Blickverhalten der Teilnehmenden beim Problemlösen. Es konnten weiter erkennbare Einflüsse auf den Informationsgehalt der Erklärungen festgestellt werden. In den Verbaldaten, die durch das cRTA erhoben wurden, ließen sich überwiegend beschreibende Äußerungen zu Handlungsschritten identifizieren. Beim CTA und cRTA hingegen wurden vermehrt physikalische Interpretationen des vorliegenden Sachverhalts geäußert.

Auf Grundlage dieser Studienergebnisse können Handlungsempfehlungen abgeleitet werden, die weiteren Eye-Tracking-Studien dazu dienen könnten, angemessene Verbaldatenmethoden auszuwählen. Je nach Forschungsfokus und -interesse bieten sich unterschiedliche Verbaldatenmethoden an, um zusätzliches Datenmaterial zu erheben. Auf Grundlage der in dieser Studie erzielten Ergebnisse, werden die nachfolgenden Empfehlungen bezüglich der Wahl einer geeigneten Methode ausgesprochen. Liegt das Forschungsinteresse bei deskriptiven Äußerungen zum Problemlöseprozess, können dementsprechende Informationen besonders durch das cRTA offengelegt werden. Hierdurch lassen sich im Besonderen beschreibende Äußerungen zum Vorgehen abbilden. Sind im Gegensatz dazu Informationen über physikalische Interpretationen

oder Zusammenhänge von Interesse, sollte das CTA oder RTA genutzt werden. Die Ergebnisse dieser und weiterer Studien bemerken jedoch, dass die lernhinderliche kognitive Belastung beim CTA tendenziell höher ist und demnach berücksichtigt werden sollte. Diese Handlungsempfehlungen sollten jedoch stets vor dem Hintergrund der Limitationen und insbesondere der geringen Studienteilnehmerzahl gesehen werden.

7. Literatur

- Ainsworth, Shaaron (1999): The functions of multiple representations. In: *Computers & Education*, 33 (2), S. 131-152, [https://doi.org/10.1016/S0360-1315\(99\)00029-9](https://doi.org/10.1016/S0360-1315(99)00029-9)
- Airey, John; Eriksson, Urban (2019): Unpacking the Hertzprung-Russell Diagram: A Social Semiotic Analysis of the Disciplinary and Pedagogical Affordances of a Central Resource in Astronomy. In: *Designs for Learning*, 11 (1), S. 99–107, <https://doi.org/10.16993/dfl.137>
- Blake, Christopher (2013): Eye-Tracking: Grundlagen und Anwendungsfelder. In: Wiebke Möhring & Daniela Schlütz (Hrsg.), *Handbuch standardisierte Erhebungsverfahren in der Kommunikationswissenschaft* (S. 367–387). Springer, <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-531-18776-1.pdf>
- 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), <https://doi.org/10.1103/physrevphyseducres.13.020109>
- Brandenburger, Martina (2016): Was beeinflusst den Erfolg beim Problemlösen in der Physik? (Dissertation, Pädagogische Hochschule Freiburg), <https://www.logos-verlag.de/cgi-bin/engbuchmid?isbn=4409&lng=deu&id=>
- Brückner, Sebastian; Schneider, Jan; Zlatkin-Troitschanskaia, Olga; Drachsler, Hendrik (2020): Epistemic Network Analyses of Economics Students' Graph Understanding: An Eye-Tracking Study. In: *Sensors*, 20 (23), <https://doi.org/10.3390/s20236908>
- Camps, Joaquim (2003): Concurrent and Retrospective Verbal Reports as Tools to Better Understand the Role of Attention in Second Language Tasks. In: *International Journal of Applied Linguistics*, 13 (2), S. 201-221, <https://doi.org/10.1111/1473-4192.00044>
- Demtröder, Wolfgang (2004): *Experimentalphysik 2 Elektrizität und Optik* (4. Aufl.). Springer, <https://doi.org/10.1007/3-540-35146-9>
- Ericsson, Kelly Anders; Simon, Herbert Alexander (1980): Verbal reports as data. In: *Psychological Review*, 87 (3), S. 215–251, <https://doi.org/10.1037/0033-295X.87.3.215>
- Hahn, Larissa; Klein, Pascal (2022): Eye tracking in physics education research: A systematic literature review. In: *Physical Review Physics Education Research*, 18 (1). doi: <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.18.013102>
- Hanslmeier, Arnold (2020): *Einführung in Astronomie und Astrophysik* (4. Aufl.). Springer, <https://doi.org/10.1007/978-3-662-60413-7>
- Heinrich, Frank; Bruder, Regina; Bauer, Christina (2015): Problemlösen lernen. In: Regina Bruder, Lisa Hefendehl-Hebeker, Barbara Schmidt-Thieme & Hans-Georg Weigand (Hrsg.), *Handbuch der Mathematikdidaktik* (S. 279–301). Springer, <https://doi.org/10.1007/978-3-642-35119-8>
- Hejnova, Eva; Kekule, Martina (2018): Observing students' problem solving strategies in mechanics by eye-tracking method. In: *Scientia in Educatione*, 9 (2), S. 102-116, <https://doi.org/10.14712/18047106.1018>
- Hoc, Jean-Michel; Leplat, Jacques (1983): Evaluation of different modalities of verbalization in a sorting task. In: *International Journal of Man-Machine Studies*, 18 (3), S. 283-306, [https://doi.org/10.1016/S0020-7373\(83\)80011-X](https://doi.org/10.1016/S0020-7373(83)80011-X)
- Karnath, Hans-Otto; Thier, Peter (2012): *Kognitive Neurowissenschaften* (3. Aufl.). Springer, <https://doi.org/10.1007/978-3-642-25527-4>
- Klein, Pascal, Viiri, Jouni, Mozaffari, Shirin, 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) <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.14.010116>
- Klepsch, Melina; Schmitz, Florian; Seufert, Tina (2017): Development and Validation of Two Instruments Measuring Intrinsic, Extraneous, and Germane Cognitive Load. In: *Frontiers in Psychology*, 8, <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01997>
- Krauzlis, Richard; Goffart, Laurent; Hafed, Ziad (2017): Neuronal control of fixation and fixational eye movements. In: *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 372 (1718), <https://doi.org/10.1098/rstb.2016.0205>
- Kruger, Jan-Louis; Steyn, Faans (2014): Subtitles and eye tracking: Reading and performance. In: *Reading Research Quarterly*, 49 (1), S. 105–120, <http://doi.org/10.1002/rrq.59>
- Park, Babette; Korbach, Andreas; Brünken, Roland (2020): Does thinking-aloud affect learning, visual information processing and cognitive load when learning with seductive details as expected from self-regulation perspective? In:

- Computers in Human Behavior, 111, <https://doi.org/10.1016/j.chb.2020.106411>
- Rakoczi, Gergely (2009): Untersuchung des Benutzer-Verhaltens beim E-Learning: Eine Eye Tracking Studie des Systems Moodle (Diplomarbeit, Technische Universität Wien), https://publik.tuwien.ac.at/files/PubDat_18284_7.pdf
- Rakoczi, Gergely (2012): Eye Tracking in Forschung und Lehre. Möglichkeiten und Grenzen eines vielversprechenden Erkenntnismittels. In: Gottfried Csanyi, Franz Reichl & Andreas Steiner (Hrsg.), Digitale Medien - Werkzeuge für exzellente Forschung und Lehre (S. 87–98). Waxmann, <https://doi.org/10.25656/01:8301>
- Rein, Martin (2020): Einführung in die Strömungsmechanik. Universitätsverlag Göttingen, <https://doi.org/10.17875/gup2020-1362>
- Rosengrant, David; Thomson, Colin; Mzoughi, Taha (2009): Comparing Experts and Novices in Solving Electrical Circuit Problems with the Help of Eye-Tracking. In: AIP Conference Proceedings, 1179 (249), S. 249-252, <https://doi.org/10.1063/1.3266728>
- Smith, Adam; Mestre, Jose; Ross, Brian (2010): Eye-gaze patterns as students study worked-out examples in mechanics. In: Physical Review Physics Education Research, 6 (2), <https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.6.020118>
- Sušac, Ana; Bubic, Andreja; Planinic, Maja; Movre, Marko; Palmovic, Marijan (2019): Role of diagrams in problem solving: An evaluation of eye-tracking parameters as a measure of visual attention. In: Physical Review Physics Education Research, 15 (1), <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.15.013101>
- van den Haak, Maaïke; De Jong, Menno; Schellens, Peter Jan (2003): Retrospective vs. concurrent think-aloud protocols: Testing the usability of an online library catalogue. In: Behaviour and Information Technology, 22 (5), S. 339-351, <https://doi.org/10.1080/0044929031000>
- van Gog, Tamara; Paas, Fred; Van Merriënboer, Jeroen; Witte, Puk (2005): Uncovering the problem-solving process: Cued retrospective reporting versus concurrent and retrospective reporting. In: Journal of Experimental Psychology: Applied, 11 (4), S. 237–244, <https://doi.org/10.1037/1076-898X.11.4.237>
- Van Someren, Maarten; Barnard, Yvonne; Sandberg, Jacobijn (1994): The think aloud method - a practical guide to modelling cognitive processes. Academic Press, <https://www.researchgate.net/publication/215439100>
- Wedel, Michel; Pieters, Rik (2017): A review of eye-tracking research in marketing. In: Review of Marketing Research, 4, S. 123–147,

[https://doi.org/10.1108/S1548-6435\(2008\)0000004009](https://doi.org/10.1108/S1548-6435(2008)0000004009)

Aktuelle Befunde aus der Begleitforschung zum Quereinstiegsmaster im Fach Physik 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

Alternative Wege in den Lehrer*innenberuf wurden in den vergangenen Jahren für unterschiedliche Fächer und Schulformen in nahezu allen Bundesländern geschaffen. Um auch die Qualität alternativer Wege in den Lehrer*innenberuf gewährleisten zu können, bedarf es sowohl der Einführung von (Mindest-)Standards als auch empirischer Forschung zu den professionellen Handlungskompetenzen der über alternative Wege qualifizierten Lehrer*innen. Der alternative Weg des Quereinstiegs während des Studiums wird an der Freien Universität Berlin seit 2016 in Form des Modellstudiengangs ‚Q-Master‘ erprobt und durch evaluative Forschung begleitet: Im Studienfach Physik wird exemplarisch die Ausprägung und Entwicklung fachlicher Aspekte professioneller Handlungskompetenz mittels Tests und Fragebögen längsschnittlich erfasst und mit Studierenden des regulären Lehramtsmasters an der FU Berlin verglichen. Ergänzt wird dieses Vorgehen durch leitfadengestützte Interviews zu zwei Befragungszeitpunkten.

Die Ergebnisse der quantitativen Begleitforschung an der FU Berlin deuten auf eine Ausprägung und Entwicklung professioneller Kompetenzen der Q-Masterstudierenden hin, welche mit der von Studierenden des regulären Lehramtsmasters vergleichbar ist. Die Auswertung der Interviewdaten deutet bislang darauf hin, dass weniger geradlinige Berufsbiografien nicht nur bei Q-Masterstudierende vorkommen. Als wertvoll für die Professionalisierung schätzen die Studierenden das Praxissemester sowie fachdidaktische und bildungswissenschaftliche Lehrveranstaltungen ein, während die Nützlichkeit umfangreicher fachwissenschaftlichen Lehrinhalte für die spätere Berufspraxis infrage gestellt wird.

Der Beitrag stellt Ergebnisse der Begleitforschung zum Q-Master an der FU Berlin vor und diskutiert diese hinsichtlich der Implikationen für die Lehrer*innenbildung.

1. Alternative Wegen in den Lehrer*innenberuf

Im Kontext des aktuellen und prognostizierten Mangels an grundständig qualifizierten Lehrer*innen wurde in den vergangenen Jahren eine Vielzahl nicht-grundständiger Wege in den Lehrer*innenberuf geschaffen (z. B. Brinkmann & Müller, 2020). Diese Wege werden teils kritisch diskutiert: Es wird auf die Widersprüchlichkeit dieser Angebote zu Bemühungen um die Standardisierung der Lehrer*innenbildung hingewiesen (z. B. GFD, 2018), und es werden negative Folgen für die Unterrichtsqualität und die Entwicklung der Schüler*innen befürchtet (z. B. DGfE, 2017).

Die Kritik an den alternativen Wegen basiert aber nicht immer auf gesicherten, empirischen Erkenntnissen (Porsch, 2021). Erste Studien zur Kompetenz, Unterrichtsqualität und Schüler*innenlernen zeigen eher selten Unterschiede zwischen nicht-grundständig und grundständig qualifizierten Lehrer*innen (z. B. Lucksnat et al., 2020; Lucksnat et al., 2022b; Ziegler, Richter & Hartung-Beck, 2022). Aufgrund der Vielzahl

unterschiedlicher, alternativer Wegen in den Lehrer*innenberuf können Befunde einzelner Studien aber nur eingeschränkt verallgemeinert werden.

So liegen hinsichtlich des qualifizieren Quereinstiegs bislang kaum Befunde vor (Melzer, Pospiech & Gehrman, 2014; Lucksnat et al., 2022a). Zudem sind auch die in diese Kategorie fallenden Programme unterschiedlich hinsichtlich Zugangsbedingungen, Inhalten, zeitlichem Umfang und Struktur sowie der Schulform und der Fächer, für die sie angeboten werden.

2. Begleitforschung zum Q-Master im Fach Physik an der FU Berlin

Um die unvollständige Forschungslage zu alternativen Wegen in den Lehrer*innenberuf um weitere Befunde ergänzen zu können, wird der Q-Masterstudiengang („Masterstudiengang für ein Lehramt an Integrierten Sekundarschulen und an Gymnasien mit dem Profil Quereinstieg“; kurz: ‚Q-Master‘) an der FU Berlin seit seiner Einführung im

Jahr 2016 wissenschaftlich-evaluativ begleitet (Milster & Nordmeier, 2017).

Ein exemplarischer Fokus der Begleitforschung zum Q-Master liegt auf dem Fach Physik. Hier wird die Ausprägung und Entwicklung fachspezifischer professioneller Handlungskompetenzen mittels Tests und Fragebögen längsschnittlich erfasst und mit Studierenden des regulären Lehramtstudiums an der FU Berlin verglichen (Ghassemi, Milster & Nordmeier, 2020).

Untersucht werden das fachdidaktische Wissen (FDW), das Fachwissen (FW) und die fachspezifischen Überzeugungen zum Lehren und Lernen.

Ergänzt wird dieses Vorgehen durch leitfadengestützte Interviews zu zwei Befragungszeitpunkten: Zu Beginn des Studiums werden die Studierenden zu ihren Motiven für die Berufswahl befragt und am Ende des Studiums zu den aus ihrer Sicht nützlichen (und weniger) Studieninhalten sowie ihren weiteren Zielen für die persönliche professionelle Entwicklung.

2.1. Ergebnisse zu professionellen Kompetenzen

Beim FDW und den fachspezifischen Überzeugungen zum Lehren und Lernen können weder zu Beginn des zweiten Fachsemesters noch am Ende des vierten Fachsemesters Unterschiede zwischen den Q-Masterstudierenden und den Studierenden des regulären Lehramtstudiums ermittelt werden (s. a. Ghassemi & Nordmeier, 2022).

Ein Vergleich des FW am Ende des Studiums zeigt auch keine Unterschiede zwischen den Studierenden der beiden betrachteten Studiengänge ($t(55) = .49, p > .5, d = .14$) (Abb. 1).

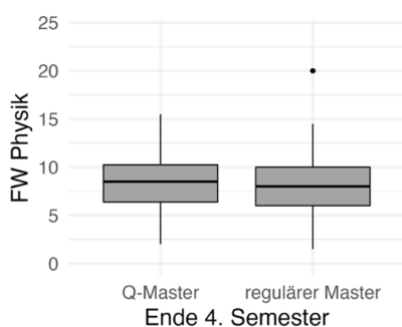


Abb. 1: Fachwissen im Ende des Lehramtstudiums.

Aufgrund der kleinen Population an Q-Masterstudierenden im Fach Physik an der FU Berlin und der deshalb kleinen Stichprobengröße (selbst bei Akkumulation der Daten über fünf Jahrgänge) genügt die Trennschäfte der Testverfahren nicht, um kleine bis mittelgroße Effekte signifikant nachweisen zu können. Entsprechend können ebensolche Unterschiede auf Basis der verfügbaren Daten nicht ausgeschlossen werden.

Bei der Entwicklung der professionellen Kompetenzen zeigt sich bei den Q-

Masterstudierenden ein großer Zuwachs im FDW (Tab. 1). Bei den Studierenden des regulären Lehramtstudiums ist der Zuwachs im FDW klein. Der Unterschied im Zuwachs ist aber nicht signifikant ($t(39) = .58; p > .5; d = .19$).

Bei den fachspezifischen Überzeugungen zum Lehren und Lernen zeigen sich bei den Q-Masterstudierenden keine signifikanten Veränderungen zwischen Anfang und Ende des Studiums. Auf Grundlage der verfügbaren Daten kann aber wiederum nicht ausgeschlossen werden, dass eine kleine bis mittelgroße Veränderung vorliegt.

Tab. 2: Entwicklung professioneller Kompetenz im Zuge des Lehramtstudiums (echter Längsschnitt).

		p	d	(1 - β)
FDW	Q-Master	.004	.85	.91
	regulärer Master	.03	.39	.62
Konstruktivistisches Lernen	Q-Master	.13	.31	.12
	regulärer Master	.09	.25	.37
Transmissives Lernen	Q-Master	.07	.43	.45
	regulärer Master	.03	.38	.64

$N_{Q-Master} = 14; N_{regulärer Master} = 30$

2.2. Ergebnisse zur Berufswahlmotivation

Die neun geführten Interviews zu den Motiven für die Berufswahl wurden mittels einer inhaltlich-strukturierender qualitativen Inhaltsanalyse nach Kuckartz (2016) ausgewertet. Dazu wurde ein deduktiv aus dem FIT-Choice-Modell (Watt & Richardson, 2007) abgeleitetes Kategoriensystem genutzt, welches induktiv erweitert wird.

Diese kategorienbasierte Auswertung der Interviews zeigt, dass die Q-Masterstudierenden überwiegend intrinsisch-altruistische Motive für ihre Berufswahl nennen (Abb. 2). Strukturelle Motive werden auch genannt, in einigen Fällen sogar überwiegend. Die Thematisierung der wahrgenommenen Lehrbefähigung sowie der Einfluss Dritter nehmen quantitativ eine eher untergeordnete Rolle ein. Oft bilden die Bedingungen der vorherigen Berufstätigkeit eine Grundlage für die berufliche Umorientierung.

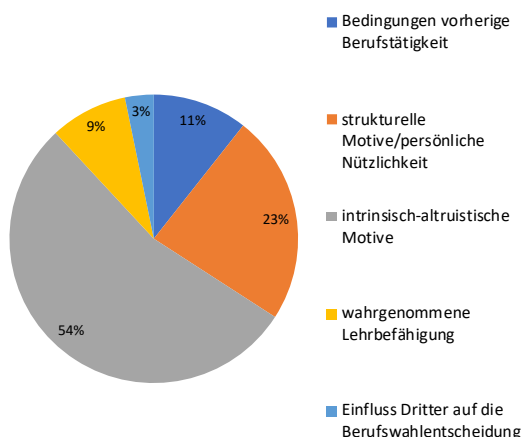


Abb. 2: Durchschnittliche relative Häufigkeiten vergebener Hauptkategorien für die Motive für die Berufswahl der neun befragten Q-Masterstudierenden.

Intrinsisch-altruistische Motive gelten als günstig für den Studien- und Berufserfolg (z. B. Cramer, 2016) sowie den Kompetenzerwerb im Studium (vgl. Rothland, 2014), und sie sind auch für (angehende) Lehrer*innen grundständiger Studiengänge entscheidend (z. B. König & Rothland, 2013). Zudem zeigen Studien zu nicht-grundständig qualifizierten Lehrer*innen, dass diese vornehmlich intrinsisch-altruistisch motiviert sind (Lucksnat et al., 2022a; Lucksnat et al., 2022b). Auch ein Abwägen zwischen den Bedingungen der vorherigen Berufstätigkeit und den Vorstellungen über den Lehrer*innenberuf ist für den Wechsel in den Lehrerinnen*beruf bekannt (Neuber et al., 2017).

Insgesamt bestätigen die Ergebnisse die bestehenden Befunde zu Berufswahlmotiven von nicht-grundständig qualifizierten (angehenden) Lehrer*innen.

2.3. Ergebnisse zur Nützlichkeit der Studienbestandteile

Die zwölf geführten Interviews zu den aus Sicht der Studierenden nützlichen Studienbestandteilen wurden wiederum mittels einer inhaltlich-strukturierender qualitativen Inhaltsanalyse ausgewertet. Dazu wurde ein deduktiv aus der Studienstruktur abgeleitetes Kategoriensystem genutzt.

Diese kategorienbasierte Auswertung der Interviews deutet darauf hin, dass die Q-Masterstudierenden die Studienbestandteile insgesamt als vorwiegend nützlich für ihre individuelle professionelle Entwicklung und die Bewältigung beruflicher Aufgaben einschätzen (Abb. 3). Besondere Relevanz haben dabei das Praxissemester und die Angebote der Fachdidaktiken. Beim Praxissemester wird die Möglichkeit zum Sammeln praktischer Erfahrungen und der Verknüpfung von Theorie und Praxis hervorgehoben. Bei den fachdidaktischen Lehrveranstaltungen werden Anwendungsbezogenheit und Verwertbarkeit in der Praxis hervorgehoben.

Fachdidaktiken + Fachwissenschaften - Praxissemester - Fachdidaktiken - Praxissemester + Erziehungswissenschaft & Sprachbildung + Erziehungswissenschaft & Sprachbildung - Fachwissenschaften +

Abb. 3: Kodewolke für die Nützlichkeitsbewertung der Studienbestandteile durch die Q-Masterstudierenden.

Insgesamt seltener genannt und davon weniger oft als nützlich eingeschätzt werden die erziehungswissenschaftlich-sprachbildnerischen Lehrveranstaltungen. Einige Befragte ordnen diese als interessant und nützlich ein, während andere sie als zu theoretisch, wenig schulpraktisch oder sogar störend werten.

Die fachwissenschaftlichen Bestandteile des Studiums (insbesondere Mathematik) sind die einzigen, die insgesamt als eher weniger nützlich eingeschätzt werden. Sie seien für den Schulalltag wenig relevant und höchstens als Hintergrundwissen nützlich.

Es ist kann vermutet werden, dass die Studierenden die Lehrangebote, die sie individuell als nützlich einschätzen auch intensiver nutzen (Eccles & Wigfield, 2002; Canrinus et al., 2017; Vieluf et al., 2020), was zu einem erhöhten Kompetenzerwerb führen könnte (z. B. Hellmann et al., 2019).

Ein Infragestellen der Relevanz fachwissenschaftlicher Inhalte für die spätere Berufstätigkeit ist zudem bekannt (z. B. Schüssler & Keuffer, 2012), insbesondere für das Fach Mathematik (Klein, 1908). Ob die Relevanz dieser Studieninhalte im Zuge des Q-Masterstudiums in ausreichender Weise aufgezeigt wird und sie mit den übrigen Studienbestandteilen wahrnehmbar vernetzt werden, ist kritisch zu hinterfragen (s. a. Hellmann et al., 2019).

3. Diskussion und Fazit

Die Ergebnisse der fachspezifischen Begleitforschung zum Q-Masterstudiengang an der FU Berlin deuten darauf hin, dass die Q-Masterstudierenden günstige motivationale Eingangsbedingungen besitzen (intrinsisch-altruistische Motive für die Berufswahl) und berufsrelevante Kompetenzen im Zuge des Studiums erwerben (großer Zuwachs im FDW). Hinsichtlich Ausprägung und Entwicklung der untersuchten professionellen Kompetenzen konnten keine signifikanten Unterschiede im Vergleich zu den Studierenden des regulären Lehramtsmasters festgestellt werden. Aufgrund der kleinen Population und Striprobe sowie der hieraus resultierenden, geringen Trennschärfe der verwendeten Testverfahren können kleine bis mittelgroße Unterschiede bzw. Entwicklungen weder signifikant nachgewiesen noch ausgeschlossen werden.

Die Befunde bestätigen damit größtenteils bekannte Erkenntnisse zur Relevanz formaler Lerngelegenheiten für die Entwicklung professioneller Kompetenzen und auch die Befunde zu nicht-grundständig qualifizierten (angehenden) Lehrer*innen.

Die vorliegenden Ergebnisse sprechen für ein Gelingen des Modellversuchs ‚Q-Master‘ und die Ausweitung und die Verstetigung dieses Konzepts.

4. Literatur

- Brinkmann, B. & Müller, U. (2020). Flexible Wege ins Lehramt?! – Qualifizierung für einen Beruf im Wandel. Sonderpublikation aus dem Projekt »Monitor Lehrerbildung«. CHE Centrum für Hochschulentwicklung gGmbH.
- Canrinus, E.T., Bergem, O.K., Klette, K. & Hammerness, K. (2017). Coherent teacher education programmes: taking a student perspective. *Journal of Curriculum Studies*, 49(3), 313–333.
- Cramer, C. (2016). Personale Merkmale Lehramtsstudierender als Ausgangslage der professionellen Entwicklung. Dimensionen, Befunde und deren Implikationen für die Lehrerbildung. In Boeger, A. (Hrsg.), *Eignung für den Lehrerberuf* (S. 31–56). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- DGfE (2017). Stellungnahme zur Einstellung von Personen ohne erforderliche Qualifikation als Lehrkräfte in Grundschulen (Seiten- und Quereinsteiger). Deutsche Gesellschaft für Erziehungswissenschaft.
- Eccles, J.S. & Wigfield, A. (2002). Motivational beliefs, values, and goals. *Annual review of psychology*, 53, 109–132.
- GFD (2018). Ergänzende Wege der Professionalisierung von Lehrkräften. Positionspapier der GFD zur Problematik des Quer- und Seiteneinstiegs.
- 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. (2022). Quereinsteigsmasterstudiengänge verstetigen und ausbauen? In , Phyd-B. Didaktik der Physik, Beiträge zur virtuellen DPG-Frühjahrstagung 2022. (S. 199–202).
- Hellmann, K., Kreutz, J., Schwichow, M. & Zaki, K. (2019). *Kohärenz in der Lehrerbildung*, Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Klein, F. (1908). *Elementarmathematik vom höheren Standpunkte aus. Band I: Arithmetik, Algebra und Analysis*, Berlin: Springer.
- 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. (2016). *Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung*, Weinheim: Juventa Verlag ein Imprint der Julius Beltz GmbH & Co. KG.
- Lucksnat, C., Fehrmann, I., Müncher, A., Pech, D. & Richter, D. (2022a). Abschlussbericht zur Evaluation des Q-Masters an der Humboldt-Universität zu Berlin. Universität Potsdam.
- Lucksnat, C., Richter, E., Klusmann, U., Kunter, M. & Richter, D. (2020). Unterschiedliche Wege ins Lehramt – unterschiedliche Kompetenzen? *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 1–16.
- Lucksnat, C., Richter, E., Schipolowski, S., Hoffmann, L. & Richter, D. (2022b). How do traditionally and alternatively certified teachers differ? A comparison of their motives for teaching, their well-being, and their intention to stay in the profession. *Teaching and Teacher Education*, 117, 103784.
- Melzer, W., Pospiech, G. & Gehrman, A. (2014). *QUER – Qualifikationsprogramm für Akademiker zum Einstieg in den Lehrerberuf. Abschlussbericht 2014*. Technische Universität Dresden.
- Milster, J.-J. & Nordmeier, V. (2017). *Qualifizierung von Quereinsteiger*innen. Professionelle Kompetenzen der Q-Master-Studierenden*. In Nordmeier, V. & Grötzebauch, H. (Hrsg.), *PhyDid B. Didaktik der Physik. Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung* (S. 79–83). Berlin.
- Neuber, D., Quesel, C., Rindlisbacher, S., Safi, N. & Schweinberger, K. (2017). *Endlich Lehrerin. Über Umwege in den Lehrberuf*. In Bauer, C.E., Bieri Buschor, C. & Safi, N. (Hrsg.), *Berufswechsel in den Lehrberuf. Neue Wege der Professionalisierung* (S. 75–92). Bern: hep der bildungsverlag.
- Porsch, R. (2021). *Quer- und Seiteneinsteiger*innen im Lehrer*innenberuf. Thesen in der Debatte um die Einstellung nicht traditionell ausgebildeter Lehrkräfte*. In Reintjes, C., Idel, T.-S., Bellenberg, G. & Thönes, K.V. (Hrsg.), *Schulpraktische Studien und Professionalisierung: Kohärenzambitionen und alternative Zugänge zum Lehrberuf* (S. 207–222): Waxmann Verlag GmbH.
- Rothland, M. (2014). *Warum entscheiden sich Studierende für den Lehrerberuf?* In Terhart, E., Bennewitz, H. & Rothland, M. (Hrsg.), *Handbuch der Forschung zum Lehrerberuf* (S. 349–385). Münster, New York: Waxmann.
- Schüssler, R. & Keuffer, J. (2012). „Mehr ist nicht genug (...)!“ *Praxiskonzepte von Lehramtsstudierenden – Ergebnisse einer qualitativen Untersuchung*. In Schubarth, W., Speck, K., Seidel, A., Gottmann, C., Kamm, C.

- & Krohn, M. (Hrsg.), Studium nach Bologna: Praxisbezüge stärken?! (S. 185–195). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Vieluf, S., Praetorius, A.-K., Rakoczy, K., Kleinknecht, M. & Pietsch, M. (2020). Angebots-Nutzungs-Modelle der Wirkweise des Unterrichts. Ein kritischer Vergleich verschiedener Modellvarianten. Zeitschrift für Pädagogik, 66(Beiheft 66), 63–80.
- Watt, H.M.G. & Richardson, P.W. (2007). Motivational Factors Influencing Teaching as a Career Choice: Development and Validation of the FIT-Choice Scale. The Journal of Experimental Education, 75(3), 167–202.
- Ziegler, C., Richter, D. & Hartung-Beck, V. (2022). Die Relevanz von Quer- und Seiteneinsteigenden für den Lernerfolg von SchülerInnen. Eine empirische Analyse auf Basis des IQB Ländervergleichs. Zeitschrift für Pädagogik, 68(5), 587–608.

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.

Differenzierte Heimexperimente mit dem Smartphone – Entwicklung in einem Seminar im Physik-Lehramtsstudium –

**Leif Broßmann*, Florian Bauer*, Julius Grabs*⁺, Marie Böwe*, Simon Becher*,
Bastian Miersch*⁺, Kevin Gebhardt*⁺, Florian Kuß*⁺, Stefanie Czempiel⁺,
Bärbel Kracke⁺, Holger Cartarius***

*AG Fachdidaktik der Physik und Astronomie, Friedrich-Schiller-Universität Jena, 07743 Jena,

⁺Lehrstuhl Pädagogische Psychologie, Friedrich-Schiller-Universität Jena, 07743 Jena

holger.cartarius@uni-jena.de

Kurzfassung

In einem Seminar im Physik-Lehramtsstudium der Friedrich-Schiller-Universität Jena werden Smartphone-Experimente mit drei verschiedenen, differenzierten Arbeitsblättern zur Anleitung konzipiert. Diese sollen so gestaltet sein, dass in der Regel nicht auf eine physikalische Gerätesammlung zurückgegriffen werden muss, sondern die Versuche als Heimexperimente durchgeführt werden können. Dieser Ansatz wurde durch eine Kooperation zwischen Pädagogischer Psychologie und Physikdidaktik entwickelt und entstand im Teilprojekt Inklusion systematisch implementieren (Isi) des QLB-Projekts PROFJL². In diesem Artikel werden die Lehrveranstaltungen an der Universität und Arbeiten von Studierenden aus dem Seminar vorgestellt. Als Beispiel dienen zwei Experimente zum Fadenpendel und zum Druck. Beide werden mit ihren drei im Anforderungsniveau differenzierten Aufgabenstellungen präsentiert.

1. Einleitung

Die Vorbereitung auf Differenzierung im Unterricht gehört heute zu den Selbstverständlichkeiten des Lehramtsstudiums. Von Seiten der KMK werden sie in den Standards für die Lehrerbildung: Bildungswissenschaften [1] und in den ländergemeinsamen inhaltlichen Anforderungen für die Fachwissenschaften und Fachdidaktiken [2] gefordert. Der Physikunterricht kennt verschiedene Formen der inneren Differenzierung, darunter z.B. Arbeitsblätter in verschiedenen Varianten, selbstdifferenzierte Lernumgebungen mit Wahlmöglichkeiten für die Schülerinnen und Schüler, unterschiedliche Hilfen in Experimentieraufträgen oder die geeignete Zusammensetzung von Lerngruppen [3]. Besondere Aufmerksamkeit erfahren Aufgaben mit gestuften Hilfen [4],[5], Differenzierungsmatrizen [6],[7], Kompetenzraster [8] oder die interessenbezogene Gruppenarbeit [9].

Sollen Experimente differenziert bearbeitet werden, bietet es sich an, diese mit möglichst geringem Materialaufwand durchzuführen, sodass sie von den Lernenden selbständig durchgeführt werden können. Bestens geeignet dafür sind Versuche mit dem Smartphone, dessen vielfältige Sensoren sich anbieten, um einfache physikalische Experimente durchzuführen. Die App phyphox bietet dafür z.B. eine einfach zu bedienende Oberfläche, die bereits eigene Experimentierideen zur Verfügung stellt [10]. Viele Erweiterungsmöglichkeiten wie das Einbeziehen eigener Sensormodule [11] oder die drahtlose Übertragung von Daten erweitern das Spektrum der möglichen Experimente ständig [12].

Diese Möglichkeit möchten wir in dieser Arbeit aufgreifen. Der Fokus des Beitrags liegt auf dem Aspekt der Inklusion im Physik-Lehramtsstudium, wie sie im Teilprojekt Inklusion systematisch implementieren (Isi) des QLB-Projekts PROFJL² [13] an der Friedrich-Schiller-Universität Jena entstanden ist. Im Rahmen des Seminars „Digitales Lernen und Lehren in der Werkstattschule Jena“ der pädagogischen Psychologie wurde auf Initiative der teilnehmenden Studierenden eine Website entwickelt, die sich zum Ziel gesetzt hat, differenzierte Heimexperimente zu verschiedenen Themengebieten des Physikunterrichts anzubieten, die mit dem Smartphone und wenigen haushaltsüblichen Gegenständen durchführbar sind. Dies wird durch eine Lehreinheit in einem Seminar der Physikdidaktik fortgeführt, in der geeignete Versuche vorgestellt werden.

Zunächst stellen wir in Abschnitt 2 die Form der Experimente vor, die in dieser Arbeit entwickelt werden. In Abschnitt 3 gehen wir darauf ein, wie die Entwicklungsarbeit in die Lehrveranstaltungen eingebettet ist, aus denen heraus das Projekt entstand. Beispiele für zwei Experimente werden in Abschnitt 4 gegeben. In Abschnitt 5 fassen wir die zentralen Erfahrungen zusammen und geben einen Ausblick auf die weitere geplante Entwicklung.

2. Vorschläge zu differenzierten Heimexperimenten mit dem Smartphone

Ziel dieser Arbeit ist es, Versuchsideen rund um das Smartphone oder Tablet der Lernenden frei verfügbar bereitzustellen, wobei die Anleitungen zu den

Versuchen im Anforderungsniveau differenziert sein sollen. Die Experimente sind so gestaltet, dass auch fachfremde Lehrkräfte die Lerneinheit durchführen können oder im besten Fall sogar auf die Anwesenheit einer Lehrkraft verzichtet werden kann. Entsprechend besteht die Zielsetzung in Heimexperimenten.

Um dieses Vorhaben digital umsetzen zu können, werden bearbeitbare PDF-Dokumente erstellt. Diese können direkt im Browser am PC ausgefüllt oder ausgedruckt und handschriftlich bearbeitet werden.

Zur einfachen Verfügbarkeit werden die Experimente über eine eigene Website angeboten [14], die mit den Themen Optik, Mechanik, Akustik, Wärmelehre und Elektrizitätslehre in fünf große Bereiche der Schulphysik mit weiteren Unterkategorien unterteilt ist. Als zusätzliche Aspekte stellt sie die Komponenten des Smartphones vor. Kurze Erklärungen und Links zu externen Quellen helfen, die bereits erstellten Experimente einzuordnen und den Lernenden den eigenständigen Erwerb der benötigten Fähigkeiten zu ermöglichen.

Ein weiterer wichtiger Aspekt der Website ist der Lehrerbereich. Dort finden Lehrkräfte eine Übersicht aller Inhalte, um schnell entscheiden zu können, ob sie diese Materialien im Unterricht verwenden möchten. Die angegebenen Lernziele zu jedem Versuch sind dabei ein wichtiges Kriterium.

3. Einbettung in Lehrveranstaltungen

Die Projektidee ist mit zwei Lehrveranstaltungen verknüpft, die zur Lehre im Lehramtsstudium Physik an der Friedrich-Schiller-Universität Jena gehören.

3.1. Projektentwicklung in einem Seminar der Pädagogischen Psychologie

Erste Schritte in der Projektentwicklung wurden im Seminar „Digitales Lernen und Lehren in der Werkstattschule Jena“, das sich intensiv mit der Integration digitaler Medien in den Unterricht auseinandersetzt, unternommen. Es gehört zum bildungswissenschaftlichen Begleitstudium im Lehramtsstudium, ist dort ein wählbares Vertiefungsseminar im Pflichtmodul „Vertiefung in die bildungswissenschaftlichen Kompetenzbereiche“ und wird vom Lehrstuhl Pädagogische Psychologie angeboten. Studierende, die am Seminar teilnehmen, haben das ausführliche Schulpraxissemester im Lehramtsstudium nach dem Jenaer Modell bereits durchlaufen und somit schon erste Praxiserfahrungen im eigenen Unterrichten gesammelt.

Im Seminar ermöglicht eine Zusammenarbeit mit der Werkstattschule Jena den Studierenden, in Gruppenarbeit verschiedene digitale Lerneinheiten für Schülerinnen und Schüler der Klassenstufen fünf und sechs zu entwickeln. Dabei formulieren die Lehrkräfte einen Bedarf. Die Studierenden erarbeiten digitale Lösungen und reflektieren abschließend die Ergebnisse gemeinsam mit den Lehrkräften. Als zusätzliches Ziel wird formuliert, dass die Lerneinheiten auch von fachfremden Lehrkräften durchgeführt

werden können oder im besten Fall sogar ohne zwingende Anwesenheit einer Lehrkraft funktionieren.

Die Voraussetzungen definierten die daraus entstandene Projektidee zu differenzierten Smartphone-Experimenten. Eine Projektgruppe, die vorwiegend aus Lehramtsstudierenden mit Physik in der Fachkombination bestand, stellte sich die Frage: „Wieviel Wissenschaft steckt in meinem Handy?“ Die Antwort auf diese Frage erfolgte in Form von vier Versuchsanleitungen zu verschiedenen Experimenten rund um das Smartphone oder Tablet der Lernenden, die als Basis für die erstellte Website dienen.

3.2. Weiterentwicklung in der Physikdidaktik

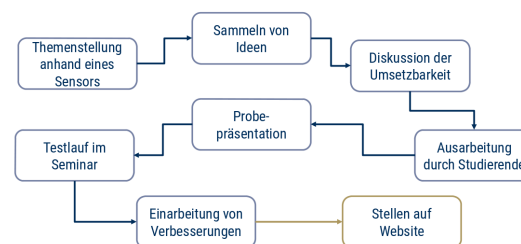


Abb. 1: Ablauf des Entstehungsprozesses neuer differenzierter Arbeitsblätter für Experimente mit dem Smartphone im Seminar.

Ziel von Isi ist es, Themen der Inklusion systematisch in allen Fächern des Lehramtsstudiums an der Universität Jena zu implementieren. Digitale Smartphone-Experimente bieten hier eine ideale Schnittstelle zu einem physikdidaktischen Pflichtseminar, das im vierten Semester des Lehramtsstudiums Physik angeboten wird. Es ist Bestandteil des Moduls Fachdidaktik Physik I und findet vor dem Praxissemester statt. Studierende, die es besuchen, kennen bereits alle Grundlagen der Physikdidaktik aus einer vorherigen Vorlesung und haben die erste Hälfte des Praktikums Physikalische Schulerperimente, in der sämtliche Themen der Sekundarstufe I abgedeckt werden, durchlaufen.

Im Seminar haben die Studierenden die Gelegenheit, verschiedene digitale Lehrmittel durch die Erstellung einer eigenen Lerneinheit zu erproben. Bei der Wahl von Smartphone-Experimenten besteht die Aufgabe darin, differenzierte Arbeitsblätter zu entwickeln, die den in Abschnitt 2 vorgestellten Kriterien entsprechen. Als Leitfaden für die Differenzierung dient die nach Anforderungsbereichen sortierte Liste der KMK zu Operatoren für die naturwissenschaftlichen Fächer [15].

Der Ablauf in der Erstellung ist in Abb. 1 wiedergegeben. Um die Kreativität der Studierenden in der Umsetzung zu fördern, wird Ihnen als Themenstellung kein Experiment und keine physikalische Fragestellung gegeben, sondern ein Sensor genannt, zu dem ein Experiment entstehen soll. Dazu sammeln sie zunächst eigene Ideen, diskutieren diese mit der betreuenden Person und arbeiten anschließend das

Experiment zusammen mit den Arbeitsblättern aus. Zunächst wird das Ergebnis in einer Probepräsentation der betreuenden Person vorgestellt, anschließend erfolgt, ggf. nach einer Überarbeitung, ein Testlauf, in dem alle anderen Teilnehmerinnen und Teilnehmer des Seminars die Arbeitsblätter und das Experiment durchführen. Mit den Rückmeldungen, die hier aufkommen, erfolgt eine finale Adaption der Experimente, die anschließend auf der Website zur Verfügung gestellt werden, damit alle Lehrkräfte Zugang dazu erhalten. Auf diesem Weg erfolgt auch die Bereitstellung der Experimente für die Lehrkräfte der Werkstattschule, die ursprünglich an der Entwicklung beteiligt waren.

4. Beispiele für Experimente

Erstmals wurde das Seminarkonzept der Physikdidaktik im Sommersemester 2022 aufgegriffen. Entsprechend der in Abschnitt 3.2 vorgestellten Aufgabenstellung wurden zwei Sensoren als Ziel gesetzt. Dies waren der Beschleunigungs- und der Drucksensor. Die differenzierten Experimente wurden dann in Partnerarbeit erstellt. Zunächst wird auf die Aufgabenstellung zum Beschleunigungssensor eingegangen, an dem das Konzept ausführlich erläutert wird.

4.1. Fadenpendel mit dem Beschleunigungssensor

Der Beschleunigungssensor hat eine besonders große Relevanz für den Unterricht in Thüringens Sekundarstufen I und II: Experimente am und mit dem Fadenpendel können laut dem Thüringer Lehrplan sowohl in der Sekundarstufe I im Themenbereich „Bewegungen, Kräfte und Erhaltungssätze“ als auch in der Sekundarstufe II im Zuge der Behandlung von „Schwingungen und Wellen“ diskutiert und durchgeführt werden. Die hier vorgestellte Planung richtet sich somit nach Thüringer Standards, folgt diesen aber keinesfalls so strikt, als dass die entstandenen Arbeitsblätter nicht auch problemlos in anderen Bundesländern genutzt werden können.

4.1.1. Aufbau der Arbeitsblätter

Alle drei Varianten der Arbeitsblätter folgen demselben Aufbau: Zunächst wird in Form des Titels und mithilfe eines Satzes das Ziel der Blätter formuliert. Somit wissen die Schülerinnen und Schüler von Beginn an, was sie mit der Bearbeitung des Arbeitsblattes erreichen und lernen werden. Es folgt eine Liste benötigter Geräte und Materialien, die essenziell zur Bearbeitung sind, sowie in allen Fällen ein Hinweis zur besseren Bearbeitung, falls Partnerarbeit möglich ist.

Hierbei ist wichtig, zu betonen, dass selten ein konkreter Gegenstand, sondern oftmals nur eine gewisse Eigenschaft, die der letztlich verwendete Gegenstand besitzen muss, sowie ein diese Eigenschaft besitzender Beispielgegenstand genannt sind. Dies lässt den Bearbeitenden eine gewisse Wahlfreiheit, steigert somit das Autonomieerleben und damit auch die Motivation beim Arbeiten [3].

Den Kern der Arbeitsblätter stellen die Aufgaben dar. Jedes Blatt beginnt mit der Wiederholung des schematischen Aufbaus eines Fadenpendel-Experiments, um diesen den Schülerinnen und Schülern wieder ins Gedächtnis zu rufen. Hierbei ist es wichtig, dass die Aufgabe die Bearbeitenden mit Blick auf ihr Leistungsniveau vor nur geringe Herausforderungen stellt und mit hoher Wahrscheinlichkeit eine korrekte Bearbeitung erlaubt, damit sie mit dem schematischen Aufbau des Fadenpendel-Experiments vertraut werden und zudem durch die korrekte Beantwortung Kompetenz erleben. So sind in der geringsten Anforderung lediglich die Begriffe Stativ, Faden und Pendelkörper in eine schematische Skizze einzutragen. In der mittleren Anforderung müssen nun bereits Kenngrößen und zugehörige Formelzeichen einander zugeordnet werden und die Symbole dann in eine vorgegebene Skizze eingetragen werden. In der höchsten Anforderung muss die Skizze ohne Vorgaben erstellt und mit den Symbolen beschriftet werden.

Es folgt ein Abschnitt zur Aufnahme von Messwerten, der mit einigen Anmerkungen zum hier konkret zu verwendenden Versuchsaufbau und dem Schildern der Durchführung beginnt. Besonders die Durchführungen unterscheiden sich von Blatt zu Blatt teils stark, da immer andere Einflussgrößen untersucht werden und somit auch andere Messwerte aufgenommen werden sollen. Wird in der geringsten Anforderung die Periodendauer für drei verschiedene Fadenlängen gemessen, kommen in der mittleren Anforderung die Variation der Masse und der Anfangsauslenkung hinzu. Die jeweils anderen Größen sollen dabei konstant gehalten werden. Die Messung mit phyphox wird im Arbeitsblatt der höchsten Anforderung um die manuelle Aufnahme der Schwingungsdauer mit einer Stoppuhr ergänzt. Beide Messergebnisse werden zudem mit der theoretischen Erwartung für die gegebene Fadenlänge, die zunächst zu berechnen ist, verglichen.

Es schließt sich die Auswertung der Werte an, die entweder als qualitative Aussage mittels Lückentext (geringste Anforderung), Multiple-Choice-Format (mittlere Anforderung) oder im in der höchsten Anforderung unter anderem quantitativ als Berechnung erfolgt. Die beiden Arbeitsblätter der höheren Anforderungsniveaus stellen zudem noch eine Energiebetrachtung an, das Blatt im höchsten Anforderungsniveau führt durch das Aufstellen einer Hypothese zum Einfluss der Masse des Pendelkörpers auf die Schwingungsdauer des Pendels zudem noch Methoden des wissenschaftlichen Arbeitens ein.

Um die wichtigsten bei der Bearbeitung erhaltenen Aussagen festzuhalten und damit den Kreis zum anfangs formulierten Lernziel zu schließen, befindet sich am Ende jedes Blattes ein Merkkasten, dessen Inhalte in Form eines Lückentextes noch von den Bearbeitenden ergänzt werden muss. Dieser ist jedoch erneut so formuliert, dass die richtigen Lösungen leicht gefunden werden können. Damit werden Fehler in der Sicherung der zentralen Aussage vermieden

und den Schülerinnen und Schülern zum Abschluss abermals mit hoher Wahrscheinlichkeit ein Gefühl des Kompetenzerlebens vermittelt.

4.1.2. Messvorgang



Abb. 2: Versuchsaufbau zum Pendel aus einem Smartphone, einer Plastiktüte mit Zip-Verschluss und einem Schlüsselband.

Die Messung mit dem Smartphone macht der Beschleunigungssensor möglich. Die von ihm aufgenommenen Daten können beispielsweise mittels der App phyphox verarbeitet, ausgelesen und dem Nutzer dann zur Verfügung gestellt werden. Diese Anwendung wird auch im Zuge der benötigten Geräte und Materialien als Voraussetzung zur Bearbeitung der Blätter genannt. Sollte es beim Umgang mit der App dennoch Probleme geben, kann auf eine entsprechende Anleitung zurückgegriffen werden. Das Durchlesen dieser Anleitung wird den Bearbeitenden vor dem Start empfohlen.

Um die Versuche auch zu Hause durchführen zu können, mussten geeignete Beispielmateriale gefunden werden, die als Stativ, Faden und Pendelkörper dienen können und zu Hause zur Verfügung stehen (könnten). Als Pendelkörper muss wegen der Messwertaufnahme das Smartphone dienen, als Faden etwa ein Schlüsselband. Beide Gegenstände können beispielsweise mittels einer Plastiktüte, in die das Smartphone gelegt wird, miteinander verbunden werden, wobei sicherzustellen ist, dass die App auch von außen – also durch die Tüte hindurch – bedient werden kann (siehe Abb. 2). Die zuvor erwähnte zweite Person kann nun dabei helfen die Messung zu starten und möglichst simultan das selbstgebaute Pendel schwingen zu lassen. Die App phyphox bietet zudem die Möglichkeit, auch alternative Vorgehensweisen zu wählen.

4.1.3. Arten der Differenzierung

Wenngleich der Einsatz des Smartphones beim Bearbeiten aller drei Arbeitsblätter im Wesentlichen identisch erfolgt, heben sich diese mit Blick auf ihr

jeweiliges Anforderungsniveau klar voneinander ab. Die Differenzierung erfolgt also mit Blick auf das Leistungsvermögen der Bearbeitenden.

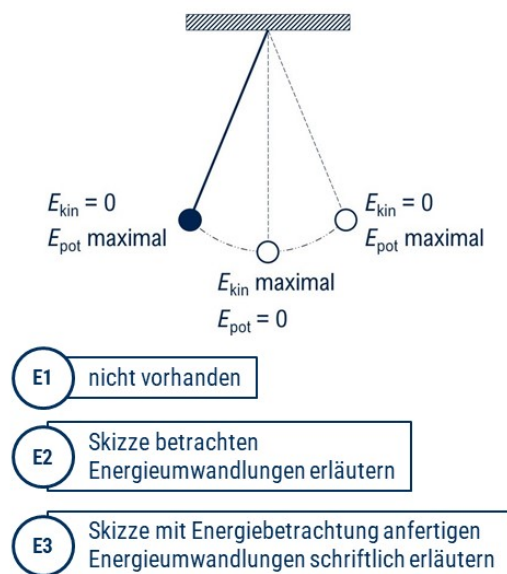


Abb. 3: Skizze zur Energieumwandlung mit den Aufgaben E1-E3 in den drei Anforderungsbereichen.

In den Arbeitsblättern kommen quantitative und qualitative Differenzierungen zum Einsatz. Als Beispiele gehen wir auf die Aufgabe zur Energieumwandlung ein (siehe Abb. 3). Bezüglich ihr wird quantitativ differenziert, indem sie im Arbeitsblatt mit dem niedrigsten Niveau gar nicht vorkommt, um die Anzahl der zu bearbeitenden Aufgaben zu reduzieren und in diesem Arbeitsblatt den Fokus ganz auf die qualitative Untersuchung der Abhängigkeit der Periodendauer von der Fadenlänge zu setzen.

Die beiden anderen Blätter enthalten eine Aufgabe zur Energieumwandlung – jedoch in qualitativ differenzierter Form: Während das Blatt mittleren Anforderungsniveaus eine vorgegebene, beschriftete Skizze zu kinetischer und potentieller Energie an den Umkehrpunkten und in der Ruhelage zeigt, mit deren Hilfe dann die Energieumwandlungen schriftlich erläutert werden sollen, müssen Schülerinnen und Schüler, die das Blatt des höchsten Anforderungsniveaus bearbeiten, diese Skizze zunächst noch selbst anfertigen und anschließend erläutern. Sie müssen sich also mehr Gedanken zu dem Sachverhalt machen und tiefgründiger darüber nachdenken. Zudem zeigt sich hier auch wieder eine quantitative Differenzierung, da offensichtlich auch eine reine Mehrarbeit durch die zusätzliche Aufgabenstellung entsteht.

4.1.4. Möglichkeiten für weitere Differenzierungen

Weitere Möglichkeiten der Differenzierung bietet beispielsweise das Betrachten eventueller Ungenauigkeitsquellen: Wie können wir beim Experimentieren die Reibung am Aufhängpunkt verringern? Wie können wir den Versuchsaufbau anpassen, um die

Schwingung weiter zu idealisieren? Lernende können durch die Arbeitsblätter dazu angeleitet werden, sich diese und weitere Fragen zu stellen, somit ihr physikalisches Verständnis auf die Probe zu stellen und es schließlich zu vertiefen.

Um die Arbeitsblätter noch weiter auf die einzelnen Schülerinnen und Schüler abzustimmen, würde sich zudem eine Art Baukastensystem eignen, um die Aufgaben modular zusammensetzen zu können. Dies sollte jedoch von einer Lehrperson übernommen werden, um die Schülerinnen und Schüler trotz oder gerade wegen der Differenzierung auch durch Forderung fördern zu können.

4.2. Waage mit dem Drucksensor



Abb. 4: Veranschaulichung des Versuchsaufbaus der Luftpolster-Waage mit Alltagsgegenständen, wie sie in den Arbeitsblättern zu finden ist.

Das Experiment zum Drucksensor hat das Ziel des Baus einer Luftpolster-Waage, mit der insbesondere die Allseitigkeit des Drucks gut thematisiert werden kann. Neben dem Smartphone werden nur eine luftdichte Plastiktüte mit Zip-Verschluss, ein Stück Pappe und verschiedene Alltagsgegenstände zum Ausmessen und Wiegen benötigt.

Die eigentliche Experimentieranleitung ändert sich für die einzelnen Bereiche gar nicht oder kaum und soll nur kurz angerissen werden: Zum Bau der Luftpolster-Waage sollen Schülerinnen und Schüler ihr Smartphone in die luftdichte Plastiktüte legen und diese aufpusten (siehe Abb. 4). Werden nun Gegenstände auf das entstandene „Luftkissen“ gelegt, wird das Volumen komprimiert, wodurch der Druck steigt. Diese Änderung kann durch den Drucksensor des Smartphones registriert und angezeigt werden.

Als Besonderheit in diesem Experiment ist anzumerken, dass vier verschiedene Arbeitsblätter zur quantitativen und qualitativen Differenzierung entwickelt wurden. Im zweiten Anforderungsbereich liegen zur feineren Differenzierung zwei Arbeitsblätter vor. Musterlösungen sind zu allen Exemplaren vorhanden. Sie dienen entweder zur Selbstkontrolle oder zur Kontrolle durch entsprechende Lehrpersonen.

Im ersten Anforderungsbereich besteht die Hauptaufgabe im Aufnehmen der Messdaten, dies soll als bildliche Darstellung geschehen. Zudem soll eine kurze Beschreibung der beobachtbaren Ereignisse erfolgen. Eine mögliche Abgabe, wie sie Schülerinnen und

Schüler für das erste Arbeitsblatt tätigen könnten, ist in Abb. 5 verdeutlicht.

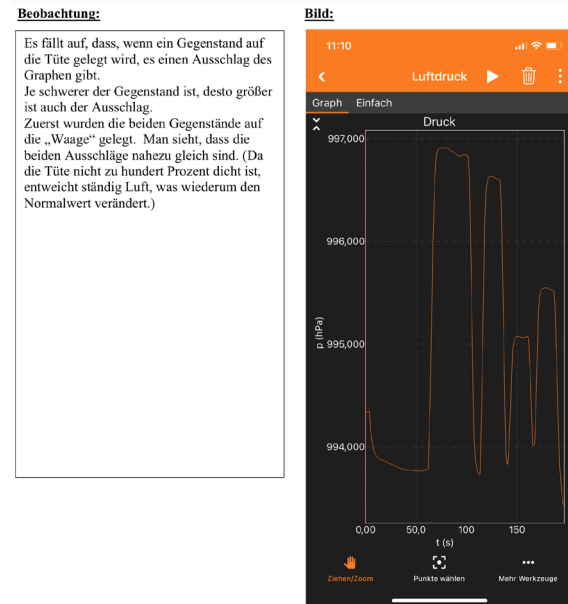


Abb. 5: Auszug aus der zu Anforderungsbereich 1 bereitgestellten Musterlösung.

Im zweiten Anforderungsbereich, welcher, wie bereits erwähnt, zwei Arbeitsblätter umfasst, soll schrittweise eine Transferleistung eingeführt werden. Neben den bereits im geringsten Anforderungsniveau genannten Aufgaben kommt nun der Umgang mit der Mathematisierung hinzu. Im ersten Arbeitsblatt des zweiten Anforderungsniveaus ist die benötigte Gleichung bereits nach der Masse umgestellt. Die Schülerinnen und Schüler müssen nur noch die gemessenen Zahlenwerte einsetzen und anschließend die berechneten Massen in eine vorgefertigte Tabelle eintragen. Im zweiten Arbeitsblatt wird von den Lernenden erwartet, dass sie den Zusammenhang zwischen Masse und Gewichtskraft auszunutzen wissen, um diesen in die Gleichung für den Druck einzusetzen. Anschließend sollen sie mit den gemessenen Werten die gesuchten Massen berechnen und in die eigens dafür vorgegebene Tabelle eintragen.

Der dritte Anforderungsbereich richtet sich an die leistungsstärkeren Schülerinnen und Schüler. Entsprechend werden weniger Hilfestellungen zum Verständnis der Aufgaben und der Experimentieranleitung gegeben, ohne jedoch dabei die Praktikabilität des Versuchs zu gefährden. Ebenso wird darauf verzichtet, Hinweise und Ansätze im Umgang mit mathematischen Formeln zu geben. Hauptanforderung des letzten Arbeitsblattes ist die Herleitung der benötigten Gleichungen und das Interpretieren der aufgenommenen Messwerte. Außerdem soll spielerisch überprüft werden, wie sich eine geringfügige Änderung der Versuchsanordnung auf die Messwerte auswirkt, da während des Experimentierens auffallen sollte, dass mit der zur Berechnung der Masse benötigten Auflagefläche nicht die Grundfläche des gemessenen Gegenstands gemeint ist, sondern die

Fläche der untergelegten Pappe. Schülerinnen und Schüler sind angehalten, durch variieren der Pappe Einflüsse auf die Genauigkeit der Luftpolster-Waage zu messen und neben einer idealen Pappengröße auch eine Erklärung für das Phänomen zu finden.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen von zwei Lehrveranstaltungen im Lehramtsstudium Physik an der Universität Jena ist eine Website entstanden, auf der nach und nach differenzierte Anleitungen für Heimexperimente, die mit dem Smartphone oder Tablet durchführbar sind, zur Verfügung gestellt werden. Begleitet werden die Themen von Lehrenden aus der pädagogischen Psychologie und der Physikdidaktik. Erste Experimente stehen zur Verfügung. Weitere entstehen durch die Verstärkung des Projekts in einem Seminar in der Physikdidaktik.

Erste Schritte sind getan. Fernziel ist jedoch, eine reichhaltige Sammlung an Experimenten für das Smartphone oder Tablet zu erstellen, für die durchgängig im Anforderungsniveau differenzierte Experimente vorliegen. Für die Zukunft ist daher geplant, die Website stärker auf das Erstellen und Nutzen von differenzierten Versuchsanleitungen auszurichten. Hierzu liegt bereits eine Anleitung mit Hilfestellungen vor, die das Erstellen von bearbeitbaren PDF-Dateien erleichtert. Darüber hinaus werden weitere Anleitungen, z.B. zur Implementation von Differenzieren, erarbeitet. Diese Anleitungen sollen externen Interessierten ermöglichen, differenzierte Versuchsanleitungen zu erstellen. Dadurch können Physiklehrkräfte auf diese Anleitungen zugreifen, sie anwenden und gegebenenfalls verbessern.

6. Literatur

- [1] Sekretariat der Kultusministerkonferenz (2019): Standards für die Lehrerbildung: Bildungswissenschaften (Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 16.12.2002, i. d. F. vom 16.05.2019). URL: https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2004/2004_12_16-Standards-Lehrerbildung.pdf. (Stand 5/2023)
- [2] Sekretariat der Kultusministerkonferenz (2019): Ländergemeinsame inhaltliche Anforderungen für die Fachwissenschaften und Fachdidaktiken in der Lehrerbildung (Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 16.10.2008 i. d. F. vom 16.05.2019). URL: https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2008/2008_10_16-Fachprofile-Lehrerbildung.pdf (Stand: 5/2023)
- [3] R. Wodzinski (2022): Differenzierung im Fokus: Physikunterricht für alle Schülerinnen und Schüler gestalten. In: *Naturwissenschaften im Unterricht Physik*, Heft 189/190, S. 90.
- [4] R. Wodzinski (2013): Lernen mit gestuften Hilfen. *Physik Journal* 12(3), 45-49.
- [5] R. Wodzinski, L. Stäudel (2009): Aufgaben mit gestuften Hilfen für den Physikunterricht. Friedrich-Verlag, Seelze.
- [6] A. Sasse, U. Schulzeck (2013): Differenzierungsmatrizen als Modell der Planung und Reflexion inklusiven Unterrichts – zum Zwischenstand in einem Schulversuch. In: A. Jantowski (Hrsg.): *Thillm.2013 – Gemeinsam leben. miteinander lernen*. Thüringer Institut für Lehrerfortbildung, Lehrplanentwicklung und Medien (Thillm), Bad Berka.
- [7] A. Sasse, U. Schulzeck (Hrsg.) (2021): *Inklusiven Unterricht planen, gestalten und reflektieren*. Verlag Julius Klinkhardt, Bad Heilbrunn.
- [8] S. Bresler (2007): Mit Kompetenzrastern Unterricht planen und bewerten: Erfahrungen aus einer Unterrichtssequenz zum Thema „Wolkenbildung“ in einer 9. Realschulklasse. In: *Naturwissenschaften im Unterricht Physik*, Heft 99/100, S. 32.
- [9] R. Hepp (2007): Vielfalt in Projekten: Differenzierung durch interessenbezogene Gruppenarbeit. In: *Naturwissenschaften im Unterricht Physik*, Heft 99/100, S. 32.
- [10] S. Staacks, H. Heinke, C. Stampfer (2018): Smarte Experimente. *Physik Journal* 17(11), 35-38.
- [11] D. Dorsel, et al. (2022): Visualisierung von Messdaten eigener Sensormodule mit phyphox. *Physik in unserer Zeit* 53(3), 151-152.
- [12] D. Dorsel, et al. (2023): Sensordaten drahtlos zur Smartphone-App phyphox übertragen und grafisch auswerten. *MNU Journal*, 76(1), 36-43.
- [13] Webpage von ProfJL²: <https://www.profjl.uni-jena.de/> (Stand 5/2023)
- [14] Webpage „Wie smart ist dein Phone?“: <https://www.wissenschaft-im-handy.de/> (Stand: 5/2023)
- [15] Sekretariat der Kultusministerkonferenz (2013): Operatoren für die naturwissenschaftlichen Fächer (Physik, Biologie, Chemie) an den Deutschen Schulen im Ausland. URL: <https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/pdf/Bildung/Auslandsschulwesen/Kerncurriculum/Auslandsschulwesen-Operatoren-Naturwissenschaften-02-2013.pdf> (Stand 5/2023)

Danksagung

PROFJL² wird im Rahmen der gemeinsamen „Qualitätsinitiative Lehrerbildung“ von Bund und Ländern aus Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gefördert.

Digitale Sensoren in der Lehramtsausbildung

Katharina Stütz, Nicolas Braatz, Felix Weiss, Ronny Nawrodt

Universität Stuttgart, Physik und ihre Didaktik, Pfaffenwaldring 57, 70569 Stuttgart
k.stuetz@physik.uni-stuttgart.de

Kurzfassung

Die Forderung nach digitalen Kompetenzen bei Lehrenden ist nicht erst seit der Pandemie in der öffentlichen Diskussion. Als Multiplikatoren garantieren sie den Transfer dieser Fähigkeiten in die nächsten Generationen. Die digitalen Kompetenzen und der Umgang mit digitaler Sensorik muss daher einen zentralen Platz in der Ausbildung von Lehramtsstudierenden einnehmen. Wir präsentieren zwei beispielhafte Experimente aus der Lehrveranstaltung zu digitalem Physikunterricht im Master an der Universität Stuttgart und zeigen, wie diese praxisnah in die Ausbildung implementiert werden können.

1. Digitale Kompetenzen in der Lehramtsausbildung

Um die Schülerinnen und Schüler auf diese digitalisierte Welt und ihre zukünftige Arbeitswelt vorzubereiten sollen nach einer gemeinsamen Strategie der Kultusminister allumfassende digitale Kompetenzen fächerübergreifend und fachspezifisch vermittelt werden.

Um diese Pläne umsetzen zu können müssen die Lehrkräfte von morgen die digitalen Medien, allgemein und fachspezifisch selbst beherrschen und professionell, allgemeindidaktisch und fachdidaktisch sinnvoll in ihren Unterricht integrieren [1].

Doch damit die zukünftigen Lehrerinnen und Lehrer dieses hohe Niveau an professionelle Medienbildung erreichen muss diese in allen Stufen der Ausbildung verankert sein. An vielen Universitätsstandorten werden daher Seminar zur Nutzung digitaler Medien und Integration in den Unterricht konzipiert, erprobt und erforscht. Auch speziell zu digitalen Medien im Physikunterricht entstanden in den letzten Jahren Seminare und Seminarkonzepte [2].

Doch die Auswahl an möglichen Ausbildungsinhalten für ein Seminar zum digitalen Physikunterricht ist groß und die inhaltlichen Gestaltungsmöglichkeiten damit vielfältig. Es stellt sich also die Frage wohin sich der Fokus bei der Erstellung neuer Lehrmaterialien richten sollte.

Betrachten wir nur den physikalischen Inhalt, so steht dabei die fachlich und fachdidaktisch reflektierte Nutzung der digitalen Messwerterfassung im Mittelpunkt. Die Studierenden sollen dazu unter anderem die Grundprinzipien verstehen, den Überblick über unterschiedliche Geräte haben und den didaktischen Mehrwert einordnen können [3]. Doch damit die zukünftigen Lehrerinnen und Lehrer die digitalen Medien im Unterricht auch einsetzen ist nach Ertmer und Ottenbreit-Leftwich das eigene kompetente Erleben im Umgang zentral [4].

Aufbauend auf diesen Forderungen liegt der Fokus unseres Seminars auf dem kleinschrittigen und reflektierten Sammeln von ersten Praxiserfahrungen im Umgang mit der digitalen Messwerterfassung [5]. Ziel ist es, dass die Lehramtsstudierenden eine Auswahl an gängigen Systemen zur digitalen Messwerterfassung kennen lernen und diese je nach Anwendung gezielt auswählen können.

Zwei Experimente, die im Rahmen von Abschlussarbeiten von Studierenden entwickelt wurden, werden präsentiert und die Einbettung in das bestehende Seminar dargelegt.

2. Aktuelle Gestaltung des Lehramtsstudiums in Baden-Württemberg

Das Lehramtsstudium ist in Baden-Württemberg, nach der Umstellung im Jahr 2015 vom 10-semestri-gen Staatsexamen, nach der gestuften Studiengangstruktur mit Bachelor- und Masterstudium aufgebaut. Dabei beträgt die Regelstudienzeit im Bachelorstudium sechs und im Masterstudium vier Semester.

In das gesamte Studium sind pro Hauptfach insgesamt 15 ECTS-Punkte [6] zur Fachdidaktik verankert. Darin soll nach einem Beschluss der Kultusministerkonferenz anschlussfähiges fachdidaktisches Wissen vermittelt werden. Thematisch soll dabei unter anderem auf Motivation, Interesse, Experimente und Medien eingegangen werden. [7]

Aufgeteilt werden diese 15 ECTS-Punkte je nach Hochschule in zwei bis drei Seminare, welche im Bachelorstudium oder im Masterstudium abgehalten werden. Inhaltlich werden darin meist innerhalb des ersten Seminars im Bachelor die fachdidaktischen Grundlagen behandelt. Die darauf aufbauenden Seminare befassen sich dann aber mit inhaltlich verschiedenen Schwerpunkten.

An der Universität Stuttgart beinhaltet das zweite Modul zur Fachdidaktik im Bachelor ein Demonstra-



Abb. 1: Darstellung des Modulplans des Masterstudiums zum gymnasialen Lehramtsstudium Physik an der Universität Stuttgart.

tionsseminar. Darin sollen schulrelevante Demonstrationsexperimente der Sekundarstufe 1 geplant, aufgebaut, getestet, optimiert, durchgeführt und innerhalb einer Microteaching-Einheit auch präsentiert werden [8].

Innerhalb des Mastermoduls zur Fachdidaktik beschäftigen wir uns dann im ersten Teil mit dem digitalen Physikunterricht und im zweiten Teil dann mit den Demonstrationsexperimenten zur Sekundarstufe 2 (siehe Abbildung 1).

Die hier beschriebenen Experimente werden diesem ersten Teil des Seminars zugeordnet.

3. Vorwissen der Studierenden vor dem Seminar

Um Experimente und Zusatzmaterialien zum Seminar passend entwickeln zu können muss das Vorwissen der Studierenden zunächst geklärt werden.

Dazu kann in einem ersten Schritt mit der Lage des Seminars im ersten Mastersemester auf das Vorwissen aus dem bisherigen Studium geschlossen werden. Darin enthalten ist das Physikalische Grundlagenpraktikum, das Demonstrationspraktikum der Sekundarstufe 1 und viele Module zur Experimental- und Theoretischen Physik. Damit bringen die SuS theoretisch ein breites Wissen zur Physik und experimentelle Grundfähigkeiten mit in das Seminar.

Doch für dieses Seminar ist nicht nur das fachliche Wissen ausschlaggebend. Zusätzlich muss betrachtet werden welches digitale Vorwissen die aktuellen Studierenden mit in das Seminar bringen. Betrachtet man dazu die jetzige Generation an Studierenden so möchte man davon ausgehen, dass sie sich mit den digitalen Medien bestens auskennen und auch zum Lernen und zum Studieren nutzen. Denn sie alle gehören zu den Digital Natives. Diese Gruppe schließt alle mit ein, die von klein auf von digitalen Medien umgeben sind und diese auch für allerlei Aktivitäten nutzen [9].

Zusätzlich wurden spätestens seit der Strategie der Kultusministerkonferenz „Bildung in der digitalen Welt“ aus dem Jahr 2017 allerlei Bemühungen unternommen die digitalen Medien immer weiter in die Schulen zu tragen [1]. Unsere aktuellen Studierenden im ersten Mastersemester haben diese Zeit bereits in der Schule miterlebt und sollten deshalb mit ersten Vorerfahrungen zum Einsatz digitaler Medien im Unterricht an die Universität kommen.

Auf diesen ersten Vorerfahrungen möchten wir mit unserem Seminar weiter aufbauen. Denn ohne eine dementsprechende Ausbildung werden die zukünftigen Lehrerinnen und Lehrer das Lernen mit digitalen Medien auch nicht an ihre Schülerinnen und Schüler weitergeben können.

4. Bestimmung der Fallzeit beim Freien Fall mit dem Arduino

Bei diesem Experiment zum Freien Fall handelt es sich um ein klassisches Schulexperiment, das in der Regel mit Material bekannter Lehrmittelhersteller durchgeführt wird. Dabei wird die Fallzeit einer Metallkugel mithilfe einer digitalen Stoppuhr gemessen. Die Signale für die Zeitmessung kommen dafür zuerst von einem Elektromagneten und dann von einer Lichtschranke oder einer Druckplatte.

4.1. Didaktische Aspekte

Für unser Seminar wurde dieses Experiment in einer Bachelorarbeit [10] mit Hilfe eines Mikrokontrollers aufgebaut, getestet und verbessert. Dabei besteht die recht einfache Schaltung aus dem Mikrokontroller selbst, einem Elektromagneten, einem Relais, einem Taster mit Pull-down-Widerstand, einer Fotodiode und einer Laserdiode.

Das Experiment eignet sich sehr gut für die Umsetzung mit einem Mikrokontroller. Denn die Idee des Experiments ist im Grunde recht einfach und dennoch kommen hier essentielle Eigenschaften des Mikrokontrollers sehr gut zur Geltung. So beträgt die Verarbeitungsdauer des Codes für den Mikrokontroller im Schnitt 0,37 ms und die Rückfallzeit 0,1 ms. Bei durchschnittlichen Fallzeiten bei einer Höhe von 1,750 m von 597,3 ms sind diese Bearbeitungszeiten relevant und müssen mit beachtet werden.

Bei dem Aufbau und der Durchführung des Experiments kommt außerdem viel Wissen zusammen. So lernen die Studierenden viel zum Mikrokontroller, zur Beschaltung eines Elektromagneten, zur Funktionsweise einer Lichtschranke und der Beschaltung eines Relais, eines Tasters und einer Fotodiode.

In einem ersten Schritt ist es die Aufgabe der Studierenden den Aufbau umzusetzen und erste Messdaten aufzuzeichnen. Als Vertiefung kann dann die Fallzeit für verschiedene Kugeldurchmesser bestimmt werden. Die Studierenden sollen sich so anhand der

Messdaten überlegen weshalb die Kugelgröße die Fallzeit beeinflusst und wie sie deshalb bestmöglich gewählt werden muss.

4.2. Aufbau und Messdaten zum Experiment

Um das Experiment aufzubauen wird als Mikrokontroller ein Arduino UNO verwendet. Der Elektromagnet (Heschen HS-P20x15) und eine selbstgebaute Lichtschranke aus einer Fotodiode (BPW21) und einer grünen Laserdiode (CW520-05) sind dabei mit einem senkrechten Abstand von 1,750 m übereinander aufgebaut. Die Laserdiode ist dabei so platziert, dass ihr Strahl parallel zum Boden zentral auf die Fotodiode trifft. An dieser ist bei Einstrahlung mit dem Laser ein Spannungsabfall von 0 V messbar. Der Taster ist wie in Abbildung 2 zu sehen mit einem pull-down Widerstand mit 1 k Ω verbunden, um den Logikpegel bei offenem Kontakt sicherzustellen. Die Entprellung ist softwaretechnisch gelöst. Über den digitalen Pin 2 wird der Zustand des Tasters ausgelesen. Der Pin 13 dient zum Steuern des Relais (Meder DIPO5-2A72-21D). Schließt sich das Relais, wird der Elektromagnet über eine externe Stromversorgung mit einer Stromstärke von 0,2 A und einer Spannung von 1,47 V versorgt. Über den analogen Eingang A1 des Arduinos wird der Spannungsabfall an der Fotodiode gemessen, um die Unterbrechung der Lichtbarriere festzustellen.

Die Fallstrecke wurde von der Unterkante des Elektromagneten bis zur Lichtschranke auf $\Delta s_0 = 1,750$ m eingestellt. Da die Lichtschranke aber bereits stoppt, wenn die untere Kante der Kugel die Lichtschranke durchbricht muss von der Fallstrecke der Kugeldurchmesser d_K abgezogen werden:

$$\Delta s = \Delta s_0 - d_K. \quad (1)$$

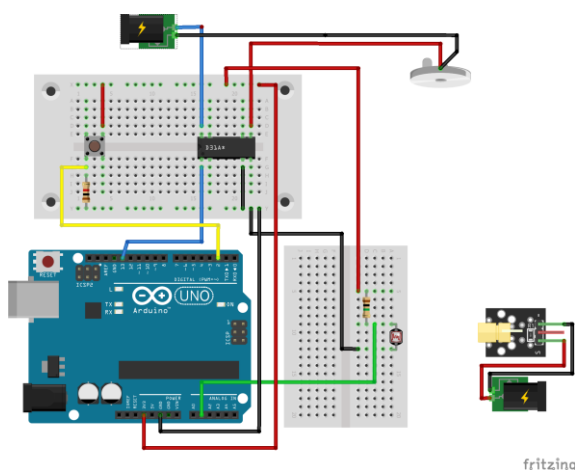


Abb. 2: Im Schaltplan ist der Arduino UNO zu sehen, welcher mit dem Relais, dem Taster und der Lichtschranke verbunden ist. Auf dem oberen Steckbrett ist der Taster und das Relais verbaut. Oben rechts ist der Elektromagnet dargestellt. Auf dem unteren Steckbrett ist die Verschaltung für die Lichtschranke angebracht. Der Laser ist gegenüber dargestellt.

Bei der Bestimmung der effektiven Fallzeit t_{eff} der Kugel muss zusätzlich die Verarbeitungsdauer des Codes und die Reaktionszeiten des Tasters, der Laserdiode und der Fotodiode von der gemessenen Fallzeit abgezogen werden. Diese wurden durch eine Zeitmessung bei direktem Auslösen der Lichtschranke nach dem Ausschalten des Elektromagneten auf einen Wert von 0,37 ms bestimmt. Hinzu kommt, dass das verwendete Relais eine Rückfallzeit von 0,1 ms besitzt. Auch diese muss von der gemessenen Fallzeit abgezogen werden. Für unsere gegebene Fallstrecke beträgt die ideale Falldauer

$$t_0 = \sqrt{\frac{2g}{s}} = 597,5 \text{ ms}. \quad (2)$$

Für die verschiedenen Kugeldurchmesser ergeben sich damit die Fallzeiten und damit die Ortsfaktoren in Tabelle 1.

Ein möglicher Erklärungsansatz für die unterschiedliche Fallzeit der Kugeln hat seinen Ursprung im Spannungsverlauf an einer Spule beim Öffnen eines Schalters:

$$U(t) = U_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}. \quad (3)$$

Dabei entspricht U_0 der anfänglichen Spannung und $\tau = L/R$ der Zeitkonstanten. Für unseren Elektromagneten wurde dieser Spannungsabfall gemessen.

Aus diesen Messdaten (siehe Abbildung 3) ergibt sich eine anfängliche Spannung von $U_0 = 1,28$ V und eine Zeitkonstante von $\tau = 9,54$ ms. Mit einem Innenwiderstand der Spule von 6,7 Ω ergibt sich damit eine Induktivität der Spule von 64 mH.

Mit dem Spannungsabfall nimmt auch die Stromstärke, die durch die Spule fließt, immer weiter ab und damit sinkt das hervorgerufene Magnetfeld. Dieses sorgt für eine Anziehungskraft des Elektromagneten. Da vom Kugeldurchmesser bei gleicher Dichte auf die Masse der Kugeln geschlossen werden kann ist dies ein möglicher Erklärungsansatz für die durchmesserabhängige Fallzeitverzögerung t_V . Mithilfe einer Lichtschranke, welche direkt am Aufhängepunkt der Kugel positioniert wird, kann diese Fallzeitverzö-

Tab 1: Die effektiven Fallzeiten t_{eff} der Kugeln mit unterschiedlichen Durchmessern d_K , der zugehörigen Fallstrecke Δs und der berechneten Erdbeschleunigungen g .

d_K in mm	Δs in m	t_{eff} in ms	g in m/s ²
12	1,739	664,3	7,88
16	1,735	604,1	9,51
18	1,733	602,9	9,54
20	1,731	602,6	9,54
25	1,726	598,7	9,63
28	1,723	597,3	9,66

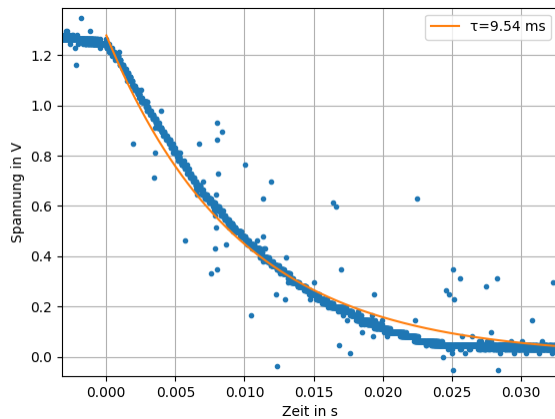


Abb. 3: Die Ausschaltkurve der Spule. Der Zeitpunkt Null ist dabei auf den Beginn des Ausschaltvorgangs gesetzt.

gerung auch direkt gemessen werden (siehe Tabelle 2).

Für den Unterricht in der Schule kann aus diesem Experiment geschlussfolgert werden, dass die Kugelgröße an die maximal wirkende Anziehungskraft des Elektromagneten angepasst werden sollte. Wird die Kugel vom Elektromagneten im eingeschalteten Zustand gerade so gehalten, so ist die Fallzeitverzögerung durch das Ausschalten der Spule am geringsten. Diese Auswahl führt hier zu den besten Messergebnissen.

5. Digitale Untersuchung des Drehimpulses

Dieses Experiment zur Drehbewegung besteht aus drei getrennten Versuchsteilen. Der erste Teil handelt von der Bestimmung des Haftreibungskoeffizienten einer 20-Cent-Münze, im zweiten Teil geht es um die Bestimmung des Trägheitsmoments der Rotationsplatten und im letzten Teil soll die Drehimpulserhaltung beobachtet werden. Bei allen drei Experimenten handelt es sich um Experimente, die so ähnlich in der Schule durchgeführt werden können. An der Universität Stuttgart sind diese Experimente Teil einer Versuchsreihe beim Schülerlabor Physik „Spiel der Kräfte“.

5.1. Didaktische Aspekte

Für unser Seminar wurden die bereits existierenden Experimente in einer Abschlussarbeit [11] so umgebaut und erweiterte, dass nun bei allen Experimenten Daten mithilfe digitaler Messwerterfassung aufgezeichnet und ausgewertet werden können. Für die digitale Messwerterfassung bei diesem Experiment wird ein Interfacesystem verwendet. Bei unseren Experimenten kommt hier ein „Smart Gate“ und zwei „Wireless Magnetic Field Sensor(en)“ der Firma PASCO [12, 13] zum Einsatz. Die Messdaten werden hier über Kabel an einen „Digital Adapter“ und dann über einen „PASCO airtlink“ via Bluetooth an ein Tablet mit der Software „SparkVue“ gesendet. Dort können die Messdaten dann angezeigt, verarbeitet und als csv- oder Excel-Datei abgespeichert werden.

Tab. 2: Die Fallzeitverzögerungen t_V der Kugeln mit den verschiedenen Durchmessern d_K .

d_K in mm	12	16	18	20	25	28
t_V in ms	53,2	9,6	8,3	6,5	4,7	4,3

Die Studierenden lernen mit diesen Experimenten im Seminar gleichzeitig die Experimente des Schülerlabors und das System zur digitalen Messwerterfassung kennen.

5.2. Bestimmung des Haftreibungskoeffizienten einer 20-Cent-Münze

Im ersten Experiment soll mithilfe einer Rotationsplatte der Haftreibungskoeffizient einer 20-Cent-Münze bestimmt werden. Dazu wird diese in einem Abstand von $r = 9$ cm auf die Rotationsplatte gelegt. Diese wird mithilfe eines Elektromotors und eines Zahnriemens in Rotation versetzt. Die Winkelgeschwindigkeit ω wird mithilfe einer Lichtschranke gemessen. Diese Winkelgeschwindigkeit wird dann schrittweise erhöht bis die ausgeübte Haftreibungskraft der 20-Cent-Münze auf die Platte nicht mehr ausreicht und die Münze von der Platte fliegt. Aus dem Kräftegleichgewicht der Zentripetalkraft $F_Z = m \cdot r \cdot \omega^2$ und der Haftreibungskraft $F_H = F_N \cdot \mu$ kann der Haftreibungskoeffizient μ bestimmt werden:

$$\mu = \frac{r \cdot \omega^2}{g} \tag{4}$$

In Abbildung 4 sind beispielhafte Messdaten dargestellt. Die maximale Winkelgeschwindigkeit lässt sich daraus mit $\omega = 5,28$ rad/s ablesen. Damit lässt sich ein Haftreibungskoeffizient von $\mu = 0,30$ berechnen.

5.3. Bestimmung des Trägheitsmoments der Rotationsplatte

Um das Trägheitsmoment einer solchen Rotationsplatte bestimmen zu können wird diese mit der Rotationsachse parallel zu Tischplatte aufgestellt. An einer zusätzlichen Halterung aus Plastik wird ein Faden

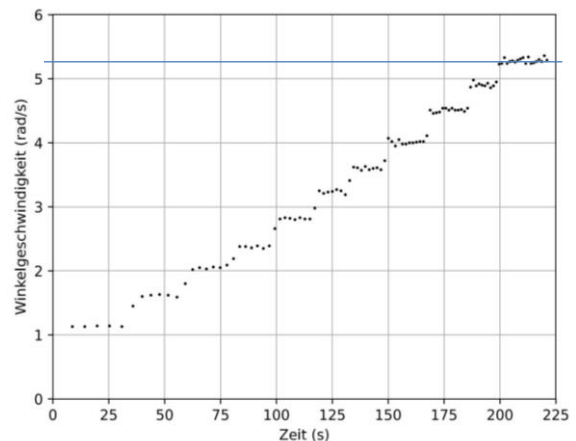


Abb. 4: Messdaten zur Winkelgeschwindigkeit der Drehbewegung einer Rotationsplatte. Diese wird schrittweise erhöht bis die 20-Cent-Münze die Rotationsplatte verlässt.

mit einem Massestück befestigt, sodass die Rotationsplatte durch die tangential angreifende Gewichtskraft in eine Drehbewegung versetzt wird. Diese stetige Zunahme der Winkelgeschwindigkeit wird in diesem Experiment erneut mit einer Lichtschranke aufgezeichnet. Aus der Gewichtskraft durch das Massestück, den Abstand des Angriffspunktes der Gewichtskraft zur Mitte der Drehachse r und die Winkelbeschleunigung α kann dann das Trägheitsmoment J berechnet werden:

$$J = \frac{m \cdot g \cdot r}{\alpha} \quad (5)$$

In Abbildung 5 sind die Daten einer solchen Messreihe dargestellt. Die Steigung der Fit-Geraden als Änderung der Winkelgeschwindigkeit ergibt eine Winkelbeschleunigung von $\alpha = 3,84 \text{ rad/s}$ und damit ein Trägheitsmoment der Rotationsplatte von $J = 2284 \text{ kg} \cdot \text{mm}^2$. Dafür wurde zur Beschleunigung der Platte ein Massestück mit 50 g aus einer Höhe von 1,03 m fallen gelassen. Dieser Wert weicht damit um ca. 3% vom theoretischen Wert von $2355 \text{ kg} \cdot \text{mm}^2$ ab. Dieser wurde mithilfe der Software „Autocad Inventor“ bestimmt. Die dafür verwendeten technischen Skizzen sind in Abbildung 6 dargestellt.

5.4. Beobachtung der Drehimpulserhaltung

Der gesamte Aufbau besteht hier aus zwei Rotationsplatten mit jeweils einem Stift zur Befestigung eines gebogenen Stücks Metall zur Abfederung. Damit soll bei einem elastischen Stoß der oberen mit der unteren

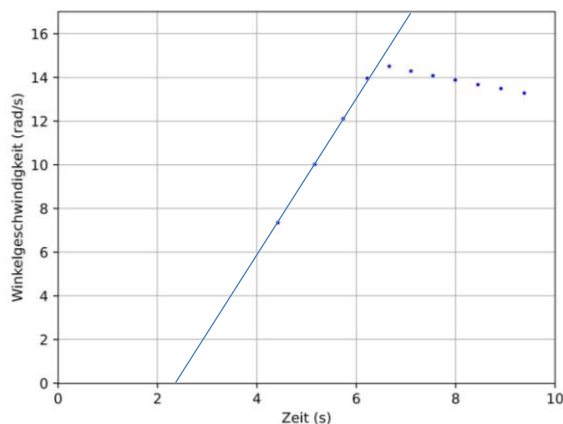


Abb. 5: Messdaten zur Winkelgeschwindigkeit der Rotationsplatte bei einer gleichmäßigen Beschleunigung mithilfe eines frei fallenden Massestücks. Die Steigung der Fitgeraden beträgt hier $\alpha = 3,84 \text{ rad/s}$.

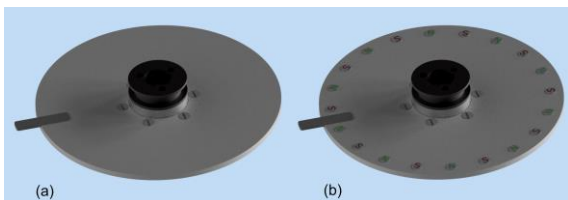


Abb. 6: Dargestellte Modellierungen der Rotationsplatten zur Bestimmung der Trägheitsmomente der Versuchsvarianten zum Trägheitsmoment: (a) ohne Magnete $2355 \text{ kg} \cdot \text{mm}^2$ (b) mit Magneten $2400 \text{ kg} \cdot \text{mm}^2$.

Platte der gesamte Drehimpuls an die stillstehende Platte abgegeben werden. Um die Winkelgeschwindigkeit bei diesem Experiment nun genauer messen

zu können werden in einem Abstand von $\Delta\varphi/2 = \pi/10 = 18^\circ$ Magneten mit abwechselnder Polung auf den Platten angebracht. Mit zwei Magnetfeldsensoren können so aus der Aufnahme der magnetischen Feldstärke H über die Zeit die Winkelgeschwindigkeiten der beiden Platten vor und nach dem Stoß genau bestimmt werden. Zur Aufnahme der Messdaten wird eine der beiden Platten mit der Hand angestoßen und die Messung am Tablet gestartet. Die jeweils andere Platte sollte sich dabei in Ruhe befinden. Die magnetische Feldstärke, die von einem der Sensoren aufgezeichnet wird, verläuft mit

$$H(t) = A \cdot \sin(10 \cdot (t - \Delta\varphi) \cdot \omega) + H_0 \quad (6)$$

mit der Phasenverschiebung $\Delta\varphi = \pi/5$. Fittet man diesen Verlauf an die beispielhaften Messdaten in Abbildung 7, so ergibt sich vor dem elastischen Stoß eine Winkelgeschwindigkeit der unteren Platte von $\omega_1 = 2,95 \text{ rad/s}$ und nach dem elastischen Stoß eine Winkelgeschwindigkeit der oberen Platte von $\omega_2 = 2,15 \text{ rad/s}$.

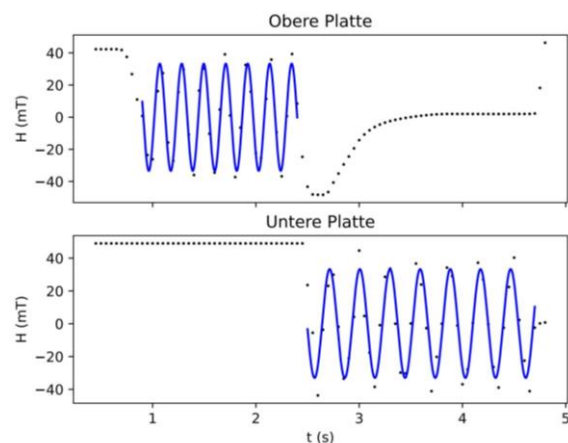


Abb. 7: Messdaten zur Drehimpulserhaltung beim elastischen Stoß zweier Rotationsplatten.

6. Literatur

- [1] Kultusministerkonferenz (2017): Strategie der Kultusministerkonferenz „Bildung in der digitalen Welt“ (Beschluss der KMK vom 08.12.2016 in der Fassung vom 07.12.2017), S. 25. Url: https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2016/2016_12_08-Bildung-in-der-digitalen-Welt.pdf (Stand 05/2023).
- [2] Becker, Sebastian; Meßinger-Koppelt, Jenny; Thyssen, Christoph (Hrsg.) (2020): Digitale Basiskompetenzen. Orientierungshilfe und Praxisbeispiele für die universitäre Lehramtsausbildung in den Naturwissenschaften. Hamburg: Joachim Herz Stiftung.

- [3] Deutscher Verein zur Förderung des mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterrichts e. V. & T³ Deutschland (Hrsg.): Experimentieren im naturwissenschaftlichen Unterricht im Zeitalter der Digitalisierung: Stellungnahme zum Erwerb fachlicher und fachdidaktischer Kompetenzen in der Lehramtsausbildung (2018), S. 1-3 und S. 82-90. Url: http://t3-trainingcenter-berlin.de/wp-content/uploads/2018/05/Tagungsbericht-MNU_T3_Sensortagung.pdf (Stand 05/2023).
- [4] Ertmer, Peggy A.; Ottenbreit-Leftwich; Anne T. (2010): Teacher Technology Change: How Knowledge, Confidence, Beliefs and Culture Intersect. In: Journal of Research Technology and Engineering (JRTE), Volume 42, No. 3, S. 255-284.
- [5] Stütz, Katharina; Nawrodt, Ronny (2020): Konzeption und Aufbau eines Didaktikpraktikums zur Digitalisierung für Lehramtsstudierende. In: Nordmeierm V.; Grötzebauch, H. (Hrsg.) (2020): PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung Bonn 2020. Berlin. S. 429-436, Url: <https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phydid-b/article/view/1098> (Stand 5/2023)
- [6] Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst Baden-Württemberg: Die Studieninformation für Baden-Württemberg. Leistungspunkte (ECTS-Punkte). Url: <https://www.studieren-in-bw.de/waehrend-des-studiums/bachelormaster/leistungspunkte-ects-punkte/> (Stand 5/2023).
- [7] Kultusministerkonferenz (2019): Ländergemeinsame inhaltliche Anforderungen für die Fachwissenschaften und Fachdidaktiken in der Lehrerbildung (Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 16.10.2008 in der Fassung vom 16.05.2019), S. . Url: https://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2008/2008_10_16-Fachprofile-Lehrerbildung.pdf (Stand 05/2023).
- [8] Stütz, Katharina; Nawrodt, Ronny (2021): Entwicklung eines Didaktikpraktikums für Physik-Lehramtsstudierende, ein Zwischenstand. In: Grebe-Ellis, J. & Grötzebauch, H. (Hrsg.). (2021). PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur virtuellen DPG-Frühjahrstagung 2021. Berlin. S. 483-488, Url: <https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phydid-b/article/view/1197/> (Stand 5/2023)
- [9] Palfrey, John; Gasser, Urs (2008): Born digital. Understanding the first generation of digital natives. New York: Basic Books.
- [10] Weiss, Felix (2023): Remanenzabhängigkeit der Fallzeit beim Freien Fall. Bachelorarbeit, Universität Stuttgart, unveröffentlicht.
- [11] Braatz, Nicolas (2023): Digitalisierung von Experimenten zum Drehimpuls im Schülerlabor. Masterarbeit, Universität Stuttgart, unveröffentlicht.
- [12] Seite der Firma PASCO: Smart Gate. Url: <https://www.pasco.com/products/sensors/smart-gate/ps-2180> (Stand 5/2023)
- [13] Seite der Firma PASCO: Wireless Magnetic Field Sensor. Url: <https://www.pasco.com/products/sensors/wireless/ps-3221> (Stand 5/2023)

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.

Die Autoren danken der Unterstützung von digit@1 – Digitales Lehren und Lernen an der Universität Stuttgart: Boost. Skills. Support.

Förderung digitaler Kompetenzen in der schulstufenübergreifenden Lehrkräftebildung

Lisa Stinken-Rösner*, Simone Abels⁺

*Universität Bielefeld, Physik und ihre Didaktik, Universitätsstraße 25, 33615 Bielefeld

⁺Leuphana Universität Bielefeld, Didaktik der Naturwissenschaften, Universitätsallee 1, 21335 Lüneburg
lisa.stinken-roesner@physik.uni-bielefeld.de

Kurzfassung

Eine Besonderheit der naturwissenschaftlichen Lehrkräftebildung an der Leuphana ist, dass Studierende des Lehramts für die Grundschule (Sachunterricht mit Bezugsfach Naturwissenschaften) und für die Sekundarstufe I (Biologie und/oder Chemie) gemeinsam die naturwissenschaftsdidaktischen Module im Bachelor besuchen. Im Projekt ‚Forschendes Lernen mit digitalen Medien‘ (FoLe – digital) wurden digitale Medien systematisch in die bereits etablierte Modulstruktur – der schrittweisen Spezifizierung der Inhalte ausgehend von der theoretischen Auseinandersetzung mit fachübergreifenden naturwissenschaftsdidaktischen Schwerpunkten hin zur fachspezifischen praxisorientierten Anwendung jener im Rahmen des Forschenden Lernens – implementiert, um neben fachdidaktischen auch digitale Kompetenzen der angehenden Lehrkräfte zu fördern.

Die Ergebnisse der Begleitforschung zeigen, dass die Studierenden, unabhängig von der gewählten Schulform, nach dem Besuch der naturwissenschaftsdidaktischen Module eine positivere Einstellungen sowie eine höhere Selbstwirksamkeitserwartung gegenüber dem Lehren und Lernen mit digitalen Medien angeben. Ebenfalls konnte eine Zunahme der durch die Teilnehmer:innen selbst eingeschätzten professionellen Kompetenzen hinsichtlich des Einsatzes digitaler Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht belegt werden. Der Vergleich zwischen den naturwissenschaftlichen Fächern zeigte zudem, dass Studierende der Primarstufe quantitativ mehr und eine größere Vielfalt an digitalen Medien in ihren Unterrichtsentwürfen berücksichtigen als ihre Kommiliton:innen der Sekundarstufe I.

1. Die naturwissenschaftliche Lehrkräftebildung an der Leuphana

Lehrkräftebildung ist eine Kernaufgabe der Leuphana Universität Lüneburg. An der Leuphana ist es möglich, in einem insgesamt zehensemestriigen Studium (B. A. nach 6 Semestern und M. Ed. nach weiteren 4 Semestern) Lehramt für Grund-, Haupt-/Real- und Berufsschulen zu studieren.

Im Bereich der Naturwissenschaften können die Studierenden Chemie oder Biologie als Unterrichtsfach für die Sekundarstufe I bzw. Sachunterricht mit dem Bezugsfach Naturwissenschaften für die Primarstufe studieren. Die angehenden Sachunterrichtslehrkräfte besuchen im Bachelor neben fünf übergreifenden Sachunterrichtsmodulen zwei fachwissenschaftliche und zwei fachdidaktische Module im Bereich der Naturwissenschaften. Die beiden fachdidaktischen Module belegen sie – was eine Besonderheit der Studiengänge an der Leuphana darstellt – mit den Biologie- und Chemielehramtsstudierenden gemeinsam, die weitere sieben fachwissenschaftliche Module im Bachelor studieren. Damit besteht an der Leuphana die Chance, die Studierenden auch auf fachübergreifenden Naturwissenschaftsunterricht zumindest in Ansätzen vorzubereiten. Im bildungswissenschaftlichen Bereich absolvieren alle Lehramtsstudierenden im Bachelor zwei mehrwöchige allgemeinpädagogische Praktika. Im Master gibt es in beiden

Studiengängen drei fachbezogene Module sowie die dreisemestriige Praxisphase mit fachspezifischen Vor-, Begleit- und Nachbereitungsseminaren zum Praktikumssemester. Diese werden also nicht übergreifend für die Naturwissenschaften angeboten, sondern getrennt nach den einzelnen Fächern. Der Master schließt mit der Masterarbeit, die mittels eines Masterkolloquiums begleitet wird.

In den beiden naturwissenschaftsdidaktischen Modulen, die gemeinsam von allen Lehramtsstudierenden der naturwissenschaftlichen Fächer im 4. und 5. Bachelorsemester besucht werden, besteht (hier am Beispiel Biologie) die Anforderung „Strategien zum Umgang mit biologiespezifischen digitalen Werkzeugen im Biologieunterricht“ anzuwenden und kritisch zu reflektieren (KMK, 2019, S. 23). Dabei werden Dozierende und Studierende vor die Herausforderung gestellt, fachübergreifende naturwissenschaftsdidaktische Konzepte zu adressieren ohne die jeweiligen Fachspezifika aus den Augen zu verlieren. Um dieser Herausforderung zu begegnen, findet in den naturwissenschaftsdidaktischen Modulen im Bachelor, ausgehend von fachübergreifenden naturwissenschaftsdidaktischen Schwerpunkten, eine zunehmende Spezifizierung und Praxisorientierung im Master hin zu den verschiedenen Unterrichtsfächern statt.

Im Rahmen des Moduls ‚Naturwissenschaften lehren und lernen‘ (4. Bachelorsemester) „erwerben die

Studierenden grundlegendes fachdidaktisches Wissen zum Lehren und Lernen der Naturwissenschaften“ (Leuphana Gazette Nr. 25/18, S. 7). Der Fokus liegt auf der theoriegeleiteten Analyse und Reflexion von Naturwissenschaftsunterricht. Jede Semesterwoche wird ein zentraler fachübergreifender naturwissenschaftsdidaktischer Schwerpunkt in der Vorlesung theoretisch behandelt und anschließend im Seminar praktisch vertieft. Eine praktische, fachspezifische Anwendung der naturwissenschaftsdidaktischen Schwerpunkte im Unterricht stellt den Kern des darauffolgenden Moduls ‚Naturwissenschaften im Alltag‘ (5. Bachelorsemester) dar. Auf Basis der Grundlagen planen die Studierenden „eine Unterrichtseinheit, führen [eine Unterrichtsstunde daraus] im Seminar durch und reflektieren ihre Umsetzung“ (Leuphana Gazette Nr. 25/18, S. 8). Der Fokus liegt also auf der theoriegeleiteten Planung und Durchführung von Naturwissenschaftsunterricht. Die Unterrichtseinheiten planen die Studierenden nach dem Ansatz des Forschenden Lernens, der neben dem Erwerb naturwissenschaftlicher Konzepte (to learn scientific content) auf prozedurales (to learn to do inquiry) und epistemisches Wissen (to learn about inquiry) abzielt (Abrams et al., 2008). Der Unterricht verläuft dafür in fünf Phasen (5E Model; Bybee, 2009), um die Schüler:innen für ein naturwissenschaftliches Phänomen zu begeistern (engage), das sie mit Unterstützung der Lehrkraft untersuchen (explore), erklären (explain) und in weiteren Kontexten vertiefen (elaborate). Die Studierenden antizipieren für alle Phasen den erwarteten Lernfortschritt (evaluate).

2. Förderung digitaler Kompetenzen von Naturwissenschaftslehrkräften

Um der bildungspolitischen Forderung nach einem Fachunterricht, in dem Lernende neben fachspezifischen auch Kompetenzen für die digital geprägte Welt erwerben können (KMK, 2017), nachzukommen, müssen universitäre Qualifizierungsangebote (weiter)entwickelt werden, in denen angehende Lehrkräfte den sinnvollen Einsatz digitaler Medien in ihrem Fach erlernen.

Dies gilt auch für die naturwissenschaftlichen Fächer, die sich durch teilweise sehr fachspezifische digitale Medien auszeichnen, z.B. digitale Messwertsysteme, digitale Mikroskope, virtuelle Labore etc., die in allgemeinpädagogischen oder didaktischen Veranstaltungen anderer Fächer nicht behandelt werden (können). Es ist somit explizite Aufgabe der naturwissenschaftlichen Fachdidaktiken, sich dieser Aufgabe anzunehmen und (angehende) Lehrkräfte in die Lage zu versetzen, einen zeitgemäßen naturwissenschaftlichen Unterricht mit digitalen Medien gestalten zu können.

Jedoch haben angehende Lehrkräfte der naturwissenschaftlichen Fächer teilweise nur geringe lernbezogene Vorerfahrungen mit digitalen Medien aus ihrer eigenen Schulzeit oder dem Studium (Vogelsang et

al., 2019a). Bezogen auf naturwissenschaftsspezifische digitale Medien, wie digitale Messwertfassung, geben beispielsweise 70 % der in der Studie von Vogelsang et al. (2019a) befragten Studierenden an, nie oder eher selten während ihres Bachelorstudiums mit diesen Medien gearbeitet zu haben. Es ist daher von wesentlicher Bedeutung, dass bei der Entwicklung bzw. Neugestaltung naturwissenschaftsdidaktischer Module zukünftig ausreichend Möglichkeiten zur praktischen Erprobung und Reflexion fachspezifischer digitaler Medien berücksichtigt werden.

Nicht wenig überraschend ist es vor diesem Hintergrund, dass Lehramtsstudierende nur eine geringe Selbstwirksamkeitserwartung gegenüber dem Einsatz digitaler Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht haben (Vogelsang et al., 2019b). Dies bedeutet jedoch nicht, dass sie diesen generell skeptisch gegenüberstehen. Vielmehr haben sie eine positive Einstellung zum Lernen mit digitalen Medien (Vogelsang et al., 2019b), was eine gute Ausgangslage für die Entwicklung professioneller Kompetenzen bezogen auf den Einsatz digitaler Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht bietet.

Ein etabliertes Modell zur theoretischen Beschreibung dieser Kompetenzen bzw. deren Entwicklung ist das TPACK-Modell von Mishra und Koehler (2006). Es beschreibt das Zusammenspiel aus den drei Wissensdomänen Content Knowledge (CK), Pedagogical Knowledge (PK) und Technological Knowledge (TK), den Schnittmengen aus jeweils zwei (PCK, TCK & TPK) sowie TPACK als resultierende Kombination aller drei Domänen (Mishra & Köhler, 2006). Das Ziel einer zeitgemäßen fachdidaktischen Lehre ist es, dass neben der Förderung des fachdidaktischen Wissens (PCK) im jeweiligen Fach auch die Entwicklung von TPACK forciert wird. Aktuelle Studien deuten dabei auf ein transformatives TPACK-Verständnis hin, wobei TPACK aus PCK, TCK und TPK hervorgeht (Jin, 2019; Schmid, Brianza & Petko, 2020; Stinken-Rösner, 2021b).

Ein stark ausgeprägtes professionelles Wissen (TPACK), positive Einstellungen sowie eine hohe Selbstwirksamkeitserwartung gegenüber dem Einsatz digitaler Medien beeinflussen die motivationale Orientierung (angehender) Lehrkräfte zur späteren Nutzung digitaler Medien in ihrer Unterrichtspraxis positiv (Teo & Tan, 2012; Gonzalez & Ruiz, 2016; Valtonen et al., 2018; Vogelsang et al., 2019a; Stinken-Rösner et al., 2023).

Ausgehend von diesen Überlegungen startete 2020 das Projekt ‚Forschendes Lernen mit digitalen Medien‘ (FoLe – digital) an der Leuphana mit dem Ziel, die Kompetenzentwicklung von Lehramtsstudierenden der Primar- und Sekundarstufe hinsichtlich des Einsatzes digitaler Medien im naturwissenschaftlichen Fachunterricht gezielt bereits im Bachelorstudium zu fördern.

3. Das Projekt ‚FoLe – Digital‘

Im Rahmen des von der Joachim Herz Stiftung auf zwei Jahre geförderten Projektes ‚Forschendes Lernen mit digitalen Medien‘ (FoLe – digital) wurden digitale Medien systematisch in den naturwissenschaftsdidaktischen Modulen des 4. und 5. Bachelorsemesters an der Leuphana verankert (Stinken-Rösner, 2021a; 2021b; 2022; Stinken-Rösner et al., 2023).

In Anlehnung an die etablierte Struktur der naturwissenschaftsdidaktischen Module – der schrittweisen Spezifizierung der Inhalte ausgehend von der theoretischen Auseinandersetzung mit fachübergreifenden naturwissenschaftsdidaktischen Schwerpunkten hin zur fachspezifischen praxisorientierten Anwendung jener im Rahmen des Forschenden Lernens – sowie an das transformative TPACK-Verständnis wurden digitale Medien zunächst im Modul ‚Naturwissenschaften lehren und lernen‘ (4. Semester) in Form von ‚digitalen Ergänzungen‘ entlang der fachübergreifenden naturwissenschaftsdidaktischen Schwerpunkte thematisiert (vgl. Tab. 1). Die Orchestrierung von naturwissenschaftsdidaktischen Schwerpunkten und digitalen Medien fand in enger Abstimmung mit den Lehrenden der Module sowie externer Expert:innen statt.

Innerhalb der ‚digitalen Ergänzungen‘ werden technische und methodische Einsatzmöglichkeiten, für den Unterricht geeignete Hard- und Softwarelösungen sowie Studien zur Lernwirksamkeit von digitalen Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht in Form von 15 bis 20-minütigen Anteilen der Vorlesung diskutiert. Eine erste praktische Erprobung der jeweiligen digitalen Medien findet im begleitenden Seminar statt.

Tab.1: Thematische Schwerpunkte und ‚digitale Ergänzungen‘ im Modul ‚Naturwissenschaften lehren und lernen‘ (Stinken-Rösner, 2021a).

Naturw. Schwerpunkt	‚digitale Ergänzung‘
Digitale Medien	Glossar
Inklusion	Bedienungshilfen
Diagnostik	Quiz-Apps
Differenzierung	QR-Code Tippkarten
Materialien/Aufgaben	E-Books
(Fach)Sprache	Digitale Arbeitsblätter
Erklären	Erklärvideos
Denk- & Arbeitsweisen	NOSIS
Modelle	VR/AR
Schüler:innenvorstellungen	Mindmaps/Cartoons
Experimentieren	Sensoren/Simulationen
Feedback/Bewertung	Classroom Response Systems

Im anschließenden Modul ‚Naturwissenschaften im Alltag‘ (5. Semester) planen die Studierenden in Kleingruppen Unterrichtseinheiten für ihr jeweiliges naturwissenschaftliches Fach im Sinne des Forschenden Lernens, die sie im Seminar erproben, Feedback

erhalten und abschließend schriftlich reflektieren. Dabei sind sie aufgefordert, in mindestens einer 5E-Phase des Forschenden Lernens ein digitales Medium ihrer Wahl einzusetzen.

Durch die eigenständige Erarbeitung und Reflexion potentieller Einsatzszenarien digitaler Medien haben die Lehramtsstudierenden die Möglichkeit die zuvor fachübergreifend behandelten naturwissenschaftsdidaktischen Schwerpunkte und digitalen Medien miteinander zu verknüpfen sowie im Kontext ihres jeweiligen Faches praktisch anzuwenden und zu vertiefen.

4. Begleitforschung

Entsprechend des Ziels des Projektes ‚FoLe – digital‘, der Förderung digitaler Kompetenzen von Lehramtsstudierenden der naturwissenschaftlichen Fächer an der Leuphana, ergeben sich unter Berücksichtigung der komplexen Zusammensetzung der Studierenden in den naturwissenschaftsdidaktischen Modulen die folgenden Fragestellungen:

- (i) Welchen Einfluss hat das Projekt auf die Einstellung und Selbstwirksamkeitserwartung der Lehramtsstudierenden im Vergleich der naturwissenschaftlichen Fächer (Sachunterricht/Biologie/Chemie/Biologie & Chemie) hinsichtlich des Einsatzes digitaler Medien im Fachunterricht?
- (ii) Welche Kompetenzentwicklung bezogen auf das TPACK-Modell lässt sich im Vergleich zwischen Lehramtsstudierenden der naturwissenschaftlichen Fächer hinsichtlich des Einsatzes digitaler Medien im Fachunterricht feststellen?
- (iii) Wie unterscheidet sich der Einsatz digitaler Medien bei der Planung einer Unterrichtseinheit zum Forschenden Lernen von Lehramtsstudierenden im Vergleich zwischen den naturwissenschaftlichen Fächern?

Die Fragestellungen (i) und (ii) zielen insbesondere darauf ab zu erfassen, ob durch das Projekt alle Studierenden der Module gleichermaßen bei der Entwicklung einer positiven Einstellung und Selbstwirksamkeitserwartung sowie digitaler Kompetenzen für das Lehren und Lernen mit digitalen Medien in ihrem jeweiligen Fach gefördert werden oder ob einzelne Teilstichproben ggf. stärker profitieren als andere.

5. Methodik

Zur Beantwortung der Fragen (i) und (ii) wurden mit Hilfe eines Fragebogens (Stinken-Rösner, 2021b; 2022) die Einstellung und Selbstwirksamkeitserwartung (mit 8 bzw. 7 Items; beide adaptiert nach Vogel-sang et al., 2019a; $\alpha = ,88$ bzw. $,73$) sowie die professionellen Kompetenzen (TPACK; 5 Items; Stinken-Rösner, 2021b; $\alpha = ,86$) der Lehramtsstudierenden bezüglich des Einsatzes digitaler Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht zu drei Messzeitpunkten (jeweils zu Beginn des 4. (Prä-Test), zwischen dem 4. und 5. (Re-Test) sowie nach dem 5. Bachelorsemester (Post-Test)) auf einer 5-stufigen Likert-

Skala (1: „stimme gar nicht zu“ bis 5: „stimme voll zu“) erhoben. Die Daten wurden getrennt nach den Schulformen (Primarstufe & Sekundarstufe I) ausgewertet und hinsichtlich potentieller Unterschiede zwischen den verschiedenen Gruppen deskriptiv miteinander verglichen.

Zur Beantwortung der Frage (iii) wurden die im jeweils 5. Bachelorsemester entlang der Vorlage von Abels et al. (2022) angefertigten schriftlichen Unterrichtsentwürfe inhaltsanalytisch ausgewertet (Kuckartz, 2018) und hinsichtlich unterschiedlicher Einsatzszenarien digitaler Medien zwischen den naturwissenschaftlichen Fächern analysiert. Dazu wurden alle Unterrichtsentwürfe von zwei geschulten Co-der:innen individuell analysiert. Die Interraterreliabilität liegt bei $\kappa = ,66$ (Brennan & Prediger, 1981).

6. Ergebnisse

Im Folgenden wird die Zusammensetzung der Stichprobe sowie die Ergebnisse entlang der drei Forschungsfragen dargestellt.

6.1. Beschreibung der Stichprobe

Die Stichprobe setzt sich zusammen aus zwei aufeinanderfolgenden Kohorten Lehramtsstudierender der naturwissenschaftlichen Fächer an der Leuphana, die während der Projektlaufzeit (2020-2022) jeweils das naturwissenschaftsdidaktische Modul des 4. und, daran anschließend, des 5. Bachelorsemesters besuchten.

Insgesamt haben 133 Studierende an der begleitenden Fragebogenstudie freiwillig teilgenommen (Tab. 2), 35 % davon studierten Lehramt für die Primarstufe, 42 % für die Sekundarstufe I. Aufgrund fehlender Angaben können 23 % der Studierenden weder Schulform noch Unterrichtsfach zugeordnet werden.

Tab.2: Thematische Verteilung der Teilnehmer:innen auf die naturwissenschaftlichen Fächer.

	N	%
Primarstufe	46	34,6
Sek I	56	42,2
- Biologie	40	30,1
- Chemie	9	6,8
- Biologie & Chemie	7	5,3
Keine Angabe	31	23,3
Gesamt	133	100,0

6.2. Einstellungen und Selbstwirksamkeitserwartung hinsichtlich des Einsatzes digitaler Medien im Fachunterricht

Die Entwicklung der Einstellungen und Selbstwirksamkeitserwartung der Lehramtsstudierenden gegenüber dem Einsatz digitaler Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht sind in Abbildung 1 und 2 zusammengefasst.

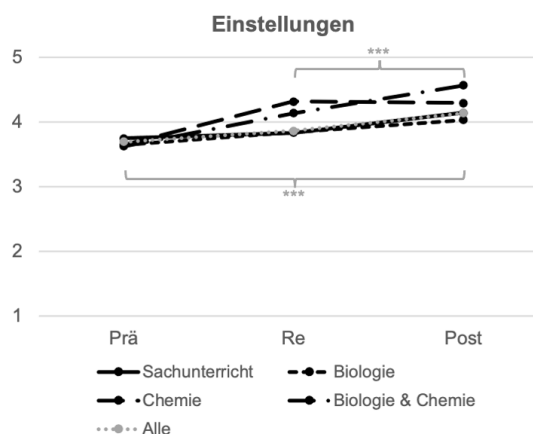


Abb.1: Einstellungen hinsichtlich des Einsatzes digitaler Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht getrennt nach Fächern und Messzeitpunkten beurteilt auf einer Likert-Skala von 1: „stimme gar nicht zu“ bis 5: „stimme voll zu“. Angegeben ist jeweils das arithmetische Mittel. Signifikante Unterschiede zwischen den Messzeitpunkten (für die gesamte Stichprobe) und Studierendengruppen sind mit Sternchen markiert.

Bereits zu Beginn des Projektes haben die Studierenden positive Einstellungen gegenüber dem Einsatz digitaler Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht, welche sich während der Projektzeit noch verstärken (vgl. Abb. 1). Wilcoxon-Tests zeigten, dass dieser Unterschied zwischen Re- und Post-Test statistisch signifikant ist für Studierende der Primarstufe ($Mdn_{Re-Test} = 3,88$, $Mdn_{Post-Test} = 4,25$, $T = 195,500$, $z = 3,391$, $p < ,001$, $n = 22$), nicht für Studierende der Sekundarstufe. Bezogen auf die komplette Projektlaufzeit (Vergleich zwischen Prä- und Post-Test) ergibt sich ein signifikanter Unterschied sowohl für Studierende der Primar- ($Mdn_{Prä-Test} = 3,81$, $Mdn_{Post-Test} = 4,25$, $T = 247,500$, $z = 2,791$, $p = ,005$, $n = 25$), als auch der Sekundarstufe ($Mdn_{Prä-Test} = 3,75$, $Mdn_{Post-Test} = 4,31$, $T = 182,000$, $z = 2,317$, $p = ,020$, $n = 21$). Aufgrund der teilweise sehr kleinen Teil-Stichproben „Chemie“ ($N = 9$) und „Biologie & Chemie“ ($N = 7$) wurden Signifikanztests ausschließlich getrennt nach Schulstufen sowie für die gesamte Stichprobe durchgeführt.

Im Vergleich der naturwissenschaftlichen Fächer ergibt sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Studierenden der unterschiedlichen Fächer zu den jeweiligen Messzeitpunkten.

Die Selbstwirksamkeitserwartung der Studierenden ist zu Beginn des Projektes mittelstark ausgeprägt und nimmt während der Teilnahme am Projekt konstant zu (vgl. Abb. 2). Wilcoxon-Tests belegen, dass diese Unterschiede statistisch signifikant sind für Studierende Primarstufe zwischen Prä- und Re-Test ($Mdn_{Prä-Test} = 2,71$, $Mdn_{Re-Test} = 2,86$, $T = 320,500$, $z = 3,170$, $p = ,002$, $n = 28$), zwischen Re- und Post-Test ($Mdn_{Re-Test} = 2,86$, $Mdn_{Post-Test} = 3,43$, $T = 176,500$, $z = 2,685$, $p = ,007$, $n = 22$) sowie über die gesamte Projektlaufzeit ($Mdn_{Prä-Test} = 2,71$, $Mdn_{Post-Test} = 3,43$, $T = 325,000$, $z = 4,379$, $p < ,001$, $n = 25$);

für Studierende der Sekundarstufe zwischen Prä- und Re-Test ($Mdn_{Prä-Test} = 2,71$, $Mdn_{Re-Test} = 3,29$, $T = 246,500$, $z = 3,305$, $p < ,001$, $n = 24$) sowie zwischen Prä- und Post-Test ($Mdn_{Prä-Test} = 2,71$, $Mdn_{Post-Test} = 3,50$, $T = 220,000$, $z = 3,640$, $p < ,001$, $n = 21$).

Im Vergleich der naturwissenschaftlichen Fächer zeigte ein Kruskal-Wallis-Test einen Einfluss des Unterrichtsfaches auf die Selbstwirksamkeitserwartung im Re-Test ($\chi^2 = 8,630$, $p = ,035$). Anschließende Post-hoc-Tests (Dunn-Bonferroni-Tests) zeigten, dass sich einzig die Gruppen „Sachunterricht für die Primarstufe“ und „Biologie & Chemie für die Sekundarstufe I“ signifikant unterscheiden ($z = -2,316$, $p = ,021$).

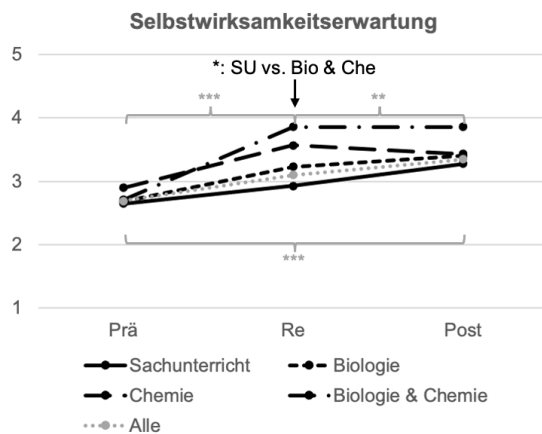


Abb.2: Selbstwirksamkeitserwartung hinsichtlich des Einsatzes digitaler Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht getrennt nach Fächern und Messzeitpunkten beurteilt auf einer Likert-Skala von 1: „stimme gar nicht zu“ bis 5: „stimme voll zu“. Angegeben ist jeweils das arithmetische Mittel. Signifikante Unterschiede zwischen den Messzeitpunkten (für die gesamte Stichprobe) und Studierendengruppen sind mit Sternchen markiert.

6.3. TPACK-Entwicklung

Die Entwicklung der professionellen Kompetenzen der Lehramtsstudierenden bezogen auf den Einsatz digitaler Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht (TPACK; Mishra & Koehler, 2006) im Laufe des Projektes ist in Abbildung 3 zusammengefasst.

Laut Selbsteinschätzung der Studierenden steigt ihre professionelle Kompetenz bezogen auf den Einsatz digitaler Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht während des 4. und 5. Bachelorsemesters an (vgl. Abb. 3). Für die Gruppe der Lehramtsstudierenden der Primarstufe ergeben sich statistisch signifikante Unterschiede zwischen Prä- und Post- ($Mdn_{Prä-Test} = 3,30$, $Mdn_{Post-Test} = 4,00$, $T = 300,000$, $z = 4,291$, $p < ,001$, $n = 25$) bzw. Re- und Post-Test ($Mdn_{Re-Test} = 3,40$, $Mdn_{Post-Test} = 4,00$, $T = 179,500$, $z = 3,415$, $p < ,001$, $n = 22$), für Studierende der Sekundarstufe I über den gesamten Projektzeitraum ($Mdn_{Prä-Test} = 3,20$, $Mdn_{Post-Test} = 4,00$, $T = 157,000$, $z = 3,121$, $p = ,002$, $n = 20$).

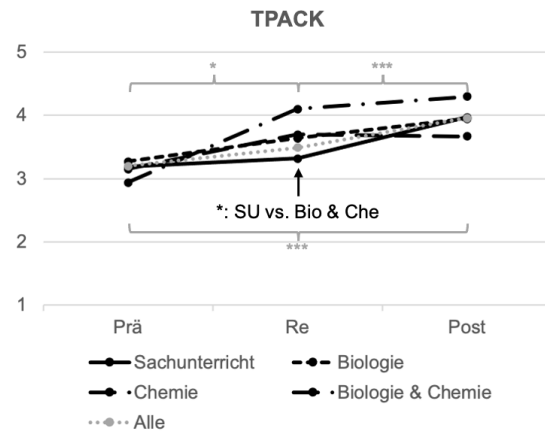


Abb.3: TPACK-Entwicklung getrennt nach Fächern und Messzeitpunkten beurteilt auf einer Likert-Skala von 1: „stimme gar nicht zu“ bis 5: „stimme voll zu“. Angegeben ist jeweils das arithmetische Mittel. Signifikante Unterschiede zwischen den Messzeitpunkten (für die gesamte Stichprobe) und Studierendengruppen sind mit Sternchen markiert.

Im Vergleich der naturwissenschaftlichen Fächer zeigte ein Kruskal-Wallis-Test einen Einfluss des Unterrichtsfaches auf die professionelle Kompetenz im Re-Test ($\chi^2 = 8,820$, $p = ,032$). Anschließende Post-hoc-Tests (Dunn-Bonferroni-Tests) zeigten, dass sich einzig die Gruppen „Sachunterricht für die Primarstufe“ und „Biologie & Chemie für die Sekundarstufe I“ signifikant unterscheiden ($z = -2,357$, $p = ,018$).

6.4. Einsatz digitaler Medien in Abhängigkeit vom Unterrichtsfach

Eine inhaltsanalytische Auswertung der Unterrichtsentwürfe (UE; $N = 31$) soll Aufschluss darüber liefern, ob Unterschiede in der Nutzung digitaler Medien zwischen den verschiedenen naturwissenschaftlichen Fächern existieren. Aufgrund der geringen Stichproben innerhalb der Fächer wird im Folgenden ausschließlich der Vergleich zwischen den Schulstufen ($N_{Primarstufe} = 18$, $N_{Sekundarstufe} = 13$) beschrieben.

In den 18 Unterrichtsentwürfen der Primarstufe lassen sich $N_{total} = 114$ Situationen identifizieren, in denen digitale Medien genutzt werden. Hierbei wird der mehrfache Einsatz des gleichen digitalen Mediums, z.B. in verschiedenen Phasen des Forschenden Lernens sowie durch verschiedene Nutzer:innen (Lehrkraft/Schüler:innen), mehrfach gezählt. Die korrigierte Anzahl, bei der jedes digitale Medium unabhängig von der Häufigkeit seiner Nutzung nur einmal pro Unterrichtsentwurf gezählt wird, beträgt für die Primarstufe $N_{korrr} = 73$. In den 13 Unterrichtsentwürfen der Sekundarstufe I belaufen sich diese Werte auf $N_{total} = 69$ bzw. $N_{korrr} = 36$. Im Schnitt integrieren Studierende der Primarstufe damit gut vier unterschiedliche digitale Medien pro Unterrichtseinheit, Lehramtsstudierende der Sekundarstufe I knapp drei digitale Medien.

Ein Überblick über die von den Lehramtsstudierenden genutzten digitalen Medien, getrennt nach Medienart und Schulstufe, ist in Tabelle 3 dargestellt.

Tab.3: Nutzung digitaler Medien getrennt nach studierter Schulstufe. Angegeben ist jeweils die absolute Anzahl N_{total} an Einsätzen (mehrfacher Einsatz des gleichen Mediums in unterschiedlichen Unterrichtsphasen wird mehrfach gezählt) sowie die korrigierte Anzahl N_{korr} (einmalige Zählung des jeweiligen digitalen Mediums pro Unterrichtsentwurf).

Digitales Medium	Primarstufe (18 UE)		Sek I (13 UE)	
	N_{total}	N_{korr}	N_{total}	N_{korr}
Umfrage tool	16	9	3	2
Video	15	14	9	8
Virtuelle Pinnwand	27	10	28	9
Bilderstellung	5	5	2	2
Digitale Tippkarten	6	6	5	3
Messwerterfassung	4	3	-	-
Präsentationsmedien	9	6	14	7
Office Anwendung	5	2	3	1
VR-Anwendung	6	4	-	-
Audios	2	2	-	-
Digitales Dokument	10	6	3	2
Gruppenerstellung	1	1	1	1
eBooks	7	4	-	-
Digitale Endgeräte	1	1	-	-
Videoerstellung	-	-	1	1
GESAMT	114	73	69	36

Die angehenden Sachunterrichtslehrkräfte nutzen am häufigsten Videos (14/18 Unterrichtsentwürfen (UE)) zur Präsentation von Fachinhalten, virtuelle Pinnwände (10/18 UE) zur Dokumentation und Umfrage tools (9/18 UE) zur Lernstandserhebung für ihren Unterricht. In den Unterrichtsentwürfen für die Sekundarstufe I dominieren virtuelle Pinnwände (9/13) zur Dokumentation sowie Videos (8/13) und Präsentationshard-/Software (7/13 UE) zur Darstellung von Inhalten. Insgesamt konnte in der Primarstufe eine größere Vielfalt an unterschiedlichen digitalen Medien identifiziert werden.

7. Diskussion

Die Ergebnisse zeigen, ähnlich wie bei Vogelsang et al. (2019b), dass Lehramtsstudierende der naturwissenschaftlichen Fächer eine überwiegend positive Einstellung ($M_{\text{Einstellung(Prä)}} = 3,69$) sowie eine neutrale Selbstwirksamkeitserwartung ($M_{\text{Selbstwirksamkeitserwartung(Prä)}} = 2,69$) gegenüber dem Einsatz digitaler Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht in ihr Studium mitbringen. Hierbei macht es keinen Unterschied, ob sie Lehramt für Primar- oder Sekundarstufe I studieren.

Im Rahmen der Implementation des Projektes ‚FoLe – digital‘ in die naturwissenschaftliche Lehrkräftebildung an der Leuphana konnten für beide Konstrukte signifikant positive Zuwächse zum Ende des Projektes empirisch belegt werden. Dabei führt die theoretisch stattfindende Auseinandersetzung mit und praktische Erprobung der digitalen Medien entlang der fachübergreifenden naturwissenschaftsdidaktischen Schwerpunkte in Form der ‚digitalen Ergänzungen‘ im 4. Bachelorsemester zu einem stärkeren Anstieg der Selbstwirksamkeitserwartung der Teilnehmer:innen als die eigene Konzeption von Unterrichtseinheiten im Sinne des Forschenden Lernens unter Einbezug digitaler Medien im darauffolgenden Semester. Bezogen auf die Einstellung gegenüber dem Lehren und Lernen mit digitalen Medien hat das 5. Bachelorsemester einen stärkeren Effekt als das vorherige.

Im direkten Vergleich zwischen den Lehramtsstudierenden der verschiedenen naturwissenschaftlichen Fächer zeigt sich zu Beginn und zu Ende des Projektes kein Unterschied bezogen auf die Einstellung und Selbstwirksamkeitserwartung. Nach der Hälfte des Projektes hat die Gruppe der Studierenden mit der Fächerkombination ‚Biologie & Chemie für die Sekundarstufe I‘ eine signifikant höhere Selbstwirksamkeitserwartung als ihre Kommiliton:innen aus dem Sachunterricht. Eine mögliche Erklärung hierfür könnte sein, dass es ihnen aufgrund ihres Studiums von zwei naturwissenschaftlichen Fächern leichter fällt, die fachübergreifend thematisierten Einsatzmöglichkeiten digitaler Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht auf ihre Unterrichtspraxis zu übertragen. Auch bleibt kritisch zu prüfen, ob ggf. eine höhere Passung der ‚digitalen Ergänzungen‘ zur Sekundarstufe I zu diesem Ergebnis beigetragen haben könnte.

Insgesamt ist die Wirksamkeit des Projektes ‚FoLe – digital‘ hinsichtlich der verhaltensbeeinflussenden Konstrukte Einstellungen und Selbstwirksamkeitserwartung vergleichbar mit früheren Lehrkonzepten aus dem ‚Kolleg Didaktik:digital‘, die sich jedoch entweder auf Studierende für die Primar- oder die Sekundarstufe mit jeweils nur einem naturwissenschaftlichen Fach fokussiert haben (Vogelsang et al., 2019b).

Betrachtet man zusätzlich den Verlauf der selbst eingeschätzten professionellen Kompetenz bezogen auf den Einsatz digitaler Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht (TPACK) so zeigt sich ein durchgehend positiver, statistisch signifikanter Zuwachs zwischen den Messzeitpunkten für die gesamte Stichprobe. Bezogen auf die professionelle Kompetenz zeigt sich erneut ein signifikanter Unterschied zugunsten der Gruppe der Lehramtsstudierenden mit den Fächern ‚Biologie & Chemie für die Sekundarstufe I‘ nach dem 4. Bachelorsemester, der sich bis zum Ende des Projektes ausgleicht. Neben den verhaltensbeeinflussenden Faktoren, die sich auf die spätere Unterrichtspraxis der Teilnehmer:innen auswirken, ist es im Rahmen des Projektes gelungen auch

die professionellen Kompetenzen der Studierenden zu stärken. Die Kombination aus stark ausgeprägten professionellen Kompetenzen sowie eine positive Einstellung und Selbstwirksamkeitserwartung gegenüber dem Lehren und Lernen mit digitalen Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht trägt maßgeblich dazu bei, dass die angehenden Naturwissenschaftslehrkräfte in ihrer zukünftigen Unterrichtspraxis nicht nur dazu in der Lage sind digitale Medien gewinnbringend in ihren Unterricht zu integrieren, sondern dies potenziell auch in ihrer Praxis umsetzen (Gonzalez & Ruiz, 2016; Teo & Tan, 2012; Valtonen et al., 2018; Stinken-Rösner et al., 2023).

Erste Anhaltspunkte hierfür lassen sich bereits aus den im Rahmen des Projektes konzipierten Unterrichtsentwürfen (UE) ableiten. Obwohl die Studierenden lediglich dazu aufgefordert waren in einer 5E-Phase ein digitales Medium einzusetzen, konnten deutlich mehr Nutzungsszenarien identifiziert werden, insgesamt 114 Einsätze digitaler Medien in 31 UE. Hierzu zählen unter anderem die Präsentation von Videos durch die Lehrkraft zur Einführung in den Kontext (engage-Phase), die Nutzung von digitalen Tippkarten durch die Lernenden bei der Erarbeitung der Fachinhalte, die Dokumentation der Experimente auf virtuellen Pinnwänden oder in eBooks (explore-Phase) durch die Lernenden sowie der Einsatz von Umfragetools zur Überprüfung bzw. zum Transfer von Fachwissen auf neue Kontexte (elaborate-Phase). Es wird deutlich, dass die Studierenden bei ihrer Planung vermehrt auf die im vorherigen Semester thematisierten digitalen Medien und Einsatzszenarien zurückgreifen (vgl. Tabelle 1). Vor diesem Hintergrund erscheint es umso wichtiger, dass bereits bei der ersten Auseinandersetzung mit digitalen Medien evidenzbasierte best-practice Beispiele integriert werden und die Studierenden geeignete Hard- und Softwarelösungen erproben können. Es muss sichergestellt werden, dass die ‚digitalen Ergänzungen‘ weiter Teil der Module bleiben und regelmäßig modernisiert werden.

Im Vergleich zwischen den Lehramtsstudierenden der naturwissenschaftlichen Fächer zeigt sich, dass angehende Sachunterrichtslehrkräfte nicht nur mehr digitale Medien in ihren Unterricht integrieren, sondern auch eine größere Vielfalt an digitalen Medien als ihre Kommiliton:innen der Sekundarstufe I nutzen. Über mögliche Gründe lässt sich nur spekulieren, da die vorliegenden Daten (Fragebögen und Unterrichtsentwürfe) keinen Aufschluss darüber zulassen. Dass die Studierenden der verschiedenen Schulstufen die Module gemeinsam besuchen, kann als Potential weiter ausgeschöpft werden, damit die Teilnehmenden mit ihren unterschiedlichen Einstellungen und Nutzungsverhalten voneinander profitieren.

Eine weitere Limitation der Begleitforschung ist, dass die Ergebnisse der Fragebogenerhebung und der analysierten Unterrichtsentwürfe nicht für individuelle Teilnehmer:innen kombinierbar sind. Die Unterrichtsentwürfe wurden in Kleingruppen von zwei bis

vier Studierenden erstellt, wodurch der individuelle Beitrag nicht nachvollziehbar ist. Auch ist zu berücksichtigen, dass die Analyse der Einstellungen, Selbstwirksamkeit und professionellen Kompetenz (TPACK) zum Lehren und Lernen mit digitalen Medien auf Selbsteinschätzungen der Teilnehmer:innen beruht. Der Effekt der sozialen Erwünschtheit, der ggf. die Ergebnisse positiv beeinflusst, kann somit im Antwortverhalten nicht gänzlich ausgeschlossen werden.

Abschließend ist darauf hinzuweisen, dass die vorliegende Studie keine Kontrollgruppe beinhaltet, um niemandem die ‚digitalen Ergänzungen‘ vorzuenthalten, wodurch keine direkten Vergleiche gezogen, jedoch Tendenzen in der Entwicklung von verhaltensbeeinflussender Variablen sowie des professionellen Wissens deskriptiv über die Projektlaufzeit hinweg beschrieben werden können.

8. Fazit

Die Ergebnisse des Projektes ‚FoLe – digital‘ zeigen, dass die Förderung digitaler Kompetenzen (TPACK) und verhaltensbeeinflussender Konstrukte (Einstellungen und Selbstwirksamkeitserwartung) zum Lehren und Lernen mit digitalen Medien nicht nur in der fachspezifischen, sondern auch in der fachübergreifenden naturwissenschaftlichen Lehrkräftebildung erfolgreich eingebettet werden kann. Durch die schrittweise Spezifizierung der Auseinandersetzung mit digitalen Medien in den naturwissenschaftsdidaktischen Modulen – ausgehend von der Auseinandersetzung mit fachübergreifendem Fokus hin zur eigenen Konzeption, Erprobung (mit Kommiliton:innen) und Reflexion von fachspezifischen Einsatzszenarien digitaler Medien beim Forschenden Lernen – konnten digitale Medien als Querschnittsthema erfolgreich in den bestehenden Modulen verankert werden.

Die bisherige Auswertung des Projektes fokussierte jedoch vorrangig die Perspektive der angehenden Lehrkräfte sowie deren Kompetenzen und verhaltensbeeinflussende Konstrukte gegenüber dem Lehren und Lernen mit digitalen Medien. In einem noch ausstehenden Analyseschritt wird die Perspektive des Unterrichts und der Lernenden stärker in den Fokus genommen. Hierzu werden die Unterrichtsentwürfe hinsichtlich des potenziellen Mehrwertes in Anlehnung an das SAMR (Puentedura, 2006) und das ICAP Modell (Chi & Wylie, 2014), der durch den Einsatz digitaler Medien in den verschiedenen 5E-Phasen des Forschenden Lernens erzielt wird, analysiert. In einem Folgeprojekt werden die ‚digitalen Ergänzungen‘ als OER-Selbstlernmodul konzipiert und so noch mehr Studierenden zur Förderung ihrer digitalen Kompetenzen zur Verfügung gestellt.

9. Literatur

- Abrams, E., Southerland, S. A. & Silva, P. C. (2008). *Inquiry in the classroom: Realities and opportunities*. Charlotte, NC: Information Age.
- Abels, S., Hofer, E., Hollstein, S., Rodenhäuser, A., & Stinken-Rösner, L. (2022). *Kontextorientierte*

- Unterrichtseinheit zum Forschenden Lernen im inklusiven naturwissenschaftlichen Unterricht* [Vorlage zur Unterrichtsplanung, Leuphana Universität Lüneburg]. Twillo. CC-BY-SA (4.0)
- 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>
- Bybee, R. W. (2009). *The BSCS 5E instructional model and 21st century skills*. Washington, DC: National Academies Board on Science Education.
- Chi, M. T. H., & Wylie, R. (2014). The ICAP Framework: Linking Cognitive Engagement to Active Learning Outcomes. *Educational Psychologist*, 49(4), 219–243.
- Gonzalez, M. J., & Ruiz, I. G. (2016). Behavioural Intention and Pre-Service Mathematics Teachers' Technological Pedagogical Content Knowledge. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 13(3), 601–620. <https://doi.org/10.12973/eurasia.2017.00635a>
- Jin, Y. (2019). The nature of TPACK: Is TPACK distinctive, integrative or transformative?. In *Society for information technology & teacher education international conference* (S. 2199– 2204). Association for the Advancement of Computing in Education (AACE).
- Kultusministerkonferenz (KMK). (2016). Strategie der Kultusministerkonferenz „Bildung in der digitalen Welt“.
- Kultusministerkonferenz (KMK) (2019). *Ländergemeinsame inhaltliche Anforderungen für die Fachwissenschaften und Fachdidaktiken in der Lehrerbildung*.
- Kuckartz, U. (2018). *Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung*. Weinheim: Beltz Juventa.
- Leuphana Gazette Nr. 25/18 – 16. Mai 2018.
- Mishra, P., & Koehler, M. J. (2006). Technological pedagogical content knowledge: A framework for teacher knowledge. *Teachers College Record*, 108(6), 1017–1054.
- Puentedura, R. (2006). *Transformation, Technology, and Education*. <http://hippasus.com/resources/te/>
- Schmid, M., Brianza, E., & Petko, D. (2020). Developing a short assessment instrument for Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK.xs) and comparing the factor structure of an integrative and a transformative model, *Computers & Education*, 157, 103967.
- Stinken-Rösner, L. (2021a). Implementation digitaler Medien in die naturwissenschaftliche Lehramtsausbildung. In C. Maurer, K. Rincke & M. Hemmer (Hrsg.), *Fachliche Bildung und digitale Transformation – Fachdidaktische Forschung und Diskurse. Fachtagung der Gesellschaft für Fachdidaktik 2020* (S. 181–184). Universität Regensburg.
- Stinken-Rösner, L. (2021b). Digitale Medien in der naturwissenschaftlichen Lehrkräftebildung: integriert statt zusätzlich. *PhyDid B – Didaktik der Physik – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung 2021*, 179–185.
- Stinken-Rösner, L. (2022). Digital Media in Pre-Service Teacher Education – A Question of Implementation. In G. S. Carvalho, A. S. Alfonso, & Z. Anastácio (Hrsg.), *Fostering scientific citizenship in an uncertain world (Proceedings of ESERA 2021)* (S. 978–984). CIEC, University of Minho.
- Stinken-Rösner, L., Hofer, E., Rodenhauser, A., & Abels, S. (2023). Technology Implementation in Pre-Service Science Teacher Education Based on the Transformative View of TPACK: Effects on Pre-Service Teachers' TPACK, Behavioral Orientations and Actions in Practice. *Education Sciences*, 13(7), 732. <https://doi.org/10.3390/educsci13070732>
- Teo, T., & Tan, L. (2012). The theory of planned behavior (TPB) and pre-service teachers' technology acceptance: A validation study using structural equation modeling. *Journal of Technology and Teacher Education*, 20(1), 89–104. <https://www.learntechlib.org/primary/p/36090/>
- Valtonen, T., Kukkonen, J., Kontkanen, S., Mäkitalo-Siegl, K., & Sointu, E. (2018). Differences in pre-service teachers' knowledge and readiness to use ICT in education. *Journal of Computer Assisted Learning*, 34(2), 174–182. <https://doi.org/10.1111/jcal.12225>
- Vogelsang, C., Finger, A., Laumann, D. & Thyssen, C. (2019a). Vorerfahrungen, Einstellungen und motivationale Orientierung als mögliche Einflussfaktoren auf den Einsatz digitaler Werkzeuge im naturwissenschaftlichen Unterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 25, 115-129. <https://doi.org/10.1007/s40573-019-00095-6>
- Vogelsang C., Laumann D., Thyssen C., Finger A. (2019b). Den Einsatz digitaler Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht lehren – Untersuchung der Lehrinitiative Didaktik:digital im Spannungsfeld von standortübergreifender Wirkungsanalyse und standortspezifischer Evaluation, In: Heuchemer S., Szczyrba B. & Spöth S. (Hrsg.) *Hochschuldidaktik erforscht Qualität – Profilbildung und Wertefragen in der Hochschulentwicklung III* (S. 115-128). Köln: Cologne Open Science Schriftenreihe.

Videovignetten zu Lernendenvorstellungen in der Lehramtsausbildung

David Weiler**[§], Lutz Kasper*, Hannes Helmut Nepper⁺

*Pädagogische Hochschule Schwäbisch Gmünd, Abteilung Physik und ihre Didaktik, Oberbettringer Straße 200, 73525 Schwäbisch Gmünd

⁺Pädagogische Hochschule Schwäbisch Gmünd, Abteilung Technik und ihre Didaktik, Oberbettringer Straße 200, 73525 Schwäbisch Gmünd

[§]Universität Tübingen, AG Didaktik der Physik, Auf der Morgenstelle 14, 72076 Tübingen
lutz.kasper@ph-gmuend.de

Kurzfassung

Im Artikel werden Videovignetten zu Lernendenvorstellungen von Schülerinnen und Schülern in der Physik vorgestellt. Die Videovignetten sind eine Möglichkeit, Lehramtsstudierende professionell auf den Umgang mit Lernendenvorstellungen im späteren Unterricht vorzubereiten. Im Rahmen des Projekts VidNuT (Videovignetten in Naturwissenschaft, Technik und Textil) wurden Drehbücher und entsprechende Videovignetten für die Lehrkräfteaus- und -fortbildung entwickelt. Der Fokus der hier im Fach Physik eingesetzten Vignetten liegt darauf, Lernendenvorstellungen aufzugreifen und eine Professionelle Unterrichtswahrnehmung sowie Fachdidaktisches Wissen der angehenden Lehrkräfte zu fördern. Der Artikel beschreibt drei verschiedene Vignetten zu Schülervorstellungen aus der Optik. Jede Vignette stellt verschiedene Aufgaben und Übungen für die Studierenden zur Verfügung, um ihnen zu helfen, ihre Professionelle Unterrichtswahrnehmung zu trainieren und sich Handlungsoptionen zu überlegen, um einen geeigneten Konzeptwechsel bei Lernendenvorstellungen zu ermöglichen. Das speziell dafür entwickelte vorbereitende Seminar zum Thema "Lernendenvorstellungen" ist in zwei Phasen aufgeteilt, wobei die Teilnehmerinnen und Teilnehmer sich theoretisch und praktisch mit dem Thema auseinandersetzen und ihre eigene Unterrichtswahrnehmung in einem komplexitätsreduzierten Umfeld schulen können. In einer Pilotstudie mit einer kleinen Gruppe von sechs Masterstudierenden wurde das Seminar im Wintersemester 2022/23 erstmals getestet.

1. Einleitung

Das Erlernen fachwissenschaftlich adäquater physikalischer Inhalte fällt vielen Schülerinnen und Schülern (SuS) noch immer sehr schwer (Schecker et al., 2018). Eine Ursache dafür können inkorrekte Lernendenvorstellungen der SuS sein, die sie aus dem Alltag mit in den Unterricht bringen (Jung, 1986; Schecker et al., 2018). Daher wird der professionelle Umgang mit Lernendenvorstellungen als ein grundlegender Faktor für die Unterrichtspraxis angesehen (Gropengießer & Marohn, 2018). Damit dies möglichst frühzeitig geschult werden kann, können Videovignetten bereits im Studium dazu eingesetzt werden, fachdidaktisch begründete Handlungsoptionen zu entwickeln (Reichmann et al., 2022). In diesem Beitrag werden neu entwickelte Videovignetten vorgestellt, die an diesem Punkt ansetzen.

2. Hintergrund

Im Folgenden werden der theoretische Hintergrund, der Einfluss in die Konzeption der Vignette, sowie das Gesamtprojekt näher beleuchtet.

2.1. Theoretischer Hintergrund

Erlebnisse aus dem Alltag, wie die scheinbar zu spürende Kraft bei Kreisbewegungen die einen nach außen drückt, oder Aussagen aus der Alltagssprache wie

der „Stromverbrauch“ führen dazu, dass SuS schon vor dem Schulunterricht individuelle Konzepte von physikalischen Zusammenhängen der Umwelt ausprägen. Diese Konzepte entsprechen sogenannten Lernendenvorstellungen. In der fachdidaktischen Literatur finden sich hierfür auch synonym verwendete Begriffe wie Alltagsvorstellungen, alternative Frameworks, Präkonzepte oder Schülervorstellungen (Nepper & Gschwendtner, 2020). Diese Lernendenvorstellungen sind zum Teil sehr stabil und lassen sich kaum verändern, was dazu führen kann, dass SuS den Konzeptwechsel zu physikalisch angebrachten Vorstellungen oftmals nicht schaffen (Schecker et al., 2018). Daher benötigen (angehende) Lehrkräfte neben dem fachdidaktischen Wissen zum Umgang mit Lernendenvorstellungen auch die Kompetenz, diese im Unterrichtsgeschehen zu diagnostizieren zu können, sowie Handlungsoptionen, um mit den Lernendenvorstellungen adäquat umgehen zu können (Feige et al., 2017).

Diese Kompetenz findet sich unter anderem in dem Konstrukt der Professionellen Unterrichtswahrnehmung (PU) wieder. Basierend auf der Professional Vision (Goodwin, 1994) wurde dies von Sherin und van Es (2009) für die Schulpraxis weiterentwickelt. Dabei sind vor allem die Aspekte der selektiven

Aufmerksamkeit (selective attention) sowie das wissensbasierte Schlussfolgern (knowledge-based reasoning) der Lehrkräfte pädagogisch relevant (Straub, 2020).

Um die Professionelle Unterrichtswahrnehmung bei (angehenden) Lehrkräften zu fördern, benötigt es geeignete Lerngelegenheiten. Während des Studiums ergibt sich hier die Schwierigkeit, dass Unterrichtsbeobachtungen im Rahmen eines Seminars schwer zu organisieren sind. Selbst wenn die Chance besteht, in einem Unterricht hospitieren zu können und die Studierenden die Aufgabenstellung erhalten, sich auf Lernendenvorstellungen zu fokussieren, ist es noch nicht garantiert, dass solche Vorstellungen in der jeweiligen Unterrichtsstunde überhaupt auftreten.

Eine Möglichkeit dem zu begegnen ist der Einsatz von Videovignetten, in denen gezielt Lernendenvorstellungen auftreten. Diese können aus Aufnahmen von realem Unterricht stammen, welche dann aber häufig aus Datenschutzgründen nicht in Lehrveranstaltungen eingesetzt werden dürfen. Daher bietet der Einsatz von Videos, in denen das Auftreten von Lernendenvorstellungen nach Drehbuchvorlagen gespielt wurde, eine lohnende Alternative (Eghtessad & Goreth, 2022).

Im Projekt „Videovignetten in Naturwissenschaft, Technik und Textil“ (VidNuT) wurden daher solche Videovignetten für die Lehrkräfteaus- und -fortbildung entwickelt.

2.2. Projekthintergrund VidNuT

VidNuT ist ein von Erasmus+ und Movetia gefördertes Projekt, das Videovignetten an Hochschulen in Deutschland, Österreich, Italien und der Schweiz entwickelt. Die Inhalte der Vignetten sind in den Fächern Physik, Chemie, Technik und Textil zu verorten.

Für das Fach Physik entstehen an der PH Tirol Vignetten zum Fachgebiet Wärme, an der Universität in Bozen zum Thema Energieumwandlung und an der PH Schwäbisch Gmünd zum Themengebiet Optik.

Dabei werden zwei unterschiedliche Arten von Vignetten produziert. Auf der einen Seite sind dies klassische linear verlaufende Videovignetten. Teile einer nachgestellten Unterrichtsstunde wurden videografiert und enthalten Lernendenvorstellungen in Aussagen von Schülerinnen und Schülern oder zeigen sich in Aufgabenbearbeitungen. Die Betrachtenden können das Video anhalten, vor- oder zurückspulen und haben an gewissen Punkten im Video Aufgaben zu bearbeiten. Dies ermöglicht in einem komplexitätsreduzierten Rahmen erste Erfahrungen im Erkennen von Lernendenvorstellungen.

Auf der anderen Seite werden im Seminar auch sogenannte „geschachtelte“ Videovignetten entwickelt. Dies sind Vignetten, bei denen man an vorgegebenen Stellen im Video konkrete Entscheidungen treffen kann, und somit einen Einfluss auf den weiteren Fortgang im Video hat (siehe Abb. 1). Dies führt zu unterschiedlichen Wegen, die im Video verfolgt werden

können und ermöglicht es so, Konsequenzen aus Entscheidungen beispielgeleitet zu diskutieren.

Der Einsatz der Lernplattform Unterricht Online bietet zahlreiche Möglichkeiten für die Durchführung von digitalen Lehrveranstaltungen mit Videovignetten (Reichmann et al., 2022). So können in Videos Annotationen und Kommentare von Studierenden eingefügt werden, um beispielsweise bei Beobachtungsaufgaben die Unterrichtsbeobachtungen mit Zeitstempel versehen zu können. Zusätzlich ermöglichen offene Antwortformate es den Studierenden, ihre Antwort frei zu formulieren und auch auf Antworten anderer Studierender einzugehen. Geschlossene Aufgaben hingegen bieten eine begrenzte Auswahl an Antwortmöglichkeiten, die es den Studierenden erleichtert eine Antwort zu geben, wenn noch geringe Vorerfahrungen vorhanden sind. Likert-Skalen Einschätzungen wiederum bieten den Studierenden die Möglichkeit, ihre Meinung oder Einschätzung auf einer Skala von beispielsweise "stimme vollkommen zu" bis "stimme überhaupt nicht zu" zu äußern.

Die Aufgaben können zu jeder Zeit im Video gestellt werden und je nach Einstellung durch Lehrende auch nicht übersprungen werden. Zusätzlich ermöglicht die Plattform das Einbinden von unterschiedlichen Perspektiven. So können zum Beispiel – wie in den hier beschriebenen Videovignetten – neben einer geschnittenen Fassung, die die Aufmerksamkeit der Studierenden lenken soll, auch fixe Perspektiven, wie die Sicht der Lernenden auf die Lehrkraft oder die Sicht auf die Klasse, zur Verfügung gestellt werden. Es kann zu jedem Zeitpunkt im Video zwischen den Perspektiven gewechselt werden.

Des Weiteren besteht die Möglichkeit Untertitel einzubinden. Im Projekt VidNuT werden Untertitel für die Videos in Deutsch, Englisch und Italienisch erstellt, damit die Videos auch standortübergreifend in unterschiedlichen Ländern eingesetzt werden können. Dies ist hilfreich, um auch einen Blick auf Unterricht in anderen Ländern zu werfen, selbst wenn die Sprachbarriere im Einzelfall das Verstehen des Gesprochenen verhindern würde.

Im folgenden Abschnitt sollen nun die drei Optik-Vignetten, die am Standort der PH Schwäbisch Gmünd entstanden sind, beschrieben werden.

3. Vorstellung der Vignetten

3.1. Vignette zu Schülervorstellungen zum Thema Farben

In der Vignette zum Thema Farben tauchen unterschiedliche Lernendenvorstellungen zum Thema Farben auf. Es handelt sich dabei um eine lineare Vignette ohne Alternativszenarien. Anhand einer Einführung zum Thema im Unterricht, bei der Flaggen mit rotem Licht im abgedunkelten Klassenzimmer beleuchtet werden, äußern die Schülerinnen und Schüler zunächst ihren Eindruck des Gesehenen und stellen Vermutungen darüber an, um welche Flaggen es sich handeln könnte. Dabei erscheinen im roten Licht

die Flaggen mit gleicher Struktur (drei Querstreifen) nahezu identisch. Es folgen Aussagen der SuS wie „Vielleicht mischt sich das rote Licht mit den Farben der Flaggen. Ich meine, die Flaggen haben ja eigene Farben und die mischen sich dann in unseren Augen mit dem roten Licht.“, in der die Vorstellung „Farbe ist eine fixe Eigenschaft“ (Haagen-Schützenhöfer & Hopf, 2018, S. 108) mitschwingt. In anderen Antworten werden auch die Vorstellungen „Farbe meint Farbstoff“ und „Licht kann eingefärbt werden“ (Haagen-Schützenhöfer & Hopf, 2018, S. 106–107) deutlich erkennbar.

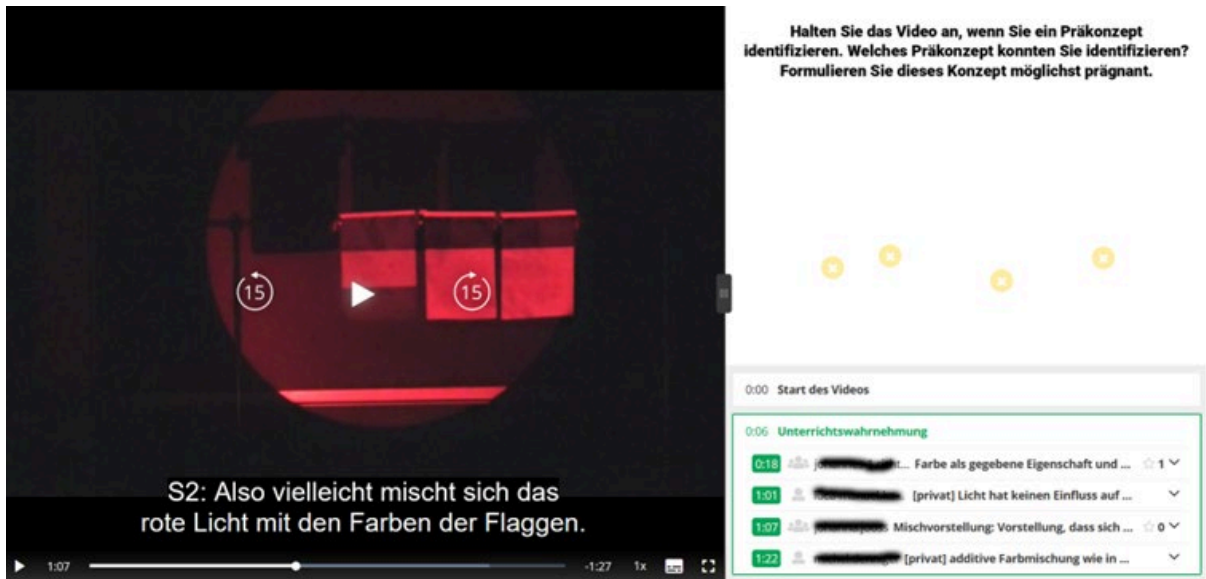


Abb.1: Ausschnitt aus Farbvignette

Die Vignette beinhaltet in dieser ersten Phase die begleitende Aufgabe, das Video anzuhalten (siehe Abb. 1), wenn man eine Lernendenvorstellung erkannt hat und diese möglichst präzise zu formulieren. Die Antworten der anderen Studierenden sind in diesem Fall nicht sichtbar, sodass man durch Zeitmarken noch keinen Anhaltspunkt hat, wann eine Lernendenvorstellung auftreten kann. Diese Aufgabe dient der Einübung in „noticing“ als Aspekt der Professionellen Unterrichtswahrnehmung.

Im weiteren Verlauf stoppt das Video und es wird nach möglichen Strategien eines Konzeptwechsels gefragt. Die Studierenden werden somit angeregt sich begründet für Handlungsoptionen zu entscheiden und diese anschließend im Seminar weiter zu diskutieren.

Die Lehrkraft im Video stellt den Schülerinnen und Schülern die Aufgabe sich ein Experiment zu überlegen, mit sich dem die Nation der Flagge bestimmen und auch das Entstehen der wahrgenommenen Farbe erklären lässt, wenn kein Tageslicht zur Verfügung steht. Im Sinne der Reflektion von Unterricht sind die Studierenden nun angehalten die Intervention der Lehrkraft in der zur Verfügung gestellten Vignette zu bewerten. Dabei sollen die Studierenden im Sinne der Unterrichtsplanung auch überlegen, wie die Stunde im weiteren Verlauf fortgeführt werden kann.

3.2. Vignette zu Schülervorstellungen zum Thema Schatten

Neben der Vorstellung „Schatten ist eine Substanz“ (Haagen-Schützenhöfer & Hopf, 2018, S. 99) zeigen sich in dieser geschachtelten Vignette in Zeichnungen von Schülerinnen und Schülern auch Vorstellungen wie, dass der Schatten nur die Schattenprojektion ist und man der Schattenraum nicht existiert, da man ja seitlich durchsehen kann. Die Vignette ist aber schon zu Beginn dafür gedacht, dass neben der Unterrichtswahrnehmung auch weitere Aspekte des Umgangs mit Schülervorstellungen gefördert werden.

Das Video startet mit einer Lehrkraft am Schreibtisch, die Schülerzeichnungen durchgeht. Der Fokus liegt dabei auf den Zeichnungen und die Studierenden sollen die Bilder auf deren physikalische Korrektheit bewerten und mögliche Präkonzepte, die hier aufgetreten sind, identifizieren. Zudem sollen weitere Optionen aufgezeigt werden, wie Lernendenvorstellungen erhoben werden können. Am Ende der Szene haben die Studierenden die Wahl zwischen drei unterschiedlichen Szenarien zur weiteren Planung des Unterrichts (siehe Abb. 2).

Szenario 2a führt zu einer direkten Konfrontation der Lernendenvorstellungen durch zwei Experimente, die fehlerhafte Zeichnungen widerlegen. Dabei treten aber ad-hoc-Annahmen der Schülerinnen und Schüler auf („Der Schatten an der Wand ist über den Boden mit dem Block verbunden.“). Die Studierenden sollen auch hier das Video anhalten, wenn sie Lernendenvorstellungen identifizieren und diese beschreiben. Diese Anmerkungen werden wiederum mit einem digitalen Zeitstempel versehen. Am Ende von Szenario 2a wird nach einem „Zeitsprung“ noch gezeigt, wie Schülerinnen und Schüler Aufgaben zur Schattenprojektion bearbeiten, bei denen zum Teil wieder relevante Lernendenvorstellungen auftreten. Die Studierenden sind daraufhin aufgefordert, Gründe für den nicht gelungenen Konzeptwechsel zu finden.

Hingegen versucht Szenario 2b ein Fehlkonzept aufzugreifen (Schatten besteht nur als Projektion auf eine Wand) und durch einen kontinuierlichen Abgleich mit der Realität fragend entwickelnd in ein adäquates physikalisches Konzept zu überführen. Dazu wurde ein Holzblock knapp über dem Boden aufgehängt, sodass durch die Beleuchtung vorerst kein Schatten am Boden entsteht. Die Schülerinnen und Schüler machen auf diesen Unterschied aufmerksam und es zeigt sich beim Absetzen des Körpers auch ein Schatten am Boden. Im weiteren Fortgang der Szene wird noch über den Raum zwischen Schattengeber und Projektionsfläche diskutiert. Auch hier zeigen sich Fehlkonzepte in den Antworten der SuS die die Studierenden beim Bearbeiten der Vignette identifizieren müssen. Am Ende der Szene stehen die Studierenden vor der Wahl, ob der Unterricht mit einer Erklärung durch die Lehrkraft und anschließenden Aufgaben (Szene 3C) weitergeht oder ob der Schattenraum anhand des Absteckens mit Stäbchen (Szene 3A) modellhaft exploriert werden soll.

B und C eignet sich im Seminar, um auf individuelle Lernvoraussetzungen einzugehen (warum wird eine Lernendenvorstellung artikuliert bzw. warum nicht). Die Studierenden sollen auch hier auftretende Präkonzepte oder Fehlvorstellungen als begleitende Aufgabe markieren. Am Ende wird von den Studierenden die Entscheidung getroffen, ob der weitergehende Unterricht durch das Abstecken des Schattenraums (Szene 3A) oder durch das Erfahren des Schattenraums im Sinne einer phänomenologischen Optik („Prinzip Ameise“ angelehnt an Haagen-Schützenhöfer & Wilhelm, 2021, S. 38-40; Szene 3B).

In Szene 3A wird der Schattenraum durch Schülerinnen und Schüler im Demonstrationsversuch abgesteckt. Die Studierenden sollen nun entscheiden, ob die Erstellung des Schattenraums als Modell als Gruppenarbeit oder als Demoversuch sinnvoller ist. Zudem wird retrospektiv erarbeitet welchen Einfluss das Vorgehen auf potenzielle Lernendenvorstellungen haben kann.

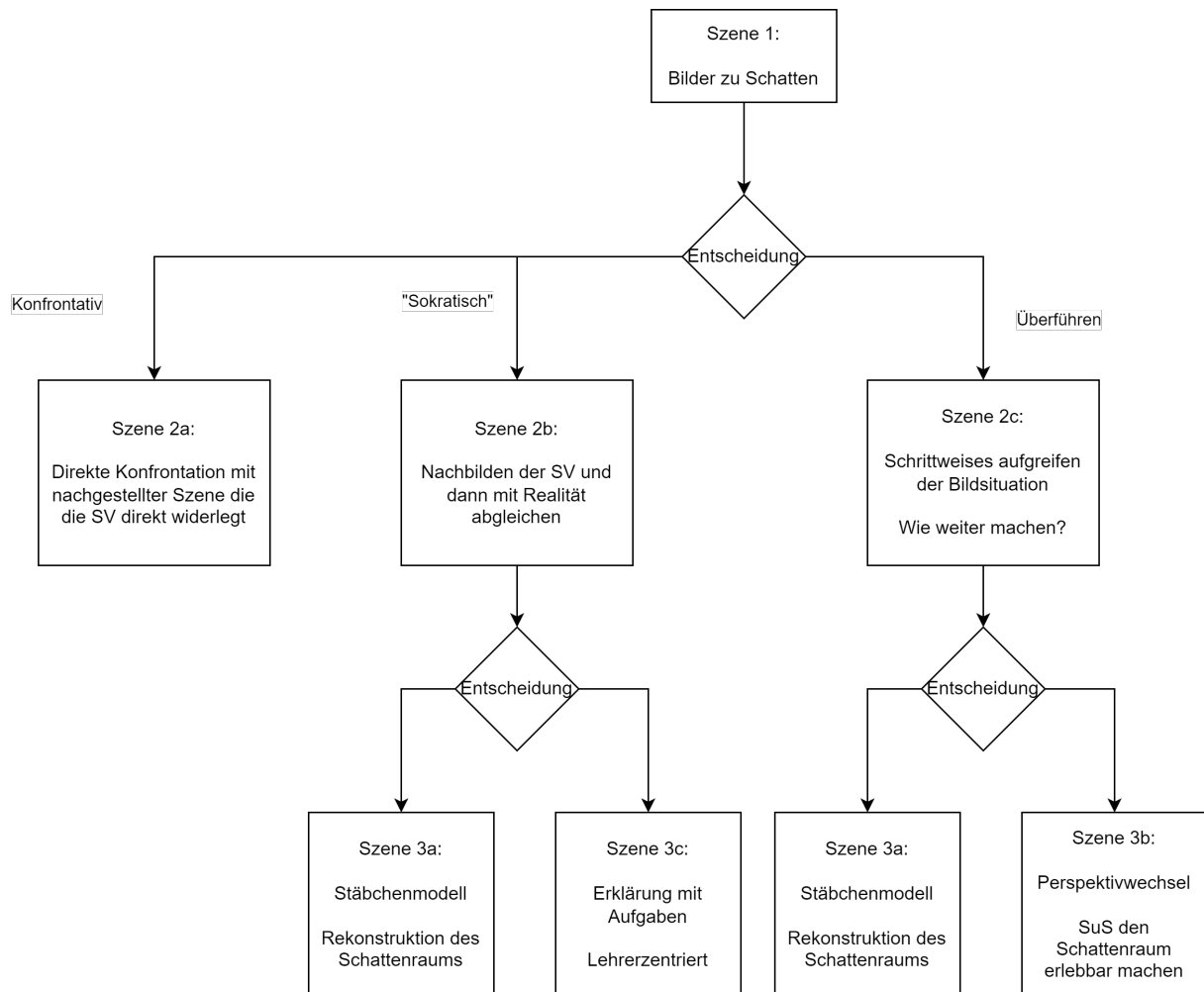


Abb.2: Pfade in der Schattenvignette

Im dritten Szenario 2c wird ähnlich zu Szenario 2b vorgegangen. Die beiden Szenarien unterscheiden sich jedoch deutlich im Grad der Beteiligung der Schülerinnen und Schüler und im Aufkommen von Lernendenvorstellungen. Der Vergleich von Szenario

In Szene 3B realisieren die SuS einen Perspektivwechsel und erleben den Schattenraum durch Hindurchgehen. Auch hier sollen von den Studierenden reflexive Überlegungen zum Nutzen eines solchen Vorgehens angestellt werden.

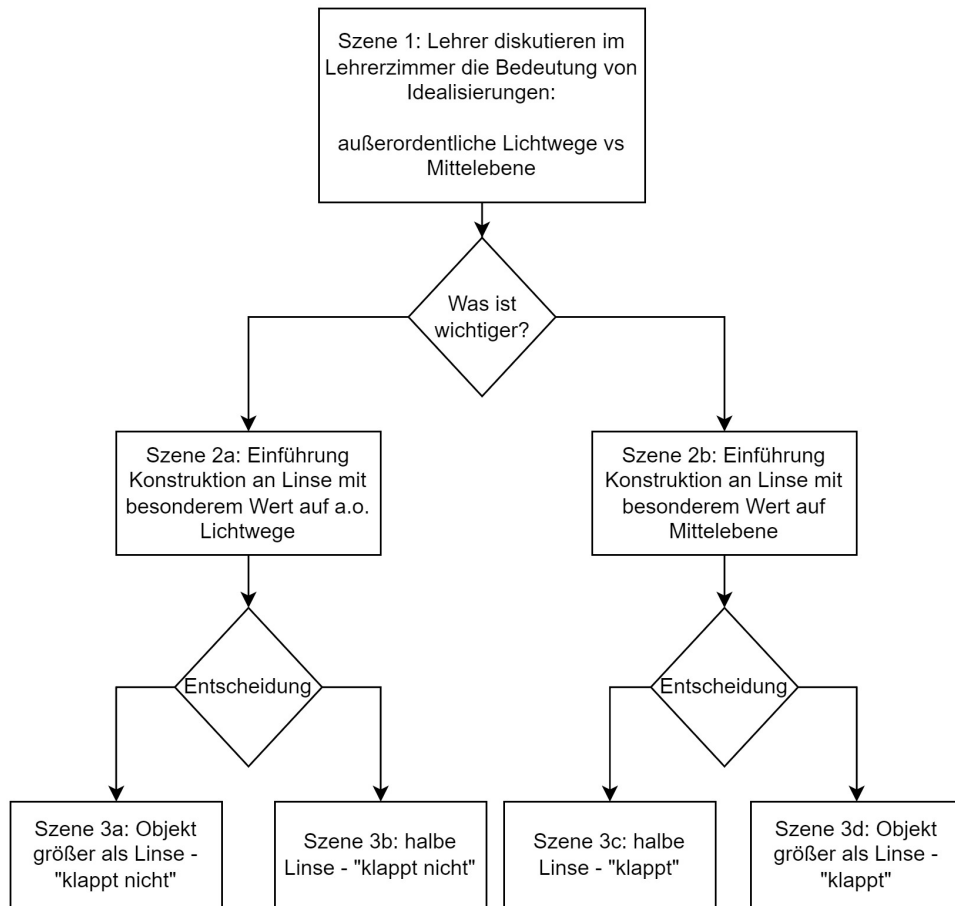


Abb.3: Pfade in der Linsenvignette

In Szene 3C kommt es zu einer Lehrerintervention, die durch einen Monolog gekennzeichnet ist. Die beobachtbare Schülersaufmerksamkeit ist dabei sehr gering. Bei der Aufgabenbearbeitung danach kommt es wieder zu Fehlvorstellungen. Die Studierenden sollen den Zeichenstrategien potenzielle Lernendenvorstellungen zuordnen und Überlegungen anstellen, warum der Wissenserwerb nicht funktioniert hat.

3.3. Vignette zu Schülervorstellungen zum Thema Konstruktion an der Linse

Die Vignette zur Konstruktion an der Linse ist ebenfalls eine geschachtelte Vignette die zwei Entscheidungspunkte bietet. Die erste Entscheidung ist bestimmend für den zu beobachtenden Lernerfolg der Schülerinnen und Schüler am Ende des Unterrichts, je nach Szenario. Die Szenarien in der Vignette sind dabei vergleichbar aufgebaut, wobei durch die Verwendung von – im didaktischen Sinn – problembehafteten Abbildungen und Erklärungen durch die Lehrkraft die Lernendenvorstellung „Der Linsendurchmesser bestimmt die Bildgröße.“ (Haagen-Schützenhöfer & Hopf, 2018, S. 103) ausgelöst (oder verstärkt) wird. Eine Übersicht der Vignette ist in Abbildung 3 zu finden.

Die Vignette beginnt nicht mit einem konkreten Unterrichtsgeschehen, sondern mit einem Gespräch zwischen zwei Lehrkräften im Lehrerzimmer über

Idealisierungen im Physikunterricht. Ziel des Gesprächs ist es, die Studierenden für die Thematik „Idealisierungen“ zu sensibilisieren und auf fachlich unangemessene Vorstellungen auch bei Lehrkräften aufmerksam zu machen. Dabei wird den Studierenden die Aufgabe gestellt, das eigene Verständnis von Idealisierungen zu artikulieren und Beispiele aus der Schulphysik zu benennen. Die Studierenden entscheiden dann, ob in der folgenden Stunde die Idealisierungen der Lichtstrahlen (Szenario 2a) für die Konstruktion an der Linse oder die Idealisierung der Mittlebene (Szenario 2b) im Fokus stehen soll, wobei sie auch potenziell auftretende Verständnisschwierigkeiten je nach Ansatz antizipieren sollen. Daraufhin erfolgt je nach Entscheidung der Sprung in eines der beiden Szenarien.

In beiden Szenarien (2a und b) wird die Konstruktion an der Linse durch die Lehrkraft an der Tafel erklärt. Der Unterschied liegt im Tafelbild, da in Szene 2a die Linse „klassisch“ vergrößert eingezeichnet und die Mittlebene nur innerhalb der Linse gezeichnet wird, während in Szene 2b hingegen das abzubildende Objekt direkt größer als die Linse eingezeichnet, die Mittlebene hier aber über die Linse hinaus gezeichnet wird. Die Studierenden sollen nach der Einführung durch die Lehrkraft und auf der Grundlage der Tafelbilder das jeweilige Vorgehen bewerten und darauf eingehen, zu welchen potenziellen Lernendenvorstellungen die Abbildungen führen könnten. Beide Szenen enden mit dem Einsatz einer Simulation zur

Bildentstehung an der Linse, die sich aber in unterschiedlichen Qualitätsmerkmalen unterscheiden. An dieser Stelle wird der Einsatz von Simulationen im Unterricht thematisiert und die Studierenden sollen die jeweils gezeigte Simulation bewerten.

Anschließend können die Studierenden entscheiden, ob im weiteren Verlauf der Stunde die Leistungskontrolle über einen „near transfer“ (Aufgabenstellung nahe an dem im Unterricht behandelten Vorgehen) mit Hilfe eines Arbeitsblattes, in dem die Konstruktion an der Linse eingeübt wird oder über einen „far transfer“ (Transferaufgabe, die das Gelernte auf eine neue Situation übertragen soll), bei dem die Bildentstehung in einem Versuch praktisch umgesetzt wird und zur Reflektion angeregt wird.

Entscheidet man sich für den „near transfer“, sieht man in Szene 3a Schülerinnen und Schüler, die das Aufgabenblatt bearbeiten. Die Konstruktion funktioniert aus Sicht der Schülerinnen und Schüler nicht, da das Objekt größer als die Linse ist und entspricht somit einer Fehlvorstellung, die im Unterricht erst durch die unzureichenden Visualisierungen der Lehrkraft generiert wurde. Die Zurückführung der Konfliktsituation der SuS auf die Anlässe im Unterricht stellt eine abschließende Aufgabe für die Studierenden im Zuge der Vignette dar. Dies soll auch auf die Bedeutung des eigenen Lehrendenhandelns aufmerksam machen.

In Szene 3c wird ein Schüler, der bei der Aufgabe auf Grund einer fehlenden Verlängerung der Mittelebene nicht weiterkommt, von seiner Mitschülerin korrigiert und es wird der physikalisch korrekte Sachverhalt im Lernendengespräch erklärt.

Entscheidet man sich für die „far-transfer“-Aufgabe, wird eine Versuchsdurchführung gezeigt, in der die Linse zur Hälfte verdeckt und das projizierte Bild auf dem Schirm betrachtet wird. Die Studierenden werden in einer Aufgabe zuerst aufgefordert ihre Meinung über den vermuteten Ausgang des Versuchs zu notieren, bevor sie das Ergebnis sehen. Wird zuerst Handlungsstrang 2a gewählt, dann zeigt sich wieder, dass Schülerinnen und Schüler, die nach dem Ausgang des Experiments gefragt werden, annehmen, dass das Bild nur zur Hälfte abgebildet wird, analog zur Situation in Szene 3a. Die SuS sind daraufhin sehr erstaunt, dass das Bild weiterhin vollständig, allerdings weniger intensiv abgebildet wird. An dieser Stelle setzt die Lehrkraft mit einer Intervention ein, die in Form eines Vortrages die Geschehnisse an der Linse erklärt. Die Studierenden sollen beim Abschluss der Vignette das Vorgehen der Lehrkraft bewerten und mögliche Gründe identifizieren, warum die SuS zu dieser fehlerhaften Vorstellung gekommen sind.

In Szene 3d gelingt der Transfer durch die Schülerinnen und Schüler hingegen direkt, da die gewählten Abbildungen und Erklärungen im vorher gezeigten Unterricht den Wissenserwerb begünstigt haben.

4. Seminarkonzeption

Das vorliegende Seminar zum Thema „Lernendenvorstellungen“ ist in zwei Phasen aufgeteilt und basiert auf dem Blended-Learning-Ansatz (u.a. Sauter & Sauter, 2002). In der ersten Phase werden den Teilnehmerinnen und Teilnehmern drei Input-Sessions angeboten, die sich mit den grundlegenden Themenbereichen befassen. Der erste Teil setzt sich mit der Fragestellung auseinander, was Lernendenvorstellungen sind und wie sie definiert werden können. Im zweiten Teil geht es um die Diagnostik von Lernendenvorstellungen und um die verschiedenen Methoden, die hierbei eingesetzt werden können, wie beispielsweise Testinstrumente, Lehrer-Schüler-Gespräche und Bilder. Der dritte Teil befasst sich mit den verschiedenen Änderungsstrategien, die genutzt werden können, um Lernendenvorstellungen zu beeinflussen, wie beispielsweise Umdeutungen, Umgehungen oder Conceptual Change.

In der zweiten Phase des Seminars werden drei Videovignetten zum Thema Optik eingesetzt, die von den Teilnehmenden zu Hause bearbeitet werden. In den folgenden drei Seminarveranstaltungen werden die Videovignetten gemeinsam besprochen und die Antworten auf die gestellten Aufgaben aus den Vignetten diskutiert. Dabei werden auch die Szenarien miteinander verglichen und ausgewählte Szenen nach gemeinsamer Betrachtung erneut diskutiert.

Die Kombination aus Inputveranstaltungen und Videovignetten ermöglicht es den Teilnehmerinnen und Teilnehmern, sich sowohl theoretisch als auch praktisch mit dem Thema Lernendenvorstellungen auseinanderzusetzen und ihre eigenen Unterrichtswahrnehmung in einem komplexitätsreduzierten Umfeld zu schulen.

5. Erste Erfahrungen

Im Rahmen einer Fachdidaktikveranstaltung für das gymnasiale Lehramt (Physik und z.T. NWT) wurde im Wintersemester 2022/2023 das Seminarkonzept erprobt. Die Pilotierung erfolgte in einer kleinen Gruppe von $N = 6$ Studierenden, die sich ausschließlich im Masterstudium befanden und bereits erste Unterrichtserfahrungen aus dem vorausgegangenen Praxissemester vorweisen konnten. Die erste Phase aus asynchronen Onlinevorlesungen verlief ohne Probleme. Die integrierten Seminaaraufgaben wurden von den Studierenden in hinreichender Intensität bearbeitet und in der abschließenden synchronen bzw. Präsenzphase diskutiert.

Die Studierenden zeigten dabei ein deutliches Interesse an der Thematik von Präkonzepten bzw. Lernendenvorstellungen. Die nach Drehbuch gestalteten Unterrichtsszenen wurden von den Studierenden als hinreichend realitätsnah bewertet. Allerdings empfanden sie das gleichzeitige Auftreten von mehreren Fehlvorstellungen in einer Schulstunde als herausfordernd. Von diesem Vorgehen soll zukünftig allerdings dennoch nicht aberkannt werden, weil die zukünftigen Lehrkräfte im realen Unterricht auch mit

mehreren, parallel auftretenden unterschiedlichen Lernendenvorstellungen konfrontiert werden.

Während der Bearbeitungsphase der online zur Verfügung gestellten Videovignetten wurden insbesondere bei den Verzweigungsstellen der nichtlinearen Videos technische Probleme identifiziert. Diese konnten im Nachgang aber behoben werden. Darüber hinaus äußerten die Studierenden zusätzliche Wünsche hinsichtlich „Usability“. Hierzu gehört z.B. die Möglichkeit von Rückwärtssprüngen nach bereits getroffenen Entscheidungen.

Es sei jedoch darauf hingewiesen, dass es sich um eine Pilotierung mit einer kleinen Gruppe von Studierenden handelt und daher weitere Erprobungen notwendig sind, um das Seminarkonzept zu optimieren. Dies geschieht zunächst im Sommersemester 2023 mit einer Gruppe Studierender an der PH Schwäbisch Gmünd.

Die fertigen Vignetten und das Seminarkonzept sollen Ende der zweiten Pilotierung für die Lehramtsaus- und -weiterbildung zur Verfügung stehen.

6. Literatur

- Eghtessad, A. & Goreth, S. (2022). Erstellung von Videovignetten zu Schülervorstellungen. In S. Habig & H. van Vort (Hrsg.), *Unsicherheit als Element von naturwissenschaftsbezogenen Bildungsprozessen* (380-383). GDCP.
- Feige, E.-M., Rutsch, J., Dörfler, T. & Rehm, M. (2017). Von der Alltagsvorstellung zum fachwissenschaftlichen Konzept. *Schülervorstellungen diagnostizieren und weiterentwickeln. Unterricht Chemie* (159), 2–8.
- Goodwin, C. (1994). Professional Vision. *American Anthropologist*, 96(3), 606–633. <https://doi.org/10.1525/aa.1994.96.3.02a00100>
- Gropengießer, H. & Marohn, A. (2018). Schülervorstellungen und Conceptual Change. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 49–67). Springer Spektrum. https://doi.org/10.1007/978-3-662-56320-5_4
- Haagen-Schützenhöfer, C. & Hopf, M. (2018). Schülervorstellungen zur geometrischen Optik. In H. Schecker, T. Wilhelm, M. Hopf & R. Duit (Hrsg.), *Schülervorstellungen und Physikunterricht* (S. 89–114). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-57270-2_5
- Haagen-Schützenhöfer, C. & Wilhelm, T. (2021). Unterrichtskonzeptionen zur Geometrischen Optik. In T. Wilhelm, H. Schecker & M. Hopf (Hrsg.), *Unterrichtskonzeptionen für den Physikunterricht* (S. 17–49). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-63053-2_2
- Jung, W. (1986). Alltagsvorstellungen und das Lernen von Physik und Chemie. *Naturwissenschaften im Unterricht-Physik/Chemie*, 34(13), 2–6.
- Nepper, H. H. & Gschwendtner, T. (2020). Schüler- und Lehrervorstellungen zu ausgewählten technischen Grundlagen der Mechanik und Energieversorgung. *Journal of Technical Education*, 8(1), 76–98.
- Reichmann, H., Nepper, H., Meyer, R. & Eghtessad, A. (2022). Lernumgebungen zur Sensibilisierung für Lernendenvorstellungen Videovignetten als probates Hilfsmittel zur Schulung von Reaktionsmodi im Unterricht. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, 75(5), 356–360. https://tec-edu.net/site/assets/files/1122/reichmannh_et_al_2022_mnu-05-2022.pdf
- Sauter, W. & Sauter, A. M. (2002). Blended Learning: effiziente Integration von E-Learning und Präsenztraining. Neuwied: Luchterhand.
- Schecker, H., Wilhelm, T., Hopf, M. & Duit, R. (Hrsg.). (2018). *Schülervorstellungen und Physikunterricht*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-57270-2>
- Sherin, M. G. & van Es, E. A. (2009). Effects of Video Club Participation on Teachers' Professional Vision. *Journal of Teacher Education*, 60(1), 20–37. <https://doi.org/10.1177/0022487108328155>
- Straub, F. (2020). *Erfassung fachdidaktischer Kompetenzfacetten angehender Lehrpersonen technikbezogenen Unterrichts: Empirische Untersuchungen zur Erweiterung und längsschnittlichen Erprobung des Vignettestinstrumentes PCK-T. Beiträge zur Technikdidaktik: Bd. 7*. Logos Verlag.

Danksagung

Wir danken dem Erasmus+ Förderprogramm für die finanzielle Unterstützung über die Förderschiene „KA226 Strategische Partnerschaften – Hochschulbildung“ mit der Agreement Nummer: 2020-1-AT-KA226-HE-092704.

Diagnose von Kompetenzfacetten zur Variablenkontrollstrategie

Tobias Winkens*, Heidrun Heinke*

*I. Physikalisches Institut IA, RWTH Aachen University
Sommerfeldstraße 14, 52074 Aachen
winkens@physik.rwth-aachen.de, heinke@physik.rwth-aachen.de

Kurzfassung

Die Förderung experimenteller Fähigkeiten und Kompetenzen ist wesentlich für das Erlernen einer naturwissenschaftlichen Grundbildung bei Schüler:innen. Im experimentellen Prozess ist dabei die Anwendung der Variablenkontrollstrategie (VKS) zur Feststellung von Zusammenhängen wie Ursache-Wirkungs-Beziehungen zwischen verschiedenen Größen nicht nur in der Physik, sondern vielmehr in allen Naturwissenschaften essentiell notwendig. Zur Erfassung der Kompetenzen im Bereich der VKS wird in der Literatur ein Modell mit vier VKS-Teilfähigkeiten und ein entsprechendes Diagnoseinstrument vorgeschlagen. Dessen Weiterentwicklung kann zur Operationalisierung der VKS und daraus folgend für die Differenzierung unterschiedlich gestufter Fähigkeitsniveaus innerhalb der VKS-Teilfähigkeiten genutzt werden und damit die Basis eines Kompetenzmodells zur VKS bilden. Die Differenzierung unterschiedlicher Antworten von Proband:innen im Testinstrument in Fähigkeitsniveaus ermöglicht die Anwendung adaptiver Teststrategien und weiter individualisierter Diagnostik-, Feedback- und damit Lern-Möglichkeiten für ein vertieftes Verständnis der VKS.

1. Motivation

Die Förderung experimenteller Kompetenzen stellt insbesondere wegen der herausragenden Bedeutung des Experiments eines der wichtigsten Bildungsziele des Physikunterrichts dar (vgl. KMK, 2004; vgl. Theyßen et al., 2016). Schüler:innen sollen ein grundlegendes Verständnis über die experimentelle Methode sowie wissenschaftliche Arbeitsweisen als Bestandteil einer Scientific Literacy aufbauen können (vgl. Baur, 2018; vgl. Nerdel, 2017, S. 14–15). Als Teil dieser stellt die Kompetenz der Variablenkontrollstrategie (VKS) im Bereich der Erkenntnisgewinnung eine elementare Vorgehensweise dar, um z.B. kausale Zusammenhänge als ein Ziel von naturwissenschaftlichen Experimenten untersuchen zu können (vgl. Schulz und Wirtz, 2012). Solch ein Experimentieren mit Beachtung der Variablenkontrolle ist im Zuge der G9-Umstellung als expliziter Bestandteil mit in die Kernlehrpläne in Nordrhein-Westfalen aufgenommen worden (vgl. MSW, 2022; vgl. MSW, 2019a).

Eine gezielte Diagnose der VKS ist essentiell für die individuelle Förderung der Schüler:innen in diesem Bereich. Der vorliegende Beitrag soll mit einer Analyse möglicher Kompetenzfacetten innerhalb der VKS eine Grundlage für ein darauf aufbauendes Erhebungsverfahren zur Erfassung der VKS-bezogenen Kompetenzen schaffen, welches in Grundzügen vorgestellt werden soll.

2. Kompetenzmodellierung der VKS

Da im alltäglichen Gebrauch der Begriff Kompetenz „fast inflationär“ (Bernholt, 2010, S. 33) verwendet

wird, soll zu Beginn dieses Artikels eine kurze begriffliche Einordnung erfolgen.

Eine vielfach genutzte Sichtweise basiert auf dem Verständnis des Psychologen Weinert. Kompetenzen sind nach ihm „die bei Individuen verfügbaren oder durch sie erlernbaren kognitiven Fähigkeiten und Fertigkeiten, um bestimmte Probleme zu lösen, sowie die damit verbundenen motivationalen, volitionalen und sozialen Bereitschaften und Fähigkeiten um die Problemlösungen in variablen Situationen erfolgreich und verantwortungsvoll nutzen zu können“ (Weinert, 2014, S. 28-29). Im schulischen Bereich unterscheidet er dabei zwischen fachlichen und fachübergreifenden Kompetenzen sowie Handlungskompetenzen, die über die beiden Kategorien hinaus auch motivationale und soziale Aspekte beinhalten (vgl. ebd., S. 28). Die KMK, die sich in ihrem Kompetenz-Verständnis an Weinert anlehnt, differenziert in den Bildungsstandards für das Fach Physik zwischen der Inhalts- und der Handlungsdimension, wobei letztere in die drei Kompetenzbereiche Erkenntnisgewinnung, Kommunikation und Bewertung unterteilt wird (vgl. KMK, 2004).

Eine Betrachtung der unterschiedlichen Kernlehrpläne in den naturwissenschaftlichen Fächern wie Physik, Chemie und Biologie für das Land NRW zeigt, dass die VKS vor allem im Kompetenzbereich der Erkenntnisgewinnung einzuordnen ist (vgl. MSW, 2019a; vgl. MSW, 2019b; vgl. MSW, 2019c). Dadurch begründet sich auch die Einordnung der VKS als eine fachübergreifende Kompetenz gemäß der Unterteilung von Weinert.

Tab.1: Darstellung des Kompetenzstufenmodells nach Hammann (2004) zur Suche im Experimentier-Suchraum. Demnach kann das Fähigkeitsniveau bzgl. der VKS in unterschiedliche Stufen eingeteilt und es können beispielhafte Experimentierstrategien – für Settings mit drei unabhängigen Variablen – innerhalb dieser eingeordnet werden. Abkürzungen: V – Variable, TV – Testvariable, CA – change all und HOTAT – hold one thing at time.

Niveaustufe	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3
Kurzbeschreibung	Unsystematischer Umgang mit Variablen	Teilweise systematischer Umgang	Systematischer Umgang
Beispiele	<ul style="list-style-type: none"> • CA-Strategie • Alle Variablen konstant 	<ul style="list-style-type: none"> •HOTAT-Strategie •TV+V variiert •TV+V konstant 	<ul style="list-style-type: none"> • VKS

Auf Basis des von Klahr und Dunbar (1988) entwickelten SDDS-Modells (Scientific Discovery as Dual Search), welches den Problemlöseprozess der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung in Aktivitäten im Hypothesensuchraum (space of hypothesis) und im Experimentier-Suchraum (space of experiments) unterteilt, schlägt Hammann (2004) eine mögliche Variante zur Kompetenzmodellierung der VKS in Form eines Kompetenzentwicklungsmodells vor.

Die Variablenkontrolle findet sich dabei im Experimentier-Suchraum wieder (vgl. Hammann, 2004, vgl. Klahr und Dunbar; 1988, vgl. Hammann et al., 2007). Wie in Tab. 1 zu erkennen ist, ordnet Hammann dem Grad der Systematik beim Experimentieren unterschiedliche Kompetenzstufen zu. Im Wesentlichen unterscheidet er zwischen drei¹ verschiedenen Kompetenzstufen.

Die erste Stufe beschreibt einen vollständig unsystematischen Umgang mit den Variablen beim Experimentieren. Dieser zeigt sich in Experimentiersituationen, in denen gemäß der change-all Strategie alle Variablen – sowohl die Testvariable als auch alle weiteren unabhängigen Variablen – verändert werden (vgl. Tschirgi, 1980; vgl. Hammann, 2004; vgl. Ehmer, 2008, S. 26-27). Alternativ halten Experimentierende alle Variablen zwischen zwei Ansätzen konstant.

Die zweite Stufe umfasst Strategien, die ebenfalls nicht korrekt im Sinne der VKS sind, jedoch bereits Aspekte eines systematischen Handelns aufweisen (vgl. Hammann, 2004). In experimentellen Settings mit einer zu untersuchenden Testvariablen und zwei weiteren unabhängigen Variablen erfüllen drei verschiedene Vorgehensweisen diesen Grad der Teilsystematik. Bei der HOTAT-Strategie (hold one thing at time) wird zwischen Kontroll- und Experimentalansatz nur die Testvariable konstant gehalten und alle anderen Variablen werden verändert (vgl. Tschirgi, 1980). Eine der beiden anderen Varianten bezieht sich auf die Variation der Testvariablen (in Tab.1 mit TV abgekürzt) und einer der beiden anderen Variablen (in Tab.1 mit V abgekürzt) bei gleichzeitigem

Konstanthalten der übrigen Variable. Hierzu konträr ist die Strategie, bei der die Testvariable mit einer weiteren Variable konstant gehalten und nur die übrige Variable geändert wird, was ein prinzipielles logisches Verständnis des Prinzips der Variablenkontrolle andeutet (vgl. Schwichow et al., 2022). Während bei der HOTAT-Strategie die Testvariable erkannt wird, deuten die anderen beiden Varianten darauf hin, dass die Lernenden beim Anwenden dieser Strategien die Testvariable nicht erkennen. Trotz dessen weisen die drei genannten Strategien im Gegensatz zur Stufe 1 einen Grad an Systematik auf und können daher als Zwischenstufe im Lernprozess der VKS interpretiert werden.

Die dritte Stufe beschreibt den systematischen Umgang mit Variablen (vgl. Hammann, 2004). Dabei wird nur die zu untersuchende Testvariable verändert und die übrigen Variablen werden konstant gehalten, was der Variablenkontrollstrategie entspricht.

Die beschriebenen Aspekte können genutzt werden, um in der nachfolgenden Analyse Kompetenzfacetten innerhalb der VKS herauszuarbeiten und zu begründen.

3. Analyse der Kompetenzfacetten innerhalb der VKS

Aufbauend auf der beschriebenen theoretischen Kompetenzmodellierung werden in diesem Abschnitt die unterschiedlichen Facetten der VKS als experimentelle Kompetenz genauer betrachtet. Grundlegend dafür ist die modellhafte Unterteilung der VKS in verschiedene Teilfähigkeiten. Dabei ist insbesondere die Unterscheidung zwischen kontrollierten und konfundierten Experimenten von Belang, wobei sich bei einem konfundierten Experiment zwei Experimentalansätze in mehr als einer potenziell unabhängigen Variable unterscheiden. Bei solchen Experimenten ist der potenzielle Einfluss der Variablen somit vermischt, weshalb der Einfluss durch eine der veränderten Variablen nicht geschlussfolgert werden kann (vgl. Schulz et al., 2012). Auf Basis von Chen und Klahr (1999) differenzieren Schwichow et al. zwischen vier verschiedenen Teilfähigkeiten (vgl.

¹ Beim systematischen Umgang mit Variablen differenziert Hammann formal zwischen Stufe 3 (in bekannten Domänen) und Stufe 4 (in unbekanntem Domänen) (vgl. Hammann, 2004, S. 201-202). Gemäß anderweitigen Untersuchungen, nach denen der Kontext

keinen Einfluss auf die Schwierigkeit der VKS haben sollte (vgl. Schwichow et al., 2016), zeigt sich hier ein möglicher Forschungsansatz. Daher wurde die domänenspezifische Differenzierung nicht explizit mit aufgegriffen.

Schwichow und Nehring, 2018; vgl. Schwichow et al., 2016):

- gezielte Identifikation kontrollierter Experimente aus einer Auswahl an kontrollierten und konfundierten Experimenten (ID)
- Interpretation der Befunde kontrollierter Experimente (IN)
- Planung kontrollierter Experimente (PL)
- Verständnis der fehlenden Aussagekraft konfundierter Experimente (UN)

Auf Grundlage dieser Formulierung kann die Variablenkontrolle als Konstrukt genauer untersucht und operationalisiert werden, um im Weiteren unterschiedliche Fähigkeitsniveaus ermitteln und begründen zu können.

3.1. Schwierigkeitsgrad der VKS-Teilfähigkeiten

Elementar für eine erste Einordnung ist die Betrachtung des Schwierigkeitsgrads der jeweiligen Teilfähigkeiten. Dabei wird der Schwierigkeitsgrad durch die Lösungswahrscheinlichkeiten entsprechender Test-Items beschrieben. Im Rahmen verschiedener Studien sind Testinstrumente auf Basis der vier oben genannten Teilfähigkeiten eingesetzt worden. Die Rangfolge der Lösungswahrscheinlichkeiten für Testitems zu den verschiedenen Teilfähigkeiten bzw. qualitative Aussagen darüber sind in Abb. 1 schematisch dargestellt.

Während Peteranderl und Edelsbrunner (2020) sich auf Items aus dem von Peteranderl (2019) entwickelten Instrument beziehen, basieren die Ergebnisse der übrigen vier Studien auf dem CVSI (engl.: control-of-variables strategy inventory) von Schwichow et al. (2016). Der Vollständigkeit halber muss an dieser

Stelle auch erwähnt werden, dass die Items durch jeweilige Adaptionen in den unterschiedlichen Studien nicht alle gleich sind. Ein direkter Vergleich zwischen den Studien – insbesondere der quantitativen Werte – ist daher nur begrenzt möglich. Vielmehr folgt die Analyse einem qualitativen Ansatz.

Wie in Abb. 1 zu sehen, wurden nicht alle Teilfähigkeiten in jeder Studie abgeprüft. Daher sind nicht alle Teilfähigkeiten bei jeder Studie aufgeführt. Die Untersuchung von Brandenburger et al. bei Grundschüler:innen ergibt, dass die Teilfähigkeit zur Identifizierung (ID) signifikant einfacher ist als die Teilfähigkeit Interpretation (IN). Weiter haben die Autoren dort festgestellt, dass der Schwierigkeitsgrad der Items zur Teilfähigkeit IN höher ist, wenn zusätzlich eine Begründung eingefordert wird (vgl. Brandenburger et al., 2022). Für Schüler:innen der Jahrgangsstufen fünf und sechs haben Peteranderl und Edelsbrunner – bei Nutzung eines anderes Testinstruments – abweichend davon beschrieben, dass die Teilfähigkeit IN einfacher als ID ist. Die Teilfähigkeit zur Planung (PL) ist schwerer als die beiden genannten Teilfähigkeiten, jedoch etwas einfacher als die Teilfähigkeit zum Verständnis der fehlenden Aussagekraft konfundierter Experimente (UN) (vgl. Peteranderl und Edelsbrunner, 2020). Während die zwei genannten Studien widersprüchliche Angaben zu Schwierigkeitsunterschieden zwischen IN und ID machen, konnten Schwichow et al. bei Schüler:innen im Bereich der Mittelstufe keinen signifikanten Unterschied zwischen IN und ID feststellen. Im Vergleich zur Teilfähigkeit UN sind diese jedoch signifikant einfacher (vgl. Schwichow et al., 2016; vgl.

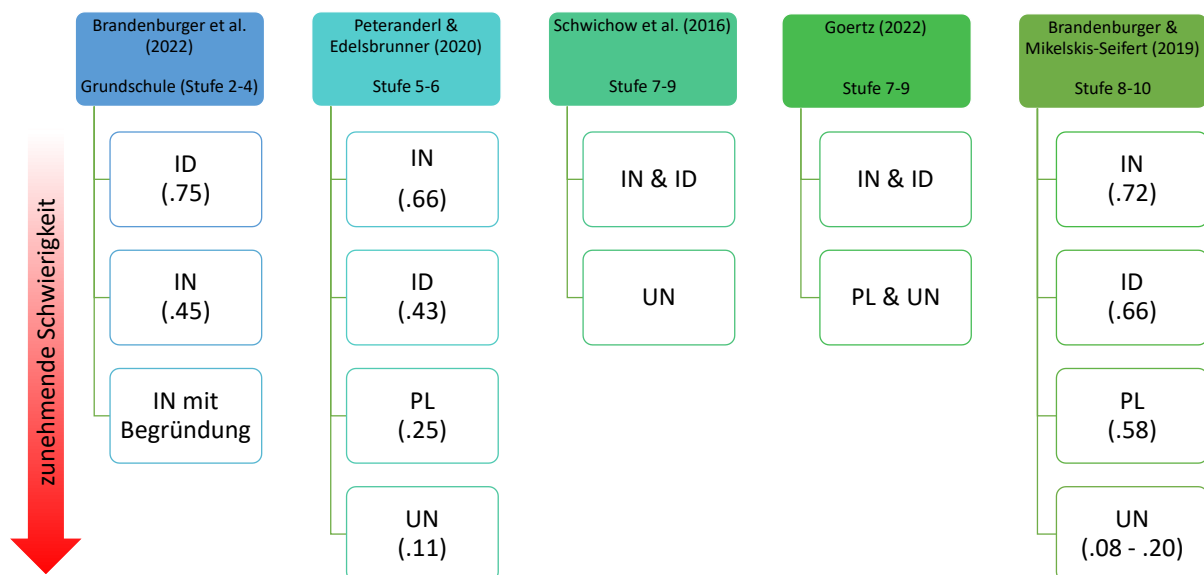


Abb.1: Die Lösungswahrscheinlichkeiten der vier VKS-Teilfähigkeiten basierend auf verschiedenen Studienergebnissen in verschiedenen Jahrgangsstufen. Horizontal sind verschiedene Studien aufgeführt. Der Schwierigkeitsgrad der Teilfähigkeiten ist gemäß den Ergebnissen der Studien vertikal dargestellt. In den Klammern sind die in der jeweiligen Untersuchung ermittelten Lösungswahrscheinlichkeiten aufgeführt, wenn sie dort explizit genannt worden sind. Nicht in jeder Studie sind numerische Angaben zum Schwierigkeitsgrad jeder einzelnen Teilfähigkeit gemacht worden.

Schwichow, 2015, S. 69). Eine ähnliche Tendenz beschreibt Goertz in seinen Ausführungen, in denen er die Teilfähigkeiten IN und ID zu einer gemeinsamen Skala zusammenfasst und die Teilfähigkeiten PL und UN einer Skala mit erhöhtem Schwierigkeitsgrad zuordnet (vgl. Goertz, 2022, S. 264-266). Die Ergebnisse von Brandenburger und Mikelskis-Seifert in den Jahrgangsstufen acht bis zehn ähneln qualitativ den Beobachtungen von Peteranderl und Edelsbrunner. Die Teilfähigkeit IN wird leichter als ID und diese leichter als PL beschrieben. Die Unterschiede sind jeweils signifikant. Die Items zur Teilfähigkeit UN wiesen im Vergleich dazu nur sehr geringe Lösungswahrscheinlichkeiten auf (vgl. Brandenburger und Mikelskis-Seifert, 2019).

In den Untersuchungen von Brandenburger und Mikelskis-Seifert sowie von Brandenburger et al. wird in Bezug auf den Schwierigkeitsgrad der VKS zudem explizit darauf hingewiesen, dass die Fachdomäne keinen Einfluss auf die Schwierigkeit von entsprechenden Items hat und daher die VKS eine experimentelle Fähigkeit ist, die domänenübergreifend verwendet werden kann (vgl. Brandenburger et al., 2022; vgl. Brandenburger und Mikelskis-Seifert, 2019). Dies begründet auch, warum in Tab. 1 in Abschnitt 2 nicht die vierte Stufe im Modell von Hammann (2004) für die Anwendung der VKS in unbekanntem Domänen mit übernommen wurde.

Insgesamt kann an dieser Stelle zusammengefasst werden, dass hinsichtlich des Schwierigkeitsgrads keine eindeutige Aussage über eine Reihung der Teilfähigkeiten zur Interpretation (IN) und zur Identifikation (ID) getroffen werden kann. Für die weiteren beiden Teilfähigkeiten zur Planung (PL) und zum Verständnis konfundierter Experimente (UN) lässt sich schlussfolgern, dass beide schwieriger sind. Darüber hinaus deutet die Tendenz in den Ergebnissen auf einen höheren Schwierigkeitsgrad der Teilfähigkeit UN im Vergleich zu PL hin.

tion (ID) getroffen werden kann. Für die weiteren beiden Teilfähigkeiten zur Planung (PL) und zum Verständnis konfundierter Experimente (UN) lässt sich schlussfolgern, dass beide schwieriger sind. Darüber hinaus deutet die Tendenz in den Ergebnissen auf einen höheren Schwierigkeitsgrad der Teilfähigkeit UN im Vergleich zu PL hin.

3.2. Operationalisierung der VKS-Teilfähigkeiten

Als Basis für eine gezielte Diagnose der VKS-bezogenen Kompetenzen von Schüler:innen sollen die Teilfähigkeiten an dieser Stelle weiter operationalisiert werden.

Die Klassifikation setzt sich aus zwei wesentlichen Komponenten zusammen. Dies sind einerseits die im vorherigen Abschnitt analysierten Schwierigkeitsgrade der vier VKS-Teilfähigkeiten und andererseits das gestufte Kompetenzentwicklungsmodell nach Hammann (2004), wie in Tab. 1 dargestellt. Werden diese beiden Aspekte miteinander verknüpft, können Kompetenzfacetten der VKS angeordnet und ihnen verschiedene Stufen des Kompetenzentwicklungsmodells zugeordnet werden, wie in Abb. 2 dargestellt ist.

Es sollen zunächst die spaltenweise dargestellten drei verschiedenen Niveaustufen betrachtet werden. Diesen Stufen werden gemäß Tab. 1 unterschiedliche Vorgehensweisen der Experimentierenden zugeordnet: ein unsystematisches auf Stufe 1, ein teilsystematisches auf Stufe 2 und ein systematisches Vorgehen auf der höchsten Stufe 3. Pro VKS-Teilfähigkeit, die in Abb. 2 zeilenweise angeordnet sind, kann daraus

		zunehmendes VKS-Verständnis		
		<u>Stufe 1</u>	<u>Stufe 2</u>	<u>Stufe 3</u>
		Unsystematischer Umgang mit Variablen	Teilweise systematischer Umgang mit Variablen	Systematischer Umgang mit Variablen (Beherrschen der VKS)
zunehmendes VKS-Verständnis	Identifizierung kontrollierter Experimente (ID)	X	X	X
	Interpretation der Befunde kontrollierter Experimente (IN)	-	X	X
	Planung kontrollierter Experimente (PL)	X	X	X
	Verständnis der fehlenden Aussagekraft konfundierter Experimente (UN)	X	X	X

Abb.2: Kompetenzfacetten zur Variablenkontrollstrategie. Die Fähigkeitsskalen (je Teilfähigkeit) sind zwei- (für die Teilfähigkeit IN) bis dreistufig (Teilfähigkeiten ID, PL und UN). Mit zunehmender Niveaustufe und zunehmendem Schwierigkeitsgrad der VKS-Teilfähigkeit nimmt das VKS-Verständnis zu.

wiederum eine mehrstufige Fähigkeitsskala konstruiert werden. Die Skala zur Interpretation kontrollierter Experimente ist dabei zweistufig, da die Niveaustufe 1 (unsystematischer Umgang) nicht auftreten kann. Dies ist durch die Voraussetzung bedingt, dass die vorliegenden Experimentiersettings kontrolliert sind und sich demnach nur in einer Variablen unterscheiden. Dadurch können sowohl das Konstanthalten als auch die gleichzeitige Variation aller Variablen nicht als zugrundeliegende Strategien auftreten. Die übrigen Skalen ID, PL und UN sind hingegen alle dreistufig, da bei all diesen Skalen auch ein unsystematischer Umgang mit Variablen auftreten kann.

Nach Abb. 1 weisen die Teilfähigkeiten IN und ID einen ähnlichen Schwierigkeitsgrad auf. Die Beherrschung von zunehmend schwierigen Teilfähigkeiten der VKS kann auch als zunehmendes VKS-Verständnis interpretiert werden (siehe vertikaler Pfeil in Abb. 2). Die Farbgebung der einzelnen Zeilen deutet an, dass IN und ID in Bezug auf das Maß des VKS-Verständnisses als äquivalent zu betrachten sind. Gleichzeitig erhöht sich das VKS-Verständnis auch über die drei Stufen (und damit die Spalten) hinweg, wie der horizontale Pfeil in Abb. 2 verdeutlicht. Damit ergibt sich ein Modell, nach dem das VKS-Verständnis auf Seiten der Lernenden sowohl über die Beherrschung verschiedener Teilfähigkeiten als auch über höhere Skalenstufen bei der Systematik im Vorgehen zur Bearbeitung der Anforderungen zunimmt.

Die Operationalisierung der Teilfähigkeiten der VKS ermöglicht eine Zuordnung von Kompetenzfacetten in unterschiedliche gestufte Fähigkeitsniveaus. Unterschiedliche kognitive Strategien, die Lernende bei (Test-)Aufgaben oder in Experimentiersituationen anwenden, wie zum Teil in Abschnitt 2 beschrieben, können dadurch modellhaft eingeordnet werden. Diese Modellierung bildet eine mögliche Basis für die Analyse von Testergebnissen und eine darauf aufbauende Zuordnung weiterer Lernangebote. Genauer zu untersuchen ist noch, welche Aussagen über das Maß des VKS-Verständnisses bei Lernenden getroffen werden können, wenn unterschiedliche Niveaustufen auf verschiedenen Fähigkeitsskalen beobachtet werden, wie z.B. Stufe 3 bei der Skala ID und Stufe 1 oder 2 bei PL.

4. Ansatz zur Umsetzung eines adaptiven VKS-Testdesigns

Aufbauend auf dem in Abschnitt 3 angesprochenen CVSI von Schwichow et al. (2016) soll die Entwicklung adaptiver Teststrategien individualisierte Diagnostik-, Feedback- und Lernangebote ermöglichen. Ansätze zur inhaltlichen Weiterentwicklung des Item-Designs können in Winkens und Heinke (2023) nachvollzogen werden. An dieser Stelle soll insbesondere auf die Rahmenbedingung zur Weiterentwicklung des Testdesigns eingegangen werden.

Der wesentliche Kerngedanke eines adaptiven Designs fußt darauf, dass alle Proband:innen mit Items

derselben Teilfähigkeit starten. Im Anschluss daran soll eine interaktive Anpassung der weiteren Testitems an die im Verlauf des Tests abgeleiteten Fähigkeiten der Proband:innen erfolgen. Die Anpassung erfolgt dabei in Anlehnung an die in Abb. 2 dargestellten Kompetenzfacetten. Startend mit Items zu den einfacheren Teilfähigkeiten IN und ID folgen diesen in Abhängigkeit von den Antworten der Proband:innen Items der nächsthöheren Fähigkeitsskala oder ein nächstes Item zur aktuell adressierten Teilfähigkeit (zunächst ID & IN) zur weiteren Eruiierung innerhalb der aktuellen Skala. Damit keine Zufallstreffer zu Skalenwechseln führen, sollten pro Skala mindestens zwei aufeinanderfolgende Items korrekt gelöst werden müssen. Unter der Rahmenbedingung einer vergleichbaren Anzahl der insgesamt bearbeiteten Items für alle Proband:innen bearbeiten somit die Proband:innen im Regelfall unterschiedlich viele Items pro Skala. Die Umsetzung erfolgt also in einer gestaffelten Item-Reihenfolge in Abhängigkeit vom Fähigkeitsniveau der Proband:innen. Proband:innen mit einem geringen Konzeptverständnis der VKS werden demnach mehr Items aus dem Fundus der leichteren Teilfähigkeiten IN und ID bearbeiten. Leistungsstärkere Proband:innen dagegen werden überwiegend Planungs- (PL) und Verständnis-Items (UN) bearbeiten.

Die Anwendung des in Abb. 2 dargestellten Modells in einem adaptiven Testinstrument ist nur eine der interessanten Einsatzmöglichkeiten. Aufbauend auf einem solchen Testinstrument kann den SuS auch ein konkretes, individuelles Feedback zu ihrem VKS-Verständnis gegeben werden, z.B. in der Form: „Die Teilfähigkeit(en) X (und Y) beherrscht du schon sehr gut. Im Bereich Z gehst du noch unsystematisch bzw. nur teilweise systematisch vor“. Darüber hinaus können Lernmaterialien zur VKS differenziert aufbereitet werden. Bei Verwendung des gleichen experimentellen Settings bzw. des gleichen physikalischen Inhalts können unterschiedliche Versionen von strukturell angepassten Arbeitsblättern und deren passgenaue Zuordnung zu SuS auf verschiedenen Kompetenzniveaus zur Förderung der jeweiligen VKS-Teilfähigkeit entwickelt und nicht nur in verschiedenen Jahrgangsstufen, sondern auch als binnendifferenzierende Maßnahme in einer Lerngruppe eingesetzt werden.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Variablenkontrollstrategie als experimentelle Kompetenz ein expliziter Bestandteil der neueren Lehrplangeneration ist. Um entsprechende (differenzierte) Lerngelegenheiten entwickeln zu können, ist eine gezielte und differenzierte Diagnose der Beherrschung der VKS durch SuS notwendig. Basierend auf einem gestuften experimentellen Kompetenzentwicklungsmodell zur VKS sowie einer Analyse der Schwierigkeitsgrade von vier verschiedenen VKS-Teilfähigkeiten

können einzelne Kompetenzfacetten zur VKS detaillierter herausgearbeitet werden. Je Teilfähigkeit lässt sich auf diese Weise eine zwei- bzw. dreistufige Fähigkeitsskala konstruieren, in die das Verhalten von Lernenden beim Experimentieren bzw. die Antworten VKS-spezifischer Aufgaben und Test-Items von Proband:innen eingeordnet werden können. Aufbauend darauf kann ein adaptives Testinstrument entwickelt werden. Durch eine gestaffelte Abfolge von zu bearbeitenden Test-Items zu verschiedenen Teilfähigkeiten und Skalenniveaus kann der Test interaktiv an das Fähigkeitsniveau der Proband:innen angepasst werden. Über Aussagen zum vorliegenden VKS-Verständnis hinaus bietet ein solches Verfahren das Potential auch typische Verhaltensweisen beim Experimentieren zu diagnostizieren, den Proband:innen direktes Feedback zurückzumelden sowie individuelle und differenzierte Lernangebote bereitzustellen.

Voraussetzung für die Umsetzung eines solchen Entwicklungsszenarios ist, dass ein adaptives Testinstrument eine valide Diagnose der verschiedenen Kompetenzfacetten der Variablenkontrollstrategie ermöglicht. In diesem Zusammenhang kann auch geklärt werden, inwieweit die verschiedenen Teilfähigkeiten in ihren inhaltlichen Anforderungen strikt trennbar sind oder aufeinander aufbauen. Ein Verständnis dieses Punktes kann die effiziente Entwicklung von differenzierten Feedbackroutinen und Lerngelegenheiten wesentlich unterstützen.

6. Literatur

- Baur, Armin (2018): Fehler, Fehlkonzepte und spezifische Vorgehensweisen von Schülerinnen und Schülern beim Experimentieren. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 24, S. 115–129.
- Bernholt, Sascha (2010): Kompetenzmodellierung in der Chemie – Theoretische und empirische Reflexion am Beispiel des Modells hierarchischer Komplexität. Berlin: Logos Verlag.
- Brandenburger, Martina; Mikelskis-Seifert, Silke (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; Salim, Cem Aydin; Schwichow, Martin; Wilbers, Jens; Mikelskis-Seifert, Silke (2022): Modellierung der Struktur der Variablenkontrollstrategie und Abbildung von Veränderungen in der Grundschule. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 28 (5), S. 1–20.
- Chen, Zhe; Klahr, David (1999): All Other Things Being Equal: Acquisition and Transfer of the Control of Variables Strategy. In: *Child Development* 70(5), S. 1098–1120.
- Ehmer, Maike (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.
- Goertz, Simon (2022): Module und Lernzirkel der Plattform FLExKom zur Förderung experimenteller Kompetenzen in der Schulpraxis - Verlauf und Ergebnisse einer Design-Based Research Studie. Berlin: Logos Verlag.
- Hammann, Marcus (2004): Kompetenzentwicklungsmodelle: Merkmale und ihre Bedeutung - dargestellt anhand von Kompetenzen beim Experimentieren. In: *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, 57(4), S. 196–203.
- Hammann, Marcus; Phan, Thi Thanh Ho; Bayrhuber Horst (2007): Experimentieren als Problemlösen: Lässt sich das SDDS-Modell nutzen, um unterschiedliche Dimensionen beim Experimentieren zu messen?. In: *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 10 (Sonderheft 8), S. 33–49.
- Klahr, David; Dubar, Kevin (1988): Dual Space Search During Scientific Reasoning. In: *Cognitive Science* 12, S. 1–48.
- KMK; Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland, Hrsg. (2004): Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss. Beschluss vom 16.12.2004. https://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2004/2004_12_16-Bildungsstandards-Physik-Mittleren-SA.pdf (Stand: 2/2022)
- MSW; Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen, Hrsg. (2022): Kernlehrplan für die Sekundarstufe II Gymnasium/Gesamtschule in Nordrhein-Westfalen – Physik. 1. Auflage. Düsseldorf: Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen.
- MSW; Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen, Hrsg. (2019a): Kernlehrplan für die Sekundarstufe I Gymnasium in Nordrhein-Westfalen – Physik. 1. Auflage. Düsseldorf: Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen.
- MSW; Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen, Hrsg. (2019b): Kernlehrplan für die Sekundarstufe I Gymnasium in Nordrhein-Westfalen – Biologie. 1. Auflage. Düsseldorf: Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen.
- MSW; Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen, Hrsg. (2019c): Kernlehrplan für die Sekundarstufe I Gymnasium in Nordrhein-Westfalen – Chemie. 1. Auflage. Düsseldorf: Ministerium für Schule und

- Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen.
- Nerdel, Claudia (2017): Grundlagen der Naturwissenschaftsdidaktik – Kompetenzorientiert und aufgabenbasiert für Schule und Hochschule. Berlin: Springer-Verlag.
- Peteranderl, Sonja (2019): Experimentation Skills of Primary School Children. <https://doi.org/10.3929/ethz-b-000370663>
- Peteranderl, Sonja; Edelsbrunner, Peter A. (2020): The Predictive Value of Children's Understanding of Indeterminacy and Confounding for Later Mastery of the Control-of-Variables Strategy. In: *Front. Psychol.*, 11, S. 1-16.
- Schulz, Andreas; Wirtz, Markus (2012): Analyse kausaler Zusammenhänge als Ziel des Experimentierens. 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. 39–56.
- Schulz, Andreas; Wirtz, Markus; Staruschek, Erich (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; Christoph, Simon; Boone, William J.; Härtig, Hendrik (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; Nehring, Andreas (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.
- Schwichow, Martin; Brandenburger, Martina; Wilbers, Jens (2022): Analysis of experimental design errors in elementary school: how do students identify, interpret, and justify controlled and confounded experiments?. In: *International Journal of Science Education*, 44(1), S. 91-114. <https://doi.org/10.1080/09500693.2021.2015544>
- Theyßen, Heike; Schecker, Horst; Neumann, Knut; Eickhorst, Bodo; Dickmann, Martin (2016): Messung experimenteller Kompetenz - ein computergestützter Experimentiertest. In: *Physik und Didaktik in Schule und Hochschule (Phy-Did-A)*, 15(1), S. 26–48.
- Tschirgi, Judith E. (1980): Sensible reasoning: A hypothesis about hypotheses. In: *Child Development*, 51(1), S. 1–10.
- Weinert, Franz E. (2014): Leistungsmessungen in Schulen. 3., aktualisierte Aufl. Weinheim, Basel: Beltz Verlag.
- Winkens, Tobias; Heinke, Heidrun (2023): Fortentwicklung eines Testinstruments zur Variablenkontrollstrategie. In: Helena van Vorst (Hrsg.), *Lernen, Lehren und Forschen in einer digital geprägten Welt. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Aachen 2022*.

Die (Ab-)Wahl von Physik und Zusammenhänge zu Fachinteresse und Brain Type der Lernenden

Julia Welberg, Daniel Laumann, Susanne Heinicke

Institut für Didaktik der Physik, Universität Münster, Wilhelm-Klemm-Str. 10, 48149 Münster
julia.welberg@uni-muenster.de

Kurzfassung

Das Interesse am Fach Physik scheint ein guter Prädiktor für die Weiterwahl des Faches Physik in die gymnasiale Oberstufe zu sein. Die bisherigen Untersuchungen liegen allerdings bereits über 20 Jahre zurück oder sind wenig aussagekräftig, da nicht nach konkreten Gründen für die Wahl bzw. Abwahl des Faches Physik gefragt wurde. Zudem wurden Lernende meist nach ihrem Geschlecht unterteilt, was manche Lernende nicht gut repräsentiert. Daher sollen im folgenden Beitrag Konstrukte der Empathizing-Systemizing-Theorie (EST) genutzt werden, um die Zusammenhänge zwischen Fachinteresse Physik und Kurswahl zur Oberstufe besser aufzuklären und ein geschlechterunabhängiges Merkmal zu nutzen. Zusätzlich wurden die Lernenden nach ihren Motiven für die Wahl oder Abwahl von Physik in Anlehnung an Wahlmotive aus der Chemie, die sich auf das Erwartung-mal-Wert-Modell beziehen, befragt. Zur Betrachtung der Zusammenhänge zwischen EST, Fachinteresse und Kurswahl wurde ein Pfadmodell erstellt. Die Ergebnisse zeigen, dass das Fachinteresse Physik ein guter Prädiktor für die Weiterwahl von Physik in die gymnasiale Oberstufe ist, welcher von der Ausprägung des Systematisierens beeinflusst wird. Der Einfluss des Geschlechts auf das Fachinteresses Physik ist als gering festzustellen und es liegt kein Einfluss des Geschlechts auf die Kurswahl von Physik vor.

1. Einleitung

Beim Übergang von der Sekundarstufe I zur Sekundarstufe II bietet sich Schülerinnen und Schülern das erste Mal die Möglichkeit sich unter Beachtung gewisser Rahmenbedingungen für oder gegen ein Schulfach zu entscheiden. Dabei nehmen einerseits schulische Umstände Einfluss auf das Wahlverhalten der Lernenden, andererseits spielen auch das Interesse am Fach oder gewisse Persönlichkeitsmerkmale eine Rolle. Zu letztgenannten zählen u.a. die Ausprägungen zum “Empathisieren” und “Systematisieren” (“Brain Type”) [1]. Bei einer stark systematisierenden Disziplin erscheint es plausibel, dass eine Neigung zum Systematisieren zu einem besseren Zugang und damit höheren Interesse am Physikunterricht führen kann, was eine Weiterwahl des Faches in der Oberstufe zur Folge haben könnte. Studien haben bislang gezeigt, dass es einen Zusammenhang zwischen dem Konstrukt Brain Type und der damit verbundenen Ausprägung des Systematisierens und der Wahl eines naturwissenschaftlichen bzw. geisteswissenschaftlichen Studiums vorliegen [2]. Eine konkrete Betrachtung der Zusammenhänge zwischen den Konstrukten Empathisieren und Systematisieren und dem Fachinteresse und der Kurswahl Physik liegen bislang noch nicht vor und sind daher Gegenstand aktueller Forschung deren erste Ergebnisse im Folgenden vorgestellt werden. Dazu werden die Ergebnisse Brain Type, Fachinteresse Physik und Kurswahl zunächst einzeln präsentiert und abschließend in einem Pfadmodell zusammengeführt.

2. Theoretische Grundlagen

Die theoretischen Grundlagen lassen sich in drei Bereiche einteilen: Zuerst folgen Informationen zu Wahlen in der gymnasialen Oberstufe und damit verbundenen Wahl- und Abwahlmotiven. Danach eine Definition des Interesses im schulischen Kontext und abschließend eine Einführung in die ES-Theorie mit den Definitionen unterschiedlicher Brain Types.

2.1. Wahlen in der gymnasialen Oberstufe

Für die Weiterwahl eines Unterrichtsfaches in die gymnasiale Oberstufe ist das Interesse ein wichtiger Prädiktor [3, 4] jedoch nicht der einzige. Von Lernenden werden die unterschiedlichsten Gründe für die Weiter- oder Abwahl eines Faches angegeben, z.B. das eigene Selbstbewusstsein, die Begabungseinschätzungen oder den späteren Berufswünschen [5–7]. Für das Fach Chemie wurden die Wahl- und Abwahlgründe genauer betrachtet und in verschiedene Kategorien anhand des Erwartung-mal-Wert-Modell [8] unterteilt und in einem Fragebogen zusammengestellt [4, 9]. Die Ergebnisse für das Fach Chemie zeigen, dass der von Lernenden am häufigsten genannte Grund für die Weiterwahl das eigene Interesse am Fach war und der häufigste Abwahlgrund eine geringe Fähigkeitsselbstüberzeugung ist [9]. Da dem Fach Chemie und dem Fach Physik gemein ist, dass beide deutlich weniger Belegungen in der gymnasialen Oberstufe aufweisen als das Fach Biologie (s. Abb. 1) und auch beiden von Schülerinnen und Schülern eine geringe Interessantheit zugewiesen wird

[10] können möglicherweise auch die Wahl- und Abwahlmotive des Faches Chemie auf den Physikunterricht angewendet werden.

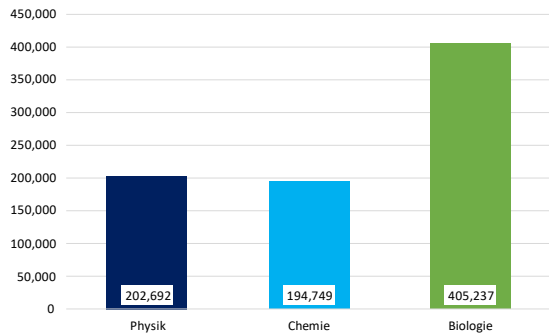


Abb.1: Kursbelegungen in der gymnasialen Oberstufe in Deutschland (ohne Baden-Württemberg). Daten aus [11].

2.2. Interesse im Physikunterricht

Die Person-Gegenstands-Theorie [12] beschreibt Interesse als eine Beziehung zwischen einer Person und einem Gegenstand. Hierbei kann insbesondere im Schulkontext als Gegenstand auch ein „Lerngegenstand“ verstanden werden, dies können beispielsweise Inhalte und Wissensgebiete, aber auch Aktivitäten sein [12, 13]. Zusätzlich wird zwischen individuellem/persönlichen und situativem Interesse unterschieden, wobei diese Begriffe nicht trennscharf sind. In einer konkreten Interessenhandlung, d.h. bei der Auseinandersetzung mit einem Gegenstand kommt es zu einer Wechselwirkung zwischen individuellem und situativem Interesse. Im schulischen Umfeld kann die Lehrkraft Einfluss auf die Interessantheit der Lernumgebung und des Gegenstandes sein, mit dem sich die Lerngruppe auseinandergesetzt [12].

In der fachdidaktischen Forschung hat sich seit den Veröffentlichungen der IPN-Interessenstudie [14] die Unterscheidung des individuellen Interesses in „Fachinteresse“ und „Sachinteresse“ etabliert. Dabei beschreibt das Fachinteresse das Interesse der Schülerinnen und Schüler am Fach Physik selbst [14]. Im Gegensatz zum Fachinteresse, welches sich meist konkret im Unterricht auszeichnet, wird das Sachinteresse besonders häufig in außerschulischen Kontexten geäußert und bezeichnet das Interesse an physikalischen und technischen Inhalten [14]. Im Sinne der IPN-Interessenstudie lässt sich das Interesse in drei Bereiche unterteilen: Interesse am Kontext, der den physikalischen Inhalt einbettet, Interesse an einem bestimmten physikalischen Themenbereich und Interesse an den Aktivitäten, die mit dem physikalischen Inhalt zusammenhängen [14].

2.3. ES-Theorie und Brain Type

Der Ursprung der „Empathizing-Systemizing Theory“ (EST) liegt in der Autismusforschung des Psychologen Simon Baron-Cohen [1]. Die Theorie unterscheidet in zwei verschiedene Dimensionen, welche im menschlichen Gehirn existieren: Die Dimension des „Empathisierens“ beschreibt dabei die Fähigkeit sich in andere Personen hineinzuversetzen

und deren Gefühle und Verhalten richtig zu interpretieren und vorherzusagen [15]. Unter der Dimension „Systematisieren“ ist die Fähigkeit Aspekte der Umwelt und des Alltags als System zu verstehen sowie das treffen logischer „wenn-dann“-Aussagen [15]. Beide Dimensionen werden dabei nicht getrennt voneinander betrachtet, sondern immer im Verhältnis zueinander. Eine Person füllt hierzu einen Fragebogen per Selbsteinschätzung aus und hieraus werden der „Empathisierungs-“ und „Systemisierungsquotient“ (EQ bzw. SQ) berechnet. Aus dem Verhältnis von EQ und SQ wird ein Differenzwert („D-Wert“) berechnet, mit dem eine Person zusätzlich in unterschiedliche Brain Types eingeteilt werden kann:

- Typ E (Empathisierend): Der EQ ist stärker ausgeprägt als der SQ.
- Typ S (Systematisierend): Der SQ ist stärker ausgeprägt als der EQ.
- Typ B (Balanced / Ausgeglichen): Der EQ und SQ sind etwa gleich stark ausgeprägt.

Zusätzlich zur Berechnung von Brain Types können die Dimensionen auch unabhängig voneinander betrachtet werden [16]. Abschließend sei angemerkt, dass trotz des neurologischen Ursprungs der EST die Konstrukte als Persönlichkeitsmerkmal betrachtet werden, ohne die Frage nach den konkreten neurologischen Ursachen zu stellen.

2.3.1. ES-Theorie in naturwissenschaftsdidaktischer Forschung

Ein Zusammenhang zwischen der Dimension des Systemisierens und der Wahl eines naturwissenschaftlichen Studiums konnte bereits von den Forschenden aus Cambridge festgestellt werden, dabei wurde kein signifikanter Zusammenhang zwischen Geschlecht und naturwissenschaftlicher Studienwahl festgestellt [2].

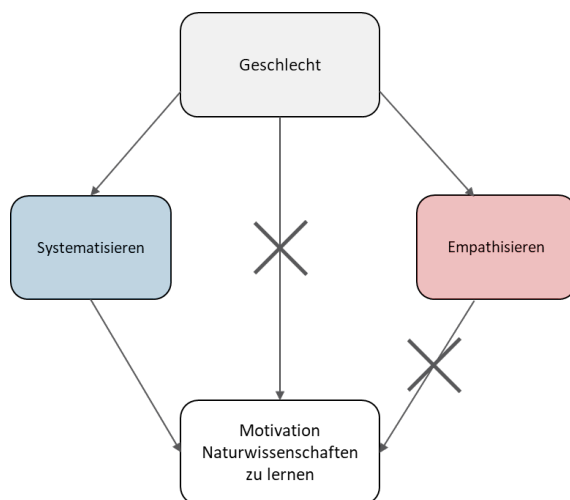


Abb.2: Das „Gender-Systemizing-Empathizing-Motivation“ (GSEM) Modell eigene Darstellung nach [17, 18].

Im deutschsprachigen Raum arbeiteten insbesondere Albert Zeyer und Nina Skorsetz mit der EST in Hinblick auf Naturwissenschaftsdidaktik. Skorsetz

entwickelte zwei Lernumgebungen für Kinder im Forschungsalter, wobei die eine eher strukturiert und die andere eher explorativ-narrativ gestaltet wurde. Kinder mit einem hohen SQ zeigten in beiden Umgebungen eine hohe Motivation, wobei auch wiederum keine Zusammenhänge zum Geschlecht festgestellt wurden [19]. Zeyer fokussierte sich in seinen Arbeiten auf Lernende der Sekundarstufe II und untersuchte, inwieweit EQ und SQ einen Einfluss auf die Motivation Naturwissenschaften zu Lernen haben [20]. Zeyer konnte wie zuvor keinen Zusammenhang zwischen dem Geschlecht feststellen, jedoch eine hochsignifikante positive Korrelation zwischen Brain Type und der Motivation Naturwissenschaften zu lernen [17, 18] (s. Abb. 2).

3. Forschungsziel

Ziel der im Beitrag vorgestellten Studie ist es, einen ersten Überblick der Zusammenhänge von Geschlecht, Empathisieren und Systematisieren, Fachinteresse und Kurswahl Physik zu erhalten, um dies in weiteren Studien zu vertiefen.

4. Methode

Um die vorgestellten Zusammenhänge besser zu verstehen, wurden 551 Schülerinnen und Schüler (47 % weiblich) von verschiedenen Gymnasien in Nordrhein-Westfalen im Dezember 2022 und Januar 2023 mittels Online-Fragebogen befragt. Dabei besuchten zum Zeitpunkt der Befragung 28,2 % die achte Klasse, 28,0 % die neunte Klasse und 43,8 die gymnasiale Oberstufe. Das Durchschnittsalter der Befragten liegt bei 14,8 Jahren (SD = 1,5 Jahre). Im Fragebogen wurden Geschlecht, EST (schülergeeignete adaptierte Version), Fachinteresse (als Einzelitem und nach [21]), Kurswahl und Wahl- bzw. Abwahlmotive Physik ([9], adaptiert) erhoben.

5. Ergebnisse

5.1. Verteilung der Brain Types

Die Brain Types der Stichprobe wurden in Bezug auf eine Referenzstichprobe bestimmt. Abbildung 3 zeigt die Verteilung der Brain Types in der vorliegenden Stichprobe.

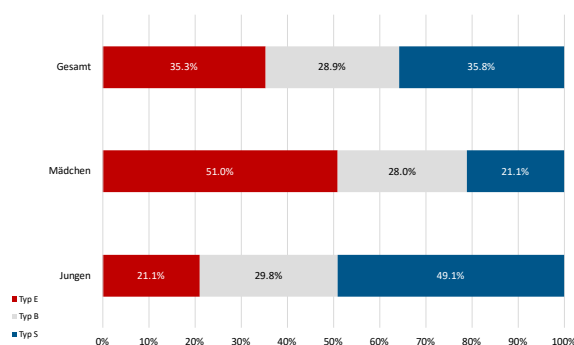


Abb.3: Verteilung des Brain Types in der vorliegenden Stichprobe.

Es zeigt sich zu dem, die aus der Literatur bekannten Verteilungen des Brain Types auf die Geschlechter

[22]: Bei männlichen Probanden ist verstärkt der Brain Type S vorzufinden, bei den weiblichen Probandinnen zeigt sich ein umgekehrtes Bild: Hier liegt verstärkt Typ E vor.

5.2. Fachinteresse und Kurswahl Physik

In Abbildung 4 ist das Fachinteresse der gesamten Stichprobe sowie unterteilt nach Geschlecht und Brain Type dargestellt. Das Fachinteresse wurde dabei über elf Items zu unterschiedlichen Interessensfacetten des Physikunterrichts [21] bestimmt (Cronbachs- $\alpha = .911$). Lernende konnten sich zu jeder Aussage über eine fünfstufige Likert-Skala positionieren.

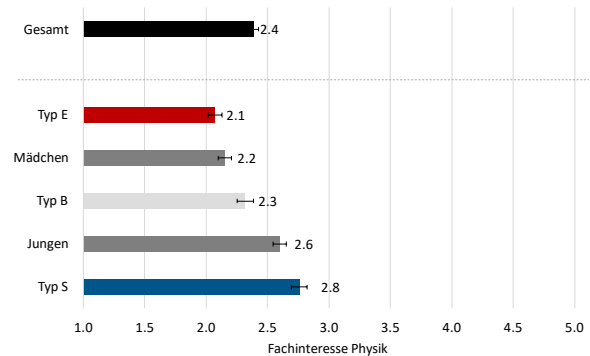


Abb.4: Fachinteresse Physik nach Geschlecht und Brain Type.

Die Ergebnisse zeigen, dass Lernende des Typs E das geringste Interesse am Fach Physik angeben und der Typ S das höchste Interesse. Das Interesse des Typs B liegt dazwischen. Unterteilt man die Stichprobe nach Geschlecht, so ordnen sich die Gruppierungen „Mädchen“ und „Jungen“ genau zwischen die Brain Types ein. In der gesamten Stichprobe geben 40 % der Lernenden an, das Fach Physik in der gymnasialen Oberstufe weiterwählen zu wollen oder es bereits getan haben. Abbildung 5 zeigt den relativen Anteil derjenigen, die das Fach Physik weiter- bzw. abwählen wollen sortiert nach Brain Type und Geschlecht.

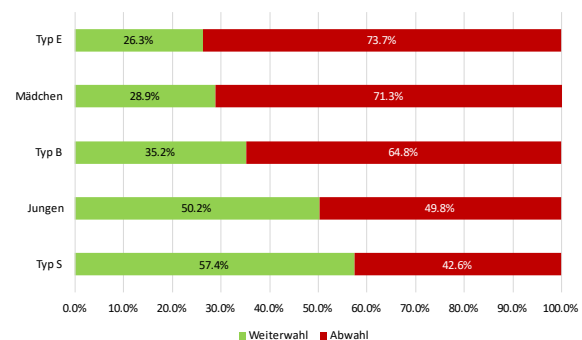


Abb.5: Relative Anteile der Antworten auf die Frage „Würdest du das Fach Physik zum jetzigen Zeitpunkt weiterwählen?“ bzw. „Hast du das Fach Physik weitergewählt?“ nach Geschlecht und Brain Type.

Es zeigt sich ein ähnlicher Zusammenhang wie bei der Betrachtung des Fachinteresses Physik: Die niedrigste Bereitschaft zur Weiterwahl ist beim Typ E vorzufinden, die höchste beim Typ S. Der relative

Anteil der Bereitschaft zur Weiterwahl des Typs B liegt, wie zuvor beim Fachinteresse, dazwischen. Bei einer Aufteilung nach Geschlecht ordnen sich die Gruppierungen der Mädchen und Jungen erneut genau zwischen die Anteile der Brain Types ein. Dies lässt vermuten, dass ein Zusammenhang zwischen Fachinteresse und Kurswahl vorliegt und wird durch die Betrachtung von Abbildung 6 weiter verstärkt. Physikwählende bekunden ein signifikant höheres Interesse am Fach Physik als abwählende, dabei handelt es sich nach Cohen [23] um einen großen Effekt.

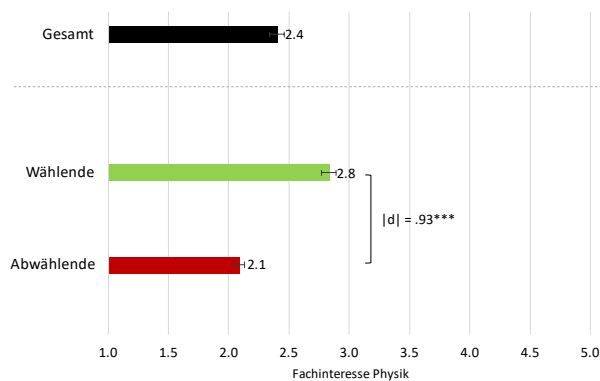


Abb.6: Fachinteresse Physik von Physikwählenden und -abwählenden. Signifikanzniveau: * $p \leq .05$, ** $p \leq .01$, *** $p \leq .001$.

5.3. Wahl- und Abwahlmotive

Lernende geben als häufigstes Wahlmotiv an, Physik weiterzuwählen, weil sie das Fach Physik und physikalische Themen allgemein interessieren. Nach dem Erwartung-mal-Wert-Modell lässt sich dies dem „interest-enjoyment-value“ zuordnen. Motive aus diesem Bereich werden als Wahlmotiv am häufigsten genannt. Umgekehrt wird bei den Abwahlmotiven selten Interesse als Grund für die Abwahl des Faches Physik konkret genannt, sondern viel mehr Motive aus dem Bereich des „Expectation of success“, d.h. Schülerinnen und Schüler nehmen das Fach Physik als sehr schwierig wahr oder halten sich selbst für nicht gut genug. Des Weiteren werden häufig „extrinsische Beweggründe“ angeführt, z.B. das leichtere Erhalten von guten Noten in anderen Fächern oder die Bevorzugung eines anderen naturwissenschaftlichen Faches.

5.4. Zusammenhänge zwischen Brain Type, Fachinteresse und Kurswahl

Die vorherigen Ergebnisse lassen die Vermutung zu, dass ein Zusammenhang zwischen Interesse am Fach und der Kurswahl Physik besteht. Dies wird abschließend mit einem Pfadmodell überprüft, welches auch die Konstrukte Empathisieren und Systematisieren mit einbezieht. In Abbildung 7 ist das Pfadmodell dargestellt. Das Pfadmodell zeigt, dass das Geschlecht einen direkten Einfluss auf die Stärke der Ausprägung des Systematisierens hat und auch ein leichter Einfluss vom Geschlecht auf das Fachinteresse Physik vorliegt. Betrachtet man das Modell

jedoch in seiner Gänze, so ist der Einfluss über das Systematisieren auf das Fachinteresse stärker ausgeprägt. Vom Fachinteresse lässt sich erneut eine starke Verbindung zur Kurswahl Physik feststellen. Es liegt ebenfalls eine leicht negative Verbindung vom Empathisieren auf die Kurswahl vor, diese ist jedoch im Vergleich zum Einfluss auf des Fachinteresses Physik sehr klein.

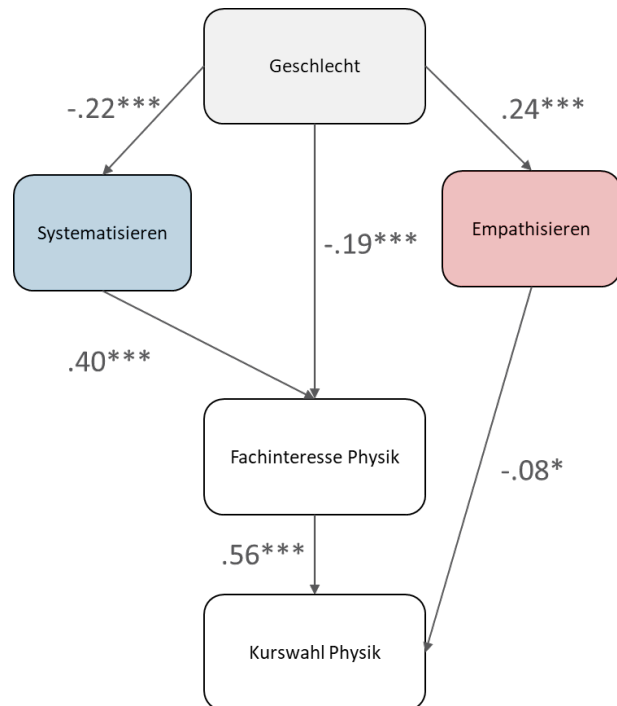


Abb.7: Pfadmodell erstellt mit SPSS Amos; $\chi^2 = 12.912$, $p = .012$, $\chi^2/df = 3.230$, CFI = .978, RMSEA = .066. Nur signifikante Pfade sind eingezeichnet. Signifikanzniveau: * $p \leq .05$, ** $p \leq .01$, *** $p \leq .001$.

6. Diskussion und Ausblick

Die vorgestellten Ergebnisse deuteten einen Zusammenhang zwischen Kurswahl und Fachinteresse Physik an, welcher durch die Betrachtung eines Pfadmodells bestätigt werden konnte. Somit kann festgehalten werden, dass das Fachinteresse Physik einen Einfluss auf die Weiter- bzw. Abwahl des Faches Physik hat. Insbesondere bei den Wahlmotiven gaben Lernende in ihren häufigsten Antworten an, dass das Interesse an Physik ein Grund für die Wahl des Faches sei. Im Unterschied dazu konnte bei Physikabwählenden nicht konkret das Interesse als Abwahlmotiv bestätigt werden, sondern viel mehr die geringe Erfolgserwartung. Die Betrachtung des Brain Types bzw. der Dimensionen Empathisieren und Systematisieren haben sich zusätzlich als nützlich und vielversprechend erwiesen, da der Einfluss des Systematisierens auf das Fachinteresse stärker ausgeprägt ist als der des Geschlechts. In weiteren Untersuchungen könnten weitere Merkmale zur Modellierung des Fachinteresses und Kurswahlverhaltens mit einbezogen werden, da insbesondere bei der Wahl von Physik Konstrukte wie der Fachwert oder das Fachselbstkonzept einen Einfluss haben könnten.

7. Literatur

- [1] BARON-COHEN, Simon: *The extreme male brain theory of autism*. In: *Trends in Cognitive Sciences* 6 (2002), Nr. 6, S. 248–254
- [2] 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
- [3] ABEL, Jürgen: *Kurswahl aus Interesse? : Wahlmotive in der gymnasialen Oberstufe und Studienwahl*. In: *Die deutsche Schule* 94 (2002), S. 192–203
- [4] EITEMÜLLER, Carolin ; WALPUSKI, Maik: *Wahl- und Abwahlprofile im Fach Chemie: Ergebnisse einer Clusteranalyse zur Charakterisierung von Lernenden am Ende der Sekundarstufe I*. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 24 (2018), Nr. 1, S. 251–263
- [5] HOLMEGAARD, Henriette Tolstrup ; MADSEN, Lene Møller ; ULRIKSEN, Lars: *To Choose or Not to Choose Science: Constructions of desirable identities among young people considering a STEM higher education programme*. In: *International Journal of Science Education* 36 (2014), Nr. 2, S. 186–215
- [6] CLEAVES, Anna: *The formation of science choices in secondary school*. In: *International Journal of Science Education* 27 (2005), Nr. 4, S. 471–486
- [7] EILERS, Rolf: *Schullaufbahn und Selbstkonzept* (1987)
- [8] ECCLES, Jacquelynne S. ; WIGFIELD, Allan: *Motivational beliefs, values and goals*. In: *Annual Reviews Psychology* 53 (2002), S. 109–132
- [9] HÜLSMANN, Carolin: *Kurswahlmotive im Fach Chemie : Eine Studie zum Wahlverhalten und Erfolg von Schülerinnen und Schülern in der gymnasialen Oberstufe*. Berlin : Logos Verlag Berlin GmbH, 2015
- [10] MERZYN, Gottfried: *Naturwissenschaften, Mathematik, Technik - immer unbeliebter? : Die Konkurrenz von Schulfächern um das Interesse der Jugend im Spiegel vielfältiger Untersuchungen*. 2. unveränd. Aufl. Baltmannsweiler : Schneider-Verlag, 2013
- [11] SEKRETARIAT DER STÄNDIGEN KONFERENZ DER KULTUSMINISTER DER LÄNDER IN DER BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND: *Belegte Kurse in der gymnasialen Oberstufe der allgemeinbildenden Gymnasien und Integrierten Gesamtschulen*. 2021
- [12] KRAPP, Andreas: *Das Interessenkonstrukt Bestimmungmerkmale 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
- [13] KRAPP, Andreas: *Interesse, Lernen und Leistung. Neue Forschungsansätze in der Pädagogischen Psychologie*. In: *Zeitschrift für Pädagogik* 38 (1992), Nr. 5, S. 747–770
- [14] HOFFMANN, Lore ; HÄUBLER, Peter ; LEHRKE, Manfred: *Die IPN-Interessenstudie Physik*. Kiel : IPN (IPN 158)
- [15] BARON-COHEN, Simon: *The essential difference*. London : Penguin, 2004
- [16] 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
- [17] ZEYER, Albert ; BÖLSTERLI, Katrin ; BROVELLI, Dorothee ; ODERMATT, Freia: *Brain Type or Sex Differences? A structural equation model of the relation between brain type, sex, and motivation to learn science*. In: *International Journal of Science Education* 34 (2012), Nr. 5, S. 779–802
- [18] ZEYER, Albert ; DILLON, Justin: *The role of empathy for learning in complex Science|Environment|Health contexts*. In: *International Journal of Science Education* 41 (2019), Nr. 3, S. 297–315
- [19] SKORSETZ, Nina: *Empathisierer und Systematisierer im Vorschulalter*. [s.l.] : Logos Verlag, 2019
- [20] 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
- [21] BERGMANN, Alexander: *Mathematisch-naturwissenschaftliches Fachinteresse durch Profilunterricht fördern – Theoriebasierte Evaluation eines Thüringer Schulversuchs in der Sekundarstufe I : Dissertation*. Universität Leipzig,
- [22] WHEELWRIGHT, Sally ; BARON-COHEN, Simon ; GOLDENFELD, Nigel ; DELANEY, Joe ; FINE, Debra ; SMITH, Richard ; WEIL, Leonora ; WAKABAYASHI, Akio: *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

- [23] COHEN, Jacob: *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. 2. ed. Hillsdale, NJ : Erlbaum, 1988

Entwicklungsorientierte physikdidaktische Forschung – ausgewählte Aspekte der Vorbereitung, Durchführung und Auswertung entsprechender Studien –

Roland Berger

Universität Osnabrück, Barbarastraße 7, 49076 Osnabrück
r.berger@uos.de

Kurzfassung

In seinem Gastbeitrag zur Tagung „Physikdidaktik – Quo vadis?“ in 2021 hat der Erziehungswissenschaftler Ewald Terhart in seinem „Außenblick“ auf die Physikdidaktik die Stärkung „entwicklungsorientierter fachdidaktischer Forschung“ als wichtiges Ziel hervorgehoben. Als eine geeignete Möglichkeit dieses Anliegen zu stärken erscheint die Verknüpfung der Entwicklung und Implementation innovativer Konzepte und Materialien mit der empirischen Klärung relevanter Forschungsfragen. Auf der Basis eigener Erfahrungen und einschlägiger Literatur werden im Folgenden ausgewählte Aspekte der Vorbereitung, Durchführung und Auswertung entsprechender Studien diskutiert. Ein wesentliches Ziel ist dabei die Anregung und Unterstützung entwicklungsorientierter physikdidaktischer Forschung mit direktem Schulbezug.

1. Einleitung

In seinem Vortrag im Rahmen einer der Quo vadis - Tagungen der DPG im Jahr 2021 kam der Erziehungswissenschaftler Ewald Terhart in seinem Vortrag zu folgendem Schluss: „*Durch die domänenspezifisch-lernpsychologische Ausrichtung ist keineswegs die Praxisbedeutsamkeit der fachdidaktischen Forschung gesteigert worden. [...] Deshalb halte ich es für wichtig, nunmehr den Typus der entwicklungsorientierten fachdidaktischen Forschung unbedingt stärker zu machen!*“ (Terhart, 2021, S. 8f.).

Schaut man sich den im Internet verfügbaren Text des Vortrags vollständig an, so erkennt man, dass Terhart keineswegs fachdidaktische Forschung gegen die Entwicklung von Unterricht ausspielen will. Vielmehr sollte sowohl Forschung *als auch* ihre Entwicklungsorientierung im Auge behalten werden, um die Schule zu stärken.

Was ist das Ziel der Verknüpfung von Forschung und Entwicklung? In meinen Augen ist das Ziel zu versuchen, die Klärung einer interessanten Forschungsfrage mit der Entwicklung von innovativen Unterrichtsinhalten (Konzepte und Materialien) zu verknüpfen, die Lehrkräfte möglichst kostenfrei erhalten können, und die als Grundlage für Lehrerfortbildungen dienen können, was oft auf hohe Akzeptanz und Interesse von Lehrkräften stößt (Lipowsky & Rzejak, 2012). Diese Verknüpfung gelingt nicht immer und erscheint auch nicht immer sinnvoll. Sie ist aber durchaus möglich, wie zahlreiche Beispiele in der Physikdidaktik zeigen. In Osnabrück wurde beispielsweise Cross-Age Tutoring intensiv untersucht. Dabei haben Schülerinnen und Schüler von Hauptschulen in Grundschulen Grundelemente des geschlossenen elektrischen Stromkrei-

ses vermittelt. Dazu gehörten vor allem die Notwendigkeit (mindestens) zweier Kabel und ferner die Nutzung unterschiedlicher Energiequellen (Solarzelle, Thermoelement, Kurbel-Generator und Essig-Batterie). Im Vorunterricht hatten die Hauptschülerinnen und -schüler auf der Basis dieser Stromkreise zusätzlich Umwandlungsprozesse bei elektrischen Energieübertragungen behandelt, z.B. die Umwandlung von chemischer Energie in elektrische Energie mit der Essig-Batterie. Im Rahmen der Studie wurden Lehrtexte, Folien und Experimente genutzt oder entwickelt, die sich Lehrkräfte von unserer Internetseite www.physikdidaktik.uni-osnabrueck.de/ vollständig und kostenfrei herunterladen können. Dieses doppelte Ziel – Forschung auf der einen Seite und Entwicklung von Unterricht auf der anderen Seite – spiegelt sich auch darin wieder, dass Ergebnisse der Studie sowohl in einer Zeitschrift für Lehrkräfte (Berger & Müller, 2015), als auch in einer dezidiert wissenschaftlichen Zeitschrift (Hänze, Müller & Berger, 2018) veröffentlicht wurden.

Im Folgenden werden ausgewählte Aspekte behandelt, die bei der Vorbereitung, Durchführung und Auswertung entwicklungsorientierter physikdidaktischer Forschung hilfreich sein könnten, um so weitere Studien mit diesem Ziel zu unterstützen.

2. Rolle des Lehrplans

Die Lehrpläne machen Vorgaben für Lehrkräfte für die zu unterrichtenden Inhalte. Mittelbar haben Sie damit aber auch Einfluss auf die fachdidaktische Forschung und Entwicklung. Denn eine mäßige oder gar fehlende Passung zum Lehrplan erschwert inhaltliche Innovationen, da sich eher schwerer Lehrkräfte finden, die bereit sind, an entsprechenden Studien teilzunehmen, und möglicherweise auch die

Genehmigung durch Schulbehörden erschwert sein könnte. Damit haben es Unterrichtskonzepte wie z.B. aus „Nature of Science“ schwerer, oder eine Thermodynamik für die Oberstufe, die auf dem Teilchenmodell basiert. Dadurch entsteht leicht ein *circulus vitiosus*: Das Fehlen überzeugender Unterrichtskonzepte erschwert die Aufnahme in den Lehrplan, was wiederum die inhaltliche Entwicklung des Physikunterrichts beeinträchtigen kann. Entsprechender Unterricht über den Lehrplan hinaus darf dann – sofern er überhaupt versucht wird – nur wenige Stunden umfassen, um Lehrkräfte für eine Teilnahme zu gewinnen. Dies hat zur Folge, dass Forschung und Entwicklung zu wichtigen, aber umfangreichen Unterrichtskonzepten womöglich unterbleibt. Dies ist vielleicht auch ein Grund für die Einschätzung von Terhart (2021, S. 8), wonach „der Gewinn für die Unterrichtspraxis und bis zu einem gewissen Grad auch für die Lehrerbildung nicht so hoch [ist], wie man das erwartet hat.“

Sofern aber eine gute Passung zu den Lehrplänen besteht, sind auch umfangreiche Interventionen möglich. Beispielsweise wurden in Osnabrück in den vergangenen Jahren für die Mittelstufe eine Unterrichtseinheit zum Kraftkonzept mit 15 Schulstunden entwickelt (Berger & Wöllermann, 2022) und eine sehr umfangreiche Unterrichtseinheit zum elektrischen Stromkreis mit dem Schwerpunkt der Einführung des elektrischen Potenzials mit insgesamt 34 Schulstunden (vgl. die Beiträge von M. Kahnt und A. Hindriksen in diesem Tagungsband). Gut lassen sich auch kurze Interventionen durchführen, insbesondere wenn sie Lehrplanbezug haben. Beispielsweise benötigt eine Unterrichtseinheit zur Wiederholung des Themas Schwingungen und Wellen im Rahmen des Kontexts „Mikrowellenofen“ drei Schulstunden (Berger, 2007).

3. Sicherung der inhaltlichen Qualität

Eine Stärke universitärer fachdidaktischer Forschung ist die Möglichkeit, die fachdidaktische Qualität von Unterricht mit empirischen Methoden sicherzustellen. Hierzu eignet sich die Methode der „Akzeptanzbefragung“ besonders gut. Dabei werden ca. 10 Schülerinnen und Schüler in der Regel einzeln anhand eines Interviewleitfadens entlang einer von Wiesner und Wodzinski (1996) dargestellten Grundstruktur interviewt. Im Wesentlichen geht es dabei darum, das Unterrichtsangebot vorzustellen, und durch Transferaufgaben herauszufinden, wo Verständnisschwierigkeiten bestehen. Die Ergebnisse sollten dann in die Überarbeitung des Unterrichtskonzepts einfließen. Dieses Vorgehen lässt sich im Rahmen der Didaktischen Rekonstruktion als „Erfassen der Lernerperspektive“ (Kattmann et al., 1997) und im Design-Based-Research-Ansatz als Element eines iterativen Prozesses (Haagen-Schützenhöfer & Hopf, 2020) auffassen.

Akzeptanzbefragungen zu planen, durchzuführen und auszuwerten ist anspruchsvoll und aufwändig.

Ideal erscheint es, wenn Promovierende die Akzeptanzbefragung selbst durchführen. Dies kann aber auch in universitären Abschlussarbeiten mit guten Studierenden gelingen, sofern diese bei der Vorbereitung und Durchführung sehr gut von den Betreuenden unterstützt werden.

4. Auswertung „quasi-experimenteller“ Studien

Ist das Unterrichtskonzept nun ausgearbeitet, so lassen sich auf dieser Grundlage Forschungsfragen untersuchen, die häufig quantitativ ausgewertet werden. Beispielsweise wurde in der genannten Studie zum elektrischen Potenzial die Frage untersucht, welche Art von Analogie zur Illustration des elektrischen Potenzials besonders hilfreich ist. Neben einer Kontrollgruppe wurde dabei das in Bezug auf das elektrische Potenzial neuartige Modell der elektrischen Fahrradkette mit einem Höhenmodell („Stäbchenmodell“; Burde & Wilhelm, 2021) verglichen. Derartiger Unterricht ist naturgemäß nur möglich, wenn die teilnehmenden Klassen mit ihrer jeweiligen Lehrkraft einer der drei Bedingungen zufällig zugewiesen werden („Quasi-Experiment“), und nicht die einzelnen Schülerinnen und Schüler („echtes“ Experiment). Die Schülerinnen und Schüler sind dann in ihre jeweilige Klasse „hineingeschachtelt“ („nested“). Durch die erhöhte Ähnlichkeit der Schülerinnen und Schüler innerhalb der Klassen, z.B. durch zwischen den Klassen unterschiedlich guten Unterricht, ist eine der zentralen Voraussetzungen für eine Varianzanalyse in der Regel verletzt. Die Schachtelung muss daher statistisch berücksichtigt werden. Dies kann im Rahmen einer „echten“ Mehrebenenanalyse geschehen (d.h. basierend auf iterativen Maximum Likelihood Algorithmen im Unterschied zu üblichen Varianzanalysen, die im Prinzip auf der formelbasierten Berechnung von Quadratsummen beruhen). Allerdings wird dieses mächtige und auch komplexe Werkzeug oft nicht benötigt, und es genügt eine *geschachtelte* (Ko-)Varianzanalyse („nested AN(C)OVA“; Bliese & Hanges, 2004). Berücksichtigt man die Schachtelung der Schülerinnen und Schüler in ihren Klassen nicht, so ist der verwendete Test (z.B. eine ANOVA) zu liberal, und man findet scheinbar signifikante Effekte, die in Wirklichkeit aber Artefakte sind (Bliese & Hanges, 2004). In unserer Vergleichsstudie zum elektrischen Potenzial ergibt sich mit einer ungeschachtelten ANCOVA (Syntax in SPSS: UNIANOVA Nachtest BY Modell WITH Vortest.) ein signifikanter Effekt ($F = 4.73$, $p < .01$). Die geschachtelte ANCOVA mit der SPSS-Syntax

```
UNIANOVA Nachtest BY Modell Klasse WITH Vortest
```

```
/RANDOM = Klasse
```

```
/DESIGN = Vortest Modell Klasse WITHIN Modell.
```

ergibt hingegen lediglich $F = 1.52$, $p = .25$, und damit keinen signifikanten Effekt mehr. In der angegebenen Syntax wird die Schachtelung im DESIGN-

Befehl durch „Klasse WITHIN Modell“ berücksichtigt.

Geschachtelte Varianzanalysen berücksichtigen neben der quasi-experimentell variierten Bedingung (im Beispiel zum elektrischen Potenzial die Art der Analogie) die „Klasse“ als weiteren Faktor. Dieser Faktor muss statistisch als zufälliger Faktor behandelt werden, da in der Regel keine Aussagen nur über bestimmte (für die Untersuchung herangezogene) Klassen gemacht werden sollen, sondern möglichst auf die Grundgesamtheit von Klassen verallgemeinert werden soll (vgl. Bortz, 2005, S.302). Aus statistischer Sicht weist Bortz darüber hinaus auf einen Artikel von Zucker (1990) hin der zeigt, dass die geschachtelte ANOVA zu liberal ist, wenn man „Klasse“ nicht als zufälligen, sondern als festen Faktor behandelt.

Es ist (als „vertrauensbildende Maßnahme“) sehr instruktiv, die geschachtelte Varianzanalyse mit dem von Bortz (2005, S. 389-391) im Kapitel „Hierarchische und teilhierarchische Versuchspläne“ gegebenen Beispiel zu prüfen. Bortz rechnet „von Hand“ eine zweifaktorielle Varianzanalyse (wobei ein Faktor der „Schachtelfaktor“ ist) mit einem „handlich“ kleinen Datensatz durch Berechnung der Quadratsummen. Mithilfe der (an das Beispiel von Bortz angepassten) oben angegebenen SPSS-Syntax kommt man (wie es sein muss) zum gleichen Ergebnis.

5. Qualität von Leistungstests

Ein häufig angegebenes psychometrisches Maß für die Qualität von Fragebögen, aber auch von Tests ist Cronbach's α . Insbesondere bei Leistungstests liegt der Wert nicht selten mehr oder weniger deutlich unterhalb von 0.7, einem Wert, der häufig als Mindestwert für die interne Konsistenz einer Skala aufgefasst wird, z.B. das im Rahmen von mehreren Aufgaben erfasste Verständnis des elektrischen Spannungsbegriffs. Da es im schulischen Kontext aus Zeitgründen häufig nicht möglich ist, viele Aufgaben zu einem Konstrukt zu stellen, beeinträchtigt dies den Wert von Cronbach's α , da er von der Anzahl der Items abhängt. Clark und Watson (1995) empfehlen daher (ergänzend) die Angabe der (von der Itemzahl unabhängigen) mittleren Inter-Item-Korrelation, die (je nach „Bandbreite“ des Konstrukts) im Bereich von .15 bis .50 liegen sollte. Um Cronbach's α in einen „akzeptablen“ Bereich anzuheben könnte man versucht sein, die Auswahl der Items allein aufgrund von psychometrischen Kriterien vorzunehmen. Schecker (2014) schreibt hierzu: „Es wäre fatal, wenn zugunsten hoher α -Werte zu große Abstriche bei der inhaltlichen Ausrichtung der Items in Kauf genommen werden. Fachdidaktisch inhaltlich anspruchsvolle Leistungstests, bei denen die Itemzahl wegen der begrenzten Testzeit nicht beliebig erhöht werden kann, haben Schwierigkeiten, hohe α -Koeffizienten zu erreichen.“

In Anbetracht der Schwierigkeit, inhaltlich und psychometrisch sehr gute Leistungstests zu entwickeln, ist es umso problematischer, dass in vielen Veröffentlichungen (wenn überhaupt) nur einige ausgewählte Aufgaben aus dem in der entsprechenden Studie eingesetzten Aufgabenpool berichtet werden. Das hat zur Folge, dass Tests immer wieder neu aufwändig entwickelt werden müssen. Darüber hinaus lässt sich die Aussagekraft von Studien schwer einschätzen, und der Vergleich mit anderen Studien ist erschwert. Vor allem aber lassen sich Studien entgegen einer zentralen Anforderung an wissenschaftliche Forschung nicht replizieren, wenn die Aufgaben nicht vollständig bekannt sind.

Taber (2018, S. 1294) betont die hohe Bedeutung der Augenscheinvalidität, die eine Sichtung des vollständigen Aufgabenpools erfordert. Er kommt zu dem Schluss: „Research that seeks to be considered scientific needs to be reported in sufficient detail to allow others to build on it – and that clearly requires the availability of full instruments rather than simply reporting sample items.“

Eine Veröffentlichung des gesamten Aufgabenpools ist heutzutage technisch leicht möglich (z.B. als elektronischer Anhang in Zeitschriften wie der *Phy-Did*, aber auch in Repositorien wie dem „Forschungsdatenzentrum Bildung“). Um den Anschluss an aktuelle Standards nicht zu verlieren erscheint eine Orientierung zum Beispiel an der Deutschen Gesellschaft für Psychologie sinnvoll. Sie empfiehlt auf der Basis der Leitlinien zum Umgang mit Forschungsdaten der Deutschen Forschungsgemeinschaft: „Mit Erscheinen einer Publikation soll die Person oder Gruppe, die die Daten erhoben hat (die Datenbereitstellenden), alle Primärdaten sowie die dazugehörigen Metadaten bereitstellen, die zur Reproduktion der publizierten Ergebnisse notwendig sind, unabhängig davon, in welchem Kontext (bspw. drittmittelfinanziertes Forschungsprojekt oder studentische Abschlussarbeit) diese entstanden sind.“ (Gollwitzer et al., 2020, S. 10)

6. Literatur

- Berger, R. (2007). Das Gruppenpuzzle am Beispiel des Mikrowellenofens. *Praxis der Naturwissenschaften*, 56 (2), 5-11.
- Berger, R. & Müller, M. (2015). Erzeugung und Übertragung elektrischer Energie. Eine Unterrichtseinheit mit Lernzirkel für die Sekundarstufe I. *Naturwissenschaften im Unterricht Physik*, 26, 11-19.
- Berger, R. & Wöllermann, J. (2022). Freischneiden. *Naturwissenschaften im Unterricht Physik (Heft 187)*, 33, 22-25.
- Bliese, P. D., & Hanges, P. J. (2004). Being both too liberal and too conservative: The perils of treating grouped data as though they were independent. *Organizational Research Methods*, 7(4), 400-417.

- Bortz, J. (2005). Statistik (6. Auflage). Springer.
- Burde, J.-P. & Wilhelm, T. (2021). Unterrichtskonzeptionen zu elektrischen Stromkreisen. In T. Wilhelm, H. Schecker & M. Hopf (Hrsg.), Unterrichtskonzeptionen für den Physikunterricht (231-278). Springer.
- Clark, L. A., & Watson, D. (1995). Constructing validity: Basic issues in objective scale development. *Psychological Assessment*, 7(3), 309-319.
- Gollwitzer, M., Abele-Brehm, A., Fiebach, C., Ramthun, R., Scheel, A. M., Schönbrodt, F. D., & Steinberg, U. (2020). Management und Bereitstellung von Forschungsdaten in der Psychologie: Überarbeitung der DGPs-Empfehlungen. <https://doi.org/10.31234/osf.io/hcxtm>
- Haagen-Schützenhöfer, C. & Hopf, M. (2020). Design-based research as a model for systematic curriculum development: The example of a curriculum for introductory optics. *Physical Review Physics Education Research*, 16, 020152.
- Hänze, M., Müller, M., & Berger, R. (2018). Cross-age tutoring: how to promote tutees' active knowledge-building. *Educational Psychology*, 38, 915-926.
- 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 (3), 19-34.
- Lipowsky, F. & Rzejak, D. (2012). Lehrerinnen und Lehrer als Lerner – Wann gelingt der Rollentausch? Merkmale und Wirkungen effektiver Lehrerfortbildungen. *Schulpädagogik heute*, 5(3), 1-17.
- Schecker, H. (2014). Überprüfung der Konsistenz von Itemgruppen mit Cronbachs α . Online Zusatzmaterial zu D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Methoden in der naturwissenschaftlichen Forschung*. Berlin: Springer. https://www.researchgate.net/publication/313220515_Uberprufung_der_Konsistenz_von_Itemgruppen_mit_Cronbachs_alpha [14.02.2023]
- Taber, K. S. (2018). The use of Cronbach's Alpha when developing and reporting research instruments in Science Education. *Research in Science Education*, 48, 1273-1296.
- Terhart, E. (2021). Fachdidaktik Physik 2021 – ein (Rück- und Aus-) Blick von außen. Vortrag im Rahmen von „Physikdidaktik Quo vadis: Schlaglichter auf physikdidaktische Forschung“. <http://www.schulpool.uni-wuppertal.de/quo-vadis/> [14.02.2023]
- Wiesner, H. & Wodzinski, R. (1996): Akzeptanzbefragung als Methode zur Untersuchung von Lernschwierigkeiten und Lernverläufen. In R. Duit & C. von Rhöneck (Hrsg.), *Lernen in den Naturwissenschaften* (S. 250-274). Kiel: IPN.
- Zucker, D. M. (1990). An analysis of variance pitfall. The fixed effects analysis in a nested design. *Educational and Psychological Measurement*, 50, 731-738.

Förderung der Reflexionskompetenz im Lehr-Lern-Labor

- Unterstützung der Entwicklung der Reflexionskompetenz Studierender
in einem Lehr-Lern-Labor-Seminar -

Jens Damköhler, Markus Elsholz, Thomas Trefzger

Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Lehrstuhl für Physik und ihre Didaktik,
Emil-Hilb-Weg 22, 97074 Würzburg
jens.damkoehler@uni-wuerzburg.de

Kurzfassung

Die Fähigkeit und Bereitschaft von Lehrkräften zur Reflexion eigener Erfahrungen, in den vergangenen Jahren zunehmend als Reflexionskompetenz modelliert, wird u.a. im Bereich der Professionalisierung als sehr bedeutsam angesehen. Gelegenheiten zur Stärkung ihrer Reflexionskompetenz durch Erprobung und Einübung von Reflexionsprozessen erhalten Lehrkräfte im ersten Ausbildungsabschnitt vor allem im Rahmen von Praxisphasen, wie z.B. Lehr-Lern-Laboren (LLL) mit iterativen Ansätzen. Am M!ND-Center der Universität Würzburg führen Studierende im LLL der Physikdidaktik mehrere Praxisphasen in zeitlichem Abstand durch, zwischen denen Überarbeitungsphasen und Veranstaltungen zur gezielten Förderung von Reflexionsprozessen stattfinden. Im Rahmen eines Dissertationsprojekts werden Aspekte der Reflexionskompetenz sowie deren Entwicklung in der Durchführungsphase des LLL untersucht.

1. Das Lehr-Lern-Labor-Seminar Physik an der Universität Würzburg

Über Schularten und Länder hinweg nehmen Praxisphasen und Veranstaltungen, in denen angehende Lehrkräfte praktische Erfahrungen sammeln, in deren Ausbildung eine bedeutende Rolle ein. Eine mögliche Variante einer solchen Praxisphase stellen Lehr-Lern-Labore (LLL) dar, in denen Studierende kleine Gruppen von Schüler*innen an zumeist selbst entwickelten Stationen zu physikalischen Inhalten unterrichten.

Das LLL Physik an der Universität Würzburg (Völker & Trefzger, 2010) ist eine Pflichtveranstaltung für Studierende des Lehramts an Gymnasien und ist iterativ aufgebaut (Elsholz & Trefzger, 2017). Nach einer rund zehnwöchigen Input- und Erarbeitungsphase, in der die Studierenden begleitet durch die Dozierenden Stationen zu einem physikalischen Oberthema (z.B. ‚Energie‘ oder ‚Optik‘) erarbeiten und ausgestalten, finden in der Regel im Abstand von je zwei Wochen drei halbtägige Durchführungen statt, in denen sie ihre Konzeptionen in der Praxis erproben. An jedem Durchführungstag wird das LLL von einer einzelnen Schulklasse besucht, deren Schüler*innen in Gruppen von 4-8 die einzelnen dreißigminütigen Stationen nacheinander bearbeiten. Zwischen diesen Praxistagen haben die Studierenden Gelegenheit, die vergangenen Durchführungen zu analysieren, ihr Verhalten zu reflektieren und die Stationen (gegebenenfalls) weiterzuentwickeln. Integraler Bestandteil dieser Phasen ist weiterer reflexionsbezogener Input wie eine Reflexionsschulung und ein

Noticing-Training, welche den Studierenden Unterstützung bei der Reflexion bieten sollen.

Den theoretischen Rahmen für die Konzeption der Stationen bilden das forschend-entdeckende Lernen anhand des 5E-Modells (Bybee et al., 2006), das Vierphasenmodell der Interessensentwicklung (Hidi & Renninger, 2006), die Modellierung der experimentellen Kompetenz (Nawrath, Maiseyenko & Schecker, 2011) sowie die Basisdimensionen guten Unterrichtens (Klieme, Pauli & Reusser, 2009; Praetorius, Rogh & Kleickmann, 2020).

2. Reflexionsverständnis und Reflexionskompetenz

Das LLL Physik hat das Ziel, neben den Fähigkeiten zur Konzeption und Durchführung von Unterricht auch bestimmte Metakognitionen, in diesem Fall vor allem die Fähigkeit zur Reflexion der Unterrichtserfahrungen, zu schulen. Während viele verschiedene Vorstellungen zum Reflexionsbegriff existieren (vgl. Damköhler, Elsholz & Trefzger, 2022), wird im LLL unter Reflexion ein kognitiver Prozess verstanden, der die Strukturierung oder Restrukturierung von (Erfahrungs-)Wissen anstrebt (F. A. J. Korthagen, 2001), sich auf eine konkrete Situation bezieht, eigene Kenntnisse, Fähigkeiten, Überzeugungen und Bereitschaften einschließt (von Aufschnaiter, Fraij & Kost, 2019) und sich sowohl auf selbst erlebte als auch beobachtete Situationen beziehen kann (z.B. Kulgemeyer et al., 2021). Damit dienen zum einen eigene Stationsbetreuungen und zum anderen Beobachtungen bei Kommiliton*innen als Reflexionsgrundlage.

Die Annahme, dass Reflexivität gefördert werden kann, impliziert, dass es Reflexionsprozesse auf unterschiedlichen Niveaustufen gibt. Diesem Umstand trägt die Entwicklung unterschiedlicher Ansätze zur Messung der Reflexionskompetenz in den vergangenen Jahrzehnten Rechnung (für eine Übersicht vgl. z.B. (Wyss, 2013, S. 82–95)). Die Betrachtung der Reflexivität als Kompetenz (Kost, 2019; von Aufschnaiter et al., 2019) gewinnt hier zunehmend an Bedeutung. Dabei modellieren von Aufschnaiter et al. die Reflexionskompetenz in Anlehnung an das Kontinuumsmodell für Kompetenzen (Blömeke, Gustafsson & Shavelson, 2015) durch das Zusammenspiel von Dispositionen (z.B. Wissen über Reflexionsprozesse, Überzeugungen, Haltungen und Bereitschaften) mit situativen Fähigkeiten (die bei von Aufschnaiter vor allem den Denkprozess betreffen), das zu einer Performanz führt, welche sich beispielsweise durch die Veränderung von Verhalten oder durch die Verschriftlichung von Denkprozessen (Stender, Vogelsang, Watson & Schaper, 2020) darstellen lässt. Nach diesem Modell sind sowohl die Dispositionen als auch die situativen Fähigkeiten Bestandteile der Kompetenz, die letztlich zu einer qualitativ höher- oder geringerwertigen Performanz führen. Welche Qualitätskriterien dabei angelegt werden können, wird diskutiert (Kost, 2019, S. 9–12). Auch die Frage, welche Facetten zu Dispositionen und situativen Fähigkeiten beitragen, erscheint noch nicht annähernd geklärt.

3. Förderung von Reflexionskompetenz im LLL-Seminar

Folgt man den hier beschriebenen grundsätzlichen Überlegungen, so erhält man verschiedene Ansatzpunkte zur Förderung der Reflexionskompetenz. Diese lassen sich unterscheiden nach Maßnahmen, die die Dispositionen adressieren, und Maßnahmen, die die situationsspezifischen Fähigkeiten in den Blick nehmen. Im LLL Physik der Uni Würzburg werden derzeit drei verschiedene Maßnahmen umgesetzt.

3.1. Durchführen von Selbst- und Fremdrelexionen

Zum Ersten reflektieren die Studierenden an jedem der drei Durchführungstage eine eigene und eine beobachtete Durchführung. Diese Reflexionen erfolgen offen und unstrukturiert, die Studierenden sprechen direkt im Anschluss an die Durchführung ein rund fünfminütiges Reflexionsprodukt in ein Aufnahmegerät. Obwohl diese Reflexion in zeitlicher Nähe zu der Erfahrung stattfindet, handelt es sich hierbei um eine reflection-on-action, eine Reflexion über die Handlung (vgl. Wyss, 2013, S. 42–45). Die Erlebnisse und Erfahrungen werden in der Woche nach der Durchführung gemeinsam besprochen.

3.2. Reflexionsschulung

Zum Zweiten wurde für die Studierenden eine Reflexionsschulung entwickelt, die die Dispositionen in

den Fokus nimmt. Diese Maßnahme liegt zeitlich zwischen dem ersten und zweiten Durchführungstag. In einem interaktiven Vortrag, der sich inhaltlich an Wyss (2013) anlehnt, lernen die Studierenden neben grundlegenden Kompetenzen Lehrender und dem Zwiebschalenmodell nach F. A. Korthagen (2004) Grundlagen zum Reflexionsbegriff kennen. Sie erfahren von Befunden und Gedanken zur Bedeutung der Reflexion im Zusammenhang mit der Relationierung von Theorie und Praxis (Jeschke, Lindmeier & Heinze, 2021; Vogelsang & Rehfeldt, 2021; von Aufschnaiter et al., 2019) und der Professionalisierung von Lehrkräften (Wyss & Mahler, 2021) kennen. Es wird das Konzept der Reflexionskompetenz vermittelt und über Reflexionsanlässe diskutiert. In einer abschließenden Übung beschäftigen sich die Studierenden mit zwei Reflexionsschemata zur Strukturierung des Reflexionsprozesses, dem ALACT-Modell (F. A. J. Korthagen, 2001) und dem ERTO-Modell (Krieg & Kreis, 2014). Diese Modelle stellen Reflexion als einen Prozess dar, der bestimmte Schritte durchläuft, um von der Wahrnehmung relevanter Ereignisse bis zur Entwicklung neuer Handlungsoptionen zu gelangen. Die Verwendung der Modelle bei zukünftigen Reflexionsaufgaben wird den Studierenden freigestellt.

3.3. Noticing-Training

Die dritte reflexionsunterstützende Maßnahme, die zwischen dem zweiten und dritten Durchführungstag erfolgt, greift ein Konzept von Klempin (2019) aus der Fachdidaktik Englisch auf und rückt die situationsspezifischen Fähigkeiten in den Mittelpunkt. Um unter den vielen Eindrücken einer dreißigminütigen Unterrichtserfahrung solche auswählen zu können, die reflexionswürdig sind, benötigen Studierende die Fähigkeit zu erkennen, welche Geschehnisse in einer Unterrichtssituation potenziell relevant sind, und ihre Aufmerksamkeit auf solche Geschehnisse zu lenken. Diese Fähigkeit wird als Noticing bezeichnet und der Professionellen Unterrichtswahrnehmung zugerechnet (van Es & Sherin, 2002). Dabei folgern Star und Strickland unter anderem aus der Arbeit von Sherin, dass die Noticing-Fähigkeit von Lehrkräften verbessert werden kann und schlagen als ein Mittel zum Training Unterrichtsvideos vor (Star & Strickland, 2008). Aus diesem Grund wurde als Format für das Noticing-Training eine Schulung mithilfe eines Unterrichtsvideos konzipiert.

Das gewählte Unterrichtsvideo zeigt eine vollständige Unterrichtsstunde im Fach Natur und Technik (Physik) in der 7. Jahrgangsstufe eines bayerischen Gymnasiums (LMU Unterrichtsmitschau, 2018). Um für die Studierende relevante Unterrichtsaspekte auszuwählen, wurde das Video im Vorfeld von vier erfahrenen Lehrkräften (durchschnittliche Berufserfahrung von 21 Jahren) mit dem Arbeitsauftrag, die für den Fortgang des Unterrichts relevanten Momente zu benennen und den Grund ihrer Relevanz zu beschreiben, begutachtet. Die so erhaltenen Situationen

wurden abgeglichen und es wurden diejenigen Situationen, die unter den Expert*innen die höchste Übereinstimmung besaßen, für das Noticing-Training ausgewählt.

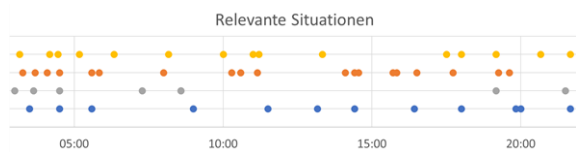


Abb.1: Grafische Auswertung der von den Expert*innen als relevant benannten Unterrichtssituationen

Die auf diese Weise ausgewählten (jeweils rund zweiminütigen) Videosequenzen besitzen allerdings noch immer eine hohe Informationsdichte. Klempin (2019) beschreibt in ihrer Dissertation ein Verfahren zur Komplexitätsreduktion, bei dem sie Studierende mit dem Konzept fachdidaktischer Pins vertraut macht. Sie beschreibt diese als „Beobachtungsschwerpunkte, die für die Kommunikationsanbahnung, -begleitung und -rückmeldung in englischer Sprache theoretisch und praktisch bedeutsam sind“ (Klempin, 2019, S. 149–150) und der Lenkung der Aufmerksamkeit auf diese Beobachtungsschwerpunkte dienen können. Für das Noticing-Training im LLL Physik wurde auf Basis dieser fachdidaktischen Pins und einem von Kleickmann und Steffensky (2020) für einen Praktikumsleitfaden entworfenen Kriterienkatalog zu den Basisdimensionen der Unterrichtsqualität eine Liste mit 25 „Pädagogisch-didaktischen Pins für die Beobachtung von Unterricht“ erstellt (z.B. „Mussten die Lernenden Aussagen begründen?“, „Waren Übergänge, bspw. zwischen Unterrichtsphasen, gut organisiert?“). Eine vollständige Liste der Pins ist im Anhang des Beitrags enthalten. Im Rahmen des Trainings wurden die Studierenden aufgefordert jede der gezeigten Videosequenzen mit einem (bis maximal drei) bestimmten der Pins zu beobachten. Im Nachgang wurden Beobachtungen verglichen und diskutiert.

Die Integration der Pins in die weitere Arbeit der Studierenden erfolgt auf Basis einer von van Es und Sherin (2002) beschriebenen Beobachtung von Leinhardt, Putnam, Stein und Baxter (1991). Demnach legen erfahrene Lehrkräfte innerhalb ihrer Arbeit gewisse Checkpoints an, Stellen, an denen sie bestimmte Merkmale des Unterrichts überprüfen. Ein solches Vorgehen lässt sich auf die Pins übertragen: So wird die Frage, ob die Unterrichtsmaterialien gut vorbereitet waren, vor allem zu Beginn des Unterrichts oder beim Einstieg in materialorientierte Phasen von Bedeutung sein, während die Frage nach einem gelungenen Zeitmanagement eher zum Ende von Phasen interessant sein wird. Durch eine strategische Auswahl der Pins und somit des Aufmerksamkeitsfokus kann den Studierenden, sowie auch Lehrkräften, erleichtert werden, in der Komplexität des Unterrichts den Überblick nicht zu verlieren.

4. Ausblick: Studie zu Reflexionsprozessen im LLL

Die Entwicklung der Einheiten zur Förderung der Reflexionskompetenz ist Teil einer das LLL begleitenden empirischen Studie (vgl. Damköhler, Elsholz & Trefzger, 2023), in deren Verlauf unter anderem die Frage nach dem Verhältnis von Selbst- und Fremdrelexionsprozessen, die Möglichkeit zur Charakterisierung von Reflexionsqualität und die Veränderung von Reflexionsprozessen von Studierenden während des Durchlaufens des LLL untersucht werden.

Die qualitativ orientierte Studie befindet sich zum aktuellen Zeitpunkt in der Datenerhebung.

5. Literaturverzeichnis

- Blömeke, S., Gustafsson, J.-E. & Shavelson, R. J. (2015). Beyond Dichotomies. *Zeitschrift für Psychologie*, 223(1), 3–13. <https://doi.org/10.1027/2151-2604/a000194>
- Bybee, R., Taylor, J., Gardner, A., Scotter, P., Carlson, J., Westbrook, A. et al. (2006). *The BSCS 5E Instructional Model: Origins, Effectiveness, and Applications*. Colorado Springs: BSCS.
- Damköhler, J., Elsholz, M. & Trefzger, T. (2022). Reflexionsprozesse im Lehr-Lern-Labor. In H. Grötzebauch & S. Heinicke (Hrsg.), *PhyDid B, Didaktik der Physik. Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung 2022* (S. 211–215).
- Damköhler, J., Elsholz, M. & Trefzger, T. (2023). Selbst- und Fremdrelexionsprozesse im Lehr-Lern-Labor-Seminar. In H. van Vorst (Hrsg.), *Lernen, Lehren und Forschen in einer digital geprägten Welt* (S. 993–996). Essen.
- Elsholz, M. & Trefzger, T. (2017). Professionalisierung durch Praxisbezug – Begleitforschung zu den Würzburger Lehr-Lern-Laboren. In C. Maurer (Hrsg.), *Implementation fachdidaktischer Innovation im Spiegel von Forschung und Praxis*. (S. 488–491). Regensburg: Universität Regensburg.
- Hidi, S. & Renninger, K. A. (2006). The Four-Phase Model of Interest Development. *Educational Psychologist*, 41(2), 111–127. https://doi.org/10.1207/s15326985ep4102_4
- Jeschke, C., Lindmeier, A. & Heinze, A. (2021). Vom Wissen zum Handeln: Vermittelt die Kompetenz zur Unterrichtsreflexion zwischen mathematischem Professionswissen und der Kompetenz zum Handeln im Mathematikunterricht? Eine Mediationsanalyse. *Journal für Mathematik-Didaktik*, 42(1), 159–186. <https://doi.org/10.1007/s13138-020-00171-2>
- Kleickmann, T. & Steffensky, M. (2020). Reflexion von Unterrichtsqualität. In B. Brouër, S. Zankel & J. Schulz (Hrsg.), *Leitfaden für das Praxissemester an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel. Ein Unterstützungsangebot für schulische*

- Mentor*innen und Studierende* (S. 30–33). Kiel: Zentrum für Lehrerbildung Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.
- Klempin, C. (2019). *Reflexionskompetenz von Englischlehramtsstudierenden im Lehr-Lern-Labor-Seminar*. Stuttgart: J.B. Metzler. <https://doi.org/10.1007/978-3-476-05120-2>
- Klieme, E., Pauli, C. & Reusser, K. (2009). The Pythagoras Study. Investigating effects of teaching and learning in Swiss and German mathematics classrooms. In T. Janik & T. Seidel (Eds.), *The power of video studies in investigating teaching and learning in the classroom* (S. 137–160). Münster: Waxmann.
- Korthagen, F. A. J. (2001). *Linking practice and theory. The pedagogy of realistic teacher education*. Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Korthagen, F. A. (2004). In search of the essence of a good teacher: towards a more holistic approach in teacher education. *Teaching and Teacher Education*, 20(1), 77–97. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2003.10.002>
- Kost, D. (2019). *Reflexionsprozesse von Studierenden des Physiklehramtes*. Gießen: Universitätsbibliothek. Verfügbar unter: <http://geb.uni-giessen.de/geb/volltexte/2020/15006/>
- Krieg, M. & Kreis, A. (2014). Reflexion in Mentoringgesprächen - ein Mythos? *Zeitschrift für Hochschulentwicklung*, 9(1). <https://doi.org/10.3217/zfhe-9-01/11>
- Kulgemeyer, C., Kempin, M., Weißbach, A., Borowski, A., Buschhüter, D., Enkrott, P. et al. (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), 3035–3057. <https://doi.org/10.1080/09500693.2021.2006820>
- Leinhardt, G., Putnam, R. T., Stein, M. K. & Baxter, J. (1991). Where subject knowledge matters. *Advances in Research on Teaching*, 2, 83–113.
- LMU Unterrichtsmitschau (Autor). (2018). *Unterrichtsaufzeichnung: Gymnasium - 7. Klasse - Physik. ProjektID: UA180416*. München.
- Nawrath, D., Maiseyenko, V. & Schecker, H. (2011). Experimentelle Kompetenz: Ein Modell für die Unterrichtspraxis. *Praxis der Naturwissenschaften - Physik in der Schule*, 60(6), 42–49.
- Praetorius, A.-K., Rogh, W. & Kleickmann, T. (2020). Blinde Flecken des Modells der drei Basisdimensionen von Unterrichtsqualität? Das Modell im Spiegel einer internationalen Synthese von Merkmalen der Unterrichtsqualität. *Unterrichtswissenschaft*, 48(3), 303–318. <https://doi.org/10.1007/s42010-020-00072-w>
- Star, J. R. & Strickland, S. K. (2008). Learning to observe: using video to improve preservice mathematics teachers' ability to notice. *Journal of Mathematics Teacher Education*, 11(2), 107–125. <https://doi.org/10.1007/s10857-007-9063-7>
- Stender, J., Vogelsang, C., Watson, C. & Schaper, N. (2020). Reflexion von (eigenem oder fremdem) Klassenführungsverhalten angehender Lehrpersonen. Eine Untersuchung im Kontext von Unterrichtssimulationen im Lehramtsstudium. In M. Keller-Schneider, K. Zierer & M. Trautmann (Hrsg.), *Jahrbuch für Allgemeine Didaktik 2020. Thementeil: Allgemeine Didaktik und Reflexion von Lehr- und Lernprozessen* (1st ed., S. 18–39). Bielefeld: wbv Publikation.
- Van Es, E. & Sherin, M. (2002). Learning to Notice: Scaffolding New Teachers' Interpretations of Classroom Interactions. *Journal of Information Technology for Teacher Education*, 10(4), 571–596.
- Vogelsang, C. & Rehfeldt, D. (2021). Relationierung von Theorie und Praxis in der Lehrkräftebildung im Fach Physik. Eine Übersicht über Forschungen und Formate. In C. Caruso, C. Harteis & A. Gröschner (Hrsg.), *Theorie und Praxis in der Lehrerbildung. Verhältnisbestimmungen aus der Perspektive von Fachdidaktiken* (Springer eBook Collection, 1st ed. 2021). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden; Imprint Springer VS.
- Völker, M. & Trefzger, T. (2010). Lehr-Lern-Labore zur Stärkung der universitären Lehramtsausbildung. In *Phydid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung in Hannover*.
- Von Aufschnaiter, C., Fraij, A. & Kost, D. (2019). Reflexion und Reflexivität in der Lehrerbildung. *Herausforderung Lehrer*innenbildung - Zeitschrift zur Konzeption, Gestaltung und Diskussion, Bd. 2 Nr. 1 (2019): Herausforderung Lehrer_innenbildung*, (144-159). <https://doi.org/10.4119/HLZ-2439>
- Wyss, C. (2013). *Unterricht und Reflexion. Eine mehrperspektivische Untersuchung der Unterrichts- und Reflexionskompetenz von Lehrkräften* (Empirische Erziehungswissenschaft, Band 44). Dissertation. Münster, New York, München, Berlin: Waxmann.
- Wyss, C. & Mahler, S. (2021). Mythos Reflexion. Theoretische und praxisbezogene Erkenntnisse in der Lehrer*innenbildung. *Journal für LehrerInnenbildung*, 21(1), 16–25. <https://doi.org/10.25656/01:22102>

Anhang

Pädagogisch-didaktische Pins für die Beobachtung von Unterricht

Lernen durch Zeichnen

- Die Methode des Zeichnens im Physikunterricht -

Peter Michael Westhoff, Susanne Heinicke

Institut für Didaktik der Physik, Universität Münster, Wilhelm-Klemm-Str. 10, 48149 Münster
peterm.westhoff@uni-muenster.de, susanne.heinicke@uni-muenster.de

Kurzfassung

Einstein, da Vinci, Darwin, Jobs und Penrose – alles namhafte Wissenschaftler und Erfinder, von denen bekannt ist, dass viele ihrer Arbeiten auf eindruckliche Zeichnungen, selbsterstellte Skizzen und Abbildungen zurückzuführen sind. Wie effektiv die Methoden des Zeichnens für das Lernen und Verstehen ist und inwiefern sie sich von anderen Methoden abgrenzt, ist bislang wenig beforscht. In dem Projekt wird der Frage nachgegangen, wie diese Methode für das selbständige und das Lernen und Erinnern in formalen Lernsettings der (Hoch-)Schule eigenen und sinnvoll ein- und umgesetzt werden kann. Dabei wird u.a. betrachtet, wie sich die Kreativität und weitere Persönlichkeitsmerkmale in Bezug auf Lernförderlichkeit auswirken. Erste Ergebnisse aus Studien zeigen eine hohe Motivation und Selbsteinschätzung hinsichtlich der Kreativität. Im Besonderen das Zeichnen stößt bei den Lernenden auf Zustimmung und Interesse es im Unterricht anzuwenden. In Bezug auf die Kreativität von Fächern werden die naturwissenschaftlichen im Gegensatz zu den musischen Fächern hingegen von den Probanden als deutlich un kreativer eingeschätzt.

1. Einleitung

Kreativität ist für die Naturwissenschaften von entscheidender Bedeutung, wenn es z.B. darum geht auf neue Ideen und Entwicklungen zu kommen. Von Albert Einstein stammt nicht nur der oft zitierte Satz „Phantasie ist wichtiger als Wissen, denn Wissen ist begrenzt“, sondern auch der gerade auf die Wissenschaft bezogene EJASE-Prozess (1952), den er in seinem Brief an Maurice Solovine niederschrieb (Seelig & Einstein, 2005). Dabei sieht er den entscheidenden Aspekt des wissenschaftlichen Arbeitens und der Entwicklung von „elementaren Gesetzen“ in einem nicht logisch herleitbarem Weg, dem später von Gerald Holton bezeichneten „Jump“ (Holton, 1979). Zu diesem führt nur die aus der Einfühlung sich stützende Intuition (Seelig & Einstein, 2005) als einem Akt kreativen Denkens. Doch welche Rolle spielt die Kreativität im aktuellen Physikunterricht und wie kann sie beim Lernen sinnvoll eingebracht werden?

1.1. Aus der Geschichte der Physik

Gerade die Naturwissenschaften und die Physik zeichnen sich in ihrer gesamten Geschichte dadurch aus, dass Forscherinnen und Forscher Versuchsaufbauten, Gedankenschritte, Zusammenhänge und Erkenntnisse in Abbildungen festhalten. Seien es die Notizbücher von Galileo Galilei, in denen er seine Theorien über die Weltmodelle festhält, Leonardo Da Vinci mit seinen Zeichnungen von mechanischen Bauteilen (Leonardo Da Vinci, 1485) oder aus der Biologie Charles Darwin mit einer Abbildung über seine Evolutionstheorie (Charles Darwin, 1837).

Auch aus der aktuellen Zeit sind Beispiele wie der Nobelpreisträger Roger Penrose bekannt, der über das Zeichnen als Erkenntnismethode spricht: „Pictures help to get a feeling for what's going on. It's very important to my thinking as well as in order to explain things to other people.“ Dabei stellt er gerade auch die Fähigkeit von Zeichnungen heraus, Dinge leichter in Bildern wiederzugeben als zu beschreiben (Penrose, 2015). In diesem Kontext betont er die Lernförderlichkeit durch das eigene Zeichnen und relativiert die Zeichenfähigkeit: „[...] I find, to draw these pictures myself can develop my own thinking in ways which I'm sure, would not happen in any other ways. It's not important that you have to be a professional artist.“ (Penrose, 2015)

Im Kontext Schule und genauer dem Physikunterricht lassen sich auch in vielen Situationen Abbildungen antreffen. In Tafelbildern werden Stromkreise skizziert, die aus der konventionellen Symbolschreibweise bestehen und mit Stichwörtern beschriftet werden. Es werden Versuchsaufbauten und Modelle z.B. in der Elektrostatik abgebildet. Im Allgemeinen führen Einheiten, die sowohl Wörter als auch passende Bilder beinhalten, zu einem höheren Lernerfolg im Vergleich zu Einheiten, die ausschließlich auf Textbasis konzipiert sind (Fiorella 2018). Ebenso zeigen Forschungsergebnisse, dass visuelle Darstellungen, die von Lehrkräften bereitgestellt werden, das Lernen fördern können (S. Ainsworth, 2006; Mayer, 2014; Rau, 2017). Diese Studienergebnisse stehen im Einklang mit theoretischen Grundlagen wie der Dual Coding Theory (s.u.).

Grundsätzlich sind Visualisierungen für das Lernen, Lehren und Kommunizieren im Unterricht und Wissenschaft von zentraler Bedeutung (S. Ainsworth et al., 2011; Cook, 2006). Zur Unterstützung von verbalen Erläuterungen komplexer wissenschaftlicher Systeme und Prozesse kommen häufig Illustrationen, Schaubilder, Diagramme, Animationen und Modelle zum Einsatz (Rau, 2017).

1.2. Visualisierungen im Kontext der Lerntheorien

Unter dem Begriff der „Visualisierungen“ werden unterschiedliche Formen wie „Abbildungen“, „Schaubilder“, „Grafiken“, „Bilder“, „Illustrationen“ und „Diagramme“ zusammengefasst, die allgemein graphische Darstellungen von Daten, Informationen und Zusammenhängen beinhalten. Neben der entstandenen Abbildung, dem Ergebnis, wird auch der Entstehungsprozess als Visualisierung bezeichnet, (vgl. Erlhoff & Marshall, 2008, S. 439). Visualisierungen ziehen Aufmerksamkeit auf sich und erhöhen die Motivation. Gleichzeitig führen sie in Kombination mit Text zu einer besseren Lernleistung (Paivio, 1990). Als theoretische Fundierung werden hierzu meist die folgenden drei Theorien herangezogen.

Im Hinblick auf die Lernleistung besagt die Dual-Coding Theory, dass durch die doppelt kodierte Information sich Inhalte in den Verarbeitungs- und Kodierungssystemen durch die getrennt voneinander ablaufenden Kodierungsprozesse besser verinnerlicht werden können. Zudem können sich laut Picture Superiority Effect Bilder und Grafiken im Gegensatz zu Symbolen (Texten) in vielen Zusammenhängen deutlich leichter gemerkt werden (Paivio, 1990). Wenn jedoch der Text und die Bilder gleichermaßen ansprechend sind (McBride & Anne Doshier, 2002), kein entscheidender Unterschied zwischen den Bildern und den Texten (Snodgrass & McCullough, 1986) oder wenig Bearbeitungszeit besteht (Boldini et al., 2007), minimiert sich dieser Effekt. Gerade bei der Visualisierung von komplexen Zusammenhängen und abstrakten Konzepten bietet sich eine Text-Bild-Kombination somit an.

Dafür ist entscheidend, inwiefern die Visualisierung bei dieser Verarbeitung eine kognitive Be- oder Entlastung darstellt und wie sie somit den Cognitive Load beeinflusst. Die Cognitive Load Theory lässt sich in drei Annahmen zusammenfassen (Sweller, 2010) (Abb. 2): Grundlegend geht sie davon aus, dass unser Arbeitsgedächtnis begrenzt ist. Dies wird für die Verarbeitung von neuen Informationen und Verknüpfung zu bereits gespeicherten Informationen beansprucht. Somit benötigt das Arbeitsgedächtnis für den Lernprozess freie Kapazitäten und darf nicht überlastet werden. Weiter lässt sich die auftretende Belastung in drei Arten aufteilen: die intrinsische, die extrinsische und die lernbezogene Belastung. Die

extrinsische Belastung wird durch die Repräsentationsart des Inhaltes und die intrinsische durch den zu lernenden Inhalt bestimmt. Die dritte, lernbezogene Belastung ist der Anteil, der für die Verarbeitung der Inhalte notwendig ist. Aus der Begrenzung des Arbeitsgedächtnisses, der Dreiteilung und der durch den Inhalt vorgegebene, intrinsische Belastung, ergibt sich demnach nur noch eine begrenzte Kapazität für die extrinsische und die lernbezogene Belastung. Um grundsätzlich möglichst viel Kapazität für die lernbezogene Belastung zu gewährleisten, muss dementsprechend die extrinsische Belastung minimiert werden.

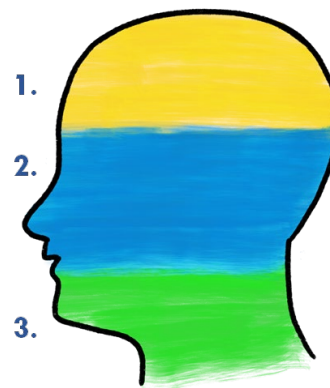


Abb. 1: Cognitive Load Theory

In diesem Zusammenhang muss auch die Cognitive Theory of Multimedia Learning betrachtet werden. Dabei werden über das sensorische System Stimuli aufgenommen, die dann im (kapazitätsbegrenzten) Arbeitsgedächtnis verarbeitet und im Langzeitgedächtnis gespeichert werden (Mayer, 2001). Im Hinblick auf diesen Prozess leitet Mayer Konsequenzen in Form von „Gestaltungsprinzipien“ ab, die im Besonderen für die Konzeption von Lernmaterialien zu beachten sind. Zwei dieser „Mayer-Prinzipien“ sind das Kontiguitätsprinzip, welches die räumliche Nähe zwischen Text und den zugehörigen Abbildungen beschreibt und den „split-attention-Effekt“ vermeiden soll, und das Kohärenzprinzip, welches die Passung zwischen Text und Abbildung beschreibt. Grundlegend dienen diese Prinzipien der Optimierung des Lernprozesses und der Vermeidung von Inkongruenzen und der Minimierung der extrinsischen, kognitiven Belastung des Arbeitsgedächtnisses. In seinen Betrachtungen geht Mayer davon aus, dass Text und Abbildungen gegeben sind und nicht von den Betrachtenden selbst erstellt werden.

1.3. Forschung zum Lernen durch Zeichnen

Aus den Studien von Fernandes et al. (2018) ist bekannt, dass sich die Probanden einerseits Inhalte in Bildern, aber vor allem auch Inhalte in selbsterstellten Zeichnungen besser gemerkt konnten. Sie konnten in ihren Studien belegen, dass das Zeichnen ein

zuverlässiges, reproduzierbares Mittel zur Steigerung der Gedächtnisleistung darstellt. Dabei wurde deutlich, dass beim Lernen von einzelnen Wörtern die Methode des Zeichnens deutlich effektiver abschnitt und dass so der Gewinn durch Zeichnen auch über die Altersstufen und kognitiven Beeinträchtigungen hinweg größer ist als im Vergleich zu anderen mnemotechnischen Techniken (vgl. Abb. 3).

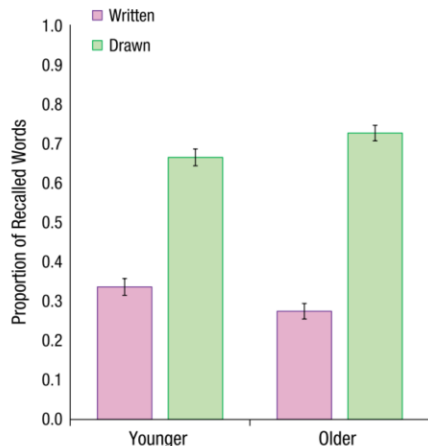


Abb. 2: Die Anteile der abgerufenen Wörter, die beim Enkodieren geschrieben und gezeichnet wurden bei jüngeren und älteren Erwachsenen. (Fernandes et al., 2018)

Fernandes et al. (2018) führen ihre Erkenntnisse hinsichtlich der Verbesserung auf die Integration von elaborativen, bildlichen und motorischen Codes zurück, welche die Schaffung von kontextreichen Darstellungen vereinfacht. Besonders der Vergleich zwischen den in der Schule typischen Textverarbeitungsmethoden: dem Schreiben der Wörter, dem Vorstellen eines Bildes, dem Anschauen einer Abbildung und dem eigenständigen Zeichnen, zeigt den hohen Effekt beim Erinnern der Begriffe, wenn sie beim Enkodieren gezeichnet wurden (vgl. Abb. 4).

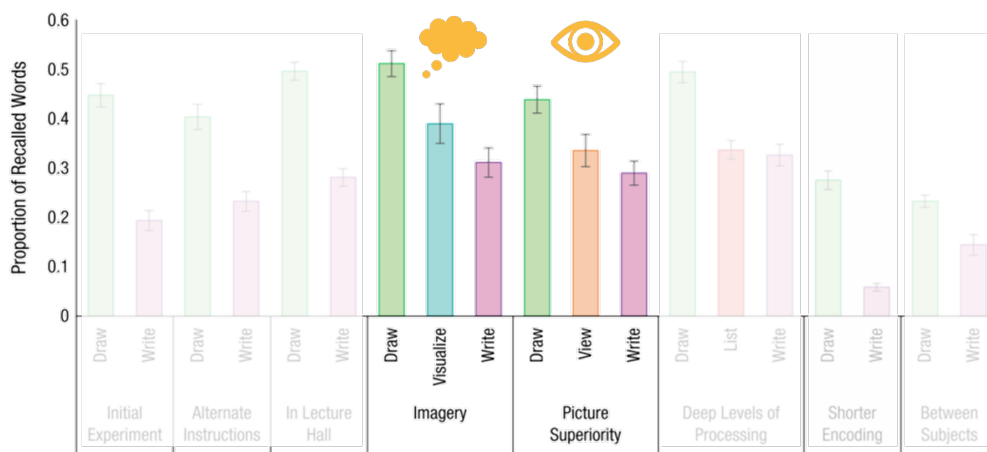


Abb. 3: Anteile der Wörter, die nach Enkodierungsanweisungen zu den diversen Methoden in mehreren Eye-perimenten mit jüngeren Erwachsenen erinnert wurden, wie Wammes, Meade und Fernandes (2016) berichteten. Die Fehlerbalken zeigen die Standardfehler des Mittelwertes.

1.4. Lernen durch Zeichnen als Lernstrategie

Durch aktuelle Forschung zum Lernen durch Zeichnen lässt sich schließen, dass das Erstellen eigener Zeichnungen von Schülerinnen und Schülern im Vergleich zum reinen Lesen des Textes oder der Anwendung textorientierter Lernstrategien wie dem Zusammenfassen zu einer besseren Verständnisleistung wissenschaftlicher Texte führt (Fiorella & Kuhlmann, 2020; Fiorella & Zhang, 2018). In einer Studie von Leopold und Leutner (2012) wurden Schülerinnen und Schüler dazu aufgefordert, während sie einen wissenschaftlichen Text über die Struktur von Wassermolekülen bearbeiteten, entweder Zeichnungen anzufertigen oder verbale Zusammenfassungen zu erstellen. Dabei zeigte sich, dass die Lernenden, die zeichneten, bei nachfolgenden Verständnis- und Transferprüfungen bessere Leistungen erzielten als diejenigen, die textbasierte Zusammenfassungen erstellten. Ähnliche positive Ergebnisse zeigten sich bei Studien, in denen die Lernenden zur Erstellung abstrakterer visueller Darstellungen (Concept Maps) angehalten wurden (Schroeder et al., 2019).

Bei dem Erstellen von Visualisierungen aus Text kann das kognitive Modell der Zeichnungskonstruktion (CMDC, van Meter und Firetto (2013)) die Lernenden unterstützen. Dabei werden wesentliche Ideen aus dem Text zunächst ausgewählt, anschließend in einer beschreibenden Repräsentation (propositionales Netzwerk) organisiert und mit vorhandenem Wissen in ein bildhaftes mentales Modell integriert. Dies fasst sich zusammen in kontinuierlich ablaufenden metakognitiven Prozessen, die den Konstruktionsprozess überwachen und regulieren. Dazu zählt die Konsultation des Textes, Angleichung des mentalen Modells und die Bearbeitung der Visualisierungen. In Untersuchungen konnte (van Meter, 2001) zeigen, dass Probanden während des Lernprozesses mit aktivem Zeichnen ein stärkeres

Selbstüberwachungsverhalten aufwies als bei einer Textbearbeitung mit bereitgestellten Abbildungen.

Neben den lernförderlichen Einflüssen vom Zeichnen im Gegensatz zu anderen Methoden (Fernandes et al., 2018), müssen auch potenzielle Nachteile in den Blick genommen werden. Dazu zählt vor allem, dass Zeichnen oftmals einen kognitiven und zeitlichen Mehraufwand bedeutet (Fiorella & Zhang, 2018). Dieser Mehraufwand kann durch fachliche, sprachliche oder darstellungsbezogene Schwierigkeiten hinsichtlich des Inhaltes entstehen. Gleichzeitig spielt das individuelle Vorwissen der Lernenden eine entscheidende Rolle bei der zu leistenden, kognitiven Belastung. Dabei zeigt sich bei hohem Vorwissen die Methode der reinen bildlichen Vorstellung der Inhalte als förderlicher (Cooper et al., 2001). Im Gegensatz dazu erzielt bei niedrigem Vorwissen die Methode des Zeichnens die besten Ergebnisse (Fiorella & Mayer, 2015; Lin et al., 2017). Zudem kann auch eine Anleitung hilfreich für den kognitiven Verarbeitungsprozess und zur Vermeidung von ungenauen Zeichnungen sein. (Fiorella & Zhang, 2018). Neueste Untersuchungen zeigen, dass Unterstützungen entweder in Form von unvollständige Grafiken, die von den Lernenden ergänzt werden müssen (S. E. Ainsworth & Scheiter, 2021; Fiorella & Zhang, 2018; Guo et al., 2020; Schmeck et al., 2014) oder fertigen, bereitgestellten Grafiken zum Vergleichen unterstützen können (Gagnier et al., 2017; van Meter, 2001).

2. Studiendesign

Insgesamt zeigen sich in der aktuellen Forschung also keine allgemeinen, sondern kontextbezogene Schlussfolgerungen hinsichtlich der Wirksamkeit vom Zeichnen und dem geistigen Vorstellen von Inhalten (vgl. Fiorella & Zhang, 2018). Fiorella (2018) sieht daher weitere Untersuchungen als notwendig an, um die kognitiven Belastungen und Vorteile, die mit den Verhaltensunterschieden zwischen diesen und anderen modellorientierten Strategien (z. B. Erstellen von Concept Maps) verbunden sind, sowie die potenziellen Wechselwirkungen zwischen der Verwendung mehrerer modellorientierter Strategien (z. B. Selbsterläuterung und Zeichnen) zu entflechten. Auch Fernandes (2018) formuliert Vermutungen, dass die Qualität der Zeichnungen und demzufolge die Zeichenfähigkeit der Lernenden keine negativen Auswirkungen auf die Lernförderlichkeit darstellen (Fernandes et al., 2018). Daran anknüpfend ergeben sich im Kontext Schule, dem naturwissenschaftlichen Unterricht und im Besonderen dem Fach Physik mehrere Faktoren, die in Kombination mit der Methode des Zeichnens genauer hinsichtlich eines lernförderlichen Einsatzes betrachtet und in Zusammenhang gebracht werden sollten. Dabei ist offen, inwieweit die Lernförderlichkeit der Methode

des Zeichnens von den unterschiedlichen Persönlichkeitsmerkmalen (z.B. Alter, Geschlecht etc.), Einstellungen (z.B. Blick auf die Kreativität) und Kompetenzen und Selbsteinschätzungen (z.B. Zeichenfähigkeit) von Lernenden abhängt.

2.1. Forschungsbereiche

Das Forschungsprojekt gliedert sich in zwei zentrale Forschungsbereiche: das Erschließen fachlicher und im besonderen physikbezogener Sachtexte durch die Methode des Zeichnens im Vergleich zu anderen Methoden und die Betrachtung einzelner Lernenden bzw. Lerntypen in Bezug auf die Lernförderlichkeit der Methode.

Der Physikunterricht mit seinem **fachlichen Wissen**, welches im Physikunterricht vermittelt wird, bildet einen entscheidenden Aspekt. Dieses Wissen kann als einzelne Wissensbausteine angesehen werden, die vom Lernenden verstanden und verinnerlicht werden müssen. Zwischen diesen Wissensbausteinen bestehen Zusammenhänge. So bildet sich ein Netz aus Wissensbausteinen und den Verknüpfungen, die zum Verständnis von physikalischen Konzepten relevant sind. Dabei geht es darum, die Methode des Zeichnens als Möglichkeit der Verinnerlichung dieser Systeme in zweidimensionalen Bildern, wie z.B. graphischen Mindmaps im Vergleich zu anderen Textbearbeitungsmethoden zu untersuchen.

Zudem kommt die in der Physik verwendeten Bildersprache. Für das Verständnis der Zusammenhänge und vor allem für den fachlichen Austausch ist diese Bildersprache von entscheidender Bedeutung. In gewissen Bereichen kann sogar davon ausgegangen werden, dass ohne diese (bilder-)sprachliche Grundlage ein Austausch gar nicht erst möglich ist. Dabei zeichnet sie sich z.B. im Bereich der E-Lehre durch ein eigenständiges Bildvokabular aus, welches für Neulinge zunächst erstmal erlernt werden muss.

Im letzten Forschungsfokus wird das Augenmerk auf die Heterogenität von Lernenden in Bezug auf ihre Persönlichkeitsmerkmale gelegt. Hier müssen zum einen die unterschiedlichen Motivationen, Fähigkeiten, Interessen und Einstellungen einbezogen werden. Dabei werden die Ergebnisse aus den ersten Forschungsbereichen hinsichtlich der o.g. Persönlichkeitsmerkmale in Beziehung gesetzt und reflektiert. So lassen sich Erkenntnisse darüber gewinnen, in wie weit die Methode des Zeichnens für bestimmte Gruppen von Lernenden lernförderlich im Vergleich zu anderen Methoden ist.

Insgesamt stellt sich auf dieser Grundlage die Frage: Für wen und in welchem Kontext ist das Zeichnen als Erkenntnis- und Behaltensmethode im Physikunterricht in Bezug auf das Erschließen von Sachtexten und fachliches Lernen lernförderlich?

3. Vorstellung einiger Pilotstudien

3.1. Erste Studie im physikalischen Kontext der Primarstufe

Um im naturwissenschaftlichen Unterricht und besonders in physikalischen Themen der Frage nachzugehen, inwieweit eine visuelle Textverarbeitungsmethode das Lernen optimieren kann, wurde eine erste Pilotstudie in 4 Klassen einer Grundschule (jeweils 2 dritte und vierte Klassen) durchgeführt. Die Lernenden bekamen dafür zunächst einen Prätest, der ihr Wissen zum Thema Wasserkreislauf bzw. Erde abfragte. Im Anschluss sollten sie einen Text lesen und sich die Inhalte merken. Durch den Posttest wurde dieses Wissen dann erneut abgefragt. Das gleiche Prozedere erfolgte dann mit dem zweiten Text, jedoch wurden sie nun aufgefordert, kleine Skizzen zu den Texten zu machen. Aus den 10 Fragen der Fachteste wurde dann der Lernzuwachs in Abhängigkeit der Methode „nur Lesen“ und „Zeichnen“ abgeleitet.

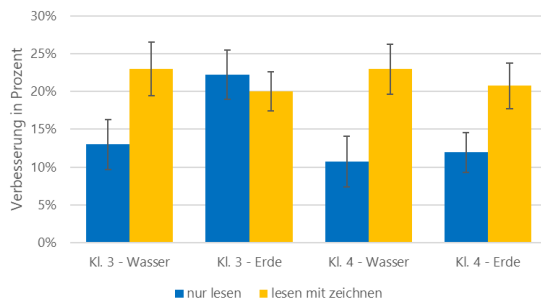


Abb. 4: Ergebnisse des Wissenstests der Studie aus der Grundschule mit dem Vergleich zwischen den Klassen und den Methoden mit und ohne Zeichnen

Beim Betrachten der Ergebnisse zeigt sich bei drei Klassen auch das erwartete Bild: Die Inhalte, die gezeichnet werden sollten, konnten sich von den Lernenden besser gemerkt werden. Gleichzeitig war in einer Klasse zu beobachten, dass die Lernenden beim zu zeichnenden Text minimal schlechter abschnitten. Dies lässt sich darauf zurückzuführen, dass die Schulklasse sich bereits mit dem Thema befasst hat und die Lernenden zu dem Thema bereits ihr eigenes mentales Modell gebildet haben. Dieses würde die Theorie hinsichtlich des Vorwissens widerspiegeln, die in ihren Studien das Zeichnen für Lernende mit hohem Vorwissen als eher hinderlich herausgestellt haben (Cooper et al., 2001; Fiorella & Mayer, 2015).

3.2. Erste Studien in der Sekundarstufe 1 & 2

In Anknüpfung an die Forschungsschwerpunkte wurden einige Studien aus dem Zeitraum zwischen Januar und April 2023 als Pilotstudien konzipiert. Hier lag der Fokus darin, die einzelnen Skalen und ihre Kombination im Hinblick auf weiterführende Studien genauer zu betrachten. Dabei flossen die Einschätzungen und Persönlichkeitsmerkmale von

insgesamt 206 (N) Probanden ein, welche zur Hälfte das Gymnasium besuchen. Die andere Hälfte setzt sich aus Lernenden der Realschule (24%) und der Gesamtschule (26%) zusammen. Hinsichtlich des Geschlechtes ist ein leichter Überhang (56%) der weiblichen Befragten zu verzeichnen. Bei den Altersgruppen besuchten 77 Kinder die 5. Klasse (ca. ein Drittel), 48 die 7. Klasse, 50 die 8. Klasse und 31 die 10. Klasse bzw. die EF.

Im Folgenden werden nun drei Teilbereiche der Erhebungen vorgestellt, die in Bezug auf die weitere Konzeption der Studien von Interesse sind. Dazu werden die verwendeten Erhebungsinstrumente kurz vorgestellt und anschließend auf die Ergebnisse eingegangen.

3.3. Die Persönlichkeitsmerkmale hinsichtlich Kreativität bei den Lernenden

Um die Persönlichkeitsmerkmale der Probanden genauer einschätzen zu können und diese anschließend zu vergleichen, wurde die „short scale of creative self“ (SSCS) verwendet (Karwowski, 2014). Die SSCS setzt sich aus elf Items zusammen, welche sich in zwei Subskalen kreative persönliche Identität (creative personal Identity; CPI; 5 Items; z.B. „Ich glaube, ich bin ein kreativer Mensch“, „Ein kreativer Mensch zu sein, ist für mich wichtig.“) und kreative Selbstwirksamkeit (creative self-efficacy; CSE; 6 Items; z.B. „Ich vertraue auf meine kreativen Fähigkeiten“, „Im Vergleich zu meinen Freunden zeichne ich mich durch meine Fantasie und meinen Einfallsreichtum aus.“) aufteilen. Für die Auswertung können entweder die zwei Subskalen einzeln oder ein Gesamtscore gemittelt werden.

Bei Betrachtung der Ergebnisse ist zu erkennen, dass Lernende im Mittel unabhängig von der Altersstufen die Aussagen über die eigene Kreativitätseinschätzung relativ einheitlich mit „eher zutreffen“ beantworten (vgl. Abb. 6). Zudem besteht eine signifikante, sehr hohe Korrelation (nach Cohen) zwischen der SSCS und ihren beiden Subskalen (CPI und CSE) auf dem Niveau von .001 (vgl. Abb. 7). Im t-Test zeigen sich zudem hinsichtlich der SSCS keine Unterschiede zwischen Mädchen ($M=3,60$; $SD = ,79$) und Jungen ($M=3,61$; $SD = ,87$). Der t-Test war nicht signifikant ($t(132)= 0.025$; $p = .980$).

Insgesamt lässt sich hier zusammenfassen, dass die befragten Lernende sich selbst als kreativ einschätzen und zudem eine positive Einstellung zur Kreativität haben. Sie sehen in der Kreativität eine Relevanz für ihre Persönlichkeit und einen Einfluss auf ihr Leben. Damit ist die Bedeutung in den Meinungen der Lernenden und für die weitere Studie ein positiver Stellenwert festzuhalten.

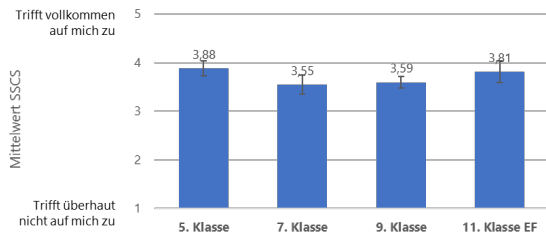


Abb. 5: Der Vergleich der Mittelwerte der Short Scale of Creative Self in Abhängigkeit der Jahrgangsstufen

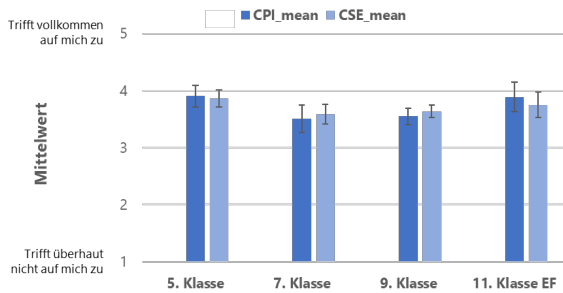


Abb. 6: Der Vergleich der Mittelwerte der beiden Subskalen der Short Scale of Creative Self (creative personal identity & creative self-efficacy) in Abhängigkeit der Jahrgangsstufen

3.4. Das Verhältnis zwischen der kreativen Selbsteinschätzung und dem Blick auf Zeichnen im Unterricht

Neben der Erhebung der Selbsteinschätzung der Lernenden mit der SSCS wurde außerdem eine Skala entwickelt, die sich genauer mit dem Zeichnen im Unterricht (ZIU) beschäftigt. Dabei wurden den Probanden Aussagen wie „Ich finde es gut, wenn wir im Unterricht viel zeichnen.“ oder „Es macht mit Spaß Bilder von der Tafel abzuzeichnen.“ vorgelegt. Diese 10 Items sollten sie dann auf einer 4-stufigen Likert-Skala von „trifft voll zu“ bis „trifft garnicht zu“ beantworten sollten. Außerdem wurde gefragt, in welchen Fächern und in welchem Umfang gezeichnet wird. Hier gab es 11 Fächer zur Auswahl, grundsätzlich mit der Möglichkeit „dieses Fach hatte ich noch nicht“.

Grundsätzlich lässt sich eine positive Einstellung dem Zeichnen im Unterricht gegenüber festhalten. Von den Probanden beantworteten 75% ($n = 40$) der Probanden die Aussagen mit „trifft voll zu“ oder „trifft eher zu“. Werden nun die beiden Skalen SSCS und ZIU zusammengebracht und in Korrelation gesetzt, zeigt sich, dass die Probanden, die sich selbst als kreativ einschätzen sich gleichzeitig auch mehr Zeichnen im Unterricht wünschen. Je höher sie sich kreativ einschätzen, desto wichtiger ist es auch für sie, das Zeichnen im Unterricht eingebunden ist (vgl. Abb. 8).

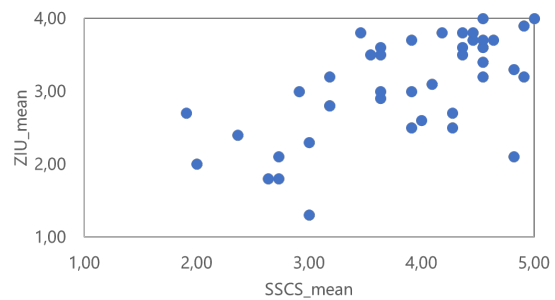


Abb. 7: Die "Zeichnen im Unterricht" (ZIU) Skala in Abhängigkeit der Short Scale of Creative Self (SSCS)

3.5. Wie wird die Kreativität von Schulfächern eingeschätzt?

Neben der Zuweisung von Kreativität zu sich selbst, wurden die Probanden auch nach der Kreativität der einzelnen Schulfächer gefragt. Die Antwortmöglichkeiten reichten auf einer Likert-Skala von „4 – viel Kreativität“ bis hin zu „1 – keine Kreativität“ und als enthaltende Option „dieses Fach hatte ich noch nicht.“ Zu diesem Ergebnis führten die Antworten von insgesamt 102 Schülern (33%) und Mädchen (67%). Dabei wurden den beiden musischen Fächern durchschnittlich am meisten Kreativität (Kunst mit 3,39 und Musik mit 3,01) und den naturwissenschaftlichen Fächern (Physik – 2,33) und Mathematik (2,4) am wenigsten Kreativität zugeschrieben (vgl. Abb. 9).

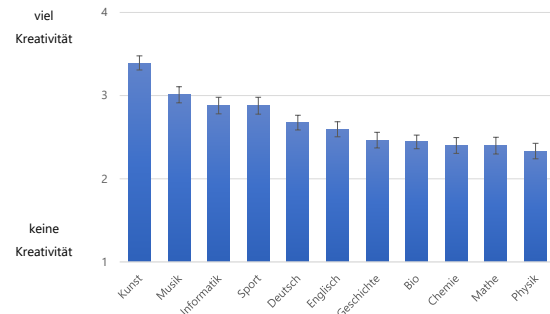


Abb. 8: Das Ergebnis der Zuweisung von Kreativität zu den einzelnen Fächern

4. Diskussion und Ausblick

Zusammenfassend lässt sich nach dem Einblick in diese drei Erhebungsbereiche und auf Basis dieser Pilotierungsstudie sagen: Die Kreativität und im Besonderen das Zeichnen stößt bei den Lernenden auf Zustimmung und Interesse. Sie sehen Zeichnen als wichtig für ihre Persönlichkeit an (vgl. (3.3) und zugleich sind sie motiviert es intensiver im Unterricht umzusetzen (vgl. 3.4). Gleichzeitig schätzen die Befragten die naturwissenschaftlichen Fächer als wenig kreativ ein (vgl. 3.5). Dazu lässt sich sagen, dass grundsätzlich Potential in dem Ausbau des Zeichnens und der Kreativität vor allem in den naturwissenschaftlichen Fächern besteht. Gleichzeitig zeigt sich aber auch, dass die Selbsteinschätzung der Lernenden im Hinblick auf

das eher positive Ergebnis nicht als einziges Maß für die Kreativität verwendet werden sollte. Hier sollten zusätzlich auch Erhebungsinstrumente ausgewählt werden, die die Kreativität der Probanden genauer quantifizieren. So ließe sich die Kreativität, die natürlich sehr vielseitig verstanden werden kann, nicht nur durch die Selbsteinschätzung, sondern auch konkret durch Aufgaben ermitteln, die die Fähigkeiten und Techniken aus dem Schulalltag aufgreifen. So wäre ein Vergleich zwischen selbsteingeschätzter Kreativität und in Aufgaben angewendete Kreativität möglich.

Weiterführend ist das Ziel mit dieser Studie auch die genauer die Methode des Zeichnens und des zeichnerischen Erschließens von Inhalten in Kombination mit Texten zu erforschen. Dabei stellt sich die Frage, wie genau Lernende in der Situation der Texterschließung mit der Methode umgehen und ob hier Unterschiede hinsichtlich ihrer Persönlichkeitsmerkmale zu erkennen sind. Hier wird die Kombination aus beiden Erhebungsteilen angestrebt.

5. Literaturverzeichnis

- Ainsworth, S. (2006). DeFT: A conceptual framework for considering learning with multiple representations. *Learning and Instruction*, 16(3), 183–198. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2006.03.001>
- Ainsworth, S., Prain, V. & Tytler, R. (2011). Science education. Drawing to learn in science. *Science (New York, N.Y.)*, 333(6046), 1096–1097. <https://doi.org/10.1126/science.1204153>
- Ainsworth, S. E. & Scheiter, K. (2021). Learning by Drawing Visual Representations: Potential, Purposes, and Practical Implications. *Current Directions in Psychological Science*, 30(1), 61–67. <https://doi.org/10.1177/0963721420979582>
- Boldini, A., Russo, R., Punia, S. & Avons, S. E. (2007). Reversing the picture superiority effect: a speed-accuracy trade-off study of recognition memory. *Memory & Cognition*, 35(1), 113–123. <https://doi.org/10.3758/BF03195948>
- Charles Darwin. (1837). *Seite aus einem Notizbuch mit Skizze „Baum des Lebens“ von 1837* (Bibliothek der Universität Cambridge, Hg.). Bibliothek der Universität Cambridge.
- Cook, M. P. (2006). Visual representations in science education: The influence of prior knowledge and cognitive load theory on instructional design principles. *Science Education*, 90(6), 1073–1091. <https://doi.org/10.1002/sc.20164>
- Cooper, G., Tindall-Ford, S., Chandler, P. & Sweller, J [J.] (2001). Learning by imagining. *Journal of experimental psychology. Applied*, 7(1), 68–82. <https://doi.org/10.1037/1076-898x.7.1.68>
- Erlhoff, M. & Marshall, T. (2008). *Wörterbuch Design: Begriffliche Perspektiven des Design*. Birkhäuser. <https://doi.org/10.1007/978-3-7643-8142-4>
- Fernandes, M. A., Wammes, J. D. & Meade, M. E. (2018). The Surprisingly Powerful Influence of Drawing on Memory. *Current Directions in Psychological Science*, 27(5), 302–308. <https://doi.org/10.1177/0963721418755385>
- Fiorella, L. & Kuhlmann, S. (2020). Creating drawings enhances learning by teaching. *Journal of Educational Psychology*, 112(4), 811–822. <https://doi.org/10.1037/edu0000392>
- Fiorella, L. & Mayer, R. E. (2015). *Learning as a generative activity: Eight learning strategies that promote understanding* (1. publ). Cambridge University Press.
- Fiorella, L. & Zhang, Q. (2018). Drawing Boundary Conditions for Learning by Drawing. *Educational Psychology Review*, 30(3), 1115–1137. <https://doi.org/10.1007/s10648-018-9444-8>
- Gagnier, K. M., Atit, K., Ormand, C. J. & Shipley, T. F. (2017). Comprehending 3D Diagrams: Sketching to Support Spatial Reasoning. *Topics in cognitive science*, 9(4), 883–901. <https://doi.org/10.1111/tops.12233>
- Guo, D., McTigue, E. M., Matthews, S. D. & Zimmer, W. (2020). The Impact of Visual Displays on Learning Across the Disciplines: A Systematic Review. *Educational Psychology Review*, 32(3), 627–656. <https://doi.org/10.1007/s10648-020-09523-3>
- Holton, G. (1979). Einsteins Methoden zur Theorienbildung. In *Albert Einstein* (S. 111–140). Vieweg+Teubner Verlag. https://doi.org/10.1007/978-3-322-84039-4_9
- Karwowski, M. (2014). Creative mindsets: Measurement, correlates, consequences. *Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts*, 8(1), 62–70. <https://doi.org/10.1037/a0034898>
- Leonardo Da Vinci. (1485). *Zahnräder und Hydrometer*. <https://www.deutschlandfunk.de/leonardo-da-vinci-der-erfinder-der-modernen-wissenschaft-100.html>
- Leopold, C. & Leutner, D. (2012). Science text comprehension: Drawing, main idea selection, and summarizing as learning strategies. *Learning and Instruction*, 22(1), 16–26. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2011.05.005>
- Lin, L., Lee, C. H., Kalyuga, S., Wang, Y., Guan, S. & Wu, H. (2017). The Effect of Learner-

- Generated Drawing and Imagination in Comprehending a Science Text. *The Journal of Experimental Education*, 85(1), 142–154. <https://doi.org/10.1080/00220973.2016.1143796>
- Mayer, R. E. (2001). *Multimedia learning*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139164603>
- Mayer, R. E. (2014). *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*. Cambridge University Press.
- McBride, D. M. & Anne Doshier, B. (2002). A comparison of conscious and automatic memory processes for picture and word stimuli: a process dissociation analysis. *Consciousness and Cognition*, 11(3), 423–460. [https://doi.org/10.1016/S1053-8100\(02\)00007-7](https://doi.org/10.1016/S1053-8100(02)00007-7)
- Paivio, A. (1990). *Mental Representations: A Dual Coding Approach*. Oxford University Press Incorporated. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780195066661.001.0001>
- Penrose, R. (20. November 2015). Interview durch The Big Draw.
- Rau, M. A. (2017). Conditions for the Effectiveness of Multiple Visual Representations in Enhancing STEM Learning. *Educational Psychology Review*, 29(4), 717–761. <https://doi.org/10.1007/s10648-016-9365-3>
- Rodger Penrose. (2017). *Penrose-Diagramm für die maximale analytische Erweiterung der de:Schwarzschild-Metrik*. <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=64975058>
- Schmeck, A., Mayer, R. E., Opfermann, M., Pfeiffer, V. & Leutner, D. (2014). Drawing pictures during learning from scientific text: testing the generative drawing effect and the prognostic drawing effect. *Contemporary Educational Psychology*, 39(4), 275–286. <https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2014.07.003>
- Schroeder, P., Anggraeni, K. & Weber, U. (2019). The Relevance of Circular Economy Practices to the Sustainable Development Goals. *Journal of Industrial Ecology*, 23(1), 77–95. <https://doi.org/10.1111/jiec.12732>
- Seelig, C. & Einstein, A. (Hrsg.). (2005). *Mein Weltbild*. Europa-Verl.
- Snodgrass, J. G. & McCullough, B. (1986). The role of visual similarity in picture categorization. *Journal of experimental psychology. Learning, memory, and cognition*, 12(1), 147–154. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.12.1.147>
- Sweller, J [John]. (2010). Cognitive Load Theory: Recent Theoretical Advances. In *Cognitive Load Theory* (1. Aufl., S. 29–47). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/cbo9780511844744.004>
- van Meter, P. (2001). Drawing construction as a strategy for learning from text. *Journal of Educational Psychology*, 93(1), 129–140. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.93.1.129>
- van Meter, P. & Firetto, C. M. (Hrsg.). (2013). *Cognitive model of drawing construction: Learning through the construction of drawings*. IAP Information Age Publishing. <https://psycnet.apa.org/record/2014-01969-010>

Lernwirksamkeit von Analogiemodellen zum elektrischen Potenzial

Alina Hindriksen, Michael Kahnt, Roland Berger

Universität Osnabrück, Barbarastraße 7, 49076 Osnabrück
ahindriksen@uos.de

Kurzfassung

Zur Veranschaulichung der elektrischen Größen Strom, Potenzial und Spannung wird in der Literatur der Einsatz unterschiedlicher Analogiemodelle vorgeschlagen. Während einerseits die Verwendung verschiedener Analogiemodelle für jeweils einzelne Aspekte des elektrischen Stromkreises sinnvoll erscheint, könnte eine Stärke des Fahrradkettenmodells darin liegen, dass es auch durchgängig eingesetzt werden kann. Im Beitrag wird eine quantitative Studie vorgestellt, in der drei Unterrichtsvarianten gegenübergestellt und mit dem Fokus auf Potenzial und Spannung untersucht werden: Unterricht (a) mit Fahrradkettenmodell (b) mit Höhenmodell und (c) ohne Modell. Die Ergebnisse zeigen u. a., dass die Bedingung „Höhenmodell“ im verzögerten Potenzialtest mit kleinem Effekt unterlegen und die Bedingung „Fahradkettenmodell“ im verzögerten Spannungstest mit kleinem Effekt den weiteren Bedingungen signifikant überlegen ist. Zudem findet im modellbasierten Unterricht ein Lernen über Analogiemodelle und damit ein Zuwachs in dem Modellverständnis der SchülerInnen statt.

1. Ausgangssituation

Die Ergebnisse empirischer Studien zum Elektrizitätslehreunterricht in der Sekundarstufe I zeigen, dass mit den Größen Strom, Spannung und Widerstand sowie deren wechselseitiger Beziehung hartnäckige Fehlvorstellungen konnotiert sind, die durch den Physikunterricht oftmals nur unzureichend behoben werden (Maichle, 1982; Shipstone, 1984; von Rhöneck, 1986; Urban-Woldron & Hopf, 2012; Schecker et al., 2018). Insbesondere wird nur sehr selten ein adäquates, vom Strombegriff unabhängiges Verständnis der elektrischen Spannung seitens der SchülerInnen entwickelt (Cohen et al., 1983; von Rhöneck, 1986). Damit einhergehend wird einerseits die elektrische Spannung häufig nicht als Ursache, sondern als Eigenschaft des elektrischen Stromes aufgefasst und andererseits der Differenzcharakter der Spannung, der zu einer vergleichsweise hohen Komplexität bei dem Verständnis der elektrischen Größe beiträgt, nicht erkannt (Burde, 2018). Schubatzky et al. (2022, S. 5) erachten die elektrische Spannung daher auch „als das schwierigste Konzept im Elektrizitätslehreunterricht der Sekundarstufe [...], wenn nicht sogar des gesamten Physikunterrichts in der Sekundarstufe.“

In der Literatur werden neben den beschriebenen stabilen Fehlvorstellungen der SchülerInnen auch ungünstige Elementarisierungen sowie eine mangelnde Anschaulichkeit des Inhaltsbereichs zur Begründung der mit dem Spannungskonzept verbundenen Lernschwierigkeiten angeführt (Burde & Wilhelm, 2017; Burde et al., 2022; Schubatzky et al., 2022). So heben Herrmann und Schmälzle (1984) als problematisch hervor, dass bei dem „traditionellen“ Vorgehen zur

Einführung der elektrischen Spannung über eine anschauliche Antriebsvorstellung sowie die Definitionsgleichungen

$$U = \frac{E}{q} \text{ und } U = \frac{P}{I}$$

von den SchülerInnen erwartet wird, dass sie eine Vorstellung zum Spannungsbegriff entwickeln ohne die dahinterstehende Größe, das elektrische Potenzial, zu kennen und zu verstehen. Herrmann und Schmälzle sprechen sich daher für eine Berücksichtigung des elektrischen Potenzials zur Konzeptualisierung der Spannung als Potentialdifferenz im Elektrizitätslehreunterricht aus.

2. Potenzialansatz

Unterrichtsvorgehen, in denen die elektrische Spannung als Potentialdifferenz konzeptualisiert wird, werden als „Potenzialansatz“ bezeichnet. Herrmann und Schmälzle (1984, S. 476) sehen drei wesentliche Vorteile des Potenzialansatzes gegenüber traditionellen Einführungen der elektrischen Spannung im Elektrizitätslehreunterricht der Sekundarstufe I:

„(1) Ein Potentialwert bezieht sich (im Gegensatz zu einem Spannungswert) auf einen einzigen Punkt im Raum; man darf daher mit dem Potential genauso umgehen wie mit anderen intensiven Größen.“

(2) Die Verwendung des elektrischen Potentials ist äquivalent zur Anwendung der Maschenregel; zusammen mit der Knotenregel stehen damit den Schülern die beiden fundamentalen Gesetze stationärer Stromkreise zur Verfügung.

(3) Durch farbiges Kennzeichnen von Stellen gleichen Potentials lassen sich Schaltskizzen sehr übersichtlich darstellen.“

Den Überlegungen von Herrmann und Schmäzle (1984) folgend wurde der Potenzialansatz in neuen Unterrichtskonzeptionen auf verschiedenste Weise berücksichtigt und untersucht (von Rhöneck, 1985; Steinberg & Wainwright, 1993; Schwedes & Dudeck, 1993; Gleixner, 1998; Koller et al., 2008; Schumacher & Wiesner, 1997; Burde, 2018; Kahnt, 2022). Im Einklang mit den Erwartungen zeigen die Ergebnisse, dass Potenzialansätze (teils auch im Vergleich mit „traditionellem“ Unterricht) lernwirksam den Aufbau eines adäquaten Spannungskonzeptes unterstützen (Gleixner, 1998; Koller et al., 2008; Burde, 2018). Da das Potenzial für die SchülerInnen eine abstrakte Größe darstellt, die keine tragfähigen Anknüpfungspunkte zum Begriffsverständnis aus dem Alltag aufweist, werden in den angeführten Unterrichtskonzepten oft Analogiemodelle zur Veranschaulichung der Größe sowie des Zusammenhangs von Potenzial und Spannung eingesetzt.

3. Lernen mit Analogiemodellen im Elektrizitätslehreunterricht der Sekundarstufe I

Analogiemodelle sollen im Lehr-Lern-Prozess den SchülerInnen als „Brücken zum Verständnis“ dienen, indem durch die Veranschaulichung abstrakter Größen in einem vertrauteren Analogbereich der Zugang zu einem qualitativen Verständnis des Zielbereichs erleichtert wird (Duit & Glynn, 1995, S. 4). So hat sich unter anderem im Elektrizitätslehreunterricht der Sekundarstufe I, in dem Lernschwierigkeiten vor allem auch auf eine mangelnde Anschauung zurückgeführt werden, gezeigt, dass durch den systematischen Einsatz von Analogiemodellen das konzeptuelle Verständnis elektrischer Größen und Zusammenhänge unterstützen werden kann (Gleixner, 1998; Burde, 2018; Kahnt, 2022). Zu berücksichtigen bleibt jedoch, dass mit der Verwendung von Analogiemodellen aus lernökonomischer Perspektive aber stets auch ein Umweg einhergeht, der die Lernenden in die Irre leiten und den Lehr-Lern-Prozess behindern kann (Duit & Glynn, 1995; Kircher, 1989). Ein systematischer Einsatz von Analogiemodellen ist daher stets unter Berücksichtigung der Vor- und Nachteile abzuwägen und hinsichtlich der Lernwirksamkeit zu prüfen. Kircher et al. (2015, S. 804) heben darüber hinaus hervor, dass zum derzeitigen Stand *„die Frage der Lernökonomie durch Modelle (Medien) im Physikunterricht nicht pauschal zu beantworten [ist]; sie ist sowohl von den lerntheoretischen Grundlagen her als auch von der empirischen Feldforschung in den Schulen noch als offen zu betrachten.“*

Aufgrund der Komplexität der Elektrizitätslehre wurden verschiedene Analogiemodelle entwickelt, die jeweils unterschiedliche Aspekte besonders gut veranschaulichen und damit einhergehend spezifische Vor- und Nachteile sowie „Grenzen“ aufweisen. Während einige Analogiemodelle insbesondere für die Veranschaulichung eines bestimmten Aspekts gedacht sind, darunter z. B. das Stäbchenmodell von Gleixner (1998) zur Einführung von Potenzial und Spannung,

können andere Analogiemodelle prinzipiell auch „durchgängig“ zur Veranschaulichung herangezogen werden, darunter z. B. das Fahrradketten- oder Wassermotivmodell (Kahnt, 2022; Schwedes & Dudeck, 1993). So erläutert Kahnt (2022, S. 17): *„Die Ausführungen machen deutlich, dass es möglich ist, die Fahrradkette in der Elektrizitätslehre als durchgängige Vorstellungshilfe vom Anfangsunterricht bis weit in die Sekundarstufe I zu nutzen.“*

Konträr dazu sprechen sich Burde und Wilhelm (2017, S. 13) für den Einsatz mehrerer Analogiemodelle und der Nutzung derer spezifischer Vorteile aus: *„Auch bietet es sich an, für [...] jedes Einzelthema die hierfür jeweils beste Analogie heranzuziehen. Zur Veranschaulichung der Konstanz der Stromstärke sowie des Systemcharakters von Stromkreisen bietet sich beispielsweise das Fahrradkettenmodell an, während sich Potenzialansätze wie das Münchner Stäbchenmodell mit entsprechenden Farbkodierungen zur Darstellung des Potenzial- bzw. Spannungsbegriffs bewährt haben.“*

Der Einsatz verschiedener Analogiemodelle kann darüber hinaus zur Erweiterung des Modellverständnisses beitragen. Andererseits deutet aber u. a. die Studie von Kircher und Hauser (1995) darauf hin, dass Modellwechsel für SchülerInnen schwierig sind. Zudem scheinen insbesondere oberflächliche Übereinstimmungen den Zugang zu einer Analogie zu steuern (Gick & Holyoak, 1983; Tenney & Gentner, 1985), sodass das abstrakte Stäbchenmodell insbesondere jüngere SchülerInnen überfordern könnte.

4. Forschungsmotivation und Fragestellungen

Vor dem Hintergrund der von Kahnt (2022) geschilderten, vielversprechenden Eindrücke – auch hinsichtlich der Einführung von Potenzial und Spannung mit dem Fahrradkettenmodell – wird untersucht, ob sich die durchgängige Verwendung dieses Analogiemodells im Vergleich zu dem von Burde und Wilhelm (2017) vorgeschlagenen Ansatz multipler Analogien für die Veranschaulichung von Strom und Spannung hinsichtlich des Lernerfolgs, der Entwicklung des Modellverständnisses sowie motivationaler und kognitiver Faktoren gleichermaßen geeignet erweist. Zudem wird mittels einer zusätzlich konzipierten modellfreien Unterrichtsvariante geprüft, ob sich die den Analogiemodellen zugeschriebenen Vorteile im Vergleich mit einem Potenzialansatz, der einen „Umweg“ über einen Analogbereich meidet, zeigen. In Verbindung mit den drei Untersuchungsbedingungen werden u. a. die folgenden Forschungsfragen untersucht:

F1: Zeigen sich Unterschiede im Verständnis von Potenzial und Spannung?

F2: Gibt es Lernende, die besonders von der Verwendung eines spezifischen Analogiemodells profitieren?

F3: Unterscheiden sich die Gruppen nach dem Unterricht hinsichtlich des Modellverständnisses?

5. Anlage der Studie

Zur Untersuchung der Forschungsfragen wurde eine quasi-experimentelle Feldstudie mit drei Bedingungen durchgeführt: Unterricht zu Potenzial und Spannung (a) mit Fahrradkettenmodell (FKM), (b) mit Höhenmodell (HM) und (c) ohne Analogiemodell (oM). Die Intervention wird durch einen parallelisierten Vor- und Folgeunterricht gerahmt. Der Ablauf der Studie mitsamt der Erhebungszeitpunkte sowie ausgewählter Erhebungsinstrumente ist in Abb. 1 dargestellt.

5.1. Stichprobe

Die Studie wurde an acht niedersächsischen Gymnasien im Schuljahr 2021/22 durchgeführt. Die Teilnahme an der Studie erfolgte seitens der Lehrkräfte auf freiwilliger Basis. Die effektive Stichprobe (SchülerInnen, die an allen Erhebungen teilgenommen haben) umfasst $N=373$ SchülerInnen der Jahrgangsstufen 8 und 9, die in 21 Klassen von 15 Lehrkräften unterrichtet wurden. Die Lehrkräfte wurden den Bedingungen randomisiert zugeteilt unter der Restriktion, dass Lehrkräfte mit mehreren Lerngruppen jeweils verschiedene Bedingungen unterrichten.

5.2. Ablauf der Studie

Die Lerngruppen wurden im Rahmen des gesamten Elektrizitätslehreunterrichts von den Lehrkräften nach vorgegebenen Verlaufsplänen, Materialien und Experimenten unterrichtet, mit denen die Vorgaben des niedersächsischen Kerncurriculums vollumfassend erfüllt werden. Die Materialien sind abrufbar unter www.physikdidaktik.uos.de/elehre_studie2022.

Der in den drei Bedingungen parallelisiert durchgeführte Vorunterricht basiert auf dem Unterrichtsvorschlag von Kahnt (2022), in dem das Fahrradkettenmodell u. a. zur Verringerung von Stromverbrauchsvorstellungen, zur Etablierung eines Antrieb-Strom-Widerstandskonzeptes sowie zur Veranschaulichung des Zusammenhangs der Größen U , P und I eingesetzt wird. In einem zeitlichen Umfang von etwa 20 Unterrichtsstunden wurden dazu die Abschnitte 1 – 6 des Unterrichtskonzepts unterrichtet. Im Anschluss erfolgte eine Erhebung des konzeptbezogenen Vorwissens und Modellverständnisses der SchülerInnen.

Darauffolgend wurde im Umfang von 9 bis 11 Unterrichtsstunden je nach zugeteilter Bedingung der Unterricht zu Potenzial und Spannung mit bzw. ohne Analogiemodell durchgeführt, der sich inhaltlich in vier Abschnitte gliedern lässt: (1) Zunächst wird das elektrische Potenzial in allen drei Bedingungen als neue Größe modellfrei anhand eines Erklärfilms eingeführt und mit der elektrischen Spannung in Beziehung gesetzt. Je nach Bedingung erfolgt daraufhin eine Veranschaulichung von Potenzial und Spannung durch das jeweilige Analogiemodell. (2) In der darauffolgenden Stunde wird das Prinzip der Spannungsmessung geklärt. Ein wesentliches Unterrichtselement ist die Einführung von Potenzial- bzw. Farbmarkierungsregeln, mittels derer im weiteren Unterrichtsverlauf Schaltungen analysiert werden. Sowohl eine einfache Schaltung bestehend aus Batterie, Leitungen und Lampe sowie die erweiterte Schaltung mit offenem Schalter werden durch die Analogiemodelle veranschaulicht und daran Potenzialwerte vorhergesagt und experimentell geprüft. (3) Im dritten Abschnitt wird mittels des Vergleichs von Reihen- und Parallelschaltung das „Zwischenpotential“, das zwischen zwei in Reihe geschalteten Widerständen auftritt, eingeführt. Zur Ermittlung des Werts vom Zwischenpotential wird ein deduktives Vorgehen verfolgt, bei dem zunächst eine Reihenschaltung mit zwei verschiedenen Widerständen betrachtet und deren Potenzialverteilung entlang des Stromkreises mithilfe eines Instruktionstextes erarbeitet wird. Anschließend analysieren die SchülerInnen Reihenschaltungen und prüfen ihre Vorhersagen erneut experimentell. (4) Zuletzt wird die Parallelschaltung thematisiert, die zunächst mithilfe der Potenzialregeln hinsichtlich der Spannungswerte an den Widerständen untersucht wird. Daraus kann abschließend unter Rückgriff auf das Antrieb-Strom-Widerstandskonzept auch die Knotenregel begründet werden.

Zur Erfassung des Verständnisses von Potenzial und Spannung wird direkt und verzögert nach dem Unterricht ein gleicher Nachtest eingesetzt. Um sicherzustellen, dass Effekte verzögert nach dem Unterricht auf die Intervention zurückgeführt werden können, wurde der Folgeunterricht zur Elektrizitätslehre, der im Umfang von insgesamt vier Unterrichtsstunden

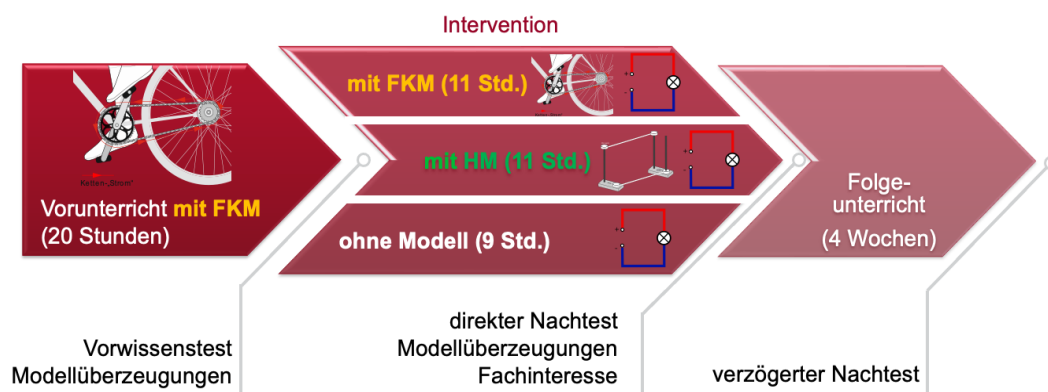


Abb. 1: Ablauf und Design der Studie mitsamt den Erhebungszeitpunkten sowie ausgewählten Erhebungsinstrumenten. Weitere erhobene Kontrollvariablen werden hier aus Gründen der Übersichtlichkeit ausgelassen.

die quantitative Widerstandsdefinition und deren Abgrenzung vom Ohm'schen Gesetz umfasst, ebenfalls parallelisiert durchgeführt.

Die weiteren Physikstunden vor dem verzögerten Nachtest wurden im schulspezifisch festgelegten nachfolgenden Themenbereich unterrichtet.

5.3. Erhebungsinstrumente

Zur Erfassung des konzeptbezogenen Vorwissens der SchülerInnen nach dem Vorunterricht wurde ein Vortest mit 16 Aufgaben entwickelt, der sich sowohl auf den Analog- wie auch den Zielbereich bezieht. In den Auswertungen der Forschungsfrage F1 wird die Vortestleistung als Kovariate herangezogen.

Direkt und verzögert nach der Intervention soll geprüft werden, inwieweit die SchülerInnen Potenzial- und Spannungswerte in verschiedenen Schaltungen korrekt vorhersagen und Aussagen zum elektrischen Strom treffen können. Dazu wurde ein Nachtest entwickelt, in dem u. a. für sieben verschiedene Schaltungen die Potenzial- und Spannungswerte angegeben werden sollen. Exemplarisch sind die Aufgabenteile 3a) und 3b) in Abb. 2 dargestellt.

Aufgabe 3
Zwei Lampen sind wie in der Schaltung rechts zu sehen an eine Energiequelle angeschlossen. Die Lampen sind baugleich. Es werden die Messpunkte 1 bis 4 betrachtet.

a) Das Potenzial am Minuspol hat den Wert 0 V. Gib jeweils den Potenzialwert für die folgenden Punkte an:

Punkt 1	Punkt 2	Punkt 3	Punkt 4
___ V	___ V	___ V	___ V

b) Gib die Spannungswerte zwischen den folgenden Punkten an:

Punkte 1 und 2	Punkte 2 und 3	Punkte 3 und 4	Punkte 1 und 4
___ V	___ V	___ V	___ V

Abb. 2: Teilaufgaben 3a) und b) des Nachtests.

Zur Erfassung des Modellverständnisses der SchülerInnen wurde eine Skala mit N=16 Items entwickelt, die an dem Charakter von Analogiemodellen orientiert ist und vier Subskalen aufweist:

- Aussehen von Analogiemodellen (n=4)
z.B.: „Ein Modell kann auch nützlich sein, wenn es anders aussieht als der Stromkreis.“
- Multiple Analogiemodelle (n=4)
z.B.: „Oft lassen sich verschiedene Regeln in einem Stromkreis auch mit unterschiedlichen Modellen besonders gut darstellen.“
- Nutzen von Analogiemodellen (n=4)
z.B.: „Modelle können verwendet werden, um Vermutungen über Stromkreise aufzustellen.“
- Grenzen von Analogiemodellen (n=4)
z.B.: „Veranschaulicht ein Modell nicht alle Regeln eines Stromkreises, dann ist es unbrauchbar.“

5.4. Auswertung der Daten

Zur Auswertung der quantitativen Daten wurden mehrebenen-analytische Verfahren mit der Software

SPSS Statistics, Version 28, durchgeführt. Zur Einschätzung der Effektgröße wird das Cohen's d herangezogen.

6. Ergebnisse

6.1 Verständnis von Potenzial und Spannung

Zur Auswertung der Forschungsfrage F1 wurden geschachtelte Kovarianzanalysen mit dem Zufallsfaktor „Klasse“ und der Kovariate „Vorwissenstest“ für den direkten und verzögerten Nachtest durchgeführt.

Während sich unmittelbar nach dem Unterricht im paarweisen Vergleich mittels post-hoc-Test nach Bonferroni-Korrektur keine statistisch signifikanten Unterschiede ($p > .05$) zwischen den drei Gruppen zeigen, ist die Gruppe „Höhenmodell“ den weiteren Gruppen im verzögerten Potenzialtest mit kleinem Effekt signifikant unterlegen und die Gruppe „Fahrradkettenmodell“ im verzögerten Spannungstest mit kleinem Effekt gegenüber den weiteren Gruppen statistisch überlegen (Abb. 3 und Tab. 1).

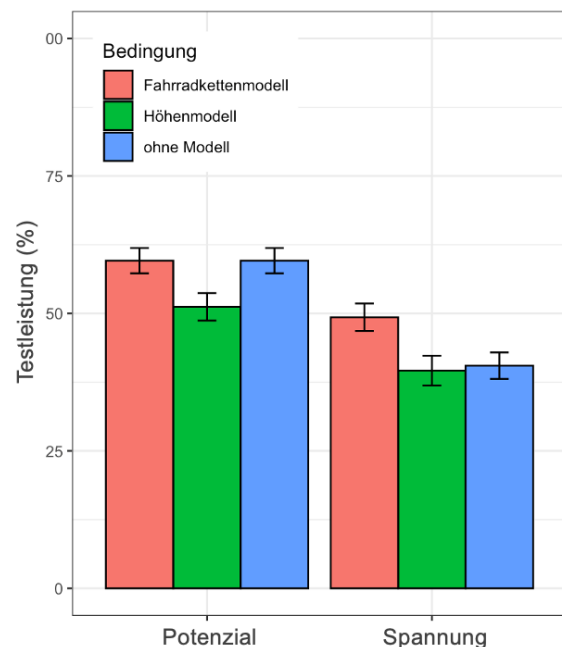


Abb. 3: Mittlere prozentuale Leistung (und Standardfehler) im Potenzial- bzw. Spannungstest in Abhängigkeit der Bedingung im verzögerten Nachtest.

Tab. 1: Effektgrößen signifikanter Ergebnisse im Post-Hoc-Test für den Erhebungszeitpunkt „verzögert nach Intervention“. Als Signifikanzniveau wurde $\alpha = .05$ festgelegt.

	FKM vs. HM	FKM vs. oM	HM vs. oM
Potenzial	d=0.33	n. s.	d=0.32
Spannung	d=0.33	d=0.30	n. s.

Dies deutet darauf hin, dass der Unterricht mit Fahrradkettenmodell gegenüber dem Unterricht mit Höhenmodell sowie ohne Modell hinsichtlich des Verständnisses des Spannungsbegriffs lernwirksamer ist. Unter Berücksichtigung des Nachteils vom Höhenmodell hinsichtlich des Potenzials und dem Vorteil des Fahrradkettenmodells hinsichtlich der Spannung,

liegt die Vermutung nahe, dass die Analogiemodelle das Verständnis des Zusammenhangs zwischen Potenzial und Spannung gleichermaßen unterstützen könnten. Zur statistischen Prüfung dieser Vermutung wird die Differenz der Leistungen in den Subtests „Potenzial“ und „Spannung“ gebildet (Abb. 4). Eine höhere Differenz wird in diesem Zusammenhang so gedeutet, dass der Übergang von der Potenzial- zur Spannungsvorhersage seltener gelingt.

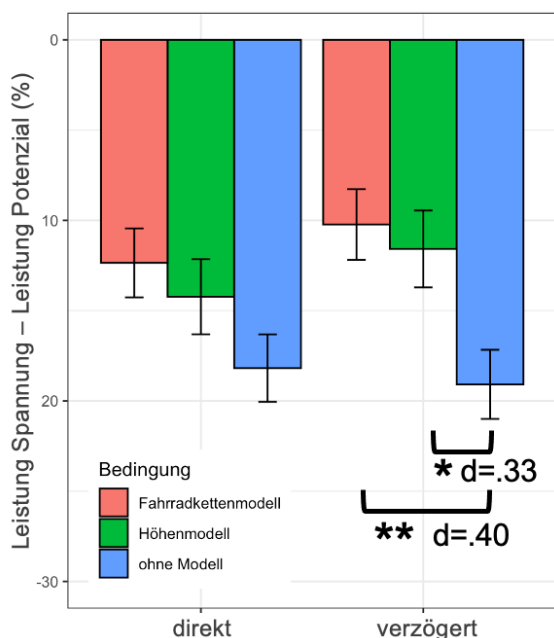


Abb. 4: Mittlere prozentuale Ausprägung der Differenzvariable „Spannung-Potenzial“ zur Prüfung des Verständnisses hinsichtlich des Zusammenhangs von Potenzial und Spannung in Abhängigkeit der Bedingung für den direkten und verzögerten Nachtest. Dargestellt ist ein vergrößerter Ausschnitt des Bereichs von 0% bis 30%.

Hier zeigt sich im verzögerten Nachtest ein signifikanter Unterschied der modellfreien Bedingung gegenüber den weiteren Bedingungen. Daraus kann gefolgert werden, dass das Verständnis der Spannung als Potentialdifferenz durch die Analogiemodelle besser unterstützt wird. Dabei zeigt sich im paarweisen Vergleich jeweils ein kleiner signifikanter Effekt ($d=0.33$ bzw. $d=0.40$).

6.2 Einfluss des Fachinteresses auf die Lernwirksamkeit des Höhenmodells

Zur Untersuchung der Forschungsfrage F2 wurden die SchülerInnen zunächst hinsichtlich der als Moderatoren vermuteten Konstrukte (darunter das Fachinteresse) mittels Mediansplit geteilt und deren Leistungen im Nachtest einem deskriptiven Vergleich unterzogen. Dabei zeigt sich bei dem Vergleich der gering und hoch Interessierten ein differenzielles Bild (Abb. 5). So profitieren hoch Interessierte tendenziell von den Analogiemodellen, während gering Interessierte im Mittel tendenziell geringere Leistungen als im modellfreien Unterricht erzielen.

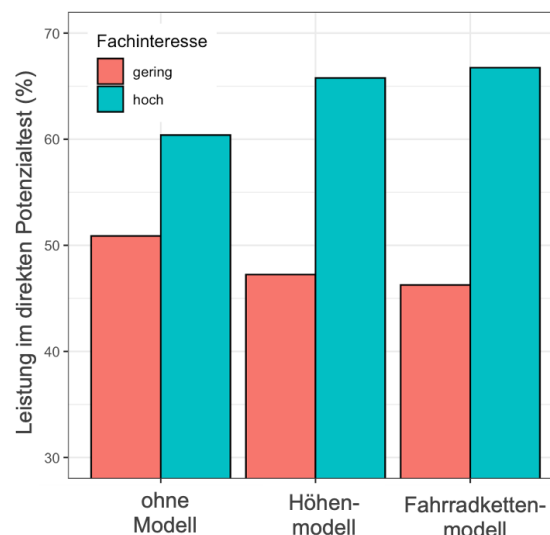


Abb. 5: Mittlere prozentuale Leistung im direkten Potenzialtest in Abhängigkeit der Bedingung sowie des dichotomisierten Fachinteresses der SchülerInnen. Dargestellt ist ein vergrößerter Ausschnitt des Bereichs von 30% bis 70%.

Dies weist auf eine Interaktion zwischen der Bedingung und dem Fachinteresse hin, die mittels einer Mehrebenen-Regressionsanalyse auf statistische Signifikanz geprüft wird. Dabei zeigt sich eine marginal signifikante Interaktion zwischen den Gruppen „Höhenmodell“ und „ohne Modell“ mit kleinem Effekt ($p=.07$, $d=0.37$). Eine damit verbundene Deutung ist, dass die Schere zwischen hoch und gering Interessierten durch die Nutzung des Höhenmodells aufgeht.

6.3 Entwicklung des Modellverständnisses

Die Entwicklung des Modellverständnisses in Abhängigkeit der Bedingungen ist in Abb. 6 dargestellt.

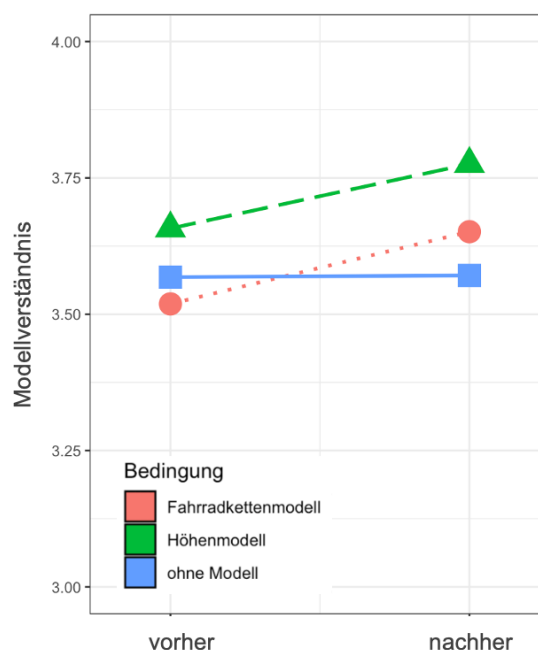


Abb. 6: Verlauf des Modellverständnisses zwischen den Erhebungszeitpunkten vor und direkt nach Intervention. Dargestellt ist ein vergrößerter Ausschnitt der Skala von 3 bis 4. Die Ursprungsskala beginnt bei 1 und endet bei 5.

Demnach gibt es tendenziell einen geringen Zuwachs in den modellbasierten Gruppen, wohingegen in der modellfreien Gruppe erwartungskonform keine Änderung des Modellverständnisses zu beobachten ist. Im Rahmen der Kovarianzanalyse kann bestätigt werden, dass die Bedingungen „Fahrradkettenmodell“ und „Höhenmodell“ gegenüber der Bedingung „ohne Modell“ nach dem Unterricht unter Kontrolle der Modellüberzeugungen vor dem Unterricht mit kleinem Effekt ($d_{FKM,OM}=0.30$ bzw. $d_{HM,OM}=0.36$) signifikant überlegen sind. Zudem ist die Interaktion Bedingung*Zeit bei Festlegung der modellfrei unterrichteten SchülerInnen als Referenzgruppe im entsprechenden Mehrebenenmodell ebenfalls signifikant. Daraus kann hinsichtlich der Forschungsfrage F3 gedeutet werden, dass der modellbasierte Unterricht das Lernen über Analogiemodelle auch ohne expliziten Unterricht über Modelle unterstützt.

7. Diskussion

Die Ergebnisse der Studie legen nahe, dass eine durchgängige Verwendung des Fahrradkettenmodells (Kahnt, 2022) weder hinsichtlich der Leistung, noch hinsichtlich des Modellverständnisses dem multiplen Analogieansatz (Burde & Wilhelm, 2017) unterlegen ist. Es zeigt sich darüber hinaus verzögert nach dem Unterricht ein Vorteil des Fahrradkettenmodells hinsichtlich der Spannung. Dass sich die erwarteten, spezifischen Vorteile des Höhenmodells in Bezug auf Potenzial und Spannung in den Ergebnissen der Studie nicht zeigen, lässt verschiedene Vermutungen zu: So könnten einerseits die mit dem Modellwechsel verbundenen Anforderungen für die SchülerInnen zu schwierig sein (Duit & Glynn, 1995), andererseits auch im Stäbchenmodell erforderliche Abstraktion insbesondere für jüngere SchülerInnen zu anspruchsvoll sein (Kircher, 1984). Unter der Annahme, dass ein elaborierteres Modellverständnis zu dem Verstehen und Erlernen von Physik beiträgt (Leisner-Bodenthin, 2006), stellt sich die Frage, inwieweit die Lernwirksamkeit der beiden Modellansätze durch einen expliziten Unterricht über die Natur und den Nutzen von Analogiemodellen gesteigert werden kann.

8. Literatur

- Burde, J.-P.; Wilhelm, T. (2017): Modelle in der Elektrizitätslehre. Ein didaktischer Vergleich verbreiteter Stromkreismodelle. In: *Naturwissenschaften im Unterricht. Physik* 28 (157), S. 8-13.
- 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.
<http://doi.org/10.30819/4726>
- Burde, J.-P.; Wilhelm, T.; Weatherby, T. S.; Schubatzky, T.; Haagen-Schützenhöfer, C.; Hopf, M.; Ivanjek, L.; Dopatka, L.; Spatz, V. (2022): Mehr Spannung beim Thema Stromkreise! In: *plusLucis* 2 (2022), S. 22-26.
- Cohen, R.; Eylon, B.; Ganiel, M. (1983): Potential difference and current in simple electric circuits: A study of students' concepts. In: *American Journal of Physics* 51 (5), S. 407-412.
- Duit, R.; Glynn, S. (1995): Analogien - Brücken zum Verständnis. In: *Naturwissenschaften im Unterricht. Physik* 27 (6), S. 4-10.
- Gleixner, C. (1998): Einleuchtende Elektrizitätslehre mit Potenzial. Dissertation. LMU München.
- Herrmann, F.; Schmälzle, P. (1984): Das elektrische Potential im Unterricht der Sekundarstufe I. In: *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht* 37 (8), S. 476-482.
- Kahnt, M. (2022): Die Fahrradkette als durchgängige Vorstellungshilfe im Elektrizitätslehreunterricht der Sekundarstufe I. In: *plusLucis* 2 (2022), S. 14-21.
- Kircher, E. (1984): Analogmodelle für den elektrischen Stromkreis. In: *Der Physikunterricht* 18 (2), S. 46-61.
- Kircher, E. (1989): Analogien im Physikunterricht. In W. Schneider (Hrsg.), *Wege in der Physikdidaktik*. Erlangen: Palm und Enke, S. 47-57.
- Kircher, E.; Hauser, W. (1995): Analogien zum Spannungsbegriff in der Hauptschule. In: *Naturwissenschaften im Unterricht Physik* 27 (3), S. 18-22.
- Kircher, E. (2015): Modellbegriff und Modellbildung in der Physikdidaktik. In Kircher, E.; Girwidz, R.; Häußler, P. (Hrsg.), *Physikdidaktik. Theorie und Praxis*. 3. Auflage, S. 783-808.
- Koller, D.; Waltner, C.; Wiesner, H. (2008): Zur Einführung von Stromstärke und Spannung. In: *Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule* 57 (6), S. 6-18.
- Leisner-Bodenthin, A. (2006): Zur Entwicklung von Modellkompetenz im Physikunterricht. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 12, S. 91-109.
- Maichle, U. (1982): Schülervorstellungen zu Stromstärke und Spannung. In: *Naturwissenschaften im Unterricht Physik/Chemie* 30 (11), S. 383-387.
- Rhöneck, Chr. v. (1985): The Introduction of Voltage as an Independent Variable – the Importance of Preconceptions, Cognitive Conflict and Operating Rules. In Duit, R.; Jung, W.; Rhöneck, Chr. v. (Hrsg.), *Aspects of Understanding Electricity. Proceedings of an International Workshop*. IPN, Kiel. S. 275-286.
- Rhöneck, Chr. v. (1986): Vorstellungen vom elektrischen Stromkreis und zu den Begriffen Strom, Spannung und Widerstand. In: *Naturwissenschaften im Unterricht. Physik/Chemie* 34 (13), S. 10-14.
- Schubatzky, T.; Haagen-Schützenhöfer, C.; Burde, J.-P.; Dopatka, L.; Hopf, M.; Ivanjek, L.; Spatz, V.; Wilhelm, T. (2022): Die Unterschiedlichkeit des Elektrizitätslehreunterrichts in der Sekundarstufe I. In: *plusLucis* 2 (2022), S. 4-7.

- Schumacher, M.; Wiesner, H. (1997). Erprobung des Potentialansatzes in der Elektrizitätslehre in Form einer Akzeptanzbefragungssequenz. In: Vorträge Physikertagung, DPG-Tagung 1996, S.573-578
- Schwedes, H.; Dudeck, W.-G. (1993): Lernen mit der Wasseranalogie. Eine Einführung in die elementare Elektrizitätslehre. In: Naturwissenschaften im Unterricht Physik 4 (16), S. 16-23.
- Shipstone, D. M. (1984): A study of children's understanding of electricity in simple D. C. Circuits. In: European Journal of Science Education 6 (2), S. 185-198.
- Steinberg, M. S.; Wainwright, C. L. (1993): Using Models to Teach Electricity - The CASTLE Project. In: The Physics Teacher 31 (6), S. 353-357.
- Urban-Woldron, H.; Hopf, M. (2012): Entwicklung eines Testinstruments zum Verständnis der Elektrizitätslehre. In: Zeitschrift für die Didaktik der Naturwissenschaften 18, S. 201-227.
- Wilhelm, T.; Hopf, M. (2018): Schülervorstellungen zum elektrischen Stromkreis. In: Schecker, H.; Wilhelm, T.; Hopf, M.; Duit, R. (Hrsg.) (2018), Schülervorstellungen und Physikunterricht. Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis. Springer Verlag. S. 115-138.

Mach dein Gehirn fit für Physik – eine digitale Lerneinheit zur Förderung des Growth Mindset –

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

Während Schüler*innen mit einem Fixed Mindset in herausfordernden Lernsituationen schnell aufgeben, lassen sich jene mit einem Growth Mindset nicht so schnell abschrecken, ganz unabhängig vom jeweiligen Könnens- und Wissensstand der Schüler*innen. Zu Beginn des Physikunterrichts in der 7. Jahrgangsstufe haben die meisten ein physikbezogenes Growth Mindset, doch dieser Anteil sinkt schon im ersten Lernjahr stark ab, während die Überzeugung einer notwendigen Physik-Begabung (Fixed Mindset) von mehr und mehr Schüler*innen vertreten wird.

Um dieser Entwicklung entgegenzuwirken und das Growth Mindset in Physik zu stärken, wurde eine Lerneinheit entwickelt, die curriculumsunabhängig eingesetzt werden kann. Auf Basis der Neuroplastizität wird das Lernen erklärt. „Mach dein Gehirn fit für Physik“ ist ein digitales Angebot für Schüler*innen der Sekundarstufe I, das die Elemente der bewährten Mindset-Interventionen (z. B. von Yeager et al. 2019) mit einem Physik-Thema verknüpft, um fachspezifisch das Growth Mindset zu vermitteln.

1. Fixed und Growth Mindset

In der Mindset-Theorie nach Dweck werden die impliziten Überzeugungen zur Intelligenz auf einem Kontinuum zwischen Fixed und Growth Mindset eingeteilt. Mithilfe von Aussagen, wie „Intelligenz ist eine Grundeigenschaft, die sich nicht wirklich verändern lässt“ (Dweck, 2000), wird eine Zuordnung vorgenommen. Wer solchen Aussagen (eher) zustimmt, wird tendenziell dem Fixed Mindset zugeordnet, das auf der Überzeugung gründet, dass Intelligenz eine festgelegte Eigenschaft ist. Das Growth Mindset basiert demgegenüber auf der Überzeugung, dass Intelligenz zu jedem Zeitpunkt entwickelbar ist und somit auch Wissen und Fertigkeiten stets ein Stück weiter ausgebaut werden können (Dweck, 2000). Das Mindset von Schüler*innen sagt zunächst nichts über deren Leistungsniveau aus und es gibt überaus erfolgreiche Absolvent*innen mit ausgeprägtem Fixed Mindset. Doch für die Mehrheit der Schüler*innen kommt im Verlauf der Schullaufbahn mindestens in einem Schulfach ein Moment des Strauchelns, an dem die bisherigen Strategien nicht zum gewünschten Erfolg führen oder generell das Anforderungsniveau zu hoch erscheint. In diesen herausfordernden Momenten ist die implizite Überzeugung wichtig: für Schüler*innen mit Fixed Mindset sind diese „Stolpersteine“ ein Anzeichen von mangelnder Begabung und sie tendieren schnell zum Aufgeben, indem sie z. B. das Schulfach abwählen. Schüler*innen mit einem Growth Mindset nehmen solche Herausforderungen eher als Lerngelegenheiten wahr, suchen neue Strategien, strengen sich mehr an und versuchen ihre indi-

viduellen Kompetenzen auszubauen (Dweck & Yeager, 2019). Ein Growth Mindset als entwicklungsorientierte (Lern-)Überzeugung ist demzufolge mit lernförderlichen Strategien und Handlungsmustern verknüpft und gilt daher insbesondere im akademischen Kontext als unterstützenswert (vergleiche z. B. Molden & Dweck, 2006; Mueller & Dweck, 1998).

2. Physikbezogenes Mindset bei Schüler*innen

Obwohl in den meisten Studien zum Mindset bei Lernenden die allgemeinen Überzeugungen zur Intelligenz (Dweck, 2000) abgefragt werden, gibt es Hinweise darauf, dass das Mindset hierarchisch und domänenspezifisch ausgeprägt ist (Hong et al., 1999; Yeager et al., 2013). Um das Mindset bereichsspezifisch abzufragen, wird die allgemeine Intelligenz-Skala (Beispiel-Item: „Intelligenz ist eine Grundeigenschaft, die sich nicht wirklich verändern lässt“ (Dweck, 2000)) häufig minimal abgewandelt und statt nach Intelligenz wird beispielsweise nach „math intelligence“ (Intelligenz in Mathematik) oder „math ability“ (Mathematik-Fähigkeiten) z. B. (Shively & Ryan, 2013) gefragt (vgl. Sisk et al. (2018) für einen Überblick). Um das physikbezogene Mindset von Schüler*innen besser zu verstehen, wurde auf der Basis von Interviewstudien (Spatz & Goldhorn, 2021) ein fachspezifischer Mindset-Fragebogen entwickelt (Goldhorn et al., 2022a). Dieser beinhaltet zwar auch die Skala der impliziten Überzeugungen zur allgemeinen Intelligenz, kombiniert diese jedoch mit zwei fachspezifischen, aus den Interviews extrahierten und in einer Studie mit N = 256 Schüler*innen validierten

Skalen zur „Physikbegabung“ und dem Einfluss von „Anstrengung in Physik“ (Goldhorn et al., 2020).

Aus Erhebungen mit diesem Physik-Mindset-Fragebogen resultieren erste Erkenntnisse über die Verteilung und Veränderung des physikbezogenen Mindsets bei Schüler*innen, hier am Beispiel von N = 900 Gymnasialschüler*innen. Zu Beginn des Physikunterrichts in der 7. Jahrgangsstufe ist das physikbezogene Growth Mindset dominierend vertreten und nur wenige Schüler*innen (5,5 % der Mädchen und 2,6 % Prozent der Jungen) sind von einer speziellen Physik-Begabung überzeugt, haben also ein physikbezogenes Fixed Mindset (Goldhorn et al., 2022a). Nach nur einem Lernjahr, also in der 8. Jahrgangsstufe, hat sich die relative Zahl der Schüler*innen mit diesem physikbezogenen Fixed Mindset verdreifacht (16,8 % der Mädchen und 9,1 % der Jungen) und der Anteil der Schüler*innen mit einem Growth Mindset reduziert sich von 69,1 % auf 43,5 %. Es ist davon auszugehen, dass es sich hierbei nicht um ein rein altersbezogenes Phänomen handelt, sondern diese Entwicklung tatsächlich auf den Einfluss des Physikunterrichts zurückzuführen ist. Diese Annahme wird dadurch bestärkt, dass Schüler*innen den Mindset-Fragebogen nach einem Jahr Lernen unter Pandemiebedingungen in einer weiteren Studie (Goldhorn et al., 2022b) erneut ausfüllten und sich in diese Stichprobe eine Verzögerung der Mindset-Entwicklung um ein Schuljahr zeigte, d. h. der deutliche Anstieg des physikbezogenen Fixed Mindsets ist zwischen den Jahrgangsstufen 8 und 9 beobachtbar. Im Home-Learning und bei viel Unterrichtsausfall ist die Veränderung des physikbezogenen Mindsets also nicht so deutlich beobachtbar wie beim Präsenzlernen.

3. Growth Mindset Interventionen

Um das Growth Mindset zu fördern, liegt ein Schwerpunkt der Mindset-Forschung in der Entwicklung und Optimierung von wirkungsvollen Growth Mindset-Interventionen. Dabei geht es darum, den Teilnehmer*innen die grundlegende Entwicklungsüberzeugung möglichst glaubwürdig und nachvollziehbar zu vermitteln. Denn während es natürlich eine genetische Komponente in der Ausprägung von Gehirnstrukturen gibt und damit die Idee von Begabung im Sinne unterschiedlicher Ausgangssituationen und „leichterem Lernen“ nicht falsch ist (Skeide et al., 2020), ist auch die Neuroplastizität unumstritten. Neuroplastizität beschreibt die Veränderbarkeit des Gehirns, genauer gesagt die Möglichkeit der Ausprägung und Veränderbarkeit neuronaler Netze, die durch neue und stärkere Verknüpfung der einzelnen Nervenzellen entstehen. Beim Lernen werden neue Verknüpfungen zwischen Neuronen gebildet und durch wiederholtes Trainieren gleicher Inhalte werden diese Verknüpfungen stärker und die neuronalen Prozesse beim Abrufen einer Information können schneller ablaufen (Jäncke, 2014). Während also die

Ausgangssituation und damit auch das Ausbauen bestimmter neuronaler Netze durch genetische Komponenten unterschiedlich sein kann, ist gleichzeitig zu jedem Zeitpunkt die Möglichkeit der Entwicklung gegeben. Und genau das ist die zentrale Growth Mindset-Botschaft, die in Interventionen vermittelt wird.

Generell gibt es bislang keine einheitliche Form der Mindset-Interventionen, doch Elemente, die in allen erfolgreichen Interventions-Studien enthalten sein sollten, werden von Burnette et al. (2022) und Yeager et al. (2016) zusammengefasst. Growth Mindset-Interventionen sollten

- neurowissenschaftliche Informationen enthalten,
- mit glaubwürdigen Quellen arbeiten,
- wissenschaftliche Belege für die Entwicklungsmöglichkeit aufzeigen,
- die Teilnehmenden respektvoll behandeln,
- soziale Normen der Zielgruppe einhalten,
- Schuldzuweisungen vermeiden,
- für die Gruppe der Teilnehmenden relevant sein und
- eine leicht zu merkende Metapher verwenden, damit die Teilnehmer*innen die Botschaft gut verinnerlichen können.

Die Growth-Mindset-Intervention von Blackwell et al. (2007) erfüllt diese Kriterien und nutzt einen seitdem in zahlreichen Mindset-Interventionen verwendeten Baustein, um mehrere der oben genannten Punkte zu verbinden. Das zentrale Element der Intervention ist ein Text mit dem Titel „You Can Grow Your Intelligence“, der sowohl die Neuroplastizität grundlegend erklärt, als auch ein gut merkbares Bild daraus formt und das Gehirn mit einem Muskel vergleicht, der trainiert werden kann (Blackwell et al., 2007).

Ein weiteres Element am Ende von vielen Mindset-Interventionen ist die Aufforderung an die Teilnehmer*innen, mit ihrem jetzigen Wissen über Intelligenz und das Gehirn jüngeren Schüler*innen bzw. Studierenden (je nach Zielgruppe) Tipps zu geben. Dahinter steckt die Aufgabe, die Kernbotschaft der Intervention in eigenen Worten zu formulieren und somit die eigene Überzeugung zu stärken (Aronson et al., 2002).

Während es inhaltlich zumindest einige Elemente gibt, die wichtig und erfolgsversprechend für die Intervention sind, gibt es eine große Variation an Arten der Vermittlung und auch der Länge der Intervention. Die bereits erwähnte Studie von Blackwell et al. (2007) beschreibt eine Intervention mit insgesamt acht Lerneinheiten, die von speziell geschulten Trainingsleiter*innen durchgeführt wurde. Seit 2015 wird in der Forscher*innengruppe rund um Yeager und Dweck vor allem an der Skalierbarkeit und Kostenminimierung der Mindset-Interventionen gearbeitet (Dweck & Yeager, 2019; Paunesku et al., 2015). Ihre

„National Study of Learning Mindsets“ (Yeager et al., 2019) enthält eine 25-minütige, am Computer durchgeführte Intervention. Es gibt jedoch auch zahlreiche Interventionen, die von geschulten (Fach-)Lehrkräften selbst im Unterricht durchgeführt werden und auch einzelne deutschsprachige Adaptionen (Zeeb et al., 2020). Insgesamt gibt es zwar Hinweise darauf, dass ausgebildete Trainingsleiter*innen und mehrere Einheiten größere Effekte bedeuten, doch belastbare Ergebnisse dazu aus Meta-Analysen gibt es noch nicht, da die Variation zu groß ist (Burnette et al., 2022).

4. „Mach dein Gehirn fit für Physik“ – konkrete Umsetzung einer Growth Mindset Intervention

Im aktuellen Forschungsvorhaben zum Mindset bei Schüler*innen in Physik wurde, angelehnt an die Growth Mindset-Intervention von Yeager und Kolleg*innen, eine physikbezogene Intervention für die Sekundarstufe I entwickelt (Goldhorn et al., 2021). Ziel der Lerneinheit ist es, das fachbezogene Growth Mindset der Schüler*innen zu stärken und zu versuchen, die Entwicklung des abnehmenden Growth Mindset und stärker vertretenen Fixed Mindset (Physikbegabung) abzuschwächen. Die Inhalte der Intervention wurden zunächst als Lernbuch, also in einer Papierversion, entwickelt und getestet. Um die Lerneinheit flexibler zugänglich zu machen, wurden die Inhalte anschließend in einen Online-Kurs übertragen.

4.1. Inhalte der physikbezogenen Growth Mindset-Intervention

Die digitale Lerneinheit mit dem Titel „Mach dein Gehirn fit für Physik“ besteht aus vier Abschnitten. Im ersten Teil werden Informationen zum Gehirn gegeben (z. B. die Anzahl der Nervenzellen) und die deutsche Adaption des Textes „You Can Grow Your Intelligence“ bearbeitet. Die deutsche Fassung (von Zeeb et al., 2020) trägt den Titel „Neuere Forschungen zeigen: Das Gehirn kann wie ein Muskel trainiert werden“. Im Text wird das Phänomen der Neuroplastizität erklärt und dann schüler*innengerecht am Beispiel verschiedener „Gehirn-Muskeln“ für die unterschiedlichen Schulfächer veranschaulicht. Ein Auszug aus der Übersetzung von „You Can Grow Your Intelligence“ von Zeeb et al. (2020) ist der folgende: „Je mehr ein Bereich trainiert wird, desto leichter fällt es, in diesem Bereich Neues zu lernen. Schließlich sind die ‚Gehirn-Muskeln‘ ja gewachsen! Dadurch beginnen sie sich zu unterscheiden: Anne zum Beispiel ist geübt in der Fremdsprache Englisch, Sophie findet Kopfrechnen leicht. Anne fällt Kopfrechnen schwer – sie könnte darin allerdings genauso gut wie Sophie sein, hätte sie ihre ‚Kopfrechnen-Muskeln‘ im Gehirn genauso trainiert wie Sophie. Ihre ‚Englisch-Muskeln‘ hat sie ja schließlich auch schon erfolgreich trainiert.“ Anschließend wird die Neuroplastizität, konkret das Knüpfen neuer Verbindungen zwischen Nervenzellen, noch einmal anhand einer Visualisierung und Informationstexten vertieft.

Im zweiten Teil wird ein Experiment von Rosenzweig und Bennett vorgestellt und ausgewertet, bei dem das Wachstum von Gehirnen durch Lernen und Herausforderungen bei Ratten erforscht wurde (Rosenzweig et al., 1962). Zusätzlich wird eine Lernstrategie, die sogenannte BRAIN-Methode (nach Brainology® von MindsetWorks (2002-2014)) vorgestellt. BRAIN ist hier ein Akronym für Brainstorming, Recherche, Aktiv lernen, Immer wieder wiederholen und Nicht aufgeben, also eine Art Anleitung zum Lernen.

Im dritten Teil wird die BRAIN-Strategie auf ein Physik-Thema angewendet. Die Schüler*innen sehen ein Video zum Experiment „Kerzenaufzug“: ein brennendes Teelicht steht in einer flachen Schale mit etwas Wasser. Dann wird ein Glas über das brennende Teelicht gestülpt. Nach kurzer Zeit erlischt das Teelicht und der Wasserspiegel steigt im Glas an. Anhand des Experiments durchlaufen die Schüler*innen angeleitet die Schritte der BRAIN-Methode und können durch die in der Lerneinheit bereitgestellten Informationen Schritt für Schritt zur fachlich korrekten Erklärung des Experiments gelangen.

Im vierten und letzten Teil der Lerneinheit werden die Inhalte zusammengefasst und es gibt einen kurzen Reflexionsteil sowie eine Übung zum Saying-Is-Believing-Effekt: die Schüler*innen sollen einen Tipp oder Rat für Freund*innen formulieren, die ab nächstem Schuljahr Physikunterricht haben werden und sich Sorgen machen, ob sie das können.

4.2. Erläuterung der gewählten Inhalte

Um die Lerneinheit sowohl vergleichbar zu den bereits bestehenden Growth Mindset-Interventionen zu halten, wurden einige Elemente ohne eigene Bearbeitung übernommen. Dazu zählt die deutsche Adaption des Textes „You Can Grow Your Intelligence“, aber auch der Einsatz einer Saying-is-Believing-Übung am Ende der Lerneinheit. Ein paar weitere Elemente sind inhaltlich angelehnt an dokumentierte Mindset-Interventionen und auch an das Begleitmaterial zu dem Online-Kurs Brainology® (MindsetWorks, 2002-2014). Dazu zählt die visuelle Darstellung der Synapsenbildung im Gehirn, aber auch das Experiment von Rosenzweig und Bennett, die bereits 1962 mit Ratten zeigen konnten, dass sich das Gehirn durch Stimulation (Haltung in der Gruppe und abwechslungsreich gestalteter Käfig mit Lernmöglichkeiten) verändert und sich diese Veränderung auch in einer messbaren Gewichtszunahme des Gehirns festhalten lässt (Rosenzweig et al., 1962).

Auch die Lernstrategie BRAIN ist angelehnt an das Online-Programm Brainology®, wurde jedoch übersetzt und daher leicht angepasst, um das Akronym zu erhalten. Um die Lerneinheit fachspezifisch für Physik zu gestalten, wird die BRAIN-Methode nicht nur vorgestellt, sondern innerhalb der Intervention an einem Physik-Thema angeleitet durchgeführt. Das gewählte Thema für die Intervention ist das im vorherigen Absatz kurz beschriebene Experiment „Kerzenaufzug“. Grundsätzlich ist das Thema, mit dem die

Lernstrategie geübt wird, nicht entscheidend. Es sollte natürlich ein physikalisches Thema sein und idealerweise für die Schüler*innen einen tatsächlichen Lernmoment enthalten. Dafür gibt es verschiedene Möglichkeiten: die Intervention wird ans Curriculum angepasst und kann inhaltlich an genau einer Stelle durchgeführt werden, wenn nämlich exakt das in der Intervention genutzte Thema im Unterricht behandelt wird. Das schränkt jedoch die Einsetzbarkeit der Lerneinheit stark ein, denn sie ist dann nur in einer Altersstufe und nur in einer Unterrichtseinheit möglich. Alternativ kann in der Intervention lediglich die BRAIN-Methode vorgestellt werden und die unterrichtenden Lehrkräfte wenden sie dann selbstständig mit ihren Schüler*innen auf das aktuelle Thema an. Das wiederum macht diesen Teil der Intervention nicht mehr vergleichbar und der Physikbezug sollte aktiver Teil der Intervention sein, da wir uns bewusst auf die fachbezogene Growth Mindset-Intervention fokussieren. Daher fiel die Entscheidung auf die dritte Möglichkeit und ein Thema wurde gewählt, das nicht explizit Teil des Curriculums in Hessen ist, dessen zentrale fachliche Grundlagen, die Volumenänderung von Gasen bei Temperaturänderung, jedoch vergleichsweise leicht zu verstehen sind und deren vorherige Behandlung im Physikunterricht daher nicht zwingend notwendig ist. Das Experiment „Kerzenaufzug“ wird zudem teilweise bereits im Sachunterricht in der Grundschule behandelt oder auch im naturwissenschaftlichen Anfangsunterricht oder entsprechenden AGs. Die Schüler*innen haben also möglicherweise das Experiment bereits gesehen, doch auch in diesem Fall bietet es oft noch eine Lerngelegenheit, da die Erklärung häufig unvollständig ist.

Um das Kerzenaufzug-Experiment zu erklären, müssen im Wesentlichen zwei Fragen beantwortet werden: (1) Warum erlischt die Flamme kurz nach dem Überstülpen des Glases? (2) Warum steigt der Wasserspiegel innerhalb des Glases an?

Die Antwort der ersten Frage ist einfacher. Die Flamme benötigt Sauerstoff, um zu brennen. Durch das Glas wird das der Kerze zur Verfügung stehende Luftvolumen begrenzt und wenn der Sauerstoffanteil in der eingeschlossenen Luft unter 16 % sinkt, erlischt die Kerzenflamme.

Die Antwort zur zweiten Frage beinhaltet die entscheidende Physik. Ist die Flamme aus, kühlt die im Glas eingeschlossene erwärmte Luft wieder ab und benötigt folglich weniger Platz. Es entsteht ein Unterdruck im Vergleich zum äußeren Luftdruck, so dass dieser das Wasser in das Glas hineindrückt, bis der Druck wieder ausgeglichen ist. Wenn gasförmiges Wasser kondensiert und damit sein Volumen verringert, unterstützt dies den Effekt, was aber als Nebeneffekt nicht diskutiert werden muss.

In vielen (online) zu findenden Beschreibungen des Kerzenaufzug-Experiments werden fachlich falsche Erklärungen gegeben, beispielsweise wird oft nur der

Sauerstoffverbrauch angegeben und dass dessen freigewordener Platz durch das Wasser aufgefüllt wird. Das ist nicht richtig, denn zum einen wird der Sauerstoff im Brennprozess nicht verbraucht, sondern umgewandelt, und außerdem wäre die Volumenänderung insgesamt zu klein, um einen sichtbaren Anstieg des Wasserspiegels zu beobachten. Auch die Behauptung, dass das CO_2 im Gegensatz zum O_2 schnell im Wasser aufgenommen wird, ist nicht stichhaltig. Für eine ausführlichere Betrachtung der Erklärungen und typischerweise auftauchenden Schwierigkeiten siehe Plappert (2012).

Damit alle Schüler*innen unabhängig von möglichen Vorkenntnissen den Versuch innerhalb der Lerneinheit kennenlernen, gibt es ein Video zur Durchführung und eine ausführliche Erläuterung des Ablaufs sowie der Theorie, die schrittweise bearbeitet wird.

4.3. Digitale Umsetzung der Lerneinheit

Für die Lerneinheit „Mach dein Gehirn fit für Physik“ wurde ein Moodle-Kurs eingerichtet. Teilnehmende Schüler*innen erhalten individuelle, anonymisierte Zugangsdaten, mit denen sie Zugriff auf alle Kursinhalte haben.

Direkt auf der Startseite wird der Kurs in einem Video vorgestellt, danach wird über den oben bereits vorgestellten Fragebogen das physikbezogene Mindset der Schüler*innen erhoben. Anschließend kommt der erste der vier oben erwähnten Teilabschnitte der Lerneinheit. Aufgebaut sind sie als „interaktives Schulbuch“, d. h. die teilnehmenden Schüler*innen klicken sich von Seite zu Seite und es gibt verschiedene „Aufklappmöglichkeiten“, die zusätzliche Informationen enthalten, teilweise kurze Reflexions- oder Quizfragen, die über Anklicken vorgefertigter Antwortmöglichkeiten oder Freitextfelder bearbeitet werden können. Durch die Lerneinheit leitet ein kleines Icon, ein mit Hanteln trainierendes Gehirn, das sowohl die Navigation zu Beginn erklärt als auch an Pausen zwischendurch erinnert oder Quizfragen anmoderiert. Die Wissensfragen sind mit Feedbackfunktion angelegt; die Schüler*innen erhalten also direkt eine Rückmeldung. Bei falscher Antwort beinhaltet diese einen Hinweis zur richtigen Lösung und die Möglichkeit, es noch einmal zu probieren.

Die vier Abschnitte können theoretisch alle direkt hintereinander bearbeitet werden. Inhaltlich (und das wird auch innerhalb der Lerneinheit so kommuniziert) wird mindestens eine längere Pause nach dem zweiten Abschnitt empfohlen, damit die aufgenommenen Informationen mit Zeit verarbeitet werden können, sich aber auch die in der Lerneinheit enthaltene Mindset-Botschaft etwas setzen kann. Ca. zwei Monate nach der Durchführung der vier Teile der Lerneinheit wird der Nachtest freigeschaltet, mit dem erneut das Mindset der Teilnehmer*innen erhoben wird.

Alle Antworten, auch die Freitextangaben der Schüler*innen werden gespeichert, so dass sie für die Auswertung der Intervention auch mit den erhobenen Mindsets verknüpft werden können.

5. Ausblick: Einsatzmöglichkeiten der digitalen Lerneinheit

Die Inhalte der Lerneinheit wurden in einer papierbasierten Version bereits getestet und im Schuljahr 2022/2023 findet eine Interventionsstudie im Pre-Post-Design mit mindestens zehn Klassen der Sekundarstufe I (Jahrgangsstufen 7 bis 10) statt – ebenfalls papierbasiert. Auch für die digitale Umsetzung der Lerneinheit ist eine Interventionsstudie im beschriebenen Pre-Post-Design geplant, um den Einfluss der Teilnahme daran auf das physikbezogene Mindset zu untersuchen. Die Durchführung der Studie ist logistisch an den Physikunterricht gebunden, damit sowohl die Teilnahme am Nachtest als auch der personenbezogene Datenschutz bei den teilnehmenden Schüler*innen gewährleistet sind. Bei einem positiven Ergebnis der Studie, also einer Förderung des physikbezogenen Mindsets durch die Teilnahme an „Mach dein Gehirn fit für Physik“, soll die Teilnahme an der Lerneinheit auch unabhängig vom Klassenverband möglich gemacht werden. Denn insbesondere für die individuelle Nutzung ist die digitale Umsetzung von Vorteil gegenüber der papierbasierten Lerneinheit.

6. Literatur

- Aronson, J., Fried, C. B., & Good, C. (2002). Reducing the Effects of Stereotype Threat on African American College Students by Shaping Theories of Intelligence. *Journal of Experimental Social Psychology*, 38(2), 113–125. <https://doi.org/10.1006/jesp.2001.1491>
- 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>
- Burnette, J. L., Billingsley, J., Banks, G. C., Knouse, L. E., Hoyt, C. L., Pollack, J. M., & Simon, S. (2022). A systematic review and meta-analysis of growth mindset interventions: For whom, how, and why might such interventions work? *Psychological Bulletin*. <https://doi.org/10.1037/bul0000368>
- Dweck, C. S. (2000). Self-theories: Their role in motivation, personality, and development. Taylor & Francis.
- Dweck, C. S., & Yeager, D. S. (2019). Mindsets: A View From Two Eras. *Perspectives on Psychological Science*, 14(3), 481–496. <https://doi.org/10.1177/1745691618804166>
- Goldhorn, L., Wilhelm, T., & Spatz, V. (2020). Mindsets in Physik. Studie zur Veränderbarkeit des fachspezifischen Mindsets. In S. Habig (Hrsg.), *Naturwissenschaftliche Kompetenzen in der Gesellschaft von morgen* (Bd. 40, S. 776–779).
- Goldhorn, L., Wilhelm, T., & Spatz, V. (2021). Das physikbezogene Growth Mindset bei Schüler*innen fördern. *PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*. <https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phydid-b/article/view/1120>
- Goldhorn, L., Wilhelm, T. & Spatz, V (2022a). Domain-specific theories of intelligence: how students' mindsets in physics change without interventions. In G.S. Carvalho, A.S. Afonso & Z. Anastácio (Eds.), *Fostering scientific citizenship in an uncertain world* (Proceedings of ESERA 2021), Part Learning science: Cognitive, affective, and social aspects (co-ed. F. Le Hebel & V. Kind), (pp. 161-167). Braga: CIEC, University of Minho. ISBN 978-972-8952-82-2
- Goldhorn, L., Wilhelm, T., & Spatz, V. (2022b). Mindsets in Physik nach einem Jahr Lernen unter Pandemie-Bedingungen. In S. Habig (Hrsg.), *Unsicherheit als Element von naturwissenschaftsbezogenen Bildungsprozessen* (Bd. 42, S. 468–471).
- 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>
- Jäncke, L. (2014). Das plastische Hirn. *Lernen und Lernstörungen*, 3, 227–235.
- Molden, D. C., & Dweck, C. S. (2006). Finding „Meaning“ in Psychology: A Lay Theories Approach to Self-Regulation, Social Perception, and Social Development. *American Psychologist*, 61(3), 192–203. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.61.3.192>
- MindsetWorks (2002-2014). *Brainology*. <https://www.mindsetworks.com/>
- Mueller, C. M., & Dweck, C. S. (1998). Praise for intelligence can undermine children's motivation and performance. *Journal of Personality and Social Psychology*, 75(1), 33–52. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.75.1.33>
- 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>
- Plappert, D. (2012). „Alles klar! Der Sauerstoff verschwindet, das Wasser steigt!“—Irrwege und Wege der naturwissenschaftlichen Bildung vom Kindergarten- bis ins Erwachsenenalter. *Praxis der Naturwissenschaften - Physik in der Schule*, 61(4), 4–49.
- Rosenzweig, M. R., Krech, D., Bennett, E. L., & Diamond, M. C. (1962). Effects of environmental

- complexity and training on brain chemistry and anatomy: A replication and extension. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 55(4), 429–437.
<https://doi.org/10.1037/h0041137>
- Shively, R. L., & Ryan, C. S. (2013). Longitudinal changes in college math students' implicit theories of intelligence. *Social Psychology of Education*, 16(2), 241–256.
<https://doi.org/10.1007/s11218-012-9208-0>
- Sisk, V. F., Burgoyne, A. P., Sun, J., Butler, J. L., & Macnamara, B. N. (2018). To What Extent and Under Which Circumstances Are Growth Mind-Sets Important to Academic Achievement? Two Meta-Analyses. *Psychological Science*, 29(4), 549–571.
<https://doi.org/10.1177/0956797617739704>
- Skeide, M. A., Wehrmann, K., Emami, Z., Kirsten, H., Hartmann, A. M., Rujescu, D., & Legascreen Consortium. (2020). Neurobiological origins of individual differences in mathematical ability. *PLOS Biology*, 18(10), e3000871.
<https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3000871>
- 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(3), 92–109.
<https://doi.org/10.30935/scimath/10948>
- 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., 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., Trzesniewski, K. H., & Dweck, C. S. (2013). An Implicit Theories of Personality Intervention Reduces Adolescent Aggression in Response to Victimization and Exclusion. *Child Development*, 84(3), 970–988.
<https://doi.org/10.1111/cdev.12003>
- 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>

Modelle und Modellieren aus der Sicht von Mathematik- und Physiklehrkräften

Simon F. Kraus*, Frederik Dilling⁺

*Universität Siegen, Didaktik der Physik, Adolf-Reichwein-Str. 2, 57076 Siegen + Universität Siegen, Didaktik der Mathematik, Adolf-Reichwein-Str. 2, 57076 Siegen
kraus@physik.uni-siegen.de

Kurzfassung

Die Begriffe des Modells und des Modellierens spielen sowohl in den Bildungsstandards der Fächer Mathematik und Physik als auch in den entsprechenden Fachdidaktiken eine große Rolle. Die dem vorliegenden Beitrag zugrundeliegende Untersuchung versucht daher, die Überzeugungen von Lehrkräften der beiden Unterrichtsfächer mit Bezug zu diesen Begriffen zu erheben. Die Studie bedient sich dabei leitfadengestützter Interviews, in deren Verlauf die jeweilige Sichtweise der Lehrerinnen und Lehrer auf ihre eigene Unterrichtspraxis erhoben wird. Der Schwerpunkt der Auswertung liegt für diesen Beitrag auf dem Teilthema des Modellierens. Hierfür ergeben sich vier Kategorien, in die sich die Aussagen der Lehrkräfte einordnen lassen. Die Analyse ergibt einen fundamentalen Unterschied in der Sichtweise der Fächer auf das Modellieren und dazu vielfache, für beide Fächer übereinstimmende, Einstellungen und Überzeugungen der Lehrkräfte, die im Einzelnen dargestellt werden.

1. Bedeutung von Modellen und Modellieren im Mathematik- und Physikunterricht

Den Themen „Modelle“ und „Modellieren“ wird sowohl im Mathematik- wie auch im Physikunterricht eine hohe Bedeutung beigemessen, die sich u. a. in den normativen Setzungen innerhalb der Bildungsstandards zeigt. So verweisen die KMK-Bildungsstandards für die allgemeine Hochschulreife auf den Charakter der Physik als „theoriegeleitete Erfahrungswissenschaft“, die „durch Modelle beschreibbar“ ist. Lernende sollen diesbezüglich im Unterricht die Bedeutung von „abstrahierenden, idealisierenden und formalisierenden“ Beschreibungen erfahren, während sie selbst mathematisch modellieren [2].

Der Blick in die entsprechenden Bildungsstandards für das Fach Mathematik [1] zeigt, dass hier ebenso der Wechsel zwischen einer Realsituation und den mathematischen Begriffen hervorgehoben wird. Lernenden kommt im Mathematikunterricht die Aufgabe zu, bestehende mathematische Modelle zu verstehen und zu bewerten sowie selbst solche Modelle zu konstruieren.

Der Vergleich dieser Vorgaben zeigt deutliche Parallelen in den Zielsetzungen sowie eine beiderseitige Thematisierung von Modellen als Produkt und dem Modellieren als einem Prozess.

Aufgrund der großen Bedeutung der beiden Teilthemen, den Modellen und dem Modellieren, und dem entsprechend umfangreichen Material der Erhebung, muss sich der vorliegende Beitrag auf den Teilaspekt des Modellierens beschränken. In der Zusammenfassung wird dazu eine kurze übergreifende Einordnung auch zum Begriff des Modells vorgenommen. Die Auswertungen des entsprechenden Materials für die

Überzeugungen in Bezug zu Modellen sind zum Teil bereits publiziert [4].

2. Allgemeine Ausgangslage in den Fachdidaktiken

Ebenso wie in den Bildungsstandards erscheinen beide Begrifflichkeiten auch in den Fachdidaktiken beider Fächer als bedeutsame Begriffe. Im Detail ergeben sich jedoch unterschiedliche Perspektiven auf das Modell und das Modellieren aus Sicht der Mathematik und Physik [5]. Weiterhin ist festzustellen, dass zu beiden Begriffen keine allgemeine Definition vorliegt [9].

Für den Physikunterricht wurde schon früh das Feld zwischen produktiver Modellanwendung und konstruktiver Modellfindung als dasjenige ausgemacht, in dem sich der Umgang mit Modellen und das Modellieren bewegen kann [12]. Die konstruktive Modellfindung ist hierbei als der Versuch zu verstehen, durch eigenes Modellieren einen Einblick in die Wissensgenese des Faches zu ermöglichen, die abseits von historischen Ansätzen verläuft. Unverzichtbar ist hierbei die Einbeziehung kreativer Elemente. Auch der expliziten Benennung des Prozesses des Modellierens als solchem und die Reflexion desselben (welcher z. B. anhand von Black-Box-Experimenten durchlaufen werden kann) werden als wesentlich hervorgehoben.

Für physikalisches Modellieren wird weiterhin die Identifikation relevanter Elemente und das Auffinden damit zusammenhängender physikalischer Größen und Gesetze als wesentlich erachtet [14]. Der Fokus des physikalischen Modellierens liegt damit zunächst auf dem konzeptionellen Verständnis und nicht auf der quantitativen Erklärung. Die Anwendung

mathematischer Methoden stellt daher ein optionales Element dar.

Aus der Sicht der Mathematikdidaktik wird das Verständnis der Beziehung zwischen der Mathematik und der realen Welt in den Vordergrund gerückt [3][13]. Die Begründung hierfür wird meist mit Rückgriff auf die mathematischen Grunderfahrungen nach Winter [15] geliefert. Festzustellen ist, dass das Produkt einer solchen Modellierungsaufgabe in der Mathematik meist lediglich eine Zahl ist, die nachträglich mit einer Einheit versehen und dann auf die Realsituation zurückbezogen wird [14].

Betrachtet man die Begriffe des Modells und des Modellierens am Beispiel der Technologie des 3D-Drucks, dessen Verwendung gegenwärtig Eingang in den Mathematik- und Physikunterricht findet, zeigen sich weitere leicht unterschiedliche Schwerpunktsetzungen in den Didaktiken. Vorhandene fachdidaktische Empfehlungen zum Einsatz im Unterricht fokussieren in der Physik überwiegend den Umgang mit Modellen und sehen deren Erstellung überwiegend als eine Aufgabe für die Lehrkräfte an. Für den Mathematikunterricht wird dagegen meist eine prozessorientierte Herangehensweise vorgeschlagen, die den Schwerpunkt auf den Ablauf von Planung und Herstellung legt und diesen den Lernenden selbst überlässt [6].

3. Forschungsfragen und Methodik

Auf Grundlage der Feststellung einer breiten gemeinsamen Basis zu den Themen Modelle und Modellieren im Mathematik- und Physikunterricht wurde eine empirische Untersuchung entworfen, deren Ziel in der Erhebung der beliefs von Lehrkräften zu diesen Themen besteht. Die übergreifende Forschungsfrage lautet:

Welche Überzeugungen (im Sinne von „beliefs“) haben Mathematik- und Physiklehrkräfte von Modellen und Modellierung im Unterricht?

Unter beliefs wird hier (nach [11]) subjektives, erfahrungsbasiertes und i. d. R. implizites Wissen verstanden, welches bei jedem Individuum vorhanden ist.

Die Erhebung wurde anhand von leitfadengestützten Interviews mit bisher vier Probanden durchgeführt. Alle befragten Lehrkräfte sind aktive Lehrerinnen und Lehrer mit der Fächerkombination Mathematik/Physik. Die Interviews gliederten sich jeweils in drei Hauptabschnitte:

- Erfahrungen und Überzeugungen in Bezug auf den Physikunterricht
- Erfahrungen und Überzeugungen in Bezug auf den Mathematikunterricht
- Zusammenführung und Zusammenfassung der Perspektiven beider Fächer

Die Auswertung des Interviewmaterials erfolgt nach der qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring [10], jeweils getrennt für die verschiedenen Schwerpunkte der Auswertung. Bei den im Folgenden vorgestellten Ergebnissen handelt es sich lediglich um einen

Ausschnitt des Materials, der sich speziell auf den Aspekt des Modellierens beschränkt.

4. Kategoriensystem und Ergebnisse

Nach zweifachem Materialdurchlauf der qualitativen Inhaltsanalyse ergibt sich das folgende Kategoriensystem, welches die vorhandenen Antworten zum Teilthema Modellieren vollständig umfasst:

- Gründe für das Modellieren
- Voraussetzungen/Gelingensbedingungen/Hindernisse
- Natur des Modells im Prozess des Modellierens
- Umgang mit dem Modell als Produkt

Dieses Kategoriensystem umfasst dabei sowohl die Antworten in Bezug auf den Mathematik- als auch auf den Physikunterricht und eventuell geäußerte übergreifende und vergleichende Aspekte. Innerhalb der Kategorien ergeben sich aus dem Material weitere Unterkategorien, unterhalb derer sich die Kommentare der Lehrkräfte zu weiteren Detailspekten jeweils subsumieren lassen.

Die Ergebnisse der einzelnen Interviews werden im Folgenden, entsprechend des o. g. Kategoriensystems, vorgestellt und im Hinblick auf die sich ergebenden Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen den beiden Fächern kommentiert. Tabelle 1 stellt die Hauptkategorien und die generalisierten Antworten nochmals zusammen.

4.1. Gründe für das Modellieren

4.1.1. Mit Perspektive auf den Physikunterricht

Als Grund für das Modellieren wird vor allem eine Verbesserung des Verständnisses angeführt, was auf die „greifbareren“ Darstellungsweisen zurückgeführt wird (Unterkategorie: didaktisch-pädagogischer Grund):

„[I]ch bin wieder bei den Atommodellen, ähm, wenn ich sozusagen den Schritt und die Erweiterung dieser Modelle nachvollziehen möchte, komme ich nicht darum selber erstmal zu modellieren und dann vielleicht auch wirklich ein Erkenntnisprozess zu durchlaufen.“

Auch werden Aspekte genannt, die das Themenfeld Nature of Science (NoS) anschnitten. Dazu wird z. B. ausgeführt, dass die Auswertung von Experimenten das Modellieren erfordert. Die Antwort einer Lehrkraft fasst den Grund für das Modellieren – aus NoS-Sicht – sehr prägnant zusammen:

„Ich glaube die letzte Frage [nach möglichen Gründen für das Modellieren im Physikunterricht] stellt sich nicht, weil man da nicht drum rum kommt, also ich glaube, ähm, also ob man modellieren sollte, ich glaube das macht man automatisch, wenn man Physik betreibt.“

Tab. 1: Überzeugungen der Lehrkräfte im Hinblick auf das Modellieren, aufgeschlüsselt nach Hauptkategorien und den Fächern

Kategorie	Physik	Mathematik
Voraussetzungen/Gelingsbedingungen/Hindernisse	<ul style="list-style-type: none"> - Kreativität - Zeitfaktor - fachlicher Anspruch - qualitative Arbeitsweise/ phänomenorientiert 	<ul style="list-style-type: none"> - Übertragung aus dem Alltag einfacher als in der Physik - Modellierungsaufgaben nicht vorgesehen - fachlicher Anspruch - Kreativität - Offenheit der Aufgaben - kein Modellieren
Natur des Modells im Prozess des Modellierens	<ul style="list-style-type: none"> - gegenständlich - ikonisch - geleitet aus Beobachtungen 	<ul style="list-style-type: none"> - Übertragung von Alltagssituation ins Mathematische - Modellieren losgelöst von bestehenden Modellen
Gründe für das Modellieren	<ul style="list-style-type: none"> - Verbesserung des Verständnisses - Experimente erfordern Modellieren - Physik betreiben ist Modellieren - Modellieren mit der Mathematik in Verbindung gebracht 	<ul style="list-style-type: none"> - schüleraktivierende Arbeitsweise/Problemorientierung - multiple Lösungswege
Umgang mit dem Modell als Produkt	<ul style="list-style-type: none"> - Modell als Verständnishilfe (Sonnen-system) - Modellverwendung statt Modellieren 	

4.1.2. Mit Perspektive auf den Mathematikunterricht

Aus der Perspektive des Mathematikunterrichts werden als Gründe für das Modellieren dagegen lediglich Gründe angeführt, die sich als didaktisch-pädagogische Gründe beschreiben lassen. Dazu gehört vor allem die Schüleraktivierung, die mehrfach genannt und als wesentlich eingeschätzt wird. Auch die Offenheit der Lösungswege wird als positiv hervorgehoben.

Eine Lehrkraft beantwortet die Frage nach den möglichen Gründen für Modellieren im Mathematikunterricht dahingehend, dass dies in ihrem Unterricht nicht stattfindet. Die Aussage ist allerdings dahingehend zu relativieren, dass sich dies wohl auf die explizite Benennung des Prozesses als solcher bezieht, da nach Beendigung des Interviews Beispiele für Modellierungen im Mathematikunterricht vorgebracht wurden, die jenen der anderen Lehrkräfte entsprechen (diese Aussagen wurden jedoch bei der Analyse des Materials nicht berücksichtigt).

4.2. Voraussetzungen/Gelingsbedingungen/Hindernisse

4.2.1. Mit Perspektive auf den Physikunterricht

Mit Blick auf den Physikunterricht ergeben sich unter dieser Hauptkategorie wiederum zwei Unterkategorien, die der organisatorischen Rahmenbedingungen sowie die des notwendigen Kompetenzniveaus.

Als wesentliches Hindernis wird, aus organisatorischer Sicht, der Zeitbedarf angesehen, der für Modellierungsaufgaben notwendig ist. Weiterhin wird die Kreativität als eine notwendige Bedingung für

erfolgreiches Modellieren erkannt und explizit benannt. Jedoch gehen die befragten Lehrkräfte überwiegend davon aus, dass ihre Lernenden nicht über ein ausreichendes Maß an Kreativität verfügen. Als wesentlicher Hinderungsgrund werden weiterhin die mathematischen Fähigkeiten, bzw. die quantitative Arbeitsweise innerhalb des Physikunterrichts (hier überwiegend mit Blick auf die Sekundarstufe I) hervorgehoben:

„Ja, Zeitbedarf und weil, ähm, in Physik halt dieser quantitative Anteil immer weiter zurück geht, also wirklich mehr phänomenzentriert gearbeitet, darum geht's nochmal, also verstehen nochmal, wie das grundsätzlich funktioniert, aber gerechnet wird dann halt erst später, ja.“

4.2.2. Mit Perspektive auf den Mathematikunterricht

Den gleichen Unterkategorien lassen sich die Gelingsbedingungen aus der Perspektive des Mathematikunterrichts zuordnen. Als grundsätzlich förderlich wird der, im Vergleich zum Physikunterricht, einfachere Transfer aus der Alltagssituation in den Fachunterricht angesehen. Als Hinderungsgrund wird jedoch auch im Mathematikunterricht das fehlende Basiswissen identifiziert, teils wiederum auch in direkter Verbindung mit der notwendigen Kreativität:

„Du brauchst ja so 'ne, so 'ne, so 'n Grundwissen, um dann an solche Aufgaben rangehen zu können, dann wird's ja sehr kreativ, okay, warte mal, wie kann ich mir dies und das so und so vorstellen und so die Klassiker mit dem, was weiß ich, ne, irgendein Bild gezeigt und da steht ein Mann und da ist eine Statue und wie groß ist die Statue oder so, ja und dann, ja.“

Als hinderlich wird weiterhin, aus organisatorischer Sicht, angesehen, dass Modellierungsaufgaben (zumindest in Form explizit als solche deklarerter Aufgaben) nicht, bzw. lediglich als optionale Angebote, vorgesehen sind:

„[...] konkrete Modellierungsaufgaben, die auch als solche gekennzeichnet sind, das ist bei uns fast gar nicht der Fall, also das maximal so als Erweiterungsangebot für die ganz schnellen oder ganz guten [...]“

4.3. Natur des Modells im Prozess des Modellierens

4.3.1. Mit Perspektive auf den Physikunterricht

Im Hinblick auf die äußere Form, d. h. die Art der Realisierung des Modells i. S. v. Kircher [7], welches im Prozess des Modellierens entsteht, ergibt sich ein recht einheitliches Bild. Bei den entstehenden Modellen (teilweise wurde die Frage lediglich hypothetisch beantwortet) handelt es sich um gegenständliche Modelle (z. B. um Modelle des Sonnensystems), die durch die Schülerinnen und Schüler selbst erstellt werden sollen. Auch benannt wurde die Möglichkeit der Realisierung als ikonisches Modell, in Form von Zeichnungen von Stromkreisen.

Wiederum der Unterkategorie Nature of Science zuzuordnen ist die Frage, was genau durch ein Modell dargestellt werden soll. Hierzu hält das Material eine Aussage bereit, in der darauf verwiesen wird, dass Modelle „immer [...] geleitet an Beobachtungen“ sind.

Das Material zeigt dazu, dass der Modellierungsprozess selbst sowie die Produkte des Modellierens häufig wiederum direkt mit der Erklärungsfunktion von Modellen [7] in Verbindung gebracht werden.

4.3.2. Mit Perspektive auf den Mathematikunterricht

Eine Entsprechung zwischen den beiden Fächern findet sich mit der starken Betonung des Bezugs zwischen der Realsituation, die in die Mathematik übertragen wird. Auch wird die Offenheit des Modells betont, für die nochmals betont wird, dass das Modellieren losgelöst von bestehenden Modellen geschehen soll.

4.4. Umgang mit dem Modell als Produkt

4.4.1. Mit Perspektive auf den Physikunterricht

Wie bereits in der Kategorie der Gründe für das Modellieren angeklungen ist, wird ein starker Fokus auf die Förderung des Verständnisses gelegt. Dieser findet sich ebenso in der Kategorie des Umgangs mit dem Modell als Produkt eines Modellierungsprozesses:

„Ja einfach, dass die Schüler das, ähm, vielleicht greifbarer haben, das was Schwieriges, was für sie vermeintlich schwierig ist, ähm, dann eben viel besser verstehen können. [...]“

Da müssen sie sich halt selbst überlegen, nehme ich natürlich einen großen Ball für die Erde, kleinen Ball

für den Mond, dann müssen sich über solche Sachen noch zusätzlich Gedanken machen.“

4.4.2. Mit Perspektive auf den Mathematikunterricht

Das Produkt von Modellierungsprozessen im Mathematikunterricht wurde von den Lehrkräften in den Interviews nicht angesprochen.

5. Zusammenfassung

Im Hinblick auf das Interviewmaterial insgesamt zeigt sich, dass die Ausführungen der Lehrkräfte zum Modellieren im Umfang und Detailgrad deutlich gegenüber den Ausführungen zu Modellen zurückbleiben. Dies gilt in ähnlichem Maße für den Physik- wie für den Mathematikunterricht. Für die Perspektive des Mathematikunterrichts fallen die Antworten zum Modellieren jedoch etwas umfangreicher aus als für die Perspektive des Physikunterrichts.

Für die Kategorie der Gründe für (oder gegen) das Modellieren lässt sich feststellen, dass die positiven Rückmeldungen überwiegend, d. h., dass die befragten Lehrkräfte das Modellieren sowohl im Physik- als auch im Mathematikunterricht für erstrebenswert halten. Wie das weitere Material darlegt, handelt es sich hierbei jedoch um eine Einschätzung, die sich so nicht in der Unterrichtswirklichkeit wiederfindet. Daher ist der Aspekt der sozialen Erwünschtheit gerade bei dieser Eingangsfrage verstärkt zu berücksichtigen.

Kritische Haltungen zeigen sich dann bei den Überlegungen zur tatsächlichen Umsetzbarkeit (und hier verstärkt für den Physikunterricht), zum Modellieren in der Sekundarstufe I im Allgemeinen sowie (für beide Fächer ähnlich gelagert) im Hinblick auf die Kreativität sowie die notwendigen fachlichen Grundkenntnisse. Hierbei wird insbesondere die überwiegend quantitative Arbeitsweise im Physikunterricht der Sekundarstufe I als Hindernis hervorgehoben.

Als Produkt für einen Modellierungsprozess beziehen sich die befragten Lehrkräfte überwiegend auf gegenständliche Modelle (z. B. Planetenmodelle aus Alltagsgegenständen). Ikonische Modelle als Produkt werden ebenfalls explizit erwähnt. Allenfalls implizit vorhanden ist der Bezug zu theoretischen Modellen (hier den Atommodellen), die im Modellierungsprozess auftreten können. Sowohl bei dem ikonischen als auch (und hier besonders deutlich) bei dem theoretischen Modell schwimmt jedoch die Grenze zwischen der produktiven Modellanwendung (dem reinen Umgang mit dem Modell) und der konstruktiven Modellfindung (dem wirklichen Erstellen eines neuen Modells) in den Aussagen. Auch als Ziel der Modellierung wird primär die Steigerung des Verständnisses genannt, wobei unklar bleibt, inwiefern dies durch den Prozess des Modellierens oder vielmehr durch den anschließenden Umgang mit dem Modell (d. h. durch seine Erklärungsfunktion) erreicht werden soll.

Im Material nicht enthalten sind Beschreibungen des eigentlichen Ablaufs eines Modellierungsprozesses oder zu dessen Einbindung in den Unterricht.

Im Hinblick auf den Umgang mit Modellen, die als Produkt eines Modellierungsprozesses gewonnen wurden, sind die Äußerungen der Lehrkräfte teilweise kaum einer bestimmten Seite zuzuordnen. Eine saubere Trennung von „produktiver Modellnutzung“ und „konstruktiver Modellfindung“ [12] ist kaum sinnvoll möglich. Diese Schwierigkeit betrifft dabei allein den Physikunterricht, da sich für den Mathematikunterricht generell keine Erwähnungen bezüglich der Weiterverwendung solcher Modelle finden lassen.

In der Gesamtschau auf das Interview-Material lässt sich zudem feststellen, dass sich der beschriebene Unterricht sehr weitgehend auf der Seite der reproduktiven Modellanwendung wiederfindet.

6. Schlussfolgerungen und Ausblick

Ein Kernanliegen der Untersuchung war es, mögliche Gemeinsamkeiten und Unterschiede der beiden Fächer im Hinblick auf die Themen Modelle und Modellieren herauszuarbeiten. Dabei zeigt sich ein fundamentaler Unterschied, der sich bereits im bisherigen Forschungsstand [6] angedeutet hat: Der Schwerpunkt des Physikunterrichts liegt deutlich auf der Behandlung von und dem Umgang mit Modellen. Dagegen fokussiert der Mathematikunterricht fast ausschließlich den Prozess des Modellierens selbst, beachtet jedoch das Modell als Produkt eines solchen Ablaufs überwiegend nicht mehr.

Diese ungleiche Verteilung zeigt sich in der vorrangigen Assoziierung des Modellierungsvorgangs mit gegenständlichen Modellen, wobei damit häufig die Zuordnung einer Erklärungsfunktion [7] an das entstehende Modell einhergeht. Mit Blick auf den Physikunterricht lassen sich im Interviewmaterial keine Erwartungen zu eigenständigen Beiträgen des Modellierungsprozesses selbst zu den Unterrichtszielen identifizieren.

Es zeigt sich damit eine Diskrepanz zwischen der Unterrichtspraxis und den Anforderungen der Bildungsstandards für den Physikunterricht. Diese lässt sich jedoch zum Teil dahingehend auflösen, als dass die Lehrkräfte vornehmlich in der Sekundarstufe I unterrichten. Hier sehen die entsprechenden Bildungsstandards [8] das Modellieren lediglich als einen Teilaspekt innerhalb des Kompetenzbereichs Erklären vor. Darin zeigt sich wiederum eine Herausforderung für die Anknüpfungspunkte zwischen den Sekundarstufen I und II. Eine Vorbereitung auf ein späteres, notwendigerweise mit mathematischen Mitteln durchgeführtes Modellieren, ist in der Sekundarstufe I kaum vorgesehen und lässt sich in den Aussagen der Lehrkräfte folgerichtig nicht wiederfinden.

Mit Blick auf den Mathematikunterricht ergibt es ein anders Bild. Hier wird, im Einklang mit den Bildungsstandards für die Sekundarstufe I und II, auf Basis von Alltagssituationen mathematisch modelliert.

Dabei wird deutlich Wert darauf gelegt, dass es sich um echte Alltagssituationen, anstatt um künstlich gestaltete Kontexte, handelt. Allerdings wird keine aktive Verbindung zwischen den Fächern – im Sinne einer Integration physikalischer Problemstellungen in den Mathematikunterricht – hergestellt. Im Gegenteil wird in einem Fall explizit darauf hingewiesen, dass Modellieren im Mathematikunterricht deutlich einfacher zu realisieren sei, als im Physikunterricht.

Auch wenn mit dieser Unterrichtsrealität den Anforderungen der Bildungsstandards der Sekundarstufe I Genüge getan wird, erscheint der Stand, wie er sich in den Interviews zeigt, nicht vollständig wünschenswert zu sein. Im Hinblick auf Aspekte von Nature of Science sowie aktuellen didaktischen Perspektiven auf den Mathematikunterricht bietet auch der Unterricht in der Sekundarstufe I mehr Potential. Gerade auch unter dem Gesichtspunkt der Vorbereitung auf die späteren Anforderungen in der Sekundarstufe II, wäre zudem eine Erweiterung der Perspektiven auf das Modellieren bereits in der Sekundarstufe I ein möglicher positiver Beitrag.

Dazu gehört, die Sichtweise im Physikunterricht deutlicher über die gegenständlichen Realisierungsformen hinaus zu erweitern und speziell auch Möglichkeiten für rein konzeptionelles Modellieren aufzuzeigen, d. h. zunächst bewusst auf quantitative Betrachtungen zu verzichten.

Eine solche Erweiterung der Perspektive auf das Modellieren könnte zudem dazu geeignet sein, Kreativität im Prozess nicht länger als hinderlich zu begreifen. Inwiefern sich die diesbezüglichen Aussagen allein auf den Zusammenhang mit den notwendigen (mathematischen) Grundkenntnissen bezieht, ist jedoch anhand des bisher vorliegenden Materials nicht zu beantworten.

Generell erscheint es erstrebenswert, den Prozess des Modellierens deutlicher als bislang explizit als solchen zu benennen. Bislang erscheint es unklar, inwiefern sich Lernende (und selbst Lehrende) in der jeweiligen Situation bewusst sind, dass sie gerade selbst ein Modell erstellen.

Weiterer Forschungsbedarf scheint vor allem in Bezug auf die wahrgenommene Rolle der Kreativität, bzw. der Einschätzung der diesbezüglichen Fähigkeiten der Schülerinnen und Schüler durch die Lehrkräfte zu bestehen. Zudem erlaubt das Interviewmaterial gegenwärtig keine Aussagen darüber, ob und wie sich die explizite Forderung nach dem eigenständigen Erstellen von Modellen in der Oberstufe auf den Unterricht in der Sekundarstufe I auswirkt.

7. Literatur

- [1] Bildungsstandards im Fach Mathematik für die Allgemeine Hochschulreife (2012).
- [2] Bildungsstandards im Fach Physik für die Allgemeine Hochschulreife (2020).

- [3] Blum, W. & Leiß, D. (2005). Modellieren im Unterricht mit der „Tanken“-Aufgabe. *mathematik lehren*(128), 18–21.
- [4] Dilling, F. & Krause, S. F. (erscheint). Funktionen und Eigenschaften von Modellen und Modellieren im Mathematik- und Physikunterricht – eine Interviewstudie mit Lehrer*innen. In F. Dilling, K. Holten & I. Witzke (Hrsg.), *Interdisziplinäres Forschen und Lehren in den MINT-Didaktiken*. Wiesbaden: Springer Spektrum.
- [5] Dilling, F., Holten, K. & Krause, E. (2019). Explikation möglicher inhaltlicher Forschungsgegenstände für eine Wissenschaftskollaboration der Mathematikdidaktik und Physikdidaktik – Eine vergleichende Inhaltsanalyse aktueller deutscher Handbücher und Tagungsbände. *Mathematica Didactica*, 42(2), 87-104.
- [6] Dilling, F., Weber, A., Kraus, S. F. & Bacher, S. (2022). 3D-Druck im Astronomieunterricht - Schülerinnen und Schüler gestalten haptische Modelle. *MNU-Journal*(1), 18–24.
- [7] Kircher, E. (2015). Modellbegriff und Modellbildung in der Physikdidaktik. In E. Kircher, R. Girwidz & P. Häußler (Hrsg.), *Physikdidaktik* (Bd. 45, S. 783–807). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-41745-0_27
- [8] KMK (2004). Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss.
- [9] Krüger, D., Kauertz, A. & Upmeyer zu Belzen, A. (2018). Modelle und das Modellieren in den Naturwissenschaften. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 141–157). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-56320-5_9
- [10] Mayring, P. A. E. (2015). *Qualitative Inhaltsanalyse: Grundlagen und Techniken* (12., vollständig überarbeitete und aktualisierte Auflage). Beltz.
- [11] Pehkonen, E. & Pietilä, A. (2003). On Relationships Between Beliefs and Knowledge in Mathematics Education. *Paper presented at the CERME 3: third conference of the European*.
- [12] Schlichting, H. J. (1977). Konstruktive Modellfindung im Unterricht. In G. Schäfer, G. Trommer & K. Wenk (Hrsg.), *Denken in Modellen* (S. 158–173). Westermann.
- [13] Schupp, H. (1988). Anwendungsorientierter Mathematikunterricht in der Sekundarstufe I zwischen Tradition und neuen Impulsen. *Der Mathematikunterricht*, 34(6), 5–16.
- [14] Tran, N. C., Chu, C. T., Holten, K. & Bernshausen, H. (2020). Models and Modeling. In S. F. Kraus & E. Krause (Hrsg.), *Comparison of Mathematics and Physics Education I : Theoretical Foundations for Interdisciplinary Collaboration* (S. 257–298). Springer Fachmedien Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-658-29880-7_12
- [15] Winter, H. (1995). Mathematikunterricht und Allgemeinbildung. *Mitteilungen der Gesellschaft für Didaktik der Mathematik*(61), 37–46.

Untersuchung visueller Strategien beim Umgang mit Repräsentationen elektrischer Stromkreise

Stefanie Peter, Olaf Krey

Didaktik der Physik, Universität Augsburg, Universitätsstraße 1, 86159 Augsburg
stefanie.peter@physik.uni-augsburg.de
olaf.krey@physik.uni-augsburg.de

Kurzfassung

Beim Erlernen physikalischer Konzepte spielen externe Repräsentationen eine wichtige Rolle. In der Elektrizitätslehre können verschiedene Arten von visuellen Repräsentationen elektrischer Stromkreise anhand ihrer Abstraktheit unterschieden werden. Das Spektrum reicht von standardisierten Schaltplänen bis hin zu Fotografien von real aufgebauten Schaltungen. Der Umgang mit diesen Repräsentationen bereitet Lernenden Schwierigkeiten, was sich beispielsweise darin äußert, dass die Translation zwischen den Repräsentationen nicht gelingt oder fälschlicherweise Symmetrie als Kriterium zur Beurteilung der Funktionsfähigkeit herangezogen wird. In unserem Forschungsvorhaben soll in den Blick genommen werden, auf welche Weise Lernende Repräsentationen elektrischer Stromkreise beim Lösen von Aufgaben aus der Elektrizitätslehre nutzen. Hierfür werden Aufgaben für eine Eye-Tracking-Studie entwickelt, in der die visuelle Aufmerksamkeit beim Lösen von Aufgaben mit Schaltplänen untersucht wird. Damit wollen wir uns der Frage widmen, welche visuellen Strategien im Umgang mit Schaltplänen beim Bearbeiten von Aufgaben zu elektrischen Stromkreisen identifiziert werden können.

1. Einleitung und theoretischer Hintergrund

1.1. Schaltpläne als Repräsentationsform in der E-Lehre

Elektrizität ist aus unserem von Technik geprägten Alltag nicht weg zu denken. Nicht nur für eine selbstbestimmte gesellschaftliche Teilhabe, sondern auch um eine „Orientierung für naturwissenschaftlich-technische Berufsfelder“ zu schaffen (KMK, 2004), ist ein Verständnis von grundlegenden Konzepten der Elektrizitätslehre notwendig. Die Vermittlung dieser Konzepte stellt sich jedoch als Herausforderung dar. Selbst bei Einsatz von aktuellen forschungsbasierten Unterrichtskonzeptionen, die im Vergleich zum traditionellen Unterricht effektiver sind, ist der Lernerfolg nicht zufriedenstellend (Burde & Wilhelm, 2020).

Insbesondere das Verstehen des Systemcharakters von Stromkreisen stellt eine Schwierigkeit dar. Lernende neigen dazu bei der Analyse von Verzweigungen lokal zu denken (Wilhelm & Hopf, 2018). Dies äußert sich beispielweise darin, dass an Verzweigungen im Stromkreis eine gleichmäßige Aufteilung des Stroms erwartet wird, unabhängig von den nachgeschalteten Widerständen, da der Strom an der Verzweigung noch nicht „weiß“, welche Widerstände folgen. Ein weiteres Denkmuster, das häufig vertreten ist, ist die sequenzielle Argumentation (ebd.). Auch hier fehlt das Bewusstsein für den Stromkreis als System. Lernende mit diesem Denkmuster nehmen an, dass sich Veränderungen eines Widerstandes in einer Reihenschaltung nur auf die Stromstärke des

bezüglich der Stromrichtung dahinter liegenden Teils des Stromkreises auswirkt, nicht aber auf den davor liegenden Abschnitt (ebd.). Diese beiden Denkmuster wirken bei Betrachtung eines Schaltplans erst einmal intuitiv, insbesondere wenn die Stromrichtung als Leserichtung wahrgenommen wird.

Bei Schaltplänen handelt es sich um eine gängige visuelle Repräsentation elektrischer Stromkreise, die dazu genutzt werden, physikalische Situationen darzustellen. Ein wesentliches Merkmal von Schaltplänen ist die topologische Äquivalenz. Nicht die absolute Position der Komponenten in einem Schaltplan ist für die physikalischen Eigenschaften des Stromkreises entscheidend, sondern die Verbindungen der Komponenten. So kann ein konkreter Schaltplan für eine ganze Klasse realer elektrischer Stromkreise stehen. Dies scheint für Lernende ein Problem darzustellen: Sie haben Schwierigkeiten bei der Translation zwischen einem Schaltplan und einem realen Stromkreis, wenn diese sich in ihrem räumlichen Erscheinungsbild unterscheiden, jedoch physikalisch identisch sind (McDermott & Shaffer, 1992). Außerdem fällt es ihnen schwer zwischen Reihen- und Parallelschaltungen zu unterscheiden, wenn in einem Stromkreis mehr als zwei Widerstände vorhanden sind (ebd.).

Es lässt sich also feststellen, dass Lernende sowohl Denkmuster aufweisen, die sich auf die Interpretation eines Schaltplans auswirken oder eventuell sogar durch diese Darstellungsform begünstigt werden, als auch konkrete Schwierigkeiten mit der

Darstellungsform an sich haben, wie das Heranziehen des räumlichen Erscheinungsbildes einer Schaltplans anstelle der Topologie zur Bewertung des Stromkreises.

1.2 Kognitionspsychologischer Hintergrund

Wenn Informationen aus Repräsentationen wie Schaltplänen verarbeitet werden, spricht man vom Bildverstehen. Bildverstehen geht über die reine Wahrnehmung hinaus und liegt erst dann vor, wenn das mentale Modell der Lernenden hinsichtlich der Konsistenz mit dem Wahrgenommenen evaluiert und auf interne Kohärenz mit dem Vorwissen überprüft wird (Weidenmann, 1988). Dabei hebt Weidenmann hervor, dass es sich hierbei um eine psychologische Definition handelt und die genannte Konsistenz und interne Kohärenz unabhängig davon sind, ob die Bildung des mentalen Modells gemessen an fachlichen Vorstellungen korrekt ist. Im Integrierten Modell des Text- und Bildverstehen (ITPC) beschreiben Schnotz und Bannert die kognitiven Prozesse, die beim Bildverstehen ablaufen (Schnotz & Bannert, 2003): Dabei werden zunächst durch Wahrnehmungsprozesse interne Repräsentationen der wahrgenommenen Bildaspekte im Arbeitsgedächtnis erzeugt. Durch schemagesteuerte Zuordnungsprozesse werden dann den grafischen Entitäten Bedeutungen zugeordnet und den räumlichen Beziehungen semantische Beziehungen zugeordnet, die dann wiederum zusammen mit dem Vorwissen in ein mentales Modell integriert werden. Dabei finden sowohl Bottom-Up-Prozesse statt, bei denen die Informationen des Bildes für die Verarbeitung aufgenommen werden, als auch Top-Down-Prozesse, was sich in der Selektion relevanter Abbildungsaspekte, der Organisation dieser durch visuelle Routinen und der Evaluation oder Inspektion eines vorhandenen mentalen Modells äußert (ebd.). Während für das Design von Multimediaumgebungen häufig die Bottom-Up-Prozesse beachtet werden, um das Material an die kognitiven Prozesse anzupassen, spielen bei Betrachtung der Top-Down-Prozesse Kompetenzen und Vorwissen der Lernenden mit der jeweiligen Repräsentationsform eine Rolle.

Für das Lernen mit Repräsentationen sind Repräsentationskompetenzen notwendig. Rau (2017) unterscheidet auf Grundlage kognitionspsychologischer Ansätze wie kognitiver Lerntheorien und Theorien zum Lernen mit Multimedia zwischen drei Teilkompetenzen: den konzeptuellen Kompetenzen, den perzeptuellen Kompetenzen und den Meta-Repräsentationalen Kompetenzen. Zu den konzeptuellen Kompetenzen gehört zum einen die Teilkompetenz „visual understanding“, welche das Wissen umfasst, auf welche Weise die Repräsentation Informationen abbildet, und die Fähigkeit die Repräsentation mit Konzepten zu verknüpfen, zum anderen die Teilkompetenz „connectual understanding“, welche die Fähigkeit der Translation und dem Verbinden von verschiedenen Repräsentationen beschreibt (ebd.). Ähnliche Konstrukte sind auch bei Kozma & Russell (2005) und

diSessa (2004) zu finden, die Nitz (2012) zu den Oberkategorien Interpretation, Konstruktion, Translation, Vergleich und Kritik, Epistemologie und Funktionsweise sowie Argumentation zusammenfasst.

Die perzeptuellen Kompetenzen beschreiben die Geläufigkeit und Vertrautheit, mit der einzelne Repräsentationen erschlossen werden (visual fluency) oder mit der zwischen verschiedenen Repräsentationen translatiert wird (connectual fluency) (Rau, 2017). Bei ausgeprägten perzeptuellen Kompetenzen besteht die Fähigkeit mühelos und effizient Bedeutungen in Repräsentationen zu erkennen. Diese resultieren aus ausgiebiger Übung mit der Repräsentation (Gibson, 1969).

Erlebach und Frank (2022) leiten aus den Top-Down-Prozessen des ITPC ab, welches Vorwissen für die jeweiligen Teilprozesse relevant ist. Sie unterscheiden generell zwischen dem bereichsspezifischem Inhaltsvorwissen, wie lexikalisch-semantischem und konzeptuellem Vorwissen, und dem bereichsübergreifendem jedoch repräsentationsspezifischem Repräsentationswissen, welches sie in deklaratives Repräsentationswissen, strategisches Repräsentationswissen und prozedurales Repräsentationswissen unterteilen. In ihrem systematischem Literaturreview fassen sie bezüglich des Einfluss der Vorwissens auf die Verarbeitungsprozesse von externen Repräsentationen zusammen, dass deklaratives Repräsentationswissen insbesondere in Form von Wissen über repräsentationale Konventionen und dem Erkennen von relevanten Details, aber auch als Wissen über die Funktion der Repräsentation benötigt wird. Räumlich-visuelle Fähigkeiten als Beispiel prozeduralen Repräsentationswissens werden ebenfalls als lernförderlich beschrieben (ebd.). Auch perzeptuelle Repräsentationskompetenzen können als prozedurales Repräsentationswissen verstanden werden. Das Fördern perzeptueller Kompetenzen führt sowohl dazu, dass Lernende eine höhere Selektivität gegenüber relevanter Informationen aufweisen und Informationen in größeren Einheiten verarbeiten (Discovery Effects), als auch zu einer höheren Effizienz bei der Informationsaufnahme bei geringer kognitiver Belastung, was zu vermehrten parallelen Verarbeitungsprozesse führen kann (Fluency Effects) (Kellman & Massey, 2013). Interventionen, die diese Kompetenzen adressieren, führen zu einem langanhaltendem Lernzuwachs (Kellman & Massey, 2009). Um von solchen Interventionen zu profitieren, ist es jedoch notwendig, dass Lernende bereits über konzeptuelles Vorwissen verfügen (Rau, 2022). Strategisches Repräsentationswissen spielt im Umgang mit Repräsentationen ebenfalls eine wichtige Rolle und kommt z. B. beim Ablezen und Vergleichen von Funktionswerten eines Graphen zum Einsatz (Erlebach & Frank, 2022). So zeigen sich Interventionen, die diese Form des Repräsentationsvorwissens adressieren, als wirksam für Lernende mit wenig Vorwissen (ebd.) Bei Lernenden mit größerem Vorwissen kann es allerdings zum Expertise-Reversal-Effekt

kommen (Kalyuga, 2014): Es zeigt sich, dass Instruktionen mit kleinschrittigen Anweisungen zum Umgang mit den Repräsentationen lernförderlich für unerfahrene Lernende sind. Erfahrenen Lernenden schneiden schlechter ab, wenn sie diese Instruktion erhalten im Vergleich zu einer Instruktion, die keine Angaben zur Strategie, sondern lediglich die Repräsentation enthält (ebd.).

1.3 Eye Tracking als methodischer Ansatz

Die Methode des Eye-Trackings wird insbesondere in den letzten Jahren immer häufiger in der Physikdidaktik eingesetzt (Hahn & Klein, 2022). Beim Eye-Tracking wird die visuelle Aufmerksamkeit von Personen durch die Aufnahme der Augenbewegungen bei Vorlage eines Stimulus sichtbar gemacht. Während das Graphenverständnis in der Kinematik beispielsweise bereits sehr umfänglich mit dieser Methode untersucht wurde, finden sich in der Elektrizitätslehre und insbesondere im Umgang mit Schaltplänen bisher nur wenige Forschungsarbeiten (ebd.). Van Gog et al. (2005) untersuchten Unterschiede zwischen Experten und Novizen bei der Bearbeitung von Aufgaben, in denen Fehler in elektrischen Schaltungen erkannt und behoben werden musste. Dabei teilten sie die Bearbeitung der Aufgabe in verschiedene Phasen und konnten mithilfe von Eye-Tracking-Daten in Kombination mit Verbaldaten der Teilnehmenden zeigen, dass Experten mehr Zeit für die Phase der Problemorientierung benötigen und eher dazu geneigt sind eine Bestandsaufnahme der Komponenten zu machen und ihre Funktionsweise vorherzusagen, bevor sie diese testen. Novizen hingegen eher dazu neigen die Konstruktion ohne vorherige Orientierung zu testen (Van Gog et al., 2005). In einer Untersuchung von Rosengrant et al. (2009) zeigten Experten bei der Bearbeitung von Aufgaben zu Stromkreisen Blickpfade, die eher entlang des Schaltplans verliefen, während die Blicke der Novizen eher zwischen den Komponenten des Stromkreises hin und her sprangen. Zudem verwendeten die Experten Strategien wie die zeichnerische Vereinfachung der Schaltpläne (ebd.). Für die Ergebnisse beider Studien muss allerdings beachtet werden, dass diese nur mit wenigen Teilnehmenden durchgeführt wurden. Des Weiteren wurde Eye Tracking genutzt, um Translationen zwischen Analogien und Zielkonzepten in der Elektrizitätslehre zu untersuchen (Chen & She, 2020).

2. Geplante Studie

2.1 Forschungsfragen

Das Lesen von Schaltplänen bereitet Lernenden in vielfacher Hinsicht Probleme. Grundlegende Aspekte, wie das Heranziehen topologischer Aspekte zur Beurteilung eines Schaltplans anstelle des räumlichen Erscheinungsbildes, scheinen Schwierigkeiten

zu bereiten, was darauf hindeutet, dass den Lernenden konzeptionelle Kompetenzen zur Interpretation von Schaltplänen fehlen. Hier bleibt zu klären, ob es sich um einen Mangel an deklarativem Wissen, welche Aspekte von Schaltplänen konzeptionell wichtig sind, handelt oder es an strategischem Wissen fehlt, wie die Informationen aus der Repräsentation herausgelesen und zielführend genutzt werden. Die hier im Wesentlichen zu beantwortende Forschungsfrage lautet: Inwiefern können aus der visuellen Aufmerksamkeit von Lernenden beim Lösen von Aufgaben aus der Elektrizitätslehre Strategien im Umgang mit Schaltplänen rekonstruiert werden?

2.2 Stichprobe und Methode

Um ein breites Spektrum an Fähigkeiten und Expertise abzudecken, sollen Schüler*innen, nach dem Elektrizitätslehreunterricht in der Mittelstufe, Physikstudierende nach der Experimentalphysik 2 Vorlesung (Elektrodynamik) und Doktoranden der Physik in die Untersuchung eingeschlossen werden.

Mithilfe eines Fragebogens werden sowohl allgemeine Informationen über die Teilnehmenden (Alter, Noten, Interesse etc.) als auch das Vorwissen und Schülervorstellungen zum Themenbereich Elektrizitätslehre erfasst. Danach bearbeiten die Teilnehmenden schaltplanbezogene Aufgaben, in denen Konzepte aus der Elektrizitätslehre angewendet werden sollen. Zur Erfassung der visuellen Aufmerksamkeit bei der Bearbeitung dieser Aufgaben wird ein stationäres Eye-Tracking-System genutzt. Um die Strategien der Lernenden zu rekonstruieren, wird nach der Bearbeitung der Aufgaben ein retrospektives Lautes Denken unter Zuhilfenahme der Gazeplots durchgeführt. Hierzu wird den Teilnehmende ihre Augenbewegung bei der Bearbeitung der Aufgaben in einem Video gezeigt, wie es in Abbildung 1 beispielhaft dargestellt ist. In den Gazeplots werden Stellen, die länger betrachtet werden (Fixationen), mit Kreisen und die Blickbewegungen (Sakkaden) zwischen den Fixationen mit Linien zwischen den Kreisen gekennzeichnet. Das Abspielen der Eye-Tracking-Daten, soll den Teilnehmenden als gedankliche Stütze für das retrospektive Laute Denken dienen.

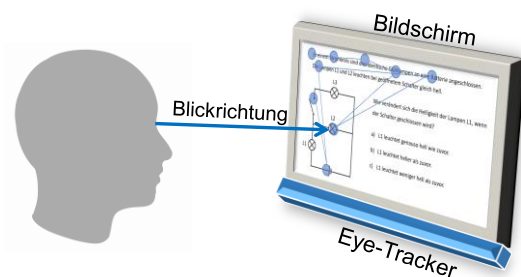


Abb. 1: Schematische Darstellung des Aufbaus (selbst erstellt).

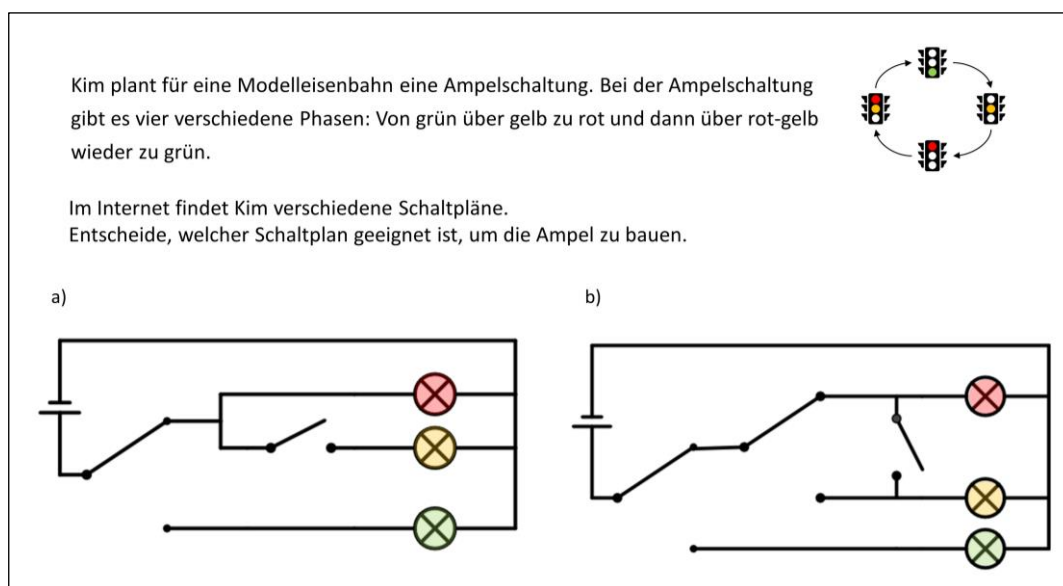


Abb. 2: Exemplarische Aufgabe zur Auswahl eines Schaltplans, der die Funktion einer Ampelschaltung erfüllt (vorläufig).

2.3 Erhebungsmaterialien

Bei der Erstellung des Erhebungsmaterials werden sowohl konzeptuelle als auch repräsentative Aspekte berücksichtigt. Zu den konzeptuellen Aspekten gehört das Verbinden von bestimmten Funktionen, die ein Stromkreis erfüllen soll, mit konkreten Schaltplänen, der Zusammenhang zwischen den physikalischen Größen Spannung, Stromstärke und Widerstand sowie das Erkennen von Reihen- und Parallelschaltungen und das Anwenden von Gesetzmäßigkeiten in diesen grundlegenden Schaltungstypen. Als repräsentatives Konzept wird bei der Erstellung der Aufgaben insbesondere die topologische Äquivalenz berücksichtigt. Eine exemplarische Aufgabe, welche das Verbinden von Funktionen (Ampelschaltung mit vier Phasen) mit konkreten Schaltplänen adressiert, ist in Abb. 2 dargestellt.

3. Ausblick

Nach endgültiger Ausarbeitung des Erhebungsmaterials soll dieses im nächsten Schritt im Sommersemester 2023 pilotiert werden. Mit den Ergebnissen der Pilotierung wird das Material überarbeitet, sodass im Wintersemester 2023/24 die Haupterhebung folgen kann.

4. Literatur

- Burde, J.-P., & Wilhelm, T. (2020). Teaching electric circuits with a focus on potential differences. *Physical Review Physics Education Research*, 16(2).
<https://doi.org/10.1103/physrevphyseducres.16.020153>
- Chen, S.-C., & She, H.-C. (2020). Effects of Analogical Learning Approaches and Presentation Modalities on Ninth Graders' Learning

Outcome and Eye Movements: a Preliminary Study. *Journal of Science Education and Technology*, 29(4), 547-560.

<https://doi.org/10.1007/s10956-020-09835-7>

diSessa, A. A. (2004). Metarepresentation: Native Competence and Targets for Instruction. *Cognition and instruction*, 22(3), 293-331.

https://doi.org/10.1207/s1532690xci2203_2

Erlebach, R., & Frank, C. (2022). Rolle des Vorwissens beim Lernen mit externalen Repräsentationen. *Unterrichtswissenschaft*, 50(3), 479-516.

<https://doi.org/10.1007/s42010-022-00143-0>

Gibson, E.J. (1969). *Principles of perceptual learning and development*. Appleton-Century-Crofts.

Hahn, L., & Klein, P. (2022). Eye tracking in physics education research: A systematic literature review. *Physical Review Physics Education Research*, 18(1).

<https://doi.org/10.1103/physrevphyseducres.18.013102>

Kalyuga, S. (2014). The expertise reversal principle in multimedia learning. In *The Cambridge handbook of multimedia learning*, 2nd ed. (pp. 576-597). Cambridge University Press.

<https://doi.org/10.1017/CBO9781139547369.028>

Kellman, P. J., Massey, C. M., & Son, J. Y. (2009). Perceptual Learning Modules in Mathematics: Enhancing Students' Pattern Recognition, Structure Extraction, and Fluency. *Topics in Cognitive Science*, 2(2), 285-305.

<https://doi.org/10.1111/j.1756-8765.2009.01053.x>

Kellman, P. J., & Massey, C. M. (2013). Perceptual learning, cognition, and expertise. In B. H. Ross

- (Ed.), *Psychology of learning and motivation* (Vol. 58, pp. 117-165). Elsevier.
- Kozma, R., & Russell, J. (2005). Students Becoming Chemists: Developing Representational Competence. In J. K. Gilbert (Ed.), *Visualization in Science Education* (pp. 121-145). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/1-4020-3613-2_8
- Kulgemeyer, C. & Schecker, H. (2009). Physikalische Darstellungsformen. Ein Beitrag zur Klärung von „Kommunikationskompetenz“. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, 62(6), 328-331.
- Kultusministerkonferenz (KMK) (edt.) (2004) *Beschlüsse der Kultusministerkonferenz. Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss (Jahrgangsstufe 10)*. Beschluss vom 16.12.2004.
- 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), 994-1003. <https://doi.org/10.1119/1.17003>
- Nitz, S. (2012). *Fachsprache im Biologieunterricht: Eine Untersuchung zu Bedingungsfaktoren und Auswirkungen*. Kiel: Christian-Albrechts-Universität.
- Rau, M. A. (2017). Conditions for the Effectiveness of Multiple Visual Representations in Enhancing STEM Learning. *Educational Psychology Review*, 29(4), 717-761. <https://doi.org/10.1007/s10648-016-9365-3>
- Rau, M. A. (2022). Adaptive Support for Representational Competencies during Technology-Based Problem-Solving in STEM. In *Artificial Intelligence in STEM Education* (pp. 51-60). CRC Press.
- Rosengrant, D., Thomson, C., Mzoughi, T., Sabella, M., Henderson, C., & Singh, C. (2009). Comparing Experts and Novices in Solving Electrical Circuit Problems with the Help of Eye-Tracking. *AIP Conference Proceedings 5 November 2009*; 1179 (1): 249-252. <https://doi.org/10.1063/1.3266728>
- Schnotz, W., & Bannert, M. (2003). Construction and interference in learning from multiple representation. *Learning and Instruction*, 13(2), 141-156.
- Urban-Woldron, H., & Hopf, M. (2012). Entwicklung eines Testinstruments zum Verständnis in der Elektrizitätslehre. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 18, 201-227.
- Van Gog, T., Paas, F., & Van Merriënboer, J. J. G. (2005). Uncovering expertise-related differences in troubleshooting performance: combining eye movement and concurrent verbal protocol data. *Applied Cognitive Psychology*, 19(2), 205-221. <https://doi.org/10.1002/acp.1112>
- Weidenmann, B. (1988). *Psychische Prozesse beim Verstehen von Bildern*. Hans Huber Verlag.
- Wilhelm, T., & Hopf, M. (2018). Schülervorstellungen zum elektrischen Stromkreis. In H. Schecker, T. Wilhelm, M. Hopf, & R. Duit (Eds.), *Schülervorstellungen und Physikunterricht: Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis* (pp. 115-138). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-57270-2_6

Vorstellungen von Studierenden zum elektrischen Stromkreis

Bernadette Schorn*, Mareike Ablaß*, Alexander Voigt†

*Europa-Universität Flensburg, †Hochschule Flensburg
Bernadette.Schorn@uni-flensburg.de

Kurzfassung

Im Rahmen der Lernendenvorstellungsforschung sind seit den 1970er Jahren eine enorme Anzahl von Studien zu Themen der Physik durchgeführt worden. In den Arbeiten zum elektrischen Stromkreis zeigen sich bei Schüler:innen sowohl national als auch international eine Reihe von Schülervorstellungen und Lernschwierigkeiten. Typische Vorstellungen wie z. B. die Stromverbrauchsvorstellung lassen sich auch bei Studierenden der Physik (Haupt- oder Nebenfach) sowie Lehramtsstudierenden der Physik feststellen (Burde et al., 2022; Fromme, 2018). Zur Untersuchung der Vorstellungen von Sachunterrichtsstudierenden und Studierenden der Ingenieurwissenschaften zu grundlegenden Konzepten des einfachen elektrischen Stromkreises und möglichen Veränderungen des konzeptionellen Verständnisses durch Lehrveranstaltungen wurden an der Europa-Universität Flensburg und der Hochschule Flensburg Befragungen durchgeführt. Die Datenerhebungen erfolgten mithilfe des 2T-SEC-Tests (Ivanjek et al., 2021) in einem Zwei-Gruppen-Pretest-Posttest-Design. Es werden erste Ergebnisse zum konzeptionellen Verständnis der Proband:innen zu Beginn des Studiums sowie erste Ergebnisse der Interventionsstudien vorgestellt.

1. Einleitung

Die Elektrizitätslehre gehört zu denjenigen Inhaltsbereichen der Klassischen Physik, die im Zusammenhang mit Lernendenvorstellungen sowohl national als auch international intensiv untersucht worden sind. Die Studien zeigen, dass nicht nur bei Schüler:innen, sondern auch bei Studierenden eine Vielzahl von Vorstellungen existieren, die zum Teil in deutlichem Widerspruch zu den physikalisch adäquaten Konzepten stehen, wie beispielsweise die Stromverbrauchsvorstellung (z. B. Burde et al., 2022; Fromme, 2018; Wilhelm & Hopf, 2018) oder die Vorstellung, dass eine Batterie eine konstante Stromquelle darstellt (z. B. Küçüközer & Demirci, 2008; Suryadi, Kusairi & Husna, 2020; Wilhelm & Hopf, 2018). Im Hinblick auf die Untersuchungen mit Studierenden des Grundschullehramts und der Studierenden der Ingenieurwissenschaften lassen sich ebenfalls die Stromverbrauchsvorstellung (Chang & Shieh, 2018; Fromme, 2018; Goris & Dyrenfurth, 2013; Lin, 2017), die Vorstellung, dass eine Batterie eine konstante Stromquelle darstellt (Baser, 2006; Goris & Dyrenfurth, 2013; Riegler et al., 2016) und des Weiteren beispielsweise die Vorstellung, dass die elektrische Spannung eine Eigenschaft des elektrischen Stroms ist (Fromme, 2018; Goris & Dyrenfurth, 2013; Sangam & Jesiek, 2012) oder auch die sogenannte sequenzielle Betrachtung von elektrischen Stromkreisen (Fromme, 2018; Smaill et al., 2012) feststellen.

Mit dem Ziel, die Vorstellungen von Studierenden des Grundschullehramts im Teilstudiengang Sachunterricht (im Folgenden SU-Studierende) und Studierenden der Ingenieurwissenschaften (im Folgenden

ING-Studierende) zu grundlegenden Konzepten des einfachen elektrischen Stromkreises und mögliche Veränderungen des konzeptionellen Verständnisses durch Lehrveranstaltungen zu untersuchen, wurden an der Europa-Universität Flensburg und der Hochschule Flensburg Befragungen durchgeführt. Die Analyse der Ergebnisse dient dazu, u. a. Aussagen hinsichtlich der folgenden übergeordneten Fragestellungen zu ermöglichen:

- Wie ist das konzeptionelle Verständnis zu grundlegenden Konzepten des einfachen elektrischen Stromkreises bei SU-Studierenden und ING-Studierenden zu Beginn des Studiums einzustufen?
- Lassen sich Unterschiede bei unterschiedlichen Studierendengruppen hinsichtlich des konzeptionellen Verständnisses zu grundlegenden Konzepten des einfachen elektrischen Stromkreises feststellen?
- Lässt sich eine Veränderung hinsichtlich des konzeptionellen Verständnisses zu grundlegenden Konzepten des einfachen elektrischen Stromkreises durch eine Intervention feststellen?

Zu diesen Fragestellungen werden im Folgenden erste Ergebnisse vorgestellt.

2. Untersuchungsdesign und Erhebungsinstrument

Die Datenerhebungen der bisherigen Untersuchungen erfolgten in einem Zwei-Gruppen-Pretest-Posttest-Design. Neben allgemeinen Variablen zur Beschreibung der Stichproben wurden mithilfe des Pretests bzw. des Posttests das konzeptionelle Verständnis der Studierenden zu grundlegenden Konzepten des ein-

fachen elektrischen Stromkreises zu Beginn bzw. am Ende der Vorlesungszeit erhoben. Während in den Veranstaltungen der Interventionsgruppen im Verlauf der Vorlesungszeit Inhalte zur Elektrizitätslehre behandelt wurden, waren derartige Inhalte kein Bestandteil der Veranstaltungen der Kontrollgruppen. Die Datenerhebungen zum konzeptionellen Verständnis der Studierenden erfolgten mithilfe des Two-Tier-Simple-Electric-Circuits-Tests (2T-SEC-Test), einem zweistufigen Multiple-Choice-Test zum einfachen elektrischen Stromkreis (Ivanjek et al. 2021). Dieses Testinstrument basiert u. a. auf dem Multiple-Choice-Test von von Rhöneck (von Rhöneck, 1986), dem Multiple-Choice-Test von Urban-Woldron und Hopf (Urban-Woldron & Hopf, 2012) und dem Determining and Interpreting Resistive Electric Circuit Concepts Test (DIRECT) von Engelhardt und Beichner (Engelhardt & Beichner, 2004). Der 2T-SEC-Test umfasst 25 zweistufige Items, die aus einer inhaltlichen Fragestellung (erste Stufe) und einer Begründung zu der in der ersten Stufe gewählten Antwortvorgabe (zweite Stufe) bestehen. Die Items lassen sich in Items mit grundlegendem Anforderungsniveau (Items 1–11; im Folgenden Niveau 1) und Items mit höherem Anforderungsniveau (Items 12–25; im Folgenden Niveau 2) unterteilen. Mithilfe des 2T-SEC-Tests lässt sich das konzeptionelle Verständnis zu den folgenden fünf grundlegenden Konzepten des einfachen elektrischen Stromkreises untersuchen: „offene und geschlossene Stromkreise“ (drei Items, alle Niveau 1), „Reihen- und Parallelschaltungen“ (vier Items, jeweils zwei Niveau 1 bzw. Niveau 2), „elektrische Stromstärke“ (fünf Items, davon eins Niveau 1 und vier Niveau 2), „elektrischer Widerstand“ (vier Items, jeweils zwei Niveau 1 bzw. Niveau 2) und „elektrische Spannung“ (neun Items, davon drei Niveau 1 und sechs Niveau 2). Das Erhebungsinstrument ist für Schüler:innen in der Mittelstufe und höher geeignet. Unter Berücksichtigung der Kenntnis, dass SU-Studierende in der Regel in der Oberstufe das Unterrichtsfach Physik nicht belegen, wird der 2T-SEC-Test für Untersuchungen mit diesen Proband:innen als geeignet angesehen. Damit ein Vergleich mit Studierenden anderer Studiengänge möglich ist, wird der Test auch in weiteren Erhebungen mit Proband:innen wie z. B. ING-Studierenden unverändert verwendet. Darüber hinaus wird in den Erhebungen das gesamte Testinstrument eingesetzt und die Antworten der Proband:innen zu den zweistufigen Multiple-Choice-Aufgaben als richtig und mit einem Punkt bewertet, wenn sowohl die richtige Antwort auf der ersten Stufe als auch die richtige Begründung auf der zweiten Stufe ausgewählt werden. Wenn bei den Items auf einer Stufe oder auf beiden Stufen eine nicht zutreffende Antwort bzw. Begründung ausgewählt werden, werden die Antworten der Proband:innen mit null Punkten bewertet (paired scoring; siehe Ivanjek et al. 2021). Durch den Einsatz des gesamten Testinstruments sowie der Bewertung auf der Grundlage des Paired-Scoring-Modells ist der Schwierig-

keitsgrad des 2T-SEC-Tests höher im Vergleich zur Verwendung ausschließlich der Items mit Niveaus 1 sowie der möglichen Bewertung durch eine separate Punktevergabe für richtige Angaben auf jeder der beiden Stufen der Items (separate scoring; siehe Ivanjek et al. 2021). Des Weiteren wird durch die Auswertung mithilfe des Paired-Scoring-Modells die Wahrscheinlichkeit reduziert, aufgrund von Raten bei der Bearbeitung der Items einen Punkt zu erhalten (vgl. Ivanjek et al. 2021).

3. Ergebnisse

Bisher wurden in den Herbstsemestern 2021/2022 und 2022/2023 Erhebungen an der Europa-Universität Flensburg mit SU-Studierenden und im Wintersemester 2022/2023 an der Hochschule Flensburg mit ING-Studierenden durchgeführt. Um bei der Auswertung Fragebögen auszuschließen, die möglicherweise aufgrund der freiwilligen Teilnahme nicht vollständig ausgefüllt wurden, wurden diejenigen Fragebögen nicht berücksichtigt, bei denen ab einschließlich Item 19 des 2T-SEC-Tests keine Bearbeitung mehr erfolgt ist (die ersten 18 Items des 2T-SEC-Tests umfassen alle Items mit Niveau 1 und die Hälfte der Items mit Niveau 2). Somit wurden nur Fragebögen berücksichtigt, bei denen jeweils mindestens 60% der zweistufigen Multiple-Choice-Aufgaben zu den in dem Testinstrument betrachteten fünf grundlegenden Konzepten des einfachen elektrischen Stromkreises bearbeitet wurden. Unter Berücksichtigung dieses Kriteriums konnten die Pretests von insgesamt 218 SU-Studierenden (Studentinnen: $N = 185$ (85%), Studenten: $N = 33$ (15%)) im Alter von 18–47 Jahren ($m = 20,98$; $SD = 3,72$) ausgewertet werden. Die Stichprobe besteht zu 47% aus Studierenden des Teilstudiengangs „Sachunterricht mit naturwissenschaftlicher Ausrichtung“ (im Folgenden NaWi) und zu 53% aus Studierenden des Teilstudiengangs „Sachunterricht mit gesellschaftlicher Ausrichtung“ (im Folgenden GeWi) im 1. Fachsemester. Die Angaben der Proband:innen zur Art des Physikunterrichts in der Oberstufe zeigen, dass 55% der Studierenden in der Oberstufe keinen Physikunterricht hatten, 36% der Proband:innen Physik als Grundkurs (GK)/Kurs mit grundlegendem Anforderungsniveau (gA) und 6% Physik als Leistungskurs (LK)/Kurs mit erhöhtem Anforderungsniveau (eA)/Profilfach belegt hatten. Von 3% der Proband:innen liegen keine/nicht eindeutige Antworten vor. Des Weiteren geben 25% der Studierenden an, vor dem SU-Studium eine Ausbildung bzw. ein Studium begonnen oder abgeschlossen zu haben, beispielsweise im kaufmännischen Bereich (22%), als Erzieher:in bzw. sozialpädagogische/r Assistent/in (20%), im (tier)medizinischen Bereich (11%) oder für ein anderes Lehramt (7%). 74% der Studierenden geben an, vor dem SU-Studium keine Ausbildung bzw. kein Studium begonnen oder abgeschlossen zu haben und von 1% der Proband:innen liegen keine bzw. nicht eindeutige Antworten vor.

Im Hinblick auf die Erhebungen mit ING-Studierenden konnten die Pretests von insgesamt 90 Proband:innen (Studentinnen: $N = 10$ (11%), Studenten: $N = 79$ (88%), keine bzw. nicht eindeutige Antworten: $N = 1$ (1%)) im Alter von 18–41 Jahren ($m = 21,67$; $SD = 3,37$) ausgewertet werden. Die Stichprobe besteht zu 51% aus Studierenden des Studiengangs „Energiewissenschaften“ (im Folgenden EnWi), zu 38% aus Studierenden des Studiengangs „Maschinenbau“ (im Folgenden MB) und zu 3% aus Studierenden des Studiengangs „Schiffsmaschinenbau“ (im Folgenden SMB) im 1. Fachsemester sowie zu 8% aus Studierenden des Studiengangs „Schiffsbetriebstechnik“ (im Folgenden SBT) im 1. Fachsemester, das in dem Studiengang SBT dem 2. Studiensemester entspricht (im Weiteren werden die Studiengänge SMB und SBT unter dem übergeordneten Studiengang Schiffstechnik (im Folgenden ST) zusammengefasst). Die Angaben der Proband:innen zur Art des Physikunterrichts in der Oberstufe zeigen, dass 28% der Studierenden in der Oberstufe keinen Physikunterricht hatten, 46% der Proband:innen Physik als Grundkurs (GK)/Kurs mit grundlegendem Anforderungsniveau (gA) und 21% Physik als Leistungskurs (LK)/Kurs mit erhöhtem Anforderungsniveau (eA)/Profilmfach belegt hatten. Von 5% der Proband:innen liegen keine/nicht eindeutige Antworten vor. Des Weiteren geben 53% der Studierenden an, vor dem ING-Studium eine Ausbildung/ein Studium begonnen oder abgeschlossen zu haben, beispielsweise als Mechaniker:in (38%), als Elektroniker:in bzw. Elektriker:in (14%), als Mechatroniker:in (12%) oder als Techniker:in (12%). 47% der Studierenden geben an, vor dem ING-Studium keine Ausbildung bzw. kein Studium begonnen oder abgeschlossen zu haben.

Im Folgenden werden zunächst erste Ergebnisse zum konzeptionellen Verständnis sowohl von SU- als

auch ING-Studierenden zu grundlegenden Konzepten des einfachen elektrischen Stromkreises zu Beginn des SU- bzw. ING-Studiums auf der Grundlage des Unterrichts in der Schule und ggf. einer vorhergehenden Ausbildung bzw. eines vorhergehenden Studiums vorgestellt.

3.1. Ergebnisse zum konzeptionellen Verständnis zu Beginn des Studiums

Auf der Grundlage des Paired-Scoring-Modells ergeben sich zu Beginn der Vorlesungszeit bei den SU-Studierenden ($N = 218$) die in Abb.1 und bei den ING-Studierenden ($N = 90$) die in Abb.2 dargestellten mittleren erreichten Gesamtpunktzahlen zu den fünf untersuchten grundlegenden Konzepten des einfachen elektrischen Stromkreises. Im Durchschnitt erzielen die SU-Studierenden zwischen 18% und 54% und die ING-Studierenden zwischen 38% und 80% der möglichen Maximalpunktzahlen.

Die Ergebnisse zeigen, dass bei den SU-Studierenden das konzeptionelle Verständnis im Allgemeinen als nicht zufriedenstellend einzustufen ist. Dabei lassen sich im Durchschnitt die meisten Schwierigkeiten bei den Konzepten „elektrische Spannung“ sowie „Reihen- und Parallelschaltungen“ und vergleichsweise die wenigsten Schwierigkeiten bei dem Konzept „offene und geschlossene Stromkreise“ feststellen. Im Vergleich dazu ist das konzeptionelle Verständnis bei den ING-Studierenden im Allgemeinen als besser, allerdings teilweise ebenfalls als nicht zufriedenstellend einzustufen. Die meisten Schwierigkeiten lassen sich im Durchschnitt ebenfalls bei dem Konzept „elektrische Spannung“ und die wenigsten Schwierigkeiten bei dem Konzept „offene und geschlossene Stromkreise“ feststellen.

Im Hinblick auf die Zugehörigkeit der Proband:innen zu den unterschiedlichen Teilstudiengängen zeigt sich, dass bei den SU-Studierenden die Unterschiede

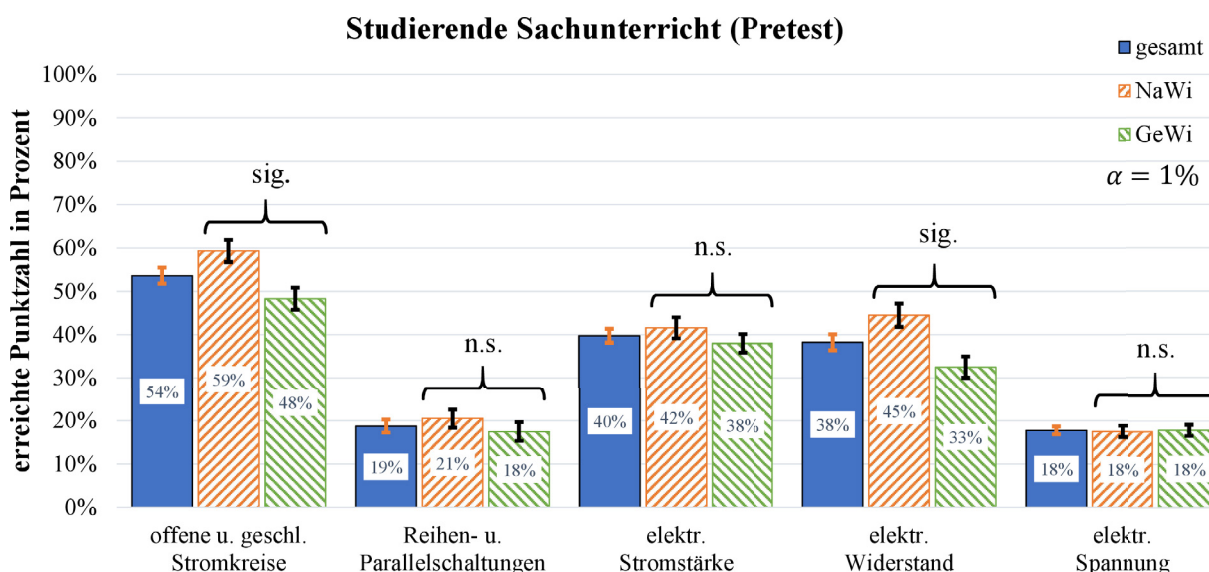


Abb.1: Mittlere erreichte Gesamtpunktzahl bei SU-Studierenden im Pretest für die einzelnen Konzepte. Die Unsicherheitsbalken zeigen die Standardabweichung des arithmetischen Mittelwertes (SEM).

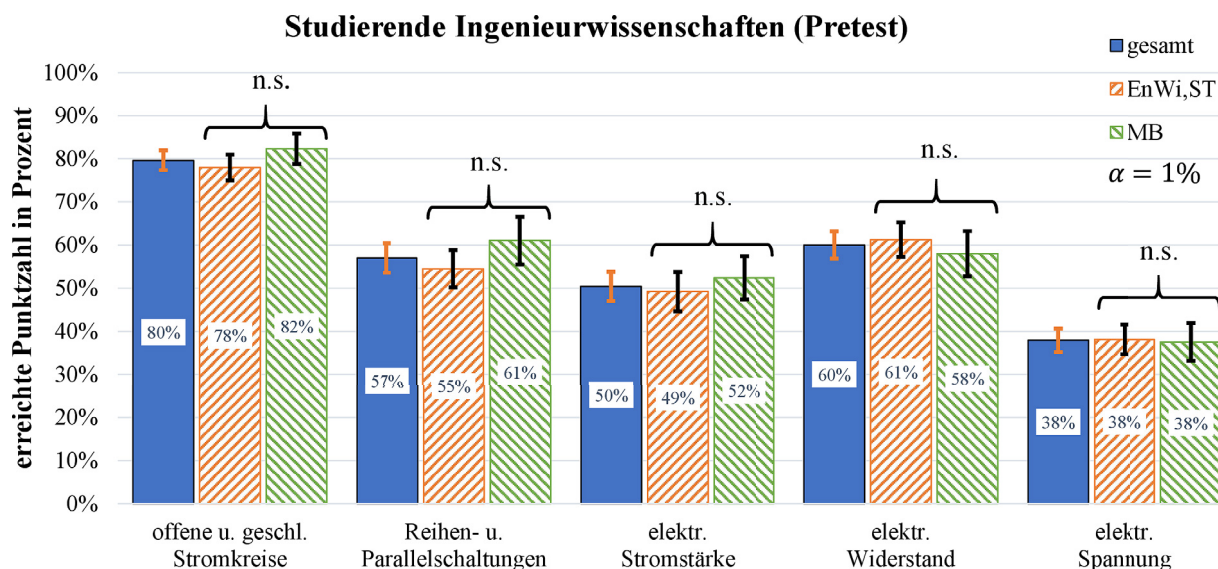


Abb.2: Mittlere erreichte Gesamtpunktzahl bei ING-Studierenden im Pretest für die einzelnen Konzepte. Die Unsicherheitsbalken zeigen die Standardabweichung des arithmetischen Mittelwertes (SEM).

in den im Mittel erreichten Gesamtpunktzahlen der Studierenden des Teilstudiengangs NaWi ($N = 103$; im Folgenden NaWi-Studierende) und des Teilstudiengangs GeWi ($N = 115$; im Folgenden GeWi-Studierende) bei den Konzepten „offene und geschlossene Stromkreise“ ($t_{216} = 2,989$; $p = ,003$; $g = 0,803$) und „elektrischer Widerstand“ ($t_{216} = 3,235$; $p = ,001$; $g = 1,080$) auf einem Signifikanzniveau von $\alpha = 0,01$ statistisch signifikant sind. (Für die einzelnen Konzepte wurde jeweils ein t-Test zur Untersuchung der Mittelwertunterschiede bezüglich der Teilstudiengänge durchgeführt. Da davon auszugehen ist, dass die einzelnen Konzepte miteinander in Zusammenhang stehen, wurde wegen der α -Fehlerinflation bezüglich des Signifikanzniveaus eine Bonferroni-Korrektur durchgeführt. Daraus ergibt sich ein adjustiertes Signifikanzniveau von $\alpha = 0,01$.) Derartige statistisch signifikante Unterschiede in den durchschnittlich erreichten Gesamtpunktzahlen lassen sich in Bezug auf die unterschiedlichen Teilstudiengänge bei den ING-Studierenden nicht feststellen.

Betrachtet man das Antwortverhalten der Proband:innen bezüglich der einzelnen Items, so lässt sich feststellen, dass die meisten richtigen Angaben auf beiden Stufen der Multiple-Choice-Aufgaben sowohl bei den SU-Studierenden als auch bei den ING-Studierenden zu Item 1 des 2T-SEC-Tests zum Konzept „offene und geschlossene Stromkreise“ vorliegen. Bei diesem Item sind drei Reihenschaltungen mit jeweils einer Spannungsquelle, einer Glühlampe und einem geschlossenen bzw. offenen Schalter abgebildet. Auf der ersten Stufe des Items soll angegeben werden, in welchem/welchen der Stromkreise die Glühlampe leuchten wird und auf der zweiten Stufe eine Begründung zu der in der ersten Stufe gewählten Antwortvorgabe ausgewählt werden. Diese Aufgabe wird von 89% der SU-Studierenden und von 99% der

ING-Studierenden vollständig richtig gelöst, vgl. Tab.1.

Tab.1: Anzahl der Studierenden (in %), von denen eine richtige Lösung für die ausgewählten, in der Tabelle aufgeführten Items im Pretest vorliegt. Die mit * gekennzeichneten Items sind Niveau 1 und die mit ** gekennzeichneten Items sind Niveau 2 zugeordnet.

	„offene u. geschl. Stromkreise“		„elektr. Widerstand“		„elektr. Spannung“	
Item	1*	11*	5*	16**	14**	21**
SU-Stud.	89%	31%	31%	53%	2%	1%
ING-Stud.	99%	61%	57%	74%	12%	18%

Betrachtet man das Antwortverhalten der Proband:innen hinsichtlich eines inhaltlich vergleichbaren Items des Konzepts „offene und geschlossene Stromkreise“ ebenfalls mit Niveau 1 (Item 11 des 2T-SEC-Tests), in dem eine Reihenschaltung mit einer Spannungsquelle und zwei Glühlampen abgebildet ist und ein offener Stromkreis aufgrund einer kaputten Glühlampe in der Reihenschaltung vorliegt, so lässt sich feststellen, dass dieses Item von 31% der SU-Studierenden und 61% der ING-Studierenden, d. h. einer (deutlich) geringeren Anzahl von Proband:innen vollständig richtig gelöst wird. Der Vergleich dieser Ergebnisse zeigt somit, dass in Bezug auf diese inhaltlich vergleichbaren Items das Antwortverhalten der Studierenden nicht stabil ist, sondern vom Kontext der Aufgabenstellung abhängt.

Eine Abhängigkeit des Antwortverhaltens bei inhaltlich vergleichbaren Items vom Kontext der Aufgabenstellung, lässt sich beispielsweise, wenn auch nicht so stark ausgeprägt, zudem bei den Items 5 und 16 des 2T-SEC-Tests zum Konzept „elektrischer Wi-

Tab.2: Mittelwerte und Standardabweichungen für NaWi- und GeWi-Studierende im Pre- und Posttest (Spalten 3–6), zu verschiedenen Messzeitpunkten gemittelt über die Teilstudiengänge (Spalten 7–8), sowie für die verschiedenen Teilstudiengänge gemittelt über die Messzeitpunkte (Spalten 9–10).

Konzept		NaWi		GeWi		Messzeitpunkt		Teilstudiengang	
		pre	post	pre	post	pre	post	NaWi	GeWi
„offene u. geschl. Stromkreise“ (3)	<i>m</i>	1,72	2,20	1,49	1,41	1,60	1,79	1,96	1,45
	<i>SD</i>	0,781	0,795	0,847	0,860	0,821	0,915	0,785	0,850
„Reihen- u. Parallel-Schaltungen“ (4)	<i>m</i>	0,86	1,65	0,80	0,93	0,83	1,27	1,26	0,87
	<i>SD</i>	0,933	1,316	0,987	1,054	0,958	1,236	1,136	1,017
„elektr. Stromstärke“ (5)	<i>m</i>	1,98	3,42	1,93	1,87	1,96	2,61	2,70	1,90
	<i>SD</i>	1,256	1,014	1,208	1,296	1,227	1,398	1,137	1,248
„elektr. Widerstand“ (4)	<i>m</i>	1,82	1,75	1,44	1,39	1,62	1,56	1,79	1,42
	<i>SD</i>	1,117	1,335	1,112	1,183	1,125	1,267	1,226	1,144
„elektr. Spannung“ (9)	<i>m</i>	1,55	2,71	1,71	1,59	1,64	2,13	2,13	1,65
	<i>SD</i>	1,212	1,765	1,320	1,357	1,267	1,659	1,508	1,334

derstand“ feststellen: Bei beiden Items sind jeweils zwei Reihenschaltungen mit einer Spannungsquelle, einem Amperemeter sowie in einem Fall mit einer bzw. zwei identischen Glühlampen (Item 5) und im anderen Fall mit einem bzw. zwei identischen elektrischen Widerständen (Item 16) abgebildet. Auf der ersten Stufe der Aufgaben soll jeweils angegeben werden, inwiefern sich die mit Hilfe der Amperemeter gemessene elektrische Stromstärke durch die Anzahl der Widerstände bzw. der Glühlampen im Stromkreis ändert und auf der zweiten Stufe eine Begründung zu der in der ersten Stufe gewählten Antwortvorgabe ausgewählt werden. Im Fall der Aufgabenstellung mit Glühlampen als Bauelementen (Niveau 1) werden von 31% der SU-Studierenden und von 57% der ING-Studierenden und im Fall der Aufgabenstellung mit elektrischen Widerständen als Bauelementen (Niveau 2) werden von 53% der SU-Studierenden und von 74% der ING-Studierenden auf beiden Stufen die richtigen Antwortvorgaben gewählt.

Die mit Abstand am wenigsten auf beiden Stufen korrekt bearbeiteten Multiple-Choice-Aufgaben sind zwei Items mit Niveau 2 (Item 14 und Item 21 des 2T-SEC-Tests) des Konzepts „elektrische Spannung“: Bei Item 14 ist eine Reihenschaltung mit einer Spannungsquelle, einem geschlossenen Schalter und einer Glühlampe abgebildet. Es soll angegeben werden, welche Spannung zwischen den Anschlüssen des Schalters sowie zwischen den Anschlüssen der Glühlampe anliegt und eine Begründung zu der in der ersten Stufe gewählten Antwortvorgabe ausgewählt werden. Diese Aufgabenstellung wird von 2% der SU-Studierenden bzw. von 12% der ING-Studierenden vollständig richtig gelöst. Bei Item 21 ist eine Reihenschaltung mit einer Spannungsquelle und einer Glühlampe abgebildet. Zudem sind auf einem elektrischen Leiter drei nebeneinander liegende Punkte markiert, zwischen denen sich keine Bauteile befinden. Es soll angegeben werden, welche Spannung zwischen den Punkten anliegt und eine Begründung zu der in der ersten Stufe gewählten Antwortvorgabe ausgewählt

werden. Diese Aufgabenstellung wird von 1% der SU-Studierenden und von 18% der ING-Studierenden vollständig richtig gelöst.

3.2. Ergebnisse der Interventionsstudie mit SU-Studierenden zum konzeptionellen Verständnis

Zur Untersuchung einer möglichen Veränderung des konzeptionellen Verständnisses der SU-Studierenden zum einfachen elektrischen Stromkreis aufgrund von Lehrveranstaltungen wurde eine Interventionsstudie mit den NaWi-Studierenden als Interventionsgruppe und den GeWi-Studierenden als Kontrollgruppe durchgeführt. Die Intervention bestand aus einer Vorlesung zu Grundlagen der Physik, einem zugehörigen Laborpraktikum und Tutorium. In den Veranstaltungen wurden neben Inhalten zur Elektrizitätslehre auch die Themen Mechanik, Wärmelehre, Optik Atomphysik und Physik des Wetters behandelt. In Tab.2 sind auf der Grundlage der Daten der Proband:innen, von denen zu beiden Erhebungszeitpunkten Daten vorliegen ($N = 135$), die Mittelwerte (m) für die erreichten Gesamtpunktzahlen der NaWi-Studierenden (Interventionsgruppe, $N = 65$) und GeWi-Studierenden (Kontrollgruppe, $N = 70$) jeweils für den Pretest ($m_{NaWi,pre}$, $m_{GeWi,pre}$) und Posttest ($m_{NaWi,post}$, $m_{GeWi,post}$), die erreichten Gesamtpunktzahlen gemittelt über die Teilstudiengänge (m_{pre} , m_{post}) und die erreichten Gesamtpunktzahlen gemittelt über die Messzeitpunkte (m_{GeWi} , m_{NaWi}) angegeben, jeweils einschließlich der zugehörigen Standardabweichungen (SD).

Zur Untersuchung, ob hinsichtlich des konzeptionellen Verständnisses zu den einzelnen Konzepten (abhängige Variable) statistisch signifikante Mittelwertunterschiede sowohl in Bezug auf die Studierenden der Teilstudiengänge NaWi und GeWi als auch bezüglich der zwei Messzeitpunkte Pretest und Posttest sowie eine Wechselwirkung dieser beiden Faktoren vorliegen, wurden für jedes Konzept eine univariate zweifaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) mit Messwiederholung mit dem Gruppenfaktor Teilstudiengang und dem Messwiederholungsfaktor Messzeit-

Tab.3: Statistische Kennzahlen der ANOVAs mit Messwiederholung für die einzelnen Konzepte. Hervorgehoben sind die Kennzahlen der Faktoren und Wechselwirkungen, die unter Berücksichtigung der Wechselwirkungen und der zugehörigen Interaktionsdiagramme interpretiert werden können.

Konzept	Teilstudiengang				Messzeitpunkt				Messzeitpunkt*Teilstudiengang				Art
	<i>F</i>	<i>df</i>	<i>p</i>	η_{part}^2	<i>F</i>	<i>df</i>	<i>p</i>	η_{part}^2	<i>F</i>	<i>df</i>	<i>p</i>	η_{part}^2	
„offene u. geschl. Stromkreise“	18,121	1	< ,001	,120	7,308	1	,008	,052	13,364	1	< ,001	,097	hybrid
„Reihen- u. Parallelschaltungen“	5,889	1	,017	,042	23,535	1	< ,001	,150	12,147	1	< ,001	,084	ordinal
„elektr. Stromstärke“	24,374	1	< ,001	,155	28,602	1	< ,001	,177	33,560	1	< ,001	,201	hybrid
„elektr. Widerstand“	5,324	1	,023	,038	0,218	1	,641	,002	0,000	1	,986	,000	
„elektr. Spannung“	6,758	1	,010	,048	10,062	1	,002	,070	15,742	1	< ,001	,106	disordinal

punkt durchgeführt. (Da davon auszugehen ist, dass die einzelnen Konzepte miteinander im Zusammenhang stehen, wurde wegen der α -Fehlerinflation bezüglich des Signifikanzniveaus eine Bonferroni-Korrektur durchgeführt. Daraus ergibt sich ein adjustiertes Signifikanzniveau von $\alpha = 0,01$.) In Tab.3 sind die Ergebnisse der zweifaktoriellen ANOVAs mit Messwiederholung zu den untersuchten fünf grundlegenden Konzepten des einfachen elektrischen Stromkreises dargestellt.

Aus den interpretierbaren Ergebnissen der zweifaktoriellen ANOVAs mit Messwiederholung geht unter Berücksichtigung der Mittelwerte und Standardabweichungen in Tab.2 folgendes hervor: Hinsichtlich der Konzepte „offene und geschlossene Stromkreise“ und „elektrische Stromstärke“ ist die durchschnittlich erreichte Gesamtpunktzahl bei den NaWi-Studierenden unabhängig vom Messzeitpunkt statistisch signifikant größer als bei den GeWi-Studierenden; bei den Konzepten „Reihen- und Parallelschaltungen“ und „elektrischer Widerstand“ liegen keine statistisch signifikanten Mittelwertunterschiede bezüglich der erreichten Gesamtpunktzahlen bei den NaWi- und GeWi-Studierenden unabhängig vom Messzeitpunkt vor. Hinsichtlich des Konzepts „Reihen- und Parallelschaltungen“ ist die durchschnittlich erreichte Gesamtpunktzahl der Studierenden unabhängig vom Teilstudiengang im Posttest statistisch signifikant größer als im Pretest; beim Konzept „elektrischer Widerstand“ liegt kein statistisch signifikanter Mittelwertunterschied bezüglich der erreichten Gesamtpunktzahlen im Pre- und Posttest unabhängig vom Teilstudiengang vor. Darüber hinaus liegen für die Konzepte „offene und geschlossene Stromkreise“, „Reihen- und Parallelschaltungen“, „elektrische Stromstärke“ und „elektrische Spannung“ statistisch signifikante Wechselwirkungen vor: Die durchschnittlich erreichte Gesamtpunktzahl der NaWi-Studierenden ist im Posttest jeweils statistisch signifikant größer als im Pretest, d. h. $m_{NaWi,post} > m_{NaWi,pre}$. Der Anstieg der mittleren Gesamtpunktzahl der NaWi-Studierenden zwischen Pre- und Posttest,

$m_{NaWi,post} - m_{NaWi,pre}$, ist zudem statistisch signifikant größer als die betragsmäßige Änderung der durchschnittlich erreichten Gesamtpunktzahlen der GeWi-Studierenden zwischen Pre- und Posttest, d. h.

$$m_{NaWi,post} - m_{NaWi,pre} > |m_{GeWi,pre} - m_{GeWi,post}|. \quad \{1\}$$

Dies deutet auf die Intervention als mögliche Ursache für die statistisch signifikante Verbesserung des konzeptionellen Verständnisses hinsichtlich der genannten Konzepte bei den NaWi-Studierenden hin. Hinsichtlich des Konzepts „elektrischer Widerstand“ liegt keine statistisch signifikante Wechselwirkung vor.

4. Zusammenfassung und Ausblick

Im Hinblick auf die ersten zwei in diesem Beitrag beleuchteten übergeordneten Fragestellungen zeigen die Ergebnisse der bisherigen Untersuchungen, dass das konzeptionelle Verständnis der SU-Studierenden zu grundlegenden Konzepten des einfachen elektrischen Stromkreises zu Beginn des SU-Studiums mit im Durchschnitt zwischen 18% und 54% der möglichen Maximalpunktzahlen als nicht zufriedenstellend einzustufen ist. Die meisten Schwierigkeiten liegen bei den Konzepten „elektrische Spannung“ sowie „Reihen- und Parallelschaltungen“ und die im Vergleich wenigsten Schwierigkeiten liegen bei dem Konzept „offene und geschlossene Stromkreise“ vor. Dies steht im Einklang mit den Ergebnissen von Ivanjek et al. (2021) zu den durchschnittlichen Itemschwierigkeiten im Zusammenhang mit der Entwicklung des 2T-SEC-Tests. Im Hinblick auf die ING-Studierenden lässt sich feststellen, dass das konzeptionelle Verständnis zu grundlegenden Konzepten des einfachen elektrischen Stromkreises zu Beginn des ING-Studiums mit im Durchschnitt zwischen 38% und 80% der möglichen Maximalpunktzahlen im Allgemeinen als besser, allerdings teilweise ebenfalls als nicht zufriedenstellend einzustufen ist. Bei diesen Proband:innen liegen die meisten Schwierigkeiten bei dem Konzept „elektrische Spannung“ und die we-

nigsten Schwierigkeiten bei dem Konzept „offene und geschlossene Stromkreise“ vor. Bei der Analyse des Antwortverhaltens zu den einzelnen Items des Erhebungsinstruments zeigt sich darüber hinaus zum einen vergleichbar mit den Befunden von Ivanjek et al. (2021) sowie Engelhardt & Beichner (2004) innerhalb eines Konzepts bei inhaltlich vergleichbaren Items eine Abhängigkeit der Anzahl der auf beiden Stufen korrekt bearbeiteten Multiple-Choice-Aufgaben vom Kontext der Aufgabenstellung. Dies deutet darauf hin, dass die Konzepte der Proband:innen möglicherweise nicht stabil sind, sondern spontan während der Bearbeitung der Testitems entstehen (vgl. Knowledge-in-pieces-Theorie; siehe diSessa, 1993). Zum anderen lässt sich kein eindeutiger Zusammenhang zwischen der Häufigkeit der auf beiden Stufen korrekt bzw. falsch bearbeiteten Multiple-Choice-Aufgaben und dem den Items zugeordneten grundlegenden bzw. höheren Anforderungsniveau feststellen. Im Hinblick auf die dritte in diesem Beitrag beleuchtete übergeordnete Fragestellung zeigen die Ergebnisse der Interventionsstudie mit SU-Studierenden, dass sich das konzeptionelle Verständnis der NaWi-Studierenden zu den Konzepten „offene und geschlossene Stromkreise“, „Reihen- und Parallelschaltungen“, „elektrische Stromstärke“ und „elektrische Spannung“ nach der Intervention im Vergleich zum Zeitpunkt vor der Intervention statistisch signifikant verbessert hat. Allerdings ist das konzeptionelle Verständnis hinsichtlich der erhobenen Konzepte zum einfachen elektrischen Stromkreis trotz einer Verbesserung als nicht zufriedenstellend einzustufen. Im Rahmen der Studien zum konzeptionellen Verständnis und den Vorstellungen von Studierenden zu grundlegenden Konzepten des einfachen elektrischen Stromkreises ist im Weiteren geplant, weitere Untersuchungen mit SU-Studierenden zu verschiedenen Zeitpunkten im Verlauf des Studiums durchzuführen, um eine Aussage über mögliche Veränderungen des konzeptionellen Verständnisses während des Studiums treffen zu können. Zudem sind weitere Interventionsstudien mit ING-Studierenden geplant, um statistische Analysen mit einem größeren Stichprobenumfang durchführen zu können. Darüber hinaus soll eine Analyse der dem konzeptionellen Verständnis der Studierenden zugrundeliegenden Lernendenvorstellungen erfolgen.

5. Literatur

- Baser, M. (2006): Effects of Conceptual Change and Traditional Confirmatory Simulations on Pre-Service Teachers' Understanding of Direct Current Circuits. In: *Journal of Science Education and Technology*, 15 (5), 367–381.
- Burde, J.-P., Ivanjek, L., Wilhelm, T., Schubatzky, T., Haagen-Schützenhöfer, C., Dopatka, L., Spatz, V. & Hopf, M. (2022): Schülervorstellungen in Schule und Studium – ein Vergleich. In: S. Habig & H. van Vorst (Hrsg.), *Unsicherheit als Element von naturwissenschaftsbezogenen Bildungsprozessen. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Virtuelle Jahrestagung 2021*. (S. 372). Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Universität Duisburg-Essen
- Chang, W. & Shieh, R. S (2018): A study of the conceptual comprehension of electric circuits that engineer freshmen display. In: *European Journal of Physics*, 39 (4), 045705.
- diSessa, A. A. (1993): Toward an epistemology of physics. In: *Cognition and instruction*, 10 (2–3), 105–225.
- Engelhardt, P. V. & Beichner, R. J. (2004): Students' understanding of direct current resistive electrical circuits. In: *American Journal of Physics*, 72 (1), 98–115.
- Fromme, B. (2018): Fehlvorstellungen bei Studienanfängern: Was bleibt vom Physikunterricht der Sekundarstufe I? In: *PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung – Würzburg 2018*.
- Goris, T. V. & Dyrenfurth, M. J. (2013): How Electrical Engineering Technology Students Understand Concepts of Electricity. Comparison of Misconceptions of Freshmen, Sophomores, and Seniors. In: *American Society for Engineering Education*. 120th ASEE Annual Conference & Exposition.
- Ivanjek, L., Morris, L., Schubatzky, T., Hopf, M., Burde, J.-P., Haagen-Schützenhöfer, C., Dopatka, L., Spatz, V. & Wilhelm, T. (2021): Development of a two-tier instrument on simple electric circuits. In: *Physical Review Physics Education Research*, 17 (2).
- Küçüközer, H. & Demirci, N. (2008): Pre-Service and In-Service Physics Teachers' Ideas about Simple Electric Circuits. In: *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 4 (3), 303–311.
- Lin, J.-W. (2017): A Comparison of Experienced and Preservice Elementary School Teachers' Content Knowledge and Pedagogical Content Knowledge about Electric Circuits. In: *Eurasia Journal of Mathematics Science and Technology Education*, 13 (3), 835–856.
- Riegler, P., Simon, A., Prochaska, M., Kautz, C., Bierwirth, R., Hagendorf, S. & Kortemeyer, G. (2016): Using Tutorials in Introductory Physics on circuits in a German university course: observations and experiences. In: *Physics Education*, 51 (6), 065014.
- von Rhöneck, C. (1986): Vorstellungen vom elektrischen Stromkreis und zu den Begriffen Strom, Spannung und Widerstand. In: *Naturwissenschaften im Unterricht Physik/Chemie*, 34 (13), 10–14.
- Sangam, D. & Jesiek, B. K. (2012): Conceptual Understanding of Resistive Electric Circuits Among First-Year Engineering Students. In:

American Society for Engineering Education.
ASEE Annual Conference & Exposition.

Smaill, C. R., Rowe, G. B., Godfrey, E. & Paton, R. O. (2012): An Investigation Into the Understanding and Skills of First-Year Electrical Engineering Students. In: *IEEE Transaction on education*, 55 (1), 29–35.

Suryadi, A., Kusairi, S. & Husna, D. A. (2020): Comparative Study of Secondary School Students' and Pre-Service Teachers' Misconception about Simple Electric Circuit. In: *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*, 16 (2) 111–121.

Urban-Woldron, H. & Hopf, M. (2012): Entwicklung eines Testinstruments zum Verständnis in der Elektrizitätslehre. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 18, 201–227.

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*. Berlin: Springer-Spektrum, 115–138.

Zweistufiges Messinstrument zum konzeptionellen Verständnis von Abbildungsvorgängen an der Sammellinse

Daniel Römer*, Jan Winkelmann*

*Abteilung Physik, Pädagogische Hochschule Schwäbisch Gmünd, Oberbettringer Straße 200,
73525 Schwäbisch Gmünd
daniel.roemer@ph-gmuend.de

Kurzfassung

Ein wesentlicher Zugang zu naturwissenschaftlichen Inhalten sind Modelle und Repräsentationen von Phänomenen. Jeglicher naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung liegen bewusst getroffene Idealisierungen zugrunde. Dieses Projekt folgt der Hypothese, dass fehlverstandene Idealisierungen zu alternativen Konzepten führen können und eine explizite Auseinandersetzung mit ihnen lernförderlich sein kann. Zur Analyse der Wirksamkeit eines solchen Ansatzes bedarf es einer verfahrensökonomischen Methode für die Erhebung der vorherrschenden Konzepte der Lernenden. Dafür wurde, aufbauend auf einem bestehenden Instrument von Teichrew & Erb (2019), ein Test zu Schüler:innenvorstellungen zu Abbildungsvorgängen in der geometrischen Optik entwickelt. Anders als bei bestehenden Messinstrumenten, wird hier bewusst von strahlenoptischen Darstellungen Abstand genommen, um den Fokus auf ein konzeptionelles Verständnis zu legen. Der zweistufige Test (Antwort und Begründung) erweitert das bereits bestehende Messinstrument für die Anfangsoptik um Items zu Abbildungen an der Sammellinse. Der Test selbst sowie erste Ergebnisse der Pilotierung werden in diesem Beitrag vorgestellt.

1. Hintergrund und Motivation

Ein Ziel des Physikunterrichtes ist es, den Schüler:innen grundlegende naturwissenschaftliche Konzepte zu vermitteln. Bei der Vermittlung von physikalischen Inhalten ist es hierbei wichtig, dass die Schüler:innen differenziert zwischen der idealisierten Betrachtungsweise beispielsweise im Kontext von Modellen und den realen Phänomenen unterscheiden können (Mikelskis-Seifert, 2002). Wird diese Fähigkeit nicht ausreichend ausgebildet, können Lernschwierigkeiten und alternative Konzepte auftreten. Diese alternativen Konzepte (auch Fehlkonzepte oder Fehlvorstellungen genannt) stellen eine Herausforderung für die Unterrichtsplanung und -durchführung dar (Schecker & Duit, 2018). Für die erste Identifikation von alternativen Konzepten bieten sich umfangreiche qualitative Erhebungen an (Groppengießer & Marohn, 2018). Für die Messung des konzeptionellen Verständnisses sowie von Entwicklungen im Rahmen von Interventionen hingegen werden Messinstrumente benötigt, mit denen eine große Zahl an Personen ressourcenökonomisch getestet werden können.

Der Themenbereich Optik stellt im Physikunterricht eine große Herausforderung dar (Mzoughi et al., 2007). Aufgrund dessen wurden bereits viele Arbeiten zur Identifikation von Vorstellungen in der Optik durchgeführt (Duit, 2009; Goldberg & McDermott, 1987; Haagen-Schützenhöfer & Hopf, 2018; Kaltakci-Gurel et al., 2016; Teichrew & Erb, 2019; Hettmannsperger et al., 2020; Wörner et al., 2022). Je abstrakter die Repräsentation eines gegebenen

Phänomens ist, desto schwerer erscheint für Schüler:innen das Lösen einer Aufgabe (Müller et al., 2017). Bestehende Instrumente verwenden häufig abstrakte strahlenoptische Darstellungen oder weisen keine mehrstufige Struktur auf. Vor allem bei gebundenen Antwortformaten bieten sich mehrstufige Items an, um Verfälschungen durch Zufallsantworten zu vermeiden. Gleichzeitig können die Kombinationen aus Antworten und Begründungen auch physikalisch falscher Antworten durch den Informationsgehalt der Begründung besser hinsichtlich alternativer Vorstellungen ausgewertet werden. In diesem Beitrag stellen wir ein Instrument vor, welches keine strahlenoptischen Darstellungen in den Items verwendet, sondern über die zeichnerische Darstellung von realitätsnahen Experimentier-Situationen das konzeptionelle Verständnis bei Abbildungsvorgängen an Sammellinsen adressiert.

2. Struktur des Tests

Teichrew & Erb (2019) haben bereits Skalen entwickelt, die Konzepte zur Anfangsoptik (Licht, Schatten, Farben, Spiegel) adressieren. Die Art der Darstellungen sowie der Aufbau der Items dienen als Vorlage für den in diesem Beitrag vorgestellten Test. Der Test besteht aus geschlossenen Items im Single-Choice Format. Dabei besteht jedes Item zunächst aus der bildlichen und schriftlichen Repräsentation einer gegebenen Situation. Die Situationen variieren in der Konstellation und dem Einsatz von einer Linse, einem Schirm sowie einer bzw. zwei Kerzen als Lichtquelle(n). Anschließend folgt eine Frage zu der

gezeigten Situation mit drei Antwortmöglichkeiten, wobei nur eine davon fachlich adäquat ist. Zusätzlich wird in einer zweiten Stufe nach der Begründung für die gegebene Antwort gefragt, wobei hier vier Optionen zur Verfügung gestellt werden. Das Antwortverhalten soll hierbei in vier Ausgängen strukturiert werden:

A: Physikalische Antwort mit konsistenter Begründung

B: Physikalische Begründung ohne konsistente Antwort

C: Alternative Antwort mit konsistenter Begründung

D: Alternative Antwort ohne konsistente Begründung

Der Fokus liegt bei der Codierung der Ausgänge auf der Begründung der gegebenen Antwort. Die Formulierungen der Begründung sind in der Regel allgemein formuliert. Auf Grund dessen wird der Informationsgehalt zum Verständnis des jeweils gegebenen Phänomens in der Begründung höher vermutet (Teichrew & Erb, 2019). Aus diesem Grund wird nochmals zwischen den Ausgängen B und D unterschieden. Die fehlende inhaltliche Deckung beider Ausgänge ermöglicht keine Interpretation der Ergebnisse auf das konzeptionelle Verständnis. Dennoch kann die Häufigkeit des Ausgangs B auf eine missverständliche Repräsentation der Situation bei vorhandenem Verständnis des Phänomens deuten.

Der bestehende Itempool (Teichrew & Erb, 2019) wurde um Items zu Abbildungsvorgängen an der dünnen Linse erweitert. Dabei ist das Instrument inhaltlich in folgende Kernaspekte von Abbildungsprozessen aufgeteilt.

- Helligkeit des Bildes
- Funktion der Linse und des Schirms
- Abstände zur Linse
- Durchmesser der Linse

Die Auflistung dieser thematischen Aspekte sowie jeweils adäquate und mögliche alternative Aussagen sind in Tabelle 1 dargestellt. Die alternativen Vorstellungen zu den jeweiligen Bereichen finden sich häufig so bereits in der Literatur wieder bzw. bauen darauf auf (Kaltakci-Gurel et al., 2016; Goldberg et al., 1987; Haagen-Schützenhöfer & Hopf, 2018 ; Wörner et al., 2022).

Für den Test wurden zunächst zehn Items entwickelt. Diese erste Version des Tests wurde mit n=27 Schüler:innen (online) durchgeführt, wobei Kommentare zu Verständnisproblemen von den Schüler:innen vermerkt werden konnten. Basierend auf den Erkenntnissen aus der ersten Evaluation wurden sprachliche und inhaltliche Anpassungen vorgenommen und Items ergänzt. Es resultierten zwölf Items für die hier vorgestellte Pilotierung. Die inhaltliche Zuordnung der einzelnen Items ist ebenfalls Tabelle 1 zu entnehmen.

Tab. 1: Übersicht der in den Items adressierten physikalischen Konzepte zu Abbildungsvorgängen an Sammellinsen sowie Beispiele für alternative Konzepte

Themenbereich (Item-Nr.)	Adäquate Konzepte	Alternative Konzepte
Helligkeit des Bildes (3,5,7)	Helligkeit des Bildes ist von der Lichtmenge abhängig, die durch die Linse gelangt.	Linse vermehrt Licht
		Helligkeit des Bildes ist nur vom Gegenstand abhängig.
Abstände (8,9)	Scharfes Bild entsteht bei gegebener Gegenstandsweite nur in einer Ebene hinter der Linse	Bildweite/Gegenstandsweite sind irrelevant
		Scharfes Bild ist immer an dem Ort, an dem der Schirm ist.
Abbildungsprozess (1,10,11,12)	Linse vertauscht Seiten und oben/unten	Linse erzeugt Spiegelbild
	Schirm ermöglicht Wahrnehmung des Bildes	Schirm fängt das scharfe Bild ein
Linsendurchmesser (2,4,6)	Größe des Bildes hängt von den Abständen zur Linse ab	Der Durchmesser der Linse beeinflusst die Größe des Bildes
	Das scharfe Bild besteht aus vielen (scharf) abgebildeten Lichtpunkten	Das Bild wandert als Ganzes durch den Raum.

3. Ergebnisse der Pilotierung

Die im Folgenden genauer vorgestellte zweite Pilotierung der Items wurde mit 225 Schüler:innen eines Gymnasiums durchgeführt. Alle Teilnehmer:innen

stammten von derselben Schule, wurden aber von verschiedenen Lehrkräften unterrichtet. Als Zusatzvariablen wurden außerdem die Klassenstufe, das Geschlecht und die Bekanntheit des Themas abgefragt.

Es wurden nur vollständige Datensätze für die Auswertung des Testes in Betracht gezogen. Die Bearbeitung der Tests fand in der Unterrichtszeit unter Aufsicht der Lehrkraft statt. Um zusätzlich dazu eine aufmerksame Bearbeitung der Fragebögen wahrscheinlicher zu machen, wurden jene Datensätze ausgeschlossen, deren Bearbeitungsdauer sehr kurz war. Als Indikator dafür wurde ein von dem Umfragetool (SoSci-Survey) bereitgestellter Score für das Antwortverhalten der einzelnen Seiten verwendet (Cutoff < 150).

Für die Analyse standen am Ende der Selektion $N=199$ gültige Datensätze zur Verfügung. Die Stichprobe setzt sich hauptsächlich aus den Klassenstufen 7 bis 10 zusammen (Klasse 7: $n=24$; Klasse 8: $n=67$; Klasse 9: $n=24$; Klasse 10: $n=52$; andere und n/a : $n=33$) und teilt sich, sofern bekannt, zu ähnlichen Teilen in männliche und weibliche Teilnehmer:innen auf ($w=82$, $m=73$, $d=9$, $n/a=35$). Ein Großteil der Befragten gab an, das Thema Abbildungen an Linsen bereits aus der Schule zu kennen (Bekannt: ja= 155 , nein= 31 , $n/a=13$). Die Teilstichprobe der Teilnehmenden, die das Thema als nicht bekannt angegeben haben, gehörten dabei nicht einer bestimmten Klassenstufe an. Die Bearbeitungszeit der 12 Items lag im Durchschnitt bei 9,40 Minuten ($SD=2,68$ Minuten).

Nur, wenn die Kombination aus Antwort und Begründung korrekt ausgewählt wurde, gilt das Item als richtig gelöst. Im Mittel haben die Schüler:innen mit einem durchschnittlichen Score von 3,58 ($SD=2,02$) Punkten drei Items richtig bearbeitet. Die Häufigkeitsverteilung der Gesamtscores ist in Abbildung 1 dargestellt. Sechs Teilnehmende konnten kein einziges Item erfolgreich lösen, Bodeneffekte sind demnach nicht vollständig auszuschließen.

Es besteht kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Mittelwerten der Gesamtscores der männlichen ($M=3,99$) und weiblichen ($M=3,61$)

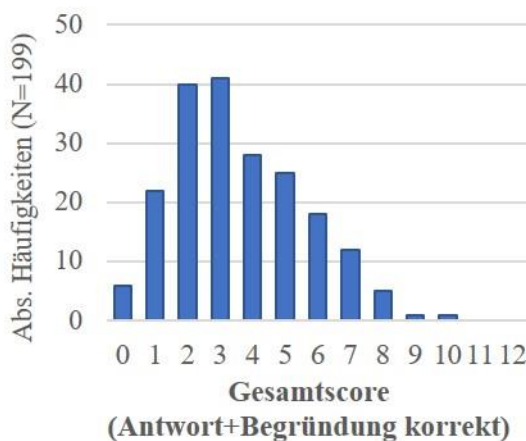


Abb. 1: Absolute Häufigkeit der Anzahlen richtig gelöster Items.

Schüler:innen ($t(153)=-1,142$, $p=,255$). Im Vergleich der Klassenstufen zeigen Schüler:innen der Klassenstufe 10 ($M=4,43$) signifikant höhere Werte, als die

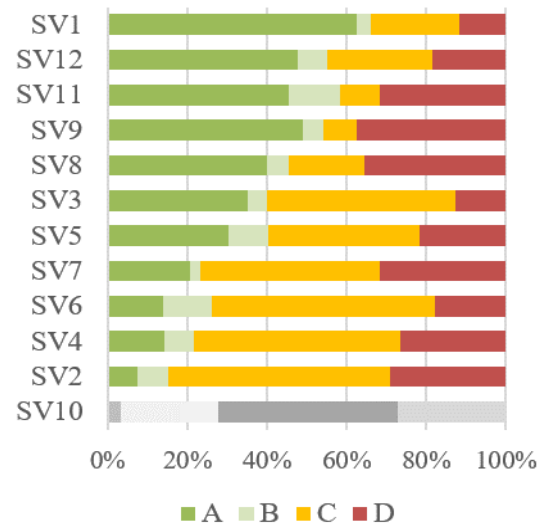
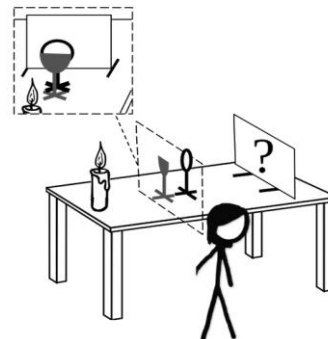


Abb. 2: Häufigkeitsverteilung der codierten Ausgänge in den einzelnen Test-Items.

Schüler:innen der Klassenstufe 8 ($M=3,40$) im durchschnittlichen Gesamtscore ($t(89,371)=2,816$, $p<,05$).

Eine genauere Betrachtung zeigt große Unterschiede in den Lösungshäufigkeiten einzelner Items. Die Lösungshäufigkeiten der Items variieren zwischen 3% (Item 10) und 62,4% (Item 1). Die Verteilung der relativen Häufigkeiten der vier Ausgänge (Kombination aus Antwort plus Begründung) ist in Abbildung 2 für jedes Item abgebildet. Die Häufigkeiten für die in sich konsistenten alternativen Antworten (Ausgang



1. Bert bildet eine Kerzenflamme mit einer Linse scharf auf dem Schirm ab. Die untere Hälfte der Linse wird jetzt abgedeckt.

Wie verändert sich die Helligkeit des Bildes?

- Das Bild wird heller.
- Das Bild wird dunkler.
- Das Bild bleibt gleich hell.

Welche Aussage begründet deine Antwort am besten?

- Hinter der Linse ist mehr Licht vorhanden, als vor der Linse.
- Es ist weniger Licht an der Abbildung beteiligt als vorher.
- Die Linse erzeugt ein Spiegelbild der Kerzenflamme.
- Die Größe der Linse hat keinen Einfluss auf die Helligkeit des Bildes.

Abb. 3: Beispielitem (SV4) bestehend aus der Repräsentation einer Situation mit einer dazugehörigen Frage sowie der Aufforderung nach der Begründung der Antwort.

C, gelb) fallen für die Items SV2, SV4 und SV6 besonders hoch aus. Abbildung 3 zeigt beispielhaft das Item SV4, welches zu 14,1% mit dem Ausgang A (grün) und zu 51,8% mit dem Ausgang C (gelb) beantwortet wurde.

4. Diskussion

Die Auswertung der Gesamtscores zeigt, dass der Test mit durchschnittlich drei vollständig gelösten Aufgaben sehr schwer für die untersuchte Stichprobe war. Für die erste Stufe der Items (Antwort ohne Begründung) lag der Mittelwert des Gesamtscores bei $M=5,40$ richtig gelösten Items ($SD=1,702$). Die Aufforderung zur Begründung der gegebenen Antwort führt also wie ursprünglich erwartet zu einer genaueren Selektion der gegebenen Antworten. Das Item mit der geringsten Lösungshäufigkeit von 3% wies zusätzlich eine besonders hohe Häufigkeit des Ausgangs B (nicht adäquate Antwort aber physikalische Begründung) auf und wurde aufgrund der Auffälligkeiten aus dem Test entfernt (ausgegraut in Abb. 2).

Die hohe Schwierigkeit des Tests führt dazu, dass (geringe) Bodeneffekte nicht vollständig auszuschließen sind. Aber selbst, wenn der Test nur bedingt als reiner Leistungstest verwendet werden kann, lassen sich bei der Analyse der alternativen Ausgänge (C, dargestellt in gelben Balkenabschnitten) auch selten gelösten Items näher interpretieren. Im Vergleich mit Tabelle 1, also der inhaltlichen Struktur der Items, finden sich diese Gruppen (auf einer deskriptiven Ebene) in den Ergebnissen wieder.

Abbildung 4 zeigt nochmal deutlicher, wie sich die

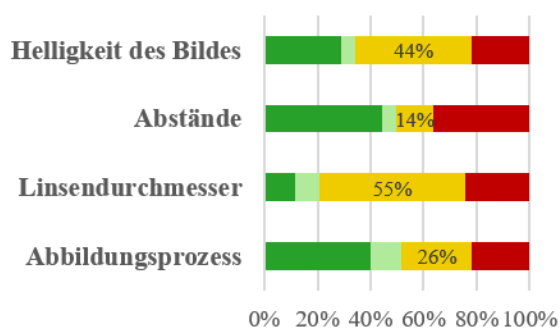


Abb. 4: Inhaltliche Gruppierung der codierten Ausgänge der Items (ohne Item 10). Relative Häufigkeiten der Ausgänge A,B,C und D

Ergebnisse vor allem in zwei Gruppen unterscheiden. Einerseits die Items zur allgemeinen Bedeutung der am Abbildungsprozess beteiligten Komponenten (Linse, Schirm) sowie deren Abstände zueinander und andererseits die Items zur Helligkeit des Bildes bzw. der Rolle des Linsendurchmessers. Die Bereiche „Abstände“ und „Abbildungsprozess“ werden wesentlich häufiger richtig bzw. komplett falsch beantwortet. Die Häufigkeit der alternativen Ausgänge ist mit 14% bzw. 20% sehr gering. Daraus kann die Vermutung abgeleitet werden, dass es hierbei selten zu alternativen Vorstellungen kommt, sondern Schüler:innen oft nur unwissend oder wissend in den

Teilbereichen sind. Die Teilmenge von unaufmerksam (statt unwissend) beantworteten Fragen kann hierbei nicht eindeutig identifiziert werden. Die zwei übrigen Teilbereiche beinhalten immer eine Form von Änderung an der Linse (Abdeckung oder Veränderung des Durchmessers) und adressieren das Wissen über die Gestalt und Helligkeit des Bildes nach den beschriebenen Manipulationen. Hier finden sich sehr häufig konsistente alternative Antworten. Dies deckt sich mit Befunden aus der Literatur, welche die abgedeckte Linse als äußerst herausforderndes Phänomen betrachten. Das vermutete Konzept dahinter ist, dass Schüler:innen das Bild als Ganzes wahrnehmen, welches durch den Raum wandert. Eine Abdeckung vor der Linse führt dazu, dass das Bild dann nicht mehr vollständig durch die Linse gelangt und somit nur teilweise auf dem Schirm zu sehen ist (Haagen-Schützenhöfer & Hopf, 2018).

Die Items des hier vorgestellten Tests zu Abbildungen an der Sammellinse wurden häufiger im Ausgang D beantwortet, als die Themenbereiche der Anfangsoptik aus Teichrow & Erb (2019). Es wurde zwar nicht dieselbe Stichprobe untersucht, jedoch zeigen sich dort bei den Antworten, von Schüler:innen vergleichbarer Klassenstufen, vermehrt die Ausgänge A und C. Eine höhere Anzahl an falschen Antworten überrascht bei einem anspruchsvollen Thema wie Abbildungen an Linsen im Vergleich zu den Bereichen Schatten oder Licht nicht. Aufgrund der Tatsache, dass dies auch mit der Güte der Skalen zusammenhängen kann, wird trotzdem eine nochmalige fachliche Analyse der Items durchgeführt werden.

Der Test adressiert vier Teilbereiche beim Thema Abbildungen an Linsen (vgl. Tab. 1). Die konzipierten Themenbereiche werden dementsprechend, wie bereits beschrieben, unterschiedlich angekreuzt. An dieser Stelle muss diskutiert werden, wie aussagekräftig hier die unzufriedenstellende Reliabilität von Cronbachs $\alpha < .6$ für alle Items ist. Obwohl die Items einem übergeordneten Thema (Abbildungen an der Sammellinse) zugeordnet sind, ist die Bewertung aller Items als eine Skala möglicherweise nicht sinnvoll. Unterschiede in den Wissensselementen zwischen der abgedeckten Linse und beispielsweise den Abständen bei der Abbildung können zu einem inkonsistenten Antwortverhalten führen.

5. Fazit und Ausblick

Das vorgestellte Instrument zur Messung des konzeptionellen Verständnisses von Abbildungsvorgängen an der Sammellinse deckt sich mit den Befunden aus der Literatur. Die zwölf entwickelten Items adressieren verschiedene herausfordernde Aspekte von Teilbereichen des Themas. Mit einer kurzen durchschnittlichen Bearbeitungsdauer von weniger als 10 Minuten ist der Test für den angestrebten Einsatz als schnelles Diagnoseinstrument geeignet. Die inhaltliche Weiterentwicklung der nach der Pilotierung elf Items findet derzeit statt.

6. Literatur

- Duit, Reinders. (2009): Bibliography: Students' and Teachers' Conceptions and Science Education.
- Gropengießer, H., & Marohn, A. (2018): Schülervorstellungen und Conceptual Change. In: Krüger, D.; Parchmann, I.; Schecker, H. (Hrsg.): Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung. S. 49–67. https://doi.org/10.1007/978-3-662-56320-5_4
- Goldberg, F.M. & McDermott, L.C. (1987): An investigation of student understanding of the real image formed by a converging lens or concave mirror. In: Am. J. Phys., 55, S. 108–119. <https://doi.org/10.1119/1.15254>
- Haagen-Schützenhöfer, C. & Hopf, M. (2018): Schülervorstellungen zur geometrischen Optik. In: Schecker, H.; Wilhelm, T.; Hopf, M.; Duit, R. (Hrsg.): Schülervorstellungen und Physikunterricht. S. 89–114. https://doi.org/10.1007/978-3-662-57270-2_5
- Hettmannsperger, R.; Müller, A.; Scheid, J.; Kuhn, J.; Vogt, P. (2020): KTSO-A: KONZEPTTEST-STRAHLENOPTIK – ABBILDUNGEN. Entwicklung eines Konzepttests zur Erfassung von Konzepten der Lichtausbreitung, Streuung und der Entstehung reeller Bilder im Bereich der Strahlenoptik. PriSE. 2021. 4, 1. <https://doi.org/10.25321/priSe.2021.1015>
- Kaltakci-Gurel, D.; Eryilmaz, A.; McDermott, L.C. (2016): Identifying pre-service physics teachers' misconceptions and conceptual difficulties about geometrical optics. In: Eur. J. Phys., 37, 045705. DOI: 10.1088/0143-0807/37/4/045705
- Mikelskis-Seifert, S. (2002). Die Entwicklung von Metakzepten zur Teilchenvorstellung bei Schülern - Untersuchung eines Unterrichts über Modelle mithilfe eines Systems multipler Repräsentationsebenen. Logos Verlag Berlin.
- Müller, A.; Hettmannsperger, R.; Scheid, J.; Schnotz, W. (2017): Representational Competence, Understanding of Experiments, Phenomena and Basic Concepts in Geometrical Optics: A Representational Approach. In: Treagust, D.; Duit, R.; Fischer, H. (Hrsg.): Multiple Representations in Physics Education. Models and Modeling in Science Education, vol 10. Springer, Cham. S. 209-229. https://doi.org/10.1007/978-3-319-58914-5_10
- Mzoughi, T.; Herring, S. D.; Foley, J. T.; Morris, M. J.; Gilbert, P. J. (2007): WebTOP: A 3D interactive system for teaching and learning optics. In: Computers & Education, 49(1), S. 110–129. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2005.06.008>
- Schecker, H. & Duit, R. (2018): Schülervorstellungen und Physiklernen. In: Schecker, H.; Wilhelm, T.; Hopf, M.; Duit, R. (Hrsg.): Schülervorstellungen und Physikunterricht. S. 89–114. https://doi.org/10.1007/978-3-662-57270-2_1
- Teichrow, A., Erb, R. (2019): Entwicklung und Evaluation eines zweistufigen Testinstruments für Schülervorstellungen zur Anfangsoptik. In: V. Nordmeier & H. Grötzebauch (Hrsg.): PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung Aachen 2019. Berlin. S. 219-226.
- Wörner, S.; Becker, S.; Küchemann, S.; Scheiter, K.; Kuhn, J. (2022): Development and validation of the ray optics in converging lenses concept inventory. In: Phys. Rev. Phys. Ed. Res. 18, 020131. American Physical Society (APS). <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEduRes.18.020131>

Entwicklung praxistauglicher, inklusiver MINT-Vermittlungskonzepte für die Schule

Giulia Pantiri¹, Lea Mareike Burkhardt², Thomas Wilhelm¹, Volker Wenzel², Arnim Lühken³,
Dieter Katzenbach⁴

¹Institut für Didaktik der Physik, Goethe-Universität Frankfurt am Main, Max von-Laue-Str. 1, 60438 Frankfurt am Main

²Abteilung Didaktik der Biowissenschaften, Goethe-Universität Frankfurt am Main, Max von-Laue-Str. 13, 60438 Frankfurt am Main

³Institut für Didaktik der Chemie, Goethe-Universität Frankfurt am Main, Max von-Laue-Str. 7, 60438 Frankfurt am Main

⁴Institut für Sonderpädagogik, Goethe-Universität Frankfurt am Main, Theodor-W.-Adorno-Platz 6D, 60323 Frankfurt am Main

pantiri@physik.uni-frankfurt.de, l.burkhardt@bio.uni-frankfurt.de, wilhelm@physik.uni-frankfurt.de,
wenzel@bio.uni-frankfurt.de, luehken@chemie.uni-frankfurt.de, d.katzenbach@em.uni-frankfurt.de

Kurzfassung

Schon seit längerer Zeit besteht ein erheblicher Handlungs- und Forschungsbedarf hinsichtlich praxiserprobter und lernwirksamer Unterrichtskonzepte für den inklusiven fachübergreifenden naturwissenschaftlichen Unterricht. In diesem Kontext ist das vom BMBF geförderte Design-Based-Research-Projekt E²piMINT angesetzt, in dem ein innovatives Vermittlungskonzept für die Sekundarstufe I entwickelt, getestet und evaluiert wird. Dazu entwickelt ein Team aus Vertreter*innen aller drei Naturwissenschaftsdidaktiken sowie der Sonderpädagogik unter Einbezug von Lehrkräften an Kooperationsschulen Vermittlungskonzepte, die zunächst im Goethe-Schülerlabor der Universität Frankfurt unter kontrollierten Bedingungen erprobt und evaluiert werden. An diese erste Phase schließen sich zwei Design- und Re-Design-Zyklen an, die in den Schulen stattfinden, um die praktische Wirksamkeit im Unterricht zu erforschen. Das erste Design für den inklusiven fachübergreifenden MINT-Unterricht wurde zum Thema „Farben“ entwickelt und im Schülerlabor eingesetzt und erprobt.

1. Motivation für das Projekt

Eine Herausforderung im inklusiven fachübergreifenden MINT-Unterricht besteht darin, Schülern*innen mit und ohne sonderpädagogischen Förderbedarf durch praxistaugliche Unterrichtskonzepte in den Unterricht einzubeziehen und ein effektives gemeinsames Lernen für alle zu ermöglichen (Feuser, 1982; Kultusministerkonferenz, 2020).

Im Rahmen der didaktischen Forschung sollte mehr Fokus auf die konkrete Unterrichtsgestaltung gelegt werden, die bisher oft nur als Individualisierung des Unterrichts umgesetzt wird und selten auf das gemeinsame Lernen achtet (Buchhaupt et al., 2019). In diesem Kontext zielt das „Design-Based Research“-Projekt E²piMINT („Evidenzbasierte Entwicklung praxistauglicher inklusiver MINT Vermittlungskonzepte für die Schule“) darauf ab, ein innovatives Vermittlungskonzept für die Sekundarstufe I zu entwickeln, zu testen und zu evaluieren.

Dazu arbeiten in dem Projekt Vertreter*innen aus den Bereichen Biologiedidaktik, Chemiedidaktik, Physikdidaktik und Sonderpädagogik zusammen. Von grundlegender Bedeutung ist auch die Kooperation mit und der Einbezug von

Kooperationsschulen und deren Lehrkräfte. In der Durchführung und Datenerhebung werden alle Schulformen berücksichtigt – sowohl inklusive Unterrichtssettings als auch reine Förderschulen (Arndt & Werning, 2013).

Der Design-Based Research-Ansatz stellt eine wirksame Kombination aus theoretischen und praktischen Ansätzen dar und ermöglicht es, die Wirksamkeit des Unterrichtskonzeptes bereits während der Entwicklungsphase zu prüfen und seine Weiterentwicklung und Verbesserung in die Praxis flexibel umzusetzen (DBR Collective, 2003; Wilhelm & Hopf, 2014).

Zu Beginn des dreijährigen Zyklus (2022-2025) werden inklusive MINT („iMINT“) Lehr-Lernarrangements entwickelt und in den Schülerlaboren der Goethe-Universität Frankfurt mit Klassen aus den Kooperationsschulen erprobt. An diese erste Erprobungs- und Evaluationsphase schließen sich zwei Design- und Re-Design-Zyklen an, die in den Schulen stattfinden (siehe Abb. 1). Die Umsetzung durch Lehrkräfte im Praxisfeld stellt die externe Validität sicher und führt so zu praxistauglichen und passgenauen Unterrichtsarrangements und Materialien für inklusiven NaWi-Unterricht. Neben Beiträgen zur

naturwissenschaftsdidaktischen Forschung, können die Gestaltungsmerkmale der entwickelten Maßnahmen als Grundlage dazu dienen, in anderen inklusiven MINT-Lehr- und Lernsituationen erfolgversprechende Lernarrangements zu konzipieren.

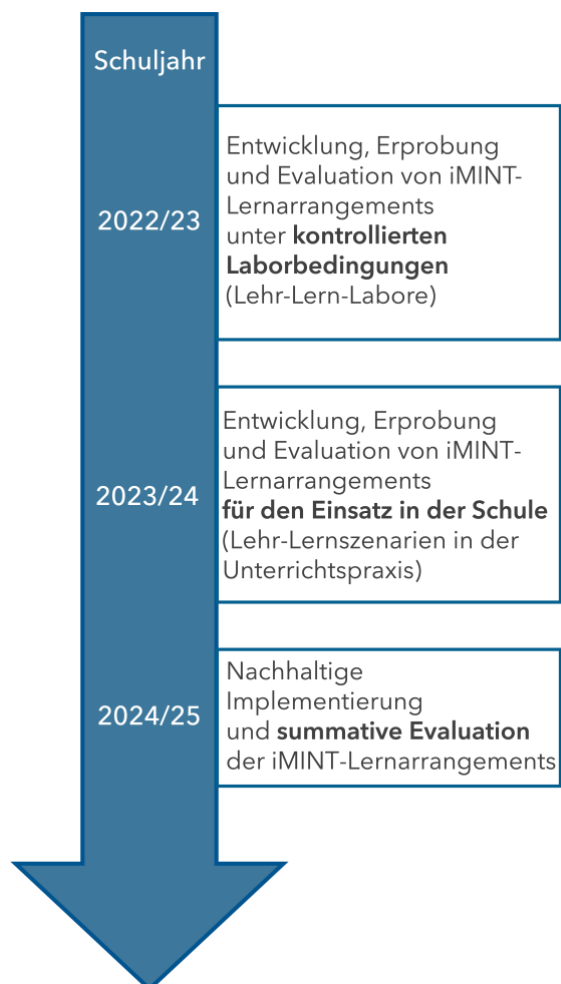


Abb. 1: Zeitplan des E²piMINT Projekts.

Die Hauptforschungsfrage des Projektes ist, wie fächerübergreifende naturwissenschaftliche Inhalte für Lernende mit stark divergierenden Lernausgangslagen zugänglich gemacht werden können, damit Lernbarrieren überwunden und gleichermaßen Förderungen angeboten werden können. Dazu nötig ist die Gestaltung und Erstellung von Unterrichtsmaterialien für Lehrende und Lernende, die möglichst direkt und flexibel in der Schule eingesetzt werden können. Untersucht werden u.a. das Verständnis von naturwissenschaftlichen Phänomenen und die Interessenentwicklung der Lernende.

2. Das entwickelte Unterrichtskonzept

2.1. Lernstationen

Um ein gemeinsames Lernen zu erreichen, wurde der Unterricht in der Form von Lern- bzw. Experimentierstationen konzipiert und gestaltet. Diese Methode ermöglicht es, sowohl die

Selbständigkeit der Lernende als auch die Gruppenarbeitsfähigkeiten zu fördern und bietet die Gelegenheit, verschiedene Zugänge für heterogene Lerngruppen anzubieten.

Zu einem allgemeinen Hauptthema bietet jede Station ein Unterthema und besteht aus einer Kiste, die „Forscherbox“ genannt wird. Diese enthält alle Materialien, die zur Durchführung der Stationsaufgaben benötigt werden. In der Box befinden sich vier Hauptexperimente sowie weitere optionale Zusatzversuche.

Jede Gruppe besteht in der Regel aus vier Schüler*innen. Jeder Lernende wählt eines der vier Hauptexperimente aus und führt es in der ersten Arbeitsphase allein durch. Zu jedem Versuch gibt es eine Anleitung (in zwei verschiedenen Formen, wie in Abschnitt 2.3 dargestellt), in der das Material und die Vorgehensweise beschrieben sind.

In der zweiten Phase stellen alle Mitglieder der Gruppe ihre individuellen Ergebnisse zusammen und arbeiten an der Lösung einer gemeinsamen Aufgabe. Dazu wird ein „Gruppenplakat“ erstellt, auf dem alle Ergebnisse der Gruppe dargestellt werden und mit dem die Schüler*innen ihre jeweiligen Versuche vergleichen. Das Plakat kann nicht völlig frei ausgefüllt werden, sondern es wird im Voraus für sie vorbereitet und die Schüler*innen füllen die Leerräume, so dass sie damit ihre Ergebnisse auf verschiedene Weisen präsentieren: durch Zeichnen, Einkleben ihrer Produkte oder Beantworten von Fragen. Besteht die Gruppe aus drei und nicht aus vier Schüler*innen, kann dieser Phase die gemeinsame Durchführung des vierten Hauptversuchs vorausgehen.

Die Aufteilung in diese zwei Phasen wurde gewählt, da bei reiner Gruppenarbeit das Risiko besteht, dass einige Kinder ins Abseits gestellt werden oder freiwillig zurücktreten und das Experiment den stärksten Mitgliedern der Gruppe überlassen oder denjenigen, die sie für „besser“ halten. Andererseits könnten solche starken Schüler*innen sich gegenüber den anderen durchsetzen wollen, indem sie das Experiment tatsächlich allein durchführen und den anderen nur Nebenaufgaben überlassen.

Wenn die Gruppe das Plakat fertiggestellt hat, kann sie entweder mit der gleichen Kiste weiter experimentieren oder eine andere Kiste bearbeiten. Beide Möglichkeiten sind gleich wichtig: Entweder werden sie zu noch besseren Experten zum Unterthema ihrer Forscherbox oder sie können andere Experimente durchführen, um einen umfassenderen Einblick in das Hauptthema der Aktivität zu erhalten.

Ein Teil des Konzepts ist es, dass nach der ersten Runde die Mitglieder der Gruppe von den anderen als „Expert*innen“ eines bestimmten Themas angesehen werden. Deshalb öffnet sich die Gelegenheit, in der zweiten Runde bei diesen „Expert*innen“ Vorschläge und Tipps zu deren Box zu erfragen. Damit werden gewisse Elemente eines

Gruppenpuzzle übernommen, ohne dass jeder in der Funktion des Experten sein Thema anderen erklären muss (Berger & Hänze, 2004).

2.2. Die Themen

In dem Projekt E²piMINT werden Unterrichtsmaterialien zu zwei Themen erarbeitet. Diese Themen sollen nicht spezifisch zu einer Naturwissenschaft gehören und die Möglichkeit bieten, die drei Fächer gut miteinander zu verbinden. Außerdem sollen möglichst viele handlungsorientierte Versuche angeboten werden (Brigham et al., 2011). Als erstes Thema wurde „Farben“ gewählt und als zweites Thema „Kleben und Haften“.

Das Thema „Farben“ enthält alle oben genannten Merkmale, erlaubt eine gute Interdisziplinarität und kann das Interesse der Lernende fördern. Dabei soll das Thema weitgehend auf der Phänomenebene durch Experimentieren entdeckt und dazu Fragestellungen bearbeitet werden.

Zu dem Thema „Farben“ sind die folgenden Boxen geplant:

- „Farben mischen“: Die Lernende erforschen die Mischung von Farbmitteln (subtraktive Farbmischung). Dabei lernen sie verschiedene Typen von Farbmitteln (Acryl- und Wasserfarben) kennen oder stellen sie selbst her (Ölfarben und farbiges Wasser). Eine Verbindung mit dem Fach Kunst ist hier möglich. Am Ende bekommen sie eine erste Erklärung der Funktionsweise eines Druckers, indem sie einen 4-Pass-Handy-Drucker verwenden.
- „Farben trennen“: Die Lernende erfahren verschiedene Methoden der Chromatografie und entdecken, wie und warum sich die schwarze Tinte eines schwarzen Filzstiftes in verschiedene Farben trennt. Anschließend können sie die Trennung aller anderen Farbstoffe untersuchen.
- „Farben aus Lebensmitteln“: Die Lernende extrahieren Farbstoffe aus verschiedenen Pflanzenteilen (Früchten, Blätter, Wurzeln usw.) mit verschiedenen Methoden (Kochen, Mörser, Reiben usw.). Sie können dann Farbstoffe in verschiedenen Kombinationen mischen und erkennen das subtraktive Mischen von Farbstoffen.
- „Farben als Indikatoren“: Die Lernende entdecken einen Säure-Base-Farbindikator. Sie messen den pH-Wert von verschiedenen Lebensmitteln oder Erden und stellen selbst ein einfaches pH-Meter her.
- „Farben als Darstellungsform“: Die Lernende experimentieren mit Wärmebildkameras und untersuchen die Oberflächentemperatur verschiedener Gegenstände. Dabei lernen sie, wie die für unsere Augen unsichtbare Größe Temperatur mit Hilfe von Farben visualisiert

werden kann (Molz et al, 2022; Vollmer, 2022; Weißnick & Heinicke, 2017).

- „Farbstoffe mikroskopieren“: Mit Hilfe des Mikroskops untersuchen die Lernende die in den Zellen verschiedener Pflanzenarten enthaltenen Farbstoffe.

2.3. Verschiedene Zugänge

Das Lesen einer schriftlichen Anleitung kann vor allem für Schüler*innen mit Lernschwierigkeiten mühsam und frustrierend sein. Aus diesem Grund wurden die Anleitungen in zwei Formen entwickelt: eine schriftliche und eine in Videoformat.

1: Grundfarben mischen

1. Ziehe dir Handschuhe an.
2. Befeuchte den Pinsel im Pinselbecher mit Wasser und streiche damit auf eine Wasserfarbe.
3. Mische die Grundfarben in der Palette zusammen. Mache alle möglichen Kombinationen.
4. Probiere deine Farben auf dem Testblatt aus.
5. Wenn du fertig bist, sag uns bitte Bescheid und du bekommst anderen Wasserfarben.

Vergleich deine Ergebnisse mit diesen Farben.

Dokumentiere deine Ergebnisse auf dem Blatt: male Streifen, Kreise, Bilder... oder etwas anderes!

Abb. 2: Teil einer schriftlichen Anleitung

Bei der schriftlichen Anleitung wurde eine einfache Sprache benutzt und die Länge auf maximal zwei Seiten reduziert. Auf einer Seite des Blattes sind die Materialliste und die notwendigen Informationen zur Vorbereitung, auf der anderen Seite wird das Experiment beschrieben (siehe Abb. 2).

Bei den Videos wurde die Legevideo-Technik angewandt, bei der Bilder des Experiments auf dem Bildschirm gezeigt werden und eine Off-Stimme das Verfahren erklärt (siehe Abb. 3). Andere Arten von Videos, wie z. B. Tutorien, sind nicht optimal, wenn die Lernende dann den gesamten Ablauf des Experiments sehen würden und ihre Tätigkeit darauf reduziert wäre zu kopieren, „was der/die Wissenschaftler*in in der Übung macht“. Die Videoanleitung sollte nur die bildliche und mündliche Version der schriftlichen Anleitung sein.



Abb. 3: Screenshot der Videoanleitung mit Legevideotechnik

Des Weiteren gibt es Hilfekarten, die bestimmte Begriffe oder schwierigere Vorgänge mit Bildern und Fotos darstellen (ein Beispiel in Abb. 4). Sie spielen eine Schlüsselrolle für die Förderung der Selbstständigkeit. Damit soll ein positiver Anreiz für die Schüler*innen geschaffen werden, sich auf ihre eigenen Fähigkeiten zu verlassen, um Antworten zu finden, die Gruppenarbeit zu fördern und den persönlichen Unterschieden der einzelnen so weit wie möglich zu berücksichtigen. Wenn Schüler*innen Fragen also haben, stehen ihnen drei Möglichkeiten zur Verfügung: in die Hilfekarten schauen, die anderen Gruppenmitglieder oder die Lehrkräfte bzw. die Betreuer*innen fragen.

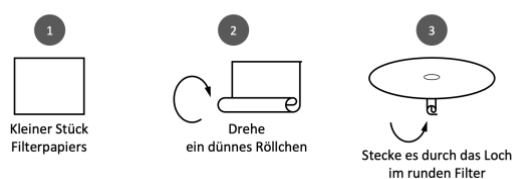


Abb. 4: Eine Hilfekarte

Von großer Bedeutung ist die Wahlfreiheit, die den Lernenden im Verlauf der Aktivität gelassen wird. Sie können als Forschergruppe entscheiden, welche Kisten bearbeitet werden und ob sie nach dem ersten Versuch weitere Versuche durchführen wollen oder die Kiste wechseln. Als Einzelpersonen können sie wählen, welchen Anleitungen sie folgen, ob sie die Hilfekarten verwenden oder ob sie lieber erstmal in der Gruppe die Fragen stellen und ob zusätzliche Versuche machen wollen. Diese Freiheit ermöglicht es den Schüler*innen, während des Experimentierens aktive Protagonisten und nicht passive Teilnehmende zu sein.

3. Erprobungsphase

In einer ersten Erprobungsphase wird das Lehr-Lernarrangement zum Thema „Farben“ in den Goethe-Schülerlaboren der Goethe-Universität Frankfurt ausprobiert. Der Fokus des Themas „Farben“ liegt auf der 5. und 6. Jahrgangsstufe. Zu den Klassen der ersten Erprobungsphase gehören jedoch sowohl Grundschulklassen der vierten Jahrgangsstufe als auch Inklusionsklassen der Mittelstufe und Klassen von Förderschulen.

Im Folgenden werden zwei Beispiele für Elemente gegeben, die während dieser Testphase bereits geändert wurden:

a) Aufgrund der beobachteten Schwierigkeit von Schüler*innen, die Konzentration beim Lesen während des Experimentierens zu behalten, wurden die Anleitungen auf maximal zwei Seiten reduziert. Für Kinder mit Förderbedarf ist es während der verschiedenen Schritte des Experimentierens einfacher, nur eine Seite, die immer gleich ist, im Auge zu behalten, als mehreren Blättern oder einem kleinen Heft zu folgen.

b) Es zeigte sich, dass bei dieser Art von handlungsorientierten Experimenten der direkte Austausch zwischen den Gruppenmitgliedern direkt nach der Beendigung ihrer Experimente im Rahmen des Unterrichtskonzepts bedeutsamer war als das Ausfüllen eines Forscherheftes oder Arbeitsblattes, das während oder nach Beendigung eines Experiments individuell ausgefüllt wird. Dieser Austausch wurde durch strukturierte Gruppenplakaten gefördert, die gemeinsam ausgefüllt werden.

Bereits in der Erprobungsphase werden auch die Akzeptanz und die subjektive Bewertung der Aktivität durch die Schüler*innen und die sie begleitenden Lehrkräfte erhoben. Dabei wurden die Meinungen der Lehrkräfte mit Feedbackbögen und die der Schüler*innen in Abschlussdiskussionen und Gruppeninterviews eingeholt.

Die Analyse dieser Daten ist noch nicht abgeschlossen. Dennoch kann gesagt werden, dass die Lehrende und Lernende eine positive Wahrnehmung auf die Aktivität haben. Beispielsweise nennen Lehrkräfte folgenden Stärken:

- der hohe Anteil an manuellen Tätigkeiten, die bei den Versuchen nötig ist (das Experimentieren ist handlungsorientiert),
- die Möglichkeit, viele verschiedene Experimente auszuprobieren,
- die Möglichkeit, ein Ergebnis zu sehen und es nach Hause oder in die Schule mitnehmen zu können,
- die Förderung der Selbstständigkeit der Kinder,
- die Aktivierung von sozialen Kompetenzen.

Es konnte zusätzlich beobachtet werden, dass das Unterrichtskonzept sowohl die Selbstständigkeit der Lernende als auch die Gruppendynamiken erfolgreich fördert. Aufgrund der hohen Heterogenität der Gruppen braucht jedes Kind sein eigenes Tempo und die Möglichkeit, seine besondere Arbeitsweise einzubringen, die für jedes Kind unterschiedlich ist. Wenn diese persönliche Zeit zugelassen wird, werden die Gruppenmitglieder sowohl während ihres eigenen Experiments als auch während der Gruppenarbeit dazu gebracht, sich gegenseitig zu helfen und zu unterstützen, und können das gemeinsame Ziel gut zusammen erreichen.

4. Ausblick

Zusätzlich zu den bereits beschriebenen qualitativen Methoden soll die Interessen- und Wissensentwicklung der Schüler*innen mit Hilfe von Fragebogen ermittelt werden. Der Fragebogen wird nach einer Pilotierung in die Hauptstudie eingesetzt.

Ab dem Schuljahr 2023/24 sind Lehrkräftefortbildungen zum inklusiven, fächerübergreifenden naturwissenschaftlichen Unterricht geplant. Dadurch wird das

Unterrichtskonzept den Lehrkräften aller Schulformen vorgestellt und in den Schulen erprobt. Weiterhin finden im Schuljahr 2023/24 die Entwicklung und Erprobung des zweiten Themas „Kleben und Haften“ statt.

5. Literatur

- Arndt, A.K., Werning, R. (2013). Unterrichtsbezogene Kooperation von Regelschulen und Lehrkräften für Sonderpädagogik. Ergebnisse eines qualitativen Forschungsprojektes. In: *Ann-Kathrin Arndt und Rolf Werning (Hg.): Inklusion: Kooperation und Unterricht entwickeln. Bad Heilbrunn: Klinkhardt, S. 12–40.*
- Berger, R.; Hänze, M. (2004). Das Gruppenpuzzle im Physikunterricht der Sekundarstufe II – Einfluss auf Motivation, Lernen und Leistung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 10, 205-219.*
- Brigham, F.J., Scuggs, T.E. and Mastropieri, M.A. (2011), Science Education and Students with Learning Disabilities. *Learning Disabilities Research & Practice, 26: 223-232.*
<https://doi.org/10.1111/j.1540-5826.2011.00343.x>
- Buchhaupt, F., Hahn, L.; Katzenbach, D., Klein, A. et al. (2019). Evaluation der Modellregion Inklusive Bildung Frankfurt am Main. *Frankfurter Beiträge zur Erziehungswissenschaft, 21. Norderstedt.*
- DBR Collective (2003). Design-Based-Research: An Emerging Paradigm for Educational Inquiry. *Educational Researcher, 32, 5-8.*
- Feuser, G. (1982). Integration = die gemeinsame Tätigkeit (Spielen/Lernen/Arbeit) am gemeinsamen Gegenstand/Produkt in Kooperation von behinderten und nichtbehinderten Menschen. *Behindertenpädagogik 21 (2), S. 86–105.*
- Kultusministerkonferenz (2020). Sonderpädagogische Förderung in Schulen. *Statistische Veröffentlichungen der Kultusministerkonferenz, Dokumentation Nr. 223 - Februar 2020.*
- Menthe, J., & Hoffmann, T. (2015). Inklusiver Chemieunterricht: Chance und Herausforderung. In *J. Riegert, & O. Musenberg (Eds.), Inklusiver Fachunterricht in der Sekundarstufe (pp. 131–140). Stuttgart: Kohlhammer.*
- 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, 5, 2022, S. 223 – 228.*
https://doi.org/10.1007/978-3-662-63901-6_3
- Goethe-Schülerlabor Chemie. Thementage des Goethe-Schülerlabors Chemie:
<https://www.uni-frankfurt.de/53459095/Thementage> (Stand: 0523)
- Vollmer, M. (2022). Infrared Cameras as Smartphone Accessory: Qualitative Visualization or Quantitative Measurement?. In: *Haglund, J., Jeppsson, F., Schönborn, K.J. (eds) Thermal Cameras in Science Education. Innovations in Science Education and Technology, vol 26. Springer, Cham.*
https://doi.org/10.1007/978-3-030-85288-7_9
- Weßnigk, S., Heinicke, S. (2017). Die Wärmebildkamera – ein Beitrag zur Sinneswahrnehmung. *Unterricht Physik Nr. 159 / 160.*
- Wilhelm, T.; Hopf, M. (2014). Design-Forschung. In: *Dirk Krüger, Ilka Parchmann und Horst Schecker (Hg.): Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung. Berlin u.a: Springer Spektrum, S. 31–4.*

Physikbezogene BNE didaktisch rekonstruiert

Kai Bliesmer*, Michael Komorek*

* Universität Oldenburg, Carl-von-Ossietzky-St. 9-11, 26129 Oldenburg
kai.bliesmer@uni-oldenburg.de, michael.komorek@uni-oldenburg.de

Kurzfassung

Im Verbund der Oldenburger Lehr-Lern-Labore (OLELA) richtet die Physikdidaktik zurzeit ein Schüler:innen- und Bürger:innenlabor zur Energie- und Klimabildung ein. Da es sich hierbei um Themen handelt, die über große Relevanz für die Transformation in eine nachhaltige Gesellschaft verfügen, besteht in den Lehr-Lern-Angeboten des Labors die Chance, eine Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE) zu erreichen. Diese Chance soll ergriffen werden, indem perspektivisch viele Fächer ihren jeweiligen disziplinären Beitrag zu einem solchen Lehr-Lern-Labor im Hinblick auf eine BNE beisteuern sollen. Hieraus erwächst für die Physikdidaktik die Fragestellung, wie ihr disziplinärer Beitrag zu einem solchen Labor aussehen könnte. Ein möglicher Beitrag, der darauf setzt, Studierende mit dem Ziel Lehramt Physik im Rahmen ihrer Lehrkräfteprofessionalisierung in die fachdidaktisch fundierte Entwicklung und Erprobung entsprechender Angebote einzubinden, wird im Folgenden vorgestellt. Er beruht auf einer Verknüpfung des Modells der Didaktischen Rekonstruktion (Duit et al., 2012) mit dem Ansatz der Kontextstrukturierung nach Nawrath (2010), der auf nachhaltigkeitsbezogene Frage- und Problemstellungen ausgerichtet wird.

1. Ausgangslage

Bereits seit vielen Jahren engagiert sich die Physikdidaktik Oldenburg für die Verankerung von Elementen einer BNE in die Hochschulbildung und die regionale Bildungslandschaft. Bisher wurden diesbezüglich Lehrexporte in den Professionalisierungsbereich angestrengt, wie z. B. das Modul "Energie interdisziplinär" (Freckmann, Niesel & Komorek, 2016). In dem Modul wird mit verschiedensten anderen Disziplinen (Fachdidaktik und Fachwissenschaft) zusammengearbeitet und in jeder Sitzung im Seminar eine andere, fachbezogene Perspektive auf das Thema Energie vorgestellt, um die Charakteristika der Perspektive und ihre diesbezügliche Bedeutung zu erarbeiten. Highlights des Moduls sind Exkursionen und Vernetzungsübungen, in denen die vorab herausgearbeiteten Perspektiven aufeinander bezogen werden. So wird eine Multidisziplinarität erreicht, die für die Realisation einer BNE unabdingbar ist. Des Weiteren wurden in einem von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) geförderten Projekt sog. BNE-Unterrichtsexkursionen mit der einer Schule auf Spiekeroog sowie mit verschiedenen Schulen in Oldenburg umgesetzt (Bliesmer & Komorek, 2021), um diese beim Wunsch nach BNE-Angeboten zu unterstützen.

Die zunehmende Bedeutung einer BNE, die sich im Land Niedersachsen insbesondere durch den BNE-Erlass (Niedersächsisches Kultusministerium, 2021) zeigt, hat dazu bewogen, BNE stärker in die physikdidaktische Lehre zu integrieren, damit alle Studierenden mit dem Ziel Lehramt Physik während ihres Studiums mit dem Konzept in Kontakt kommen und sich so die Bedeutung auch der Physik für die nachhaltige Entwicklung erschließen können. Um dieses

Vorhaben umzusetzen, wurde beschlossen, ein Schüler:innen- und Bürger:innenlabor zur Energie- und Klimabildung einzurichten, das als Lehr-Lern-Labor (Priemer & Roth, 2020) in die Lehre integriert wird. Die Idee hierbei ist, dass Studierende der Masterphase unter Anleitung selbst entsprechende Bildungsangebote für das Lehr-Lern-Labor entwickeln und erproben. Dort wird über die Themengebiete Energie und Klima sowohl ein Bezug zur Physik als auch ein Bezug zu einer nachhaltigen Entwicklung hergestellt. So machen die Studierenden sich einerseits mit der Verbindung von Physik und Nachhaltigkeit in Lehr-Lern-Angeboten vertraut und andererseits stehen für die Bevölkerung BNE-Angebote an der Universität zur Verfügung.

2. Herleitung einer Lesart von BNE

Um die Themengebiete Energie und Klima aus physikalischer Sicht an einer BNE auszurichten, ist es zunächst nötig, die Lesart von BNE darzustellen, die wir im Hinblick auf entsprechende Lehr-Lern-Angebote vertreten. Es sei an dieser Stelle erwähnt, dass es im Folgenden nicht darum geht, vollumfänglich zu klären, was BNE ist oder eine Definition zu formulieren. Denn eine Definition, auf die sich alle einigen können, erscheint wegen der Breite des Konzepts und wegen unterschiedlicher Schwerpunktsetzungen der BNE-Akteur:innen nur schwierig möglich. Jedoch sollte jede Person, die eine BNE zu realisieren sucht, ihre eigene literaturbasierte Lesart ausformulieren, also beantworten, was BNE aus ihrer Sicht auszeichnet.

2.1. Modelle der nachhaltigen Entwicklung

Es folgt nun eine Übersicht über Modelle der nachhaltigen Entwicklung, die meist in grafischer Form

dargestellt werden. Es sind daher stets entsprechende Links zu den Quellen eingepflegt, sodass die grafischen Darstellungen eingesehen werden können.

Die im vorliegenden Beitrag vorherrschende Lesart von BNE fußt im Wesentlichen auf Ideen zur nachhaltigen Entwicklung, die von Serageldin und Steer (1994) erdacht wurden. Beide konstatieren, dass bei Frage- und Problemstellungen der nachhaltigen Entwicklung meist drei zentrale Perspektiven im Konflikt stehen, bei denen es sich um Ökologie, Ökonomie und Soziales handelt. Ihre Ideen haben Serageldin und Steer (1994, S.5) pointiert grafisch in Form eines Dreiecks dargestellt. Es handelt sich dabei um das Original einer gemeinhin als Nachhaltigkeitsdreieck bekannten Abbildung ([Link](#)). Zwei Jahre später wurde das Modell insofern weiterentwickelt, als die wechselseitigen Bezüge zwischen den zentralen Perspektiven deutlicher herausgestellt wurden (Serageldin, 1996, S.3) ([Link](#)).

Ausgehend vom Nachhaltigkeitsdreieck sind in den Folgejahren neue Darstellungen entstanden, wie beispielsweise das Drei-Säulen-Modell, das zusätzlich rechtliche Rahmenbedingungen für nachhaltige Entwicklung aufnimmt, oder das Dreiklangmodell, das jeweils Schnittmengen einer nachhaltigen Entwicklung zwischen den drei zentralen Perspektiven beschreibt. Diese Modelle wurden von Pufé (2012, S.115) vergleichend diskutiert und sind bei Kropp (2019, S.11) einsehbar ([Link](#)).

Weitere Modelle hierarchisieren die drei üblicherweise aufgeführten Perspektiven und stellen die Bedeutung der ökologischen Perspektive heraus, indem argumentiert wird, dass ohne ökologische Nachhaltigkeit keine Nachhaltigkeit im Sozialen oder Ökonomischen zu erreichen sei. Das Vorrangmodell von Hattingh (2004, S.161) ist die erste Variante einer so hierarchisierten Darstellung ([Link](#)).

Eine von den bisherigen Darstellungen stark abweichende Variante ist von Raworth (2012) vorgeschlagen worden und wird als Donut-Modell bezeichnet ([Link](#)). Das Modell basiert auf den Arbeiten von Rockström und Kolleg:innen (2009) zu den planetaren Grenzen der Erde. Das Modell ist in verschiedene für die nachhaltige Entwicklung relevante Kategorien segmentiert und sagt aus, dass das Ziel nachhaltiger Entwicklung bedeutet, eine ausreichende Versorgung der Bevölkerung sicherzustellen, die eine Mindestgrenze ("social foundation") nicht unterschreitet, aber gleichzeitig die ökologischen Grenzen ("environmental ceiling") nicht überschreitet. Das impliziert eine begrenzte Zone, in der das Ziel einer nachhaltigen Entwicklung erreicht ist. Außerdem kann je nach Kategorie geprüft werden, in welche Richtung vom Ziel abgewichen wird.

Obwohl alle Modelle sich im Detail unterscheiden, so implizieren sie im Hinblick auf nachhaltige Entwicklung doch stets eine Multiperspektivität, die auf Dilemmata und Ambiguitäten abhebt und damit illustriert, dass für Frage- und Problemstellungen der

nachhaltigen Entwicklung keine einfachen Antworten bzw. Lösungen existieren, sondern jene von der Perspektive abhängen, unter denen die Frage- und Problemstellungen betrachtet werden. Multiperspektivität, die sich in den drei zentralen Perspektiven Ökologie, Soziales und Ökonomie ausdrückt, wird von der UN (2015, S.1) in ihrer Resolution A/RES/70/1 als Charakteristikum der dort verabschiedeten Sustainable Development Goals (SDGs) betont: "The 17 Sustainable Development Goals [...] are integrated and indivisible and balance the three dimensions of sustainable development: the economic, social and environmental". Hallitzky (vgl. 2008, S.159) unterstreicht, dass Multiperspektivität und daraus resultierende Dilemmata der nachhaltigen Entwicklung hohes didaktisch-pädagogisches Potenzial aufweisen, weil sich daran BNE-Schlüsselkompetenzen wie z. B. das Aushalten von Komplexität ausbilden lassen.

2.2. Orientierung an überzeitlichen Ideen

Die Lesart von BNE eher am Umgang mit Multiperspektivität und Dilemmata festzumachen und den Inhalten diesbezüglich dienende Funktion zuzuweisen, erscheint auch mit Blick auf das von Ladenthin (vgl. 2005, S.18) formulierte Didaktische Zukunftsparadox angezeigt. Mit diesem Begriff kritisiert er, dass gegenwärtige Bildungsinhalte häufig durch Zukunftsentwürfe motiviert werden, obwohl niemand mit Sicherheit beurteilen kann, wie die Zukunft sein wird. Zudem charakterisiert Ladenthin (vgl. 2005, S.134) solche aus Zukunftsentwürfen abgeleitete Bildungsinhalte als unzulässige Instrumentalisierung der Lernenden, weil das Ziel von Bildung darin bestehe, Lernende zu befähigen, ihre Zukunft selbst zu gestalten und nicht ein in der Gegenwart erdachtes Zukunftsbild zu verwirklichen.

Dass hinsichtlich BNE durchaus eine Gefahr besteht, einem solchen Didaktischen Zukunftsparadox anheimzufallen, wird auch anhand der Aussagen von Künzli David, Bertschy und Di Giulio (vgl. 2010, S.218) deutlich, die der BNE eine starke Visionsorientierung attestieren. Im Einklang mit den Mahnungen von Ladenthin (2005) fordern Künzli David & Bertschy (2013, S.38), demnach dass "sich das pädagogische Handeln im Rahmen einer BNE an der überzeitlichen regulativen Idee und nicht an deren zeitlich bedingten Konkretisierungen orientiert".

2.3. Fazit

Für uns bedeuten diese Mahnungen bzw. Empfehlungen, dass für unsere Lesart einer BNE nicht die Auswahl von (zeitabhängigen) Themen BNE legitimiert. Zwar sind die Themen durchaus wichtig, aber sie haben stets dienende Funktion, um überzeitliche Aspekte zu adressieren, wie die in den vielen Modellen dargestellte Auseinandersetzung mit verschiedenen Perspektiven und das Eruiere ihrer Bedeutung für die nachhaltige Entwicklung sowie der Umgang mit unklaren, durch Zielkonflikte und Ambiguitäten (Holst, 2022) geprägten Situationen.

3. Anbahnung von Multiperspektivität

Obwohl gemäß der hergeleiteten Lesart Multiperspektivität für die Realisierung einer BNE entscheidend ist, darf daraus nicht übergeneralisierend gefolgert werden, einzelne (Fach-)perspektiven hätten für BNE keine Bedeutung mehr. Ganz im Gegenteil: Die angestrebte Multiperspektivität setzt auf die Stärken disziplinärer Zugänge, die jeweils durch ihre eigenen Modi der Weltbegegnung (Baumert, 2002) gekennzeichnet sind. Andernfalls verliert sich BNE im Allgemeinen und im Oberflächlichen. Multiperspektivität muss jedoch angebahnt werden, indem die (Fach-)perspektiven mit ihren jeweils einzigartigen Zugängen im Hinblick auf Möglichkeiten und Grenzen des Beitrags zu einer BNE ausgeleuchtet werden. Für uns besteht diese Aufgabe hinsichtlich der Physik.

Erst eine solche Feststellung legitimiert die Integration von BNE in die physikdidaktische Pflichtlehre. Denn dort sollen die Studierenden sich mit physikalischen Konzepten in Vermittlungssituationen auseinandersetzen. Diese Bedingung ist auch im hier vorgestellten Ansatz der BNE-Integration erfüllt, wobei nun jedoch zusätzlich die Spezifika des physikalischen Zugangs und seine Bedeutung für Frage- und Problemstellungen nachhaltiger Entwicklung ausgeleuchtet werden. Es wird also geprüft, wie sich physikalische Inhalte und Themen der nachhaltigen Entwicklung gegenseitig befruchten können.

4. Adaption von fachdidaktischen Konzepten

Wie bereits geschildert, wird zur Thematisierung des Verhältnisses zwischen BNE und der physikalischen Perspektive ein Lehr-Lern-Labor zur Energie- und Klimabildung eingerichtet, für das die Studierenden im Rahmen ihrer Professionalisierung Bildungsangebote entwickeln und erproben. Das Thema des Labors hat stets dienende Funktion, um daran die Bedeutung der physikalischen Perspektive für nachhaltige Entwicklung erschließen zu können. Der thematische Rahmen ist eng genug, um einen Bezug zur Physik sicherzustellen, trotzdem aber auch ausreichend breit, sodass die Studierenden unterschiedliche Angebote entwickeln und verschiedene Schwerpunkte setzen können. Um diesem Vorhaben eine Struktur zu verleihen und die Studierenden zu unterstützen, wurden etablierte Konzepte der Fachdidaktik, die bereits seit jeher in der Lehre vorkommen, adaptiert und aufeinander bezogen.

4.1. Kontextstrukturierung

In den Lehr-Lern-Angeboten soll eine Orientierung an Kontexten (Nentwig & Waddington, 2005; Duit & Mikelskis-Seifert, 2010) erfolgen. Das bedeutet, lebensweltbezogene Frage- oder Problemstellungen in die Angebote zu integrieren. Eine solche Integration kann unterschiedlich umgesetzt werden, wie Nawrath (2010) betont. Er unterscheidet zwei Vorgehen der Kontextorientierung. Das ist zum einen das fachsystematische Vorgehen, wo nach wie vor

die (physikalischen) Sachstrukturen im Vordergrund stehen. Kontexte haben hier dienende Funktion und werden zur Motivation oder zur Verdeutlichung herangezogen. Es kann zum anderen aber auch das umgekehrte Vorgehen angewendet werden, das er als Kontextstrukturierung bezeichnet. Hier wird vom Kontext ausgegangen und das primäre Ziel besteht darin, Wissen und Fertigkeiten hinsichtlich des Kontexts aufzubauen. Die fachbezogenen Inhalte nehmen in dem Fall die dienende Rolle ein. Sie werden entlang der Auseinandersetzung mit dem Kontext vermittelt, um die dort auftretenden lebensweltbezogenen Frage- und Problemstellungen beantworten bzw. bearbeiten zu können. Die nachfolgende Abbildung 1 zeigt beide Varianten der Kontextorientierung am Beispiel der Physik, kann aber auch auf andere Fächer übertragen werden.

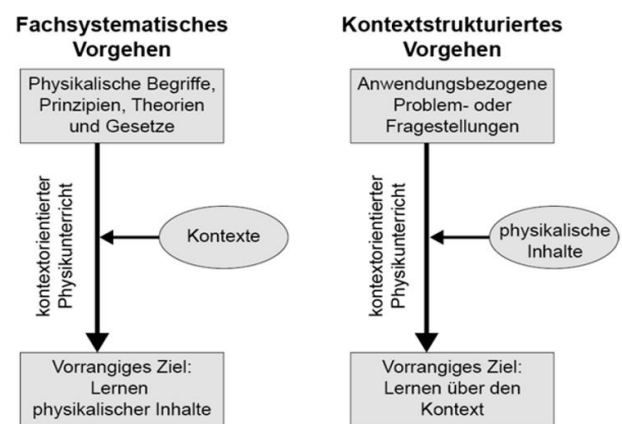


Abb. 1: Die zwei Varianten der Kontextorientierung (Nawrath, 2010, S.21)

Um die physikalische Perspektive und Themen der nachhaltigen Entwicklung wechselseitig aufeinander zu beziehen, erscheint insb. das kontextstrukturierte Vorgehen passend. Wird dieses entsprechend adaptiert, dann sind nun entsprechende Kontexte interessant, die bezüglich des feststehenden thematischen Rahmens (Energie und Klima) nachhaltigkeitsbezogene Frage- und Problemstellungen aufwerfen. In Anlehnung an Kontextprojekte wie z.B. Physik im Kontext "piko" (Duit & Mikelskis-Seifert, 2010) ließe sich eine solche Adaption mit der Bezeichnung Nachhaltigkeit als Kontext "NaKo" fassen. Denn nun sind die nachhaltigkeitsbezogenen Kontexte gesetzt und daran werden unterschiedliche Fachperspektiven (hier: Physik) angelegt, um sich den Kontext besser erschließen zu können. Für solche Lehr-Lern-Angebote ist entscheidend, deren didaktische Strukturierung an Kontexten auszurichten, die nachhaltigkeitsbezogene Frage- oder Problemstellungen repräsentieren. Dabei ist im Sinne des kontextstrukturierten Vorgehens wichtig, den Kontext während der gesamten Lehr-Lern-Situation durchzuhalten. Ihn lediglich als Einstieg für das Erlernen physikalischer Sachverhalte einzusetzen und ihn dann fallenzulassen, ist nicht zulässig. In dem Fall wäre das kontextstrukturierte Vorgehen nicht realisiert.

Die Abbildung 2 zeigt die Adaptionidee des kontextstrukturierten Ansatzes mit Blick auf BNE.

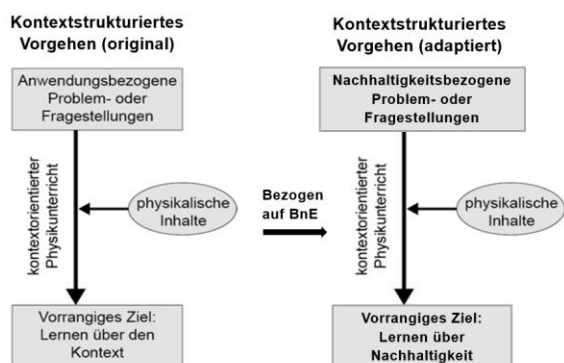


Abb. 2: Das adaptierte kontextstrukturierte Vorgehen

4.2. Didaktische Rekonstruktion

Sind scheinbar geeignete Kontexte identifiziert worden, müssen sie fachdidaktisch aufbereitet und Angebote didaktisch strukturiert werden. Hierfür wird das Modell der Didaktischen Rekonstruktion (Duit, Gropengießer, Kattmann, Komorek & Parchmann, 2012) eingesetzt. Gemäß Kattmann (2023) gehören zu einer fachdidaktischen Aufbereitung eines Inhalts bzw. Kontexts drei Aufgaben: eine analytische, eine empirische und eine strukturierende. Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion konkretisiert die Aufgaben in Form einer fachlichen Klärung (analytische Aufgabe), der Erfassung von Lernendenperspektiven (empirische Aufgabe) sowie der Erzeugung einer didaktischen Strukturierung (strukturierende Aufgabe) und bezieht sie aufeinander. Um bei den drei Aufgaben zu unterstützen, sind von Kattmann, Duit, Gropengießer und Komorek (vgl. 1997, S.11f.) obligatorische Fragen für jede Aufgabe formuliert worden, von denen einige exemplarisch vorgestellt werden:

- **Fachliche Klärung:** Welche fachwissenschaftlichen Aussagen liegen zum gewählten Thema vor und wo zeigen sich deren Grenzen?
- **Erfassung von Lernendenperspektiven:** Welche Vorstellungen von fachwissenschaftlichen Konzepten haben Lernende zu dem Thema? Woher stammen sie?
- **Didaktische Strukturierung:** Welche Korrespondenzen und unterrichtlichen Möglichkeiten eröffnen sich aus dem Vergleich der fachwissenschaftlichen Aussagen mit den Vorstellungen der Lernenden?

Die obligatorischen Fragen sind allerdings für sachstrukturelle und nicht kontextstrukturierte Zugänge in Lehr-Lern-Situationen formuliert worden. Entsprechend gilt es, das Modell der Didaktischen Rekonstruktion auf ein kontextstrukturiertes Vorgehen auszurichten. So wird aus dem üblichen Ziel einer didaktischen Strukturierung das Ziel einer 'didaktischen Kontextstrukturierung'; dies ist dargestellt in Abbildung 3.



Abb. 3: Auf eine Kontextstrukturierung ausgerichtete Modell der Didaktischen Rekonstruktion

Für das Ansinnen eine BNE-bezogene Kontextstrukturierung zu erreichen, wurden die obligatorischen Fragen (vgl. Kattmann et al. 1997, S.11f.) angepasst. Die Anpassung drückt aus, dass immer das Wechselspiel und die gegenseitige Bedeutung von Fachperspektive (hier: Physik) und Kontext (hier: nachhaltige Entwicklung) ins Auge gefasst werden muss.

- **Fachliche Klärung:** Welche fachwissenschaftlichen Aussagen sind für den gewählten Kontext bedeutsam und wo zeigen sich deren Grenzen? Welche fachwissenschaftlichen Aussagen besitzen Relevanz für die Beurteilung ökonomischer, ökologischer und sozialer Nachhaltigkeit in diesem Kontext?
- **Erfassung von Lernendenperspektiven:** Inwiefern fassen Lernende den Kontext als nachhaltigkeitsbezogen und frag-würdig auf? Welche Bezüge zwischen der Fachperspektive und dem Kontext erkennen sie? Welche Vorstellungen von fachwissenschaftlichen Konzepten haben sie, die für den Kontext relevant sind?
- **Didaktische Strukturierung:** Welche Korrespondenzen und Möglichkeiten für Lehr-Lern-Situationen eröffnen sich aus dem Vergleich der Ergebnisse der fachlichen Klärung mit den Vorstellungen der Lernenden?

Für die Studierenden besteht während der Entwicklung und Erprobung ihres Lehr-Lern-Angebots für das Schüler:innen- und Bürger:innenlabor zur Energie- und Klimabildung die Aufgabe, einen geeigneten Kontext auszuwählen und ihn entlang der obligatorischen Fragen in forschendem Habitus (vgl. Komorek, Bliesmer, Richter & Sajons, im Druck) didaktisch zu rekonstruieren. In nachhaltigkeitsbezogenen Kontexten soll so an einem konkreten Lerngegenstand ein physikalischer Modus der Weltbegegnung (vgl. Baumert, 2002) erschlossen werden, um diesbezügliche Potenziale und Grenzen der physikalischen Perspektive für die nachhaltige Entwicklung auszuloten. Dabei fordern wir die Studierenden auf, gewisse Qualitätskriterien bei der didaktischen

Kontextstrukturierung einzuhalten: die Lehr-Lern-Situation soll einerseits frag-würdig (Klafki, 2007) bzw. problemorientiert ausgerichtet sein und sie soll Lernenden andererseits ermöglichen, experimentieren und ausprobieren zu können, mithin autonomieorientiert sein (vgl. Sajons, 2020).

5. Umsetzungsbeispiele und Verfahrensweisen

Lehr-Lern-Angebote wurden und werden auf der Grundlage des hergeleiteten Schemas vornehmlich von Studierenden in ihren Masterarbeiten entwickelt und untersucht. Es hat sich bei den Angeboten ein Muster herausgebildet, bei dem jeweils bzgl. eines physikalischen und nachhaltigkeitsrelevanten Themas von einer Dilemma-Situation zwischen der ökologischen, ökonomischen und sozialen Perspektive ausgegangen wird. Der Einstieg kann z.B. durch den Ansatz einer Anchored-Instruction (The Cognition and Technology Group at Vanderbilt, 1990) geschehen, in der Lernende durch einen gespielten Rat aus Vertreter:innen von Wirtschaft, Umwelt und Gesellschaft mit einem Dilemma/Zielkonflikt konfrontiert werden, das aus einer fachbezogenen (hier: physikalischen) Perspektive beleuchtet werden soll, um das Dilemma bzw. den Zielkonflikt auszuschärfen, also besser verstehen und mündig bewerten zu können. Im Folgenden werden zwei Kontexte vorgestellt.

5.1. Beurteilung von Flüssigsalzreaktoren

Als geeigneter Kontext hat sich u. a. die Beurteilung des Baus von neuartigen Flüssigsalzreaktoren für die nachhaltige Entwicklung erwiesen. Wie von Völkel (2022) erläutert wird, müssen neue Technologien im Hinblick auf ihren sozialen, ökonomischen und ökologischen Impact bewertet werden, um im Spannungsfeld der drei Perspektiven beurteilen zu können, inwiefern solche Technologien der nachhaltigen Entwicklung dienlich sind oder nicht. Hier ist (ebenfalls) die physikalische Sicht von Belang, um zu erschließen, inwiefern sich diese Reaktoren von herkömmlichen unterscheiden, um daran zu ergründen, welche Gefahren kleiner werden, welche gleich bleiben oder welche neuen Gefahren eventuell sogar resultieren. Diese Erkenntnisse aus der physikalischen Sicht werden sodann auf das zu Beginn aufgeworfene Spannungsfeld zwischen Ökonomie, Soziales und Ökologie bezogen, um es auszuschärfen und mündig Bewertungen sowie Entscheidungen im Kontext der nachhaltigen Entwicklung treffen zu können.

5.2. Beispiel 2: Infraschall bei Windkraftwerken

Bei einem weiteren geeigneten Kontext handelt es sich um ein Spannungsfeld bezüglich Windkraftanlagen (Hermanns, i. V.): Wengleich sie als wichtiges Element einer nachhaltigen Energieversorgung gelten (ökologische Perspektive), treffen sie in der Bevölkerung dennoch auf Vorbehalte (soziale Perspektive). Das sind z. B. befürchtete Infraschall-Emissionen, weshalb von Teilen der Bevölkerung gefordert wird, große Abstände zu bewohnten Gebieten einzuhalten. Dieses Spannungsfeld kann

durch eine physikalische Sicht gut befruchtet werden, indem betrachtet wird, was (Infra-)Schall ist und wie man ihn messen kann. Das Messen ist ein Charakteristikum des naturwissenschaftlichen Modus der Weltbegegnung (Baumert, 2002), sodass die Lernenden im Angebot unter Anleitung eigene Infraschall-Sensoren bauen und selbst Messungen durchführen, um Windkraftanlagen mit anderen Schallquellen zu vergleichen. Diesbezügliche Erkenntnisse aus der physikalischen Sicht werden schlussendlich auf das eingangs eröffnete Spannungsfeld zurückgespiegelt, um den dort dargestellten Zielkonflikt auszuschärfen und besser bewerten zu können.

6. Herausforderungen und Ausblick

Bei der Aufbereitung von nachhaltigkeitsbezogenen Kontexten haben sich zwei Problemstellen aufgetan, auf die man achten sein sollte, um die Studierenden hier in besonderem Maße unterstützen und motivieren zu können

6.1. Kontextstrukturierung durchhalten

Als erste Herausforderung hat sich gezeigt, dass für das Gelingen oder das Misslingen des Vorhabens eine angemessene Umsetzung des kontextstrukturierten Vorgehens entscheidend ist. Für die Studierenden ist der gedankliche Switch nur schwierig umsetzbar, die Lehr-Lern-Situation nicht mehr von der Sachstruktur ausgehend zu strukturieren, sondern vom Kontext. Selbst wenn sie den Kontext an den Beginn der Lehr-Lern-Situation stellen, kommt es oftmals vor, dass sie den Kontext nicht bis zum Ende durchhalten, sondern ihn lediglich als Sprungbrett in die physikalische Denk- und Erfahrungswelt nutzen und darin verbleiben. Wird der Kontext jedoch nicht mehr aufgegriffen, konterkariert dies die Grundidee des kontextstrukturierten Vorgehens. Die Dozierenden müssen also einen genauen Blick darauf haben, wie die Studierenden die Kontexte einzusetzen gedenken, wie stark die Kontexte also in ihre didaktische Strukturierung eingewoben sind, um dadurch überhaupt erst eine didaktische Kontextstrukturierung zu legitimieren.

6.2. Vergleich von fachlicher und Lerner Sicht

Eine weitere Herausforderung besteht darin, dass die Studierenden im Rahmen der Didaktischen Rekonstruktion zwar pflichtbewusst fachliche Klärungen leisten sowie Lernendenperspektiven erfassen (und dabei durchaus beeindruckende Ergebnisse erzielen), aber beides im Zuge der didaktischen Kontextstrukturierung nicht oder nur implizit aufeinander beziehen. Das Aufeinanderbeziehen ist für die Studierenden eine Herausforderung, bei der sie Unterstützung brauchen (vgl. Bliesmer & Komorek, 2023). Oftmals scheint es so, dass die mühsam von den Studierenden erfassten Lernendenperspektiven gar nicht in ihre didaktische Kontextstrukturierung einfließen, dadurch überflüssig erscheinen und somit zur lästigen Pflichtaufgabe degradiert werden. Dass bei den Studierenden ein solcher Eindruck entsteht, muss in je-

dem Fall vermieden werden. Dabei hat sich die Strategie als zweckmäßig erwiesen, der didaktischen (Kontext-)strukturierung eine Zwischenaufgabe vorzuschalten, die aus dem Vergleich der fachlichen Sicht und der Lernendensicht besteht: Die Studierenden sollen zur Vorbereitung des Vergleichs das Ergebnis ihrer fachlichen Klärung ganz konkret in Form von Grundideen – also Elementaria (Bleichroth, 1991) – notieren. Nach gleichem Muster sollen sie das Ergebnis ihrer Erfassung von Lernendenperspektiven niederschreiben, indem sie erhobene Vorstellungen in kurzen Aussagesätzen kondensieren. Diese Vorbereitung ermöglicht einen kompakten und systematischen Vergleich, weil sich die in kurzen Aussagen formulierten Elementaria bzw. Lernendenvorstellungen gut miteinander vergleichen lassen. Auf Grundlage dieses Vergleichs wird dann schließlich eine didaktische Kontextstrukturierung vorgenommen, die auf der fachlichen Sicht und der Lernendensicht fußt.

6.3. Ausblick

Da das thematische Dach ("Energie und Klima") des Lehr-Lern-Labors sehr breit ist, besteht das mittelfristige Ziel, dass sich auch andere Fächer mit ihren jeweiligen Perspektiven beteiligen. Dass eine solche Zusammenarbeit gelingen kann, zeigt das genannte Modul "Energie interdisziplinär" (Freckmann, Niesel & Komorek, 2016), in dem eine solche interdisziplinäre Zusammenarbeit bereits gelebt wird. Da sich das Modul jedoch nur an Mitglieder der Hochschule richtet, besteht der nächste logische Schritt darin, ein äquivalentes Format in Form eines Schüler:innen- und Bürger:innenlabors aufzubauen, um die Allgemeinbevölkerung zu erreichen. Hier möchte die Physikdidaktik Oldenburg mit dem beschriebenen Ansatz einerseits einen ersten Schritt machen, um auch andere Fächer zur Mitarbeit zu motivieren. Andererseits soll durch die Ansätze gezeigt werden, dass die der BNE inhärente Multi- bzw. Interdisziplinarität nicht als Argument dienen kann, Fachperspektiven aufzulösen, sondern – im Gegenteil – als Aufforderung zu verstehen ist, die Stärken der jeweiligen disziplinären Zugänge herauszuschälen und im Hinblick auf eine nachhaltige Entwicklung nutzbar zu machen. Eine so verstandene Multi- bzw. Interdisziplinarität muss jedoch angebahnt werden. Das gelingt, indem die einzelnen Fachperspektiven Potenziale und Grenzen ihres jeweiligen Zugangs für eine nachhaltige Entwicklung klären und diese z. B. im Lehr-Lern-Labor kommunizieren. Haben mehrere Fachperspektiven eine solche Klärung vorgenommen und kooperieren im Anschluss miteinander, um ihre Zugänge aufeinander zu beziehen, besteht die Chance eine qualitativ hochwertige BNE zu erreichen, die sich nicht im Allgemeinen und im Oberflächlichen verliert, sondern auf die Stärken ihrer Bezugsdisziplinen rekurriert.

7. Literatur

- Baumert, J. (2002). Deutschland im internationalen Bildungsvergleich. In N. Killius, J. Kluge & L. Reisch (Hrsg.), *Die Zukunft der Bildung* (S. 100-150). Suhrkamp.
- Bleichroth, W. (1991). Elementarisierung, das Kernstück der Unterrichtsvorbereitung. *Naturwissenschaft im Unterricht. Physik*, 2(6), 4-11.
- Bliesmer, K. & Komorek, M. (2021). Klimawandel und die physikalische Dynamik des Wattenmeeres als Gegenstand schulischer und außerschulischer Umweltbildung. Abschlussbericht über ein Bildungsprojekt, gefördert von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt unter dem Az: 31530/01. DBU.
- Bliesmer, K. & Komorek, M. (2023). Mit dem Modell der Didaktischen Rekonstruktion fachdidaktische Denkweisen, Arbeitsweisen und Haltung kommunizieren. In K. Bliesmer & M. Komorek (Hrsg.), *Didaktische Rekonstruktion – fachdidaktischer Ansatz für aktuelle Bildungsaufgaben* (S. 25-42). BIS-Verlag.
- Duit, R., Gropengießer H., Kattmann U., Komorek, M. & Parchmann, I. (2012). The Model of Educational Reconstruction – a Framework for improving Teaching and Learning Science. In: D. Jorde & J. Dillon (Hrsg.), *Science Education Research and Practice in Europe. Retrospective and Prospective* (S. 13-37). Sense Publishers.
- Duit, R. & Mikelskis-Seifert, S. (Hrsg.) (2010). *Physik im Kontext. Konzepte, Ideen, Materialien für effizienten Physikunterricht*. Friedrich-Verlag
- Freckmann, J., Niesel, V. & Komorek, M. (2016). Modul ‚Energie interdisziplinär‘. In J. Menthe, D. Höttecke, T. Zabka, M. Hammann & M. Rothgangel (Hrsg.), *Befähigung zur gesellschaftlichen Teilhabe. Beiträge der fachdidaktischen Forschung* (S. 317-322). Waxmann.
- Hallitzky, M. (2008). Forschendes und selbstreflexives Lernen im Umgang mit Komplexität. In I. Bormann & G. de Haan (Hrsg.), *Kompetenzen der Bildung für nachhaltige Entwicklung. Operationalisierung, Messung, Rahmenbedingungen, Befunde* (S. 159-178). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Hattingh, J. (2004). Speaking of Sustainable Development and Values... a Response to Alistair Chadwick's Viewpoint Responding to Destructive Interpersonal Interactions: A way forward for school-based environmental educators. *Southern African Journal of Environmental Education*, 21, 157-165. Verfügbar unter: <https://www.ajol.info/index.php/sajee/article/view/122690/112236>

- Hermanns, S. (i. V.). Dilemmata rund um Windkraftanlagen als Kontext für eine physikalische Bildung für nachhaltige Entwicklung im Lehr-Lern-Labor. Masterarbeit: Universität Oldenburg.
- Holst, J. (2022). Nachhaltigkeit & BNE in der Beruflichen Bildung: Dynamik in Ordnungsmitteln, Potentiale bei Berufen, Lernorten und in der Qualifizierung von Auszubildenden. Kurzbericht des Nationalen Monitorings zu Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE). Freie Universität Berlin.
- Kattmann, U., Duit, R., Gropengießer, H. & Komorek, M. (1997). Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion – Ein Rahmen für naturwissenschaftsdidaktische Forschung und Entwicklung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 3(3), 3-18.
- Kattmann, U. (2023). Entwicklung und Weiterentwicklung des Modells der Didaktischen Rekonstruktion. In K. Bliesmer & M. Komorek (Hrsg.), *Didaktische Rekonstruktion – fachdidaktischer Ansatz für aktuelle Bildungsaufgaben*. BIS-Verlag.
- Klafki, W. (2007). Neue Studien zur Bildungstheorie und Didaktik. Zeitgemäße Allgemeinbildung und kritisch-konstruktive Didaktik. Beltz.
- Komorek, M., Bliesmer, K., Richter, C. & Sajons, C. (im Druck). Modell adaptiv-zyklischen Forschenden Lernens für die Professionalisierung angehender Physiklehrkräfte. In H. Rautenstrauch (Hrsg.), *Forschendes Lernen in der Universität - Ein fach- und fachrichtungsbezogener Blick auf die Lehrkräftebildung*. Europa-Universität Flensburg.
- Kropp, A. (2019). Grundlagen der Nachhaltigen Entwicklung. Handlungsmöglichkeiten und Strategien zur Umsetzung. Springer Gabler.
- Künzli David, C., Bertschy, F. & Di Giulio, A. (2010). Bildung für eine Nachhaltige Entwicklung im Vergleich mit Globalem Lernen und Umweltbildung. *Schweizerische Zeitschrift für Bildungswissenschaften*, 32(2), 213-231.
- Künzli David, C. & Bertschy, F. (2013). Bildung für nachhaltige Entwicklung. Kompetenzen und Inhaltsbereiche. In B. Overwien & H. Rode (Hrsg.), *Bildung für nachhaltige Entwicklung. Lebenslanges Lernen, Kompetenz und gesellschaftliche Teilhabe* (S. 35-46). Verlag Barbara Budrich.
- Ladenthin, V. (2005). Zukunft und Bildung. Entwürfe und Kritiken. Peter Lang.
- Nawrath, D. (2010): Kontextorientierung. Rekonstruktion einer fachdidaktischen Konzeption für den Physikunterricht. DiZ-Verlag der Universität Oldenburg.
- Nentwig, P. & Waddington, D. (2005). Making it relevant. Context based learning of science. Waxmann.
- Niedersächsisches Kultusministerium (2021). Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE) an öffentlichen allgemein bildenden und berufsbildenden Schulen sowie Schulen in freier Trägerschaft. RdErl. d. MK v. 1.3.2021. Online verfügbar: https://www.mk.niedersachsen.de/download/165832/BNE-Erlass_Niedersachsen.pdf
- Priemer, B. & Roth, J. (Hrsg.) (2020). *Lehr-Lern-Labore. Konzepte und deren Wirksamkeit in der MINT-Lehrpersonenbildung*. Springer.
- Pufé, I. (2012). Nachhaltigkeit. UTB. Verfügbar unter:
- Raworth, K. (2012). A Safe and Just Space for Humanity: Can we live within the doughnut? Oxfam. Verfügbar unter: https://www-cdn.oxfam.org/s3fs-public/file_attachments/dp-a-safe-and-just-space-for-humanity-130212-en_5.pdf
- Rockström et al. (2009). Planetary Boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity. *Ecology and Society*. 14(2), 1-32.
- Sajons, C.-M. (2020). Kognitive und motivationale Dynamik in Schülerlaboren. Logos.
- Serageldin, I. & Steer, A. (1994). Making Development Sustainable. From Concepts to Actions. World Bank. Online verfügbar unter: <https://elibrary.worldbank.org/doi/epdf/10.1596/0-8213-3042-X>
- Serageldin, I. (1996). Sustainability and the wealth of nations. World Bank. Verfügbar unter: https://www.researchgate.net/profile/Ismail-Serageldin/publication/243780946_Sustainability_and_the_Wealth_of_Nations_First_Steps_in_an_Ongoing_Journey/links/54e470a40cf282dbed6fc3b8/Sustainability-and-the-Wealth-of-Nations-First-Steps-in-an-Ongoing-Journey.pdf
- The Cognition and Technology Group at Vanderbilt (1990). Anchored instruction and its relationship to situated cognition. *Educational Researcher*, 19(6), 2-10.
- UN (2015). Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development (A/RES/70/1). Verfügbar unter: https://www.un.org/en/development/desa/population/migration/generalassembly/docs/globalcompact/A_RES_70_1_E.pdf
- Völkel, M. (2022). Bildung für nachhaltige Entwicklung mit dem Physikunterricht verknüpfen. Ein kontextstrukturierter Ansatz am Beispiel der Didaktischen Rekonstruktion von Thorium-Reaktoren. Masterarbeit: Universität Oldenburg.

Danksagung

Wir danken den Studierenden Michael Ginsel, Marcia Gloy, Linus Hartong, Simon Hermanns, Julian Hillebrand, André Hochstein, Jonathan Naber und Markus Tomczyszyn für ihre Mitarbeit am Projekt!

Studieren Erfahrbar Machen – Realitätsnahe Einblicke in ein Physikstudium für Schüler:innen

Ahmad Asali ¹, Volker Meden ², Heidrun Heinke ³, Stefan Roth ⁴

¹ II. Physikalisches Institut A, RWTH Aachen, Sommerfeldstraße 16, 52074 Aachen

² Institut für Theorie der Statistischen Physik, RWTH Aachen, Sommerfeldstraße 16, 52074 Aachen

³ I. Physikalisches Institut A, RWTH Aachen, Sommerfeldstraße 16, 52074 Aachen

⁴ III. Physikalisches Institut B, RWTH Aachen, Sommerfeldstraße 16, 52074 Aachen

Korrespondenz: asali@physik.rwth-aachen.de

Kurzfassung

Die Fachgruppe Physik der RWTH Aachen hat zur Verbesserung des Übergangs zwischen Schule und Hochschule das Programm SEM (Studieren Erfahrbar Machen) entwickelt und im Zeitraum von Mai bis September 2022 erstmalig umgesetzt. In diesem Programm konnten 28 Schülerinnen und Schüler mit Interesse an einem Physikstudium repräsentative Aspekte des Studiums realitätsnah erleben. Das Programm wurde hybrid (sowohl in Präsenz als auch online), unterstützt durch die Plattform RWTHmoodle, angeboten und dauerte für jede der insgesamt sieben Kohorten drei Wochen. Die Teilnehmenden erhielten einen realitätsnahen Einblick in den Ablauf der Veranstaltungen „Experimentalphysik 1“ und „Mathematische Methoden der Physik“ des ersten Semesters des Bachelorstudiums Physik. Im Beitrag wird das Angebot motiviert, sein Ablauf beschrieben und es werden erste Evaluationsergebnisse vorgestellt.

1. Motivation

Dozierende der Physik berichten seit vielen Jahren, dass Studienanfängerinnen- und -anfänger das Physikstudium mit unrealistischen Vorstellungen aufnehmen und unzureichende inhaltliche und methodische Vorkenntnisse aufweisen [1]. Die Kluft zwischen Vorstellungen und der Realität scheint dabei über die Zeit zuzunehmen. Insbesondere haben die Studienanfängerinnen und -anfänger falsche Vorstellungen von dem Inhalt, dem Ablauf und den Anforderungen eines Studiums.

1.1. Problem

Schulphysik und Hochschulphysik unterscheiden sich stark. Vor allem die Geschwindigkeit, mit der die physikalischen und mathematischen Themen eingeführt werden, ihr Komplexitätsgrad sowie die Notwendigkeit strukturierter Bearbeitung komplexer Übungsaufgaben sind für Schülerinnen und Schüler (SuS) ungewohnt. Dieser Unterschied ist vielen SuS nicht bekannt. Selbst die SuS, die von Lehrkräften, Familienmitgliedern oder Bekannten auf diese Unterschiede hingewiesen wurden, haben nur ein abstraktes Wissen darüber und können auf dieser Basis nur vage abschätzen, ob sie in der Lage sind mit den neuen Herausforderungen umzugehen. Somit haben sie keine fundierte Vorstellung von einem Physikstudium, seinem Ablauf und seinen Anforderungen [2] und können naturgemäß von ihren Schulen auch nur bedingt darauf vorbereitet werden. Studienanfängerinnen und -anfänger der Physik müssen sich darauf einlassen, täglich über viele Stunden neuen Gedankengängen zu folgen und neue mathematische

Methoden zu erlernen, um so Naturphänomene quantitativ beschreiben und verstehen zu können. Dies unterscheidet sich stark vom routinemäßigen Unterricht in den Schulen. Häufig unterschätzen auch vormals sehr gute SuS die Wichtigkeit eines adäquaten Zeitmanagements im Studium. Dies kann zu schwachen Leistungen während des ersten Studienjahres, Misserfolgen (realen oder wahrgenommenen) in Prüfungen und zum Abbruch des Studiums führen.

1.2. Lösungsansatz

Mit dem Programm „Studieren Erfahrbar Machen“ (SEM) beabsichtigt die Fachgruppe (FG) Physik der RWTH Aachen, SuS die Möglichkeit zu geben, repräsentative Teile des Studiums realitätsnah zu erleben und die geforderten Fähigkeiten, die Bedeutung des Zeitmanagements und des Selbststudiums in einem Hochschulstudium Physik bereits vor dem Studienbeginn erfahrungsbasiert zu erfassen. Daher widmet sich SEM primär SuS des letzten Schuljahres.

Mit dem Programm bekommen die Teilnehmenden die Möglichkeit, die Unterschiede zwischen Schulphysik und Hochschulphysik zu erfahren, und erhalten einen realistischen Eindruck von dem Niveau, dem Umfang und dem Tempo des Physikstudiums. Dies erleichtert zum einen eine frühzeitige Entscheidungsfindung für oder gegen ein Physikstudium, eröffnet aber zum anderen auch die Chance, die Notwendigkeit einer besseren Vorbereitung auf den Studienbeginn früh genug zu erkennen.

Weiterhin ermöglicht das Programm den Dozierenden mithilfe von e-Tests und Lernanalysetools, eine

genauere Vorstellung vom Wissen sowie von den Stärken und Schwächen ihrer zukünftigen Physikstudierenden zu bekommen und darauf aufbauend die Gestaltung der Studieneingangsphase weiter zu optimieren.

2. Inhalt und Verlauf des Programms

2.1. Existierende Angebote

Die FG Physik der RWTH bemüht sich seit längerem um eine adäquate Informiertheit der potentiellen Studienanfängerinnen und -anfänger einerseits und eine Optimierung der Studieneingangsphase andererseits. So soll langfristig die Erfolgsquote der Studienanfängerinnen und -anfänger verbessert und den zunehmenden Passungsproblemen zwischen Schule und Hochschule begegnet werden. In diesem Zusammenhang sind vor allem die folgenden Angebote zu nennen:

- a) **Infotage Physik [3]:** Bei den Studieninformationstagen für den Bachelorstudiengang Physik, kurz „Infotage Physik“, handelt es sich um jährlich ca. zehn identische eintägige Veranstaltungen im Frühjahr und Sommer, bei denen die FG Physik seit 2007 interessierten SuS das Physikstudium vorstellt, ihre Fragen beantwortet und sie mit der Universität vertraut macht. Die Teilnahme an den Infotagen Physik ist eine verpflichtende Voraussetzung für die Einschreibung in den Bachelorstudiengang Physik an der RWTH Aachen und erreicht damit die gesamte Kohorte der Studienanfängerinnen und -anfänger. Die Infotage zielen darauf ab, Studieninteressierte über die spezifischen Anforderungen des Physikstudiums zu informieren, Fehlvorstellungen über dieses abzubauen und ihre persönliche Eignung für den Studiengang zu überprüfen. Auch wenn die RWTH Aachen mit diesem Angebot bereits eine Vorreiterrolle bei der gezielten Information der Studieninteressierten einnimmt, so bleibt doch zu konstatieren, dass es nur bedingt gelingen kann, an einem Tag ein realistisches Bild vom Physikstudium zu vermitteln. Insbesondere erhalten die SuS nur eingeschränkt Gelegenheit, eigene Erfahrungen mit den Herausforderungen der Physik auf Universitätsniveau, wie sie sich z.B. in typischen Übungsaufgaben und einer erhöhten Stoffdichte manifestieren, zu sammeln.
- b) **Schüleruni Physik:** Dieses Programm erlaubt eine konkrete Begegnung mit moderner Physik und direkte Einblicke in das Physikstudium. Die Zahl der Teilnehmenden ist auf 25 pro Jahr beschränkt. Das Ziel hier ist überwiegend, die Studieninteressierten für das Fach Physik zu gewinnen. Es werden primär interessante, bahnbrechende oder neuere Entwicklungen der Physik visuell und einfach dargestellt. Dies reflektiert jedoch nicht die typischen Anforderungen an Studienanfängerinnen und -anfänger. Diese beschäftigen sich nämlich im ersten Studienjahr

zunächst mit Grundlagen der Mathematik und Physik in Form von Theorie und Experiment.

- c) **Hochschulhospitationswoche:** In diesem Programm erhalten die SuS durch die Teilnahme an ausgewählten Vorlesungen sowie durch den Austausch mit Tutorinnen und Tutoren direkte Einblicke ins Studium. Dabei erleben die Teilnehmenden nicht den typischen Verlauf des Übungsbetriebs in einem Physikstudium. Hierfür wäre die Bearbeitung von komplexeren Übungsaufgaben zu verschiedenen Themen in Teams von 2 bis 3 Personen innerhalb einer Woche erforderlich. Das Programm wird eine Woche lang im Herbst angeboten. Es liegt somit für viele angehende Abiturientinnen und Abiturienten zu früh vor einer möglichen Studienentscheidung, aber zu spät für Studienanfängerinnen und -anfänger.
- d) **Studieren vor dem Abi:** Die Zielgruppe dieses Programms sind einzelne besonders leistungsstarke SuS, die während der Schulzeit an wenigen ausgewählten Modulen des regulären Hochschullehrbetriebs teilnehmen. Die wenigen Teilnehmenden stellen damit keine typische Gruppe der Studienanfängerinnen und -anfänger dar. Zudem können sie in diesem Programm durch die getroffene Auswahl von Lehrveranstaltungen den realistischen zeitlichen Aufwand der Studienanfangsphase nicht erfahren.
- e) **Vorkurs Physik:** Das Ziel des Vorkurses Physik ist es, direkt vor dem Semesterbeginn die wichtigsten mathematischen und physikalischen Grundbegriffe aus der Schule zu wiederholen und aufzufrischen. Diese Wiederholung bietet keine Möglichkeit, das Studium vorab zu erfahren und findet für die Beeinflussung von Studienentscheidungen auch zu spät statt.

Keines der erwähnten Angebote bietet einer größeren Zahl von potentiellen Physikstudierenden die Möglichkeit, den Studiengang Physik über eine hinreichend lange Zeit realitätsnah zu erleben und sich so erfahrungsbasiert und eigenständig ein realistisches Bild von den Anforderungen, dem Ablauf, dem Niveau und der Geschwindigkeit im Studium zu erarbeiten. Hier setzt das Programm SEM an.

2.2. Rahmenbedingungen

Den Kern des Programms SEM bildet ein Lernraum auf der Lehr- und Lernplattform RWTHmoodle. Im Lernraum wurden ausgewählte Themen aus den zentralen Erstsemester-Vorlesungen "Experimentalphysik 1" und "Mathematische Methoden der Physik" eingestellt. Als Hybridveranstaltung ist SEM dabei nicht auf SuS aus der Region Aachen beschränkt. Es bietet allen deutschsprachigen SuS (typischerweise des letzten Schuljahrgangs) die Möglichkeit, ein realistisches Bild vom Physikstudium zu gewinnen. Im Prinzip ist das Programm ein Schnupperstudium, in dem in einem bis zu vierwöchigem Turnus ausgewählte Inhalte des ersten Studiensemesters in

„Kleinmodulen“ basierend auf Vorlesungsvideos und Skripten gelernt werden. Darüber hinaus werden thematisch passende Rechen- und Verständnisaufgaben im Rahmen von Übungszetteln und e-Tests realitätsnah und selbstständig (in Teams von zwei Personen) bearbeitet und zur Korrektur abgegeben. Hierdurch erhalten die Teilnehmenden – ganz analog zum normalen Übungsbetrieb – Feedback zu ihren Leistungen. Dies soll einen authentischen Eindruck von der Stoffdichte, der Lerngeschwindigkeit und typischen Anforderungen im Studium vermitteln. Die zukünftigen Studierenden werden im besten Fall auch motiviert, bereits vor Studienbeginn (z.B. durch die Teilnahme an freiwilligen Vorkursen) möglichen Schwächen in ihrer mathematisch-physikalischen Vorbildung aktiv zu begegnen.

Konkret umfasst das Programm SEM die folgenden Elemente:

- Lernmaterialien für die ausgewählten Veranstaltungen, um die SuS mit dem typischen Komplexitätsgrad des Stoffs vertraut zu machen. Die Materialien inkludieren Vorlesungsskripte, Vorlesungsvideos aus den Vorlesungen der vorherigen Jahre, Übungszettel, elektronische Selbsttests in RWTHmoodle, interaktive Graphen (der Sorte JSX [4] und PhET [5]) und phyphox Experimente [6, 7].
- Vorschläge für Lern- und Zeitpläne für das Programm mit einer effektiven Lernzeit von 40 Wochenstunden, wobei darauf hingewiesen wird, dass diese Zeitpläne große Ähnlichkeiten zu dem typischen Ablauf im ersten Semester aufweisen.
- Kommentierte Modulhandbücher für die Bachelorstudiengänge Physik (6-semestrig), Physik Plus (8-semestrig) und Lehramt Physik.
- Eine Sammlung von Tests und Übungen, mit denen die Teilnehmenden über die Teilnahme am Probeübungsbetrieb hinaus ihren Kenntnisstand ermitteln können. Dies führt gegebenenfalls zur Erkenntnis von Handlungsbedarf bei einer studienvorbereitenden oder –begleitenden Verbesserung der studienrelevanten Kenntnisse und Fähigkeiten. Hierzu wurden neben den Online-Brückenkursen Mathematik und Physik auch die Pools von Aufgaben genutzt, die im Rahmen der Blended-Learning-Aktivitäten der FG Physik insbesondere für die Studieneingangsphase erarbeitet und evaluiert wurden.
- Eine Linksammlung zu ausgewählten Web-Angeboten der Zentralen Studienberatung insbesondere zur Studienorganisation, die in Kooperation mit der Fachschaft auf besonders hilfreiche Angebote für Physikstudierende der Anfangssemester gefiltert wurden.
- Kommunikationskanäle, die insbesondere zwei Gesprächssituationen ermöglichen konnten, nämlich den Austausch der SuS mit Studierenden (Tutorinnen und Tutoren, Fachschaft) sowie den

Austausch der SuS mit anderen Studieninteressierten.

- Ein Kernstück des Projekts bildet das Angebot der Kleinmodule. Dabei werden jeweils zwei Kleinmodule aus den Lehrveranstaltungen „Experimentalphysik 1“ und „Mathematische Methoden der Physik“ angeboten, wobei jedes Kleinmodul den Inhalt von einer Woche der Vorlesungen enthält und zwei verschiedene Typen genutzt werden: Typ A enthält Inhalte aus der Anfangsphase des Wintersemesters, Typ B aus dem letzten Drittel eines Wintersemesters. Die SuS können eigenständig entscheiden, ob sie ein oder zwei Kleinmodule zu einer oder zu beiden Lehrveranstaltungen belegen und ob sie bei einer Beschäftigung mit beiden Lehrveranstaltungen die entsprechenden Kleinmodule parallel oder nacheinander bearbeiten (siehe Abb. 1). Eine parallele Bearbeitung erhöht die Authentizität des Probestudiums, erfordert aber kurzfristig mehr Zeittelressourcen der SuS. Die Kleinmodule wurden so ausgewählt, dass sie in sich geschlossene Einheiten darstellen und dabei nicht aufeinander aufbauen, aber sich im Sinne der Verbindung zwischen Mathematik und Physik ergänzen. Diese Module sind

A: In der Physik die Themen Kinematik und in der Mathematik Reihen, Taylor-Entwicklung, hyperbolische Funktionen und Funktionen als Potenzreihen.

B: In der Physik: Mechanische Schwingungen und Wellen und in der Mathematik komplexe Zahlen und gewöhnliche Differentialgleichungen.

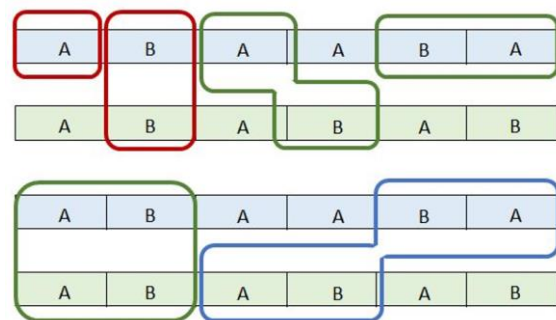


Abb. 1: Die Teilnehmenden können auswählen, welche Kleinmodule (A, B) sie zu jeder Veranstaltung (blau: Mathematik, grün: Physik) in welchen Zeiträumen absolvieren wollen (rote, grüne und blaue Umrandungen zeigen exemplarische Zusammenstellungen für eine Zeitdauer von 1, 2 oder 4 Wochen).

Durch die vorgesehene Teamarbeit werden erste soziale Kontakte mit anderen Studieninteressierten forciert, von denen die Teilnehmenden auch während des Studiums profitieren können. Der Moodle-Lernraum mit allen Lernmaterialien bleibt bis zum Semesteranfang für alle Teilnehmenden verfügbar. Er soll einerseits umfangreiche Informationen, andererseits

auch ausreichende Möglichkeiten zum selbstständigen Erleben von ausgewählten Facetten eines Hochschulstudiums anbieten. Dies betrifft die fachliche Dimension typischer Übungsaufgaben und Feedback auf eingereichte Lösungen ebenso wie eine geeignete Logistik, um Interessierte in „Lerngruppen“ zusammenzuführen, die analog zum realen Studienalltag z.B. gemeinsame Aufgabenlösungen erarbeiten und einreichen. Das längerfristige Angebot sichert dabei einerseits, dass die Beschäftigung mit SEM gemäß einem individuellen Zeitplan erfolgen kann, und andererseits, dass SuS durch eine intensivere Beschäftigung auch einen realistischeren Einblick in die tatsächlichen Studienanforderungen besonders in Bezug auf das Zeitmanagement erhalten.

2.3. Organisation

Zwischen Mai und September 2022 wurde das Programm SEM für sieben verschiedene Kohorten angeboten, wobei die Inhalte in einem 3-Wochen-Turnus wiederholt wurden. Die möglichen Starttermine waren für die Teilnehmenden frei wählbar. Um maximale Flexibilität anzubieten, wurden die Kohorten 1 und 3 vollständig online, die Kohorten 2 und 4 vollständig in Präsenz und die Kohorten 5-7 in der hybriden Form angeboten. Die Anmeldung lief laufend ab Anfang März und bis zwei Tage vor dem Beginn einer Kohorte. Für eine Anmeldung war eine E-Mail mit Vor- und Nachnamen sowie dem gewünschten Starttermin ausreichend, wobei alle notwendigen Informationen über die Webseite des Programms [8] verfügbar waren.

Rechtzeitig vor dem Start des Programms erhielten die Teilnehmenden eine Anleitung über die Anmeldung und Arbeit auf RWTHmoodle, die über die persönliche E-Mail-Adresse läuft. Das Programm begann immer mit einer Einführung, in der der Verlauf präsentiert und der empfohlene Lernplan dargestellt wurden. Basierend auf dem Lernplan wurden tägliche Fragestunden von Dienstag bis Freitag angeboten. Die Tutorien fanden am Montag der Woche danach statt. Diese waren die einzigen „live“-Veranstaltungen, die von Tutorinnen gehalten wurden. Der Rest des Programms war für Selbststudium bzw. Teamarbeit von Teilnehmenden vorgesehen.

3. Implementierung

Für die Durchführung des Programms wurde ein wissenschaftlicher Mitarbeiter für ein Jahr mit einem Beschäftigungsumfang von 25% eingestellt, der die Lehrmaterialien entweder gesammelt oder erstellt hat. Die Vorlesungsskripte und -videos und Übungsaufgaben wurden von Veranstaltungen der vorigen Jahre übernommen. Die e-Übungsaufgaben, interaktive Graphiken und Beschreibungen der phyphox Experimente [7] wurden teils speziell für dieses Programm entwickelt. Für die Fragestunden und Tutorien wurden drei studentische Hilfskräfte für sechs Monate angestellt, die auch vor dem Beginn des Programms insgesamt über 250 Schulen kontaktierten, um das Programm zu bewerben. Informationen zu

diesem Programm wurden von der Zentralen Studienberatung und der FG Physik der RWTH Aachen veröffentlicht. Es wurden auch Ankündigungen auf der Webseite der TU9 sowie auf dem Instagram-Kanal der RWTH Aachen geschalten.

Für die Durchführung der Präsenztermine wurde ein Seminarraum für 120 Minuten täglich reserviert. Es wurde auch angeboten, dass die Personen, die in Präsenz teilnahmen, sich in einem Seminarraum treffen können, um insbesondere die Übungsaufgaben gemeinsam zu bearbeiten.

4. Ergebnisse

Insgesamt wurden 258 Schulen kontaktiert, davon 61 Schulen außerhalb von Nordrhein-Westfalen. Am Ende des Programms hatten sich 46 Personen mit Anfragen gemeldet. Von diesen haben sich 39 für eine Teilnahme angemeldet, davon waren 29 männlich und 10 weiblich. 28 Personen haben das Programm aktiv besucht und vollständig absolviert, davon waren 25 männlich und 3 weiblich. Es wurden zu unterschiedlichen Zeitpunkten drei Umfragen unter den Teilnehmenden durchgeführt: einmal am Ende jeder Kohorte (während des Programms, $N = 22$), einmal kurz vor dem Beginn des Wintersemesters (Ende September 2022, $N = 18$) und einmal am Ende des Wintersemesters (Ende Januar 2023, $N = 18$).

Die Ergebnisse ermöglichten zum einen eine genauere Charakterisierung der Teilnehmenden. Demnach hat (basierend auf 18 Rückmeldungen) die Mehrheit einen Leistungskurs Mathematik (13) absolviert, 4 Teilnehmende waren im Grundkurs Mathematik. 16 dieser SuS haben ihre Mathematik-Kurse mit mindestens 12 Punkten abgeschlossen. In Physik haben 9 bzw. 7 SuS einen Leistungs- bzw. Grundkurs belegt und 14 davon im Abitur eine Bewertung von 12 oder mehr Punkten erhalten. Die Antworten auf die Frage, wie die SuS auf das Programm aufmerksam wurden, finden sich in Tab. 1. Demnach scheint der große Aufwand des Kontaktierens von über 250 Schulen nur eine eingeschränkte Wirkung gehabt zu haben. Über die Hälfte der Teilnehmenden wurden durch die Bewerbung des Programms bei den verpflichtenden Infotagen zum Physikstudium an der RWTH Aachen darauf aufmerksam.

Ein wichtiges Ergebnis war der durchschnittliche effektive Zeitaufwand der Bearbeitung der Lehrmaterialien. Laut Angaben der Teilnehmenden war er ca. 17 bzw. 19 Stunden pro Woche für Physik bzw. Mathematik, was in Abb. 2 dargestellt ist. Damit wird das Programm seinem Anspruch gerecht, einen realitätsnahen Einblick in das Physikstudium zu vermitteln.

Tab. 1 Antworten auf die Frage, wie die Teilnehmenden auf das Programm aufmerksam wurden.

Infotage Physik	12
Studienberatung Schule	2
Vorkurse, Schüleruni, Webseite	4
Lehrkräfte Schule	4

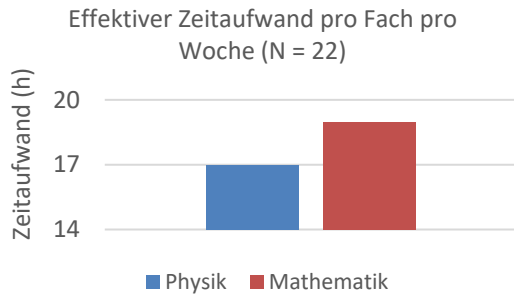


Abb. 2: Effektiver Zeitaufwand (in Stunden) pro Fach pro Woche.

Die Tab. 2a bis 2c fassen wichtige Erkenntnisse aus den Umfragen zusammen, an denen die jeweiligen Kohorten am Ende ihres Programms teilgenommen haben (N = 22). Demnach würde die große Mehrheit der Teilnehmenden das Programm weiterempfehlen. Die SuS sind überwiegend gut und sehr gut mit den bereitgestellten Materialien zurechtgekommen. Die Antworten in Tab. 2 c legen auch den Schluss nahe, dass in wenigen Fällen auch weniger als 2 Wochenstunden pro Fach investiert wurden. Diese Daten stehen in Übereinstimmung mit Rückmeldungen aus der Umfrage im September 2022, wonach die Hälfte der Befragten ihre Teilnahme am Programm als sehr aktiv und weitere 28% als aktiv einschätzt. Folglich hat das Programm damit zwar nicht in allen, aber doch in vielen Fällen ein deutlich realistischeres Bild vom Studium vermittelt, als das die in Abschnitt 2.1 skizzierten bisherigen Angebote vermocht haben.

Tab. 2a-2c: Ergebnisse der Umfrage am jeweiligen Ende des Programms für jede Kohorte (N = 22).

a) F: Würden Sie das Programm weiterempfehlen?

Ja, unbedingt	18
Ja, generell	3
Ich weiß noch nicht	1
Nein	0

b) F: Wie sind Sie mit den Materialien zurechtgekommen?

Grad	Mathematik	Physik
Sehr gut	8	8
Gut	7	11
So-so	3	2
Eher schlecht	3	1
Sehr schlecht	0	0

c) F: Wöchentliche Arbeitszeit für Vorlesungen (ohne Übungen) in Stunden.

Zeitaufwand	Mathematik	Physik
2-4 hrs.	3	6
4-6 hrs.	6	7
6-8 hrs.	5	2
8-10 hrs.	4	4
> 10 hrs.	3	1

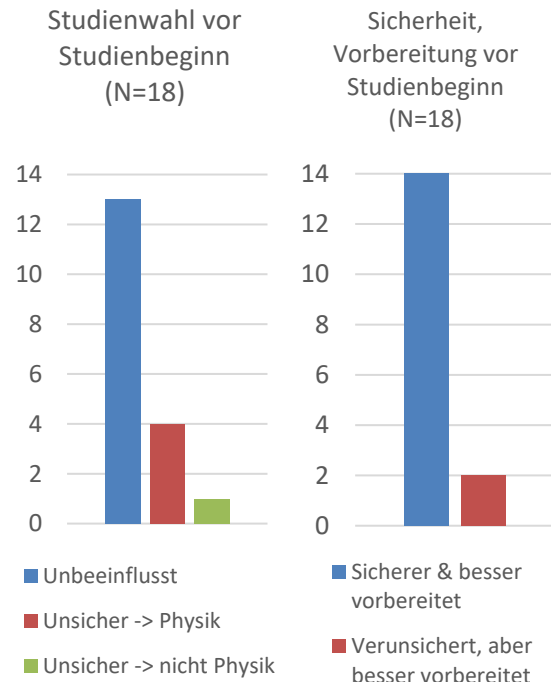


Abb. 3: Einfluss des Programms auf Studienwahl (links) und auf Sicherheit bzw. Vorbereitung (rechts). Angaben kurz vor Semesterbeginn.

Tab. 3: F: Haben Sie sich für ein Studium ab Wintersemester entschieden? Wenn ja, welche Studienrichtung? (September 2022, N = 18)

Nein	2
Ja, Physik	14
Ja, MINT außer Physik	2
Ja, aber nicht MINT	0

Die Ergebnisse der Umfrage im September 2022 (N = 18) lassen auch Rückschlüsse auf die Studienentscheidungen eines Großteils der Teilnehmenden und den Einfluss des Programms darauf zu. Das zeigen die Tab. 3 und Abb. 3. Demnach hat sich eine Mehrheit für ein Physikstudium entschieden, wobei in 5 Fällen das Programm diese Studienentscheidung beeinflusst hat (4 x pro Studium, 1 x contra). 14 der 18 Befragten fühlten sich dank des Programms in ihrer Studienentscheidung sicherer und hatten den Eindruck auch besser vorbereitet zu sein.

Die positive Beurteilung des Programms SEM durch die Studienanfängerinnen und -anfänger wurde auch im Verlaufe des ersten Semesters aufrechterhalten. Dies zeigen die Tabellen 4a bis 4c sowie die Abb. 4, in denen Daten einer Umfrage aus dem Januar 2023 und damit aus dem letzten Drittel des Wintersemesters dargestellt sind. Erfreulich war, dass hier immer noch Rückmeldungen von 18 Studierenden eingeholt werden konnten. Nach den Ergebnissen sehen die Teilnehmenden im Wesentlichen positive, wenn auch kleine Effekte sowohl beim Studieneinstieg als auch im Verlauf des ersten Semesters und bewerten das mehrheitlich als kleinen Vorteil gegenüber Anderen.

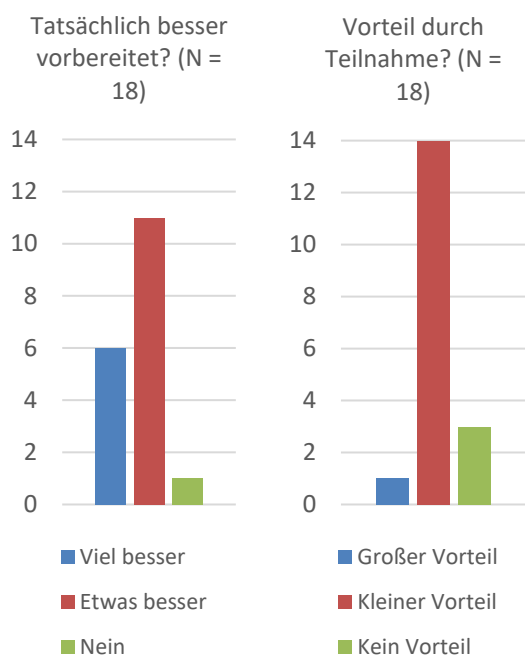


Abb. 4: Tatsächlicher Einfluss des Programms auf die Vorbereitung des Studiums und Vorteile durch die Teilnahme, jeweils im Vergleich mit anderen Studierenden. Angaben nach Semesterende.

Tab. 4: F: Wie hat das Programm SEM Ihren Einstieg ins Studium bzw. Ihren Fortschritt während des Semesters beeinflusst? (Januar 2023, N = 18)

Einfluss auf ...	Einstieg	Fortschritt
Sehr positiv	5	2
Eher positiv	8	9
Eher neutral	5	6

Weitere Daten der Umfrage weisen darauf hin, dass auch unter Berücksichtigung des Aufwands 7 bzw. 9 der 18 befragten Studierenden ihre Teilnahme am Programm als sehr sinnvoll bzw. eher sinnvoll einschätzen. Dabei kann das relativ kurze Programm die Studierenden natürlich nicht vollständig auf alle Anforderungen des Studiums vorbereiten. Dies korrespondiert mit der Einschätzung von 10, 2 bzw. 2 der 18 Befragten, dass es einige, viele bzw. sehr viele wichtige Aspekte im ersten Semester gab, auf die sie unvorbereitet waren. Qualitative Interviews mit künftigen Kohorten können helfen, diese Aspekte zu identifizieren, um die Möglichkeit ihrer zumindest teilweisen Integration in das SEM-Programm prüfen zu können.

5. Ausblick

Wie aus den Ergebnissen der Umfragen ersichtlich ist, war der generelle Eindruck des Programms für die meisten Teilnehmenden positiv. Basierend auf ihren Feedbacks wurde das Programm von 3 Wochen pro Kohorte auf 2 Wochen verkürzt und wird im Jahr 2023 in dieser Form angeboten. Der in Abb. 1 dargestellte zeitliche Verlauf ist für das zweiwöchige

Programm erstellt. Diese Änderung benötigte eine Anpassung des Lernplans sowie des Stoffs. Im Jahr 2022 hatten die Teilnehmenden eine ganze Woche für jedes Übungsblatt, im Jahr 2023 findet das Tutorium in der gleichen Woche (freitags) statt. Dementsprechend wurden die Übungszettel etwas verkürzt, aber der Anspruch der Aufgaben nicht reduziert.

Weil die Lehrmaterialien, der Moodle-Lernraum und die Lernpläne bereits vorliegen, reduziert sich der personelle Aufwand bei der erneuten Durchführung des Programms SEM erheblich. Für die Wiederholung des Programms ist keine erneute Anstellung eines wissenschaftlichen Mitarbeiters erforderlich. Zudem wurden zwei Tutoren zur Betreuung der SuS im Jahr 2023 für drei statt sechs Monate angestellt, wobei die Arbeitszeit von sechs Wochenstunden beibehalten wurde. Somit sind die Kosten für die Wiederholung des Programms erheblich niedriger als bei der erstmaligen Durchführung und insgesamt sehr überschaubar.

Auch bei der weiteren Durchführung liegt eine wesentliche Herausforderung in der effektiven Bewerbung des Programms. Aufgrund der positiven Rückmeldungen der Teilnehmenden aus dem ersten Jahrgang wird eine weitere Durchführung aber angestrebt. Dabei sollen auch mögliche Kooperationen mit anderen Hochschulen das gemeinsame Bestreben der besseren Vorbereitung von Studieninteressierten auf ein anspruchsvolles Physikstudium befördern. Solche Kooperationen können den Transfer des an der RWTH erarbeiteten Wissens und der Erfahrungen bei der praktischen Durchführung an andere Hochschulen betreffen, wenn diese ähnlichen Programme anbieten möchten. Aufgrund der Möglichkeit von Online- und Hybrid-Angeboten wäre es auch denkbar, dass x kooperierende Hochschulen im Rotationsverfahren nur alle x Jahre das Programm selber anbieten und ansonsten die eigenen Studieninteressierten auf das gemeinsame Programm eines Hochschulclusters hinweisen. Welcher dieser Wege als langfristig tragfähig erscheint, wird sich in der Praxis erweisen müssen.

6. Literatur

- [1] Sternal, Oliver, Walliser, Nils-Ole (2020): Physik-Vorkenntnisse von Studienanfängerinnen und -anfängern in MINT-Fächern
In: Die Hochschullehre, Jahrgang 6/2020, S. 103-118.
URL: <https://elibrary.utb.de/doi/pdf/10.3278/HSL2006W> (Stand 5/2023)
- [2] Haak, Inka (2017): Maßnahmen zur Unterstützung kognitiver und metakognitiver Prozesse in der Studieneingangsphase. Eine Design-Based-Research-Studie zum universitären Lernzentrum Physiktreff.
In: Studien zum Physik- und Chemielernen, 217 (2017), URL:

- <https://www.logos-verlag.de/cgi-bin/engbuch-mid?isbn=4437&lng=deu&id=>
(Stand 5/2023).
- [3] Unterseite der Veranstaltung „Studieninformationstag“ der Fachgruppe Physik an der RWTH Aachen, URL: <https://www.physik.rwth-aachen.de/infotag>
(Stand 5/2023)
- [4] Webseite von JSXgraph, Universität Bayreuth, URL: <https://jsxgraph.uni-bayreuth.de/wp/index.html>
(Stand 5/2023)
- [5] Webseite von PhET Interactive Simulations, University of Colorado Boulder, URL: <https://phet.colorado.edu/>
(Stand 5/2023)
- [6] Die Physikexperimentier-App phyphox, URL: <https://phyphox.org/de/home-de/>
(Stand 5/2023)
- [7] Staacks, Sebastian, Hütz, Simon, Heinke, Heidrun, Stampfer, Christoph (2018): Advanced tools for smartphone-based experiments: phyphox
In: Physics Education (Phys. Educ.) 53 (4), 045009
URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-6552/aac05e>
(Stand 5/2023)
- [8] Unterseite des Programms SEM, URL: <https://www.physik.rwth-aachen.de/cms/~suimj/SEM/>
(Stand 5/2023)

Danksagung

Wir bedanken uns für die Unterstützung durch das Center for Teaching and Learning Services (CLS) der RWTH Aachen und die Finanzierung über das Exploratory Teaching Space (ETS) Programm der RWTH Aachen.

Anwendungen der Interferometrie als interaktive Bildschirmexperimente

Hendrik Maas*, Stina Scheer*, Gunnar Friege*

*Institut für Didaktik der Mathematik und Physik, AG Physikdidaktik, Leibniz Universität Hannover, Welfengarten 1A, 30167 Hannover
hendrik.maas@stud.uni-hannover.de

Kurzfassung

Der Interferometrie kommt in Lehrplänen der gymnasialen Oberstufe eine bedeutsame Rolle zu, dennoch beschränken sich vor allem die experimentellen Möglichkeiten in Schulen oft auf einfache Experimente mit dem Michelson- und dem Mach-Zehnder-Interferometer. In diesem Beitrag werden Interferometrie-Experimente vorgestellt, die sich in Form von interaktiven Bildschirmexperimenten (IBE) in den Unterricht einbinden lassen. Bei den Experimenten handelt es sich um ein Analogieexperiment zur Gravitationswellendetektion, ein Experiment mit dem Sagnac-Interferometer zur Drehratenmessung und ein Experiment mit dem Michelson-Sterninterferometer zur Bestimmung des Winkeldurchmessers einer Sternattrappe. Die entwickelten IBEs wurden darüber hinaus einer Usability-Untersuchung mit Lehramtsstudierenden unterzogen, deren Ergebnisse ebenfalls vorgestellt werden.

1. Hintergrund

Die Interferometrie findet vielfältige Anwendung in Wissenschaft und Technik (Demtröder, 2013, S. 318f.). Die aus diesen vielseitigen Anwendungsgebieten resultierende Relevanz der Interferometrie spiegelt sich auch in Lehrplänen der gymnasialen Oberstufe wider. Lernende sollen verschiedene Interferenzphänomene deuten und beschreiben sowie zugehörige Experimente beschreiben und auswerten können (Niedersächsisches Kultusministerium, 2022, S. 39). Vermieden wird im niedersächsischen Kerncurriculum dabei allerdings der Begriff des Durchführens. Dies ist vermutlich zurückzuführen auf mitunter hohe Anschaffungskosten von Interferometrieexperimenten sowie einen oft erheblichen Justage- und Zeitaufwand bei der Durchführung. In der Konsequenz bedeutet dies, dass im Unterricht häufig nur Demonstrationsexperimente gezeigt werden (können), sofern überhaupt experimentell zu diesem Thema gearbeitet wird. Hierbei stehen vor allem das Michelson- und das Mach-Zehnder-Interferometer im Fokus. Ebenso ist der Einsatz solcher Demonstrationsexperimente stark an Präsenzlernphasen gebunden. Es ergeben sich somit keine Möglichkeiten, um Lernenden mehr Handlungsmöglichkeiten in Distanz- oder Blended-learning-Phasen zu ermöglichen.

2. Ansatz

Um Lernenden den Zugang zu anderen Interferometertypen und mehr Handlungsorientierung zu ermöglichen, sollen interaktive Bildschirmexperimente (IBE) genutzt werden. Hier soll der Vorteil ausgenutzt werden, dass Lernende mit IBEs genauso gut wie mit Realexperimenten und wesentlich zeiteffizienter lernen (Brell, 2008). IBEs lassen sich sehr gut mit tet.olio erstellen und anderen auf leichtem Weg zur

Verfügung stellen (Haase et al., 2018). Die in den IBEs nicht abgebildeten Situationen werden durch GeoGebra-Simulationen ergänzt, um die Modellbildung bei Lernenden zu unterstützen. Vor dem Hintergrund, dass der Lernerfolg im Hinblick auf das konzeptuelle Wissen am größten ist, wenn Realexperimente mit Simulationen kombiniert werden, wird dabei von der Annahme ausgegangen, dass die Kombination von IBEs und Simulationen einen ähnlichen Effekt hat, da IBEs eine digitale Form von Realexperimenten sind (de Jong et al., 2013; Wörner et al., 2022).

3. IBEs zu Interferometrieexperimenten

3.1. IBE zum LIGO-Analogieexperiment

Das LIGO-Analogieexperiment wurde als Realexperiment für universitäre Praktika und in einem etwas geringeren Umfang als Demonstrationsexperiment für den Unterricht entwickelt und verwendet Schallwellen als Analogie zu Gravitationswellen (Ugolini et al., 2019; Daam et al., 2022). Der grundlegende Aufbau entspricht dem eines Michelson-Interferometers, das in einem der Arme des Interferometers um einen weiteren Strahlteiler ergänzt wird, wodurch in diesem ein einfaches Fabry-Pérot-Interferometer geschaffen wird. Ein Lautsprecher wird zunächst hinter dem Spiegel in diesem Arm platziert, sodass die von ihm ausgesandten Schallwellen den Spiegel zu Schwingungen anregen.

Lernenden stehen im IBE insgesamt acht Versuche zur Auswahl, wobei der erste Versuch den Lernenden den Aufbau des Interferometers und das Entstehen der Interferenzmuster beim Michelson-Interferometer, Fabry-Pérot-Interferometer und der Kombination aus beiden nahebringt. Dieser Teilversuch folgt einem ähnlichen IBE von Bronner et al. (2009, S. 340).

Lernende können sich dabei sukzessive durch die Aufbausritte „klicken“ und diesen Prozess nachvollziehen. In den weiteren Versuchen können die Signalformen der drei genannten Interferometertypen aufgenommen, das Rauschverhalten bei verschiedenen Einstellungen der Arme beobachtet und Schallwellen unterschiedlicher Frequenz und Lautstärke sowie aus unterschiedlichen Richtungen beobachtet werden.

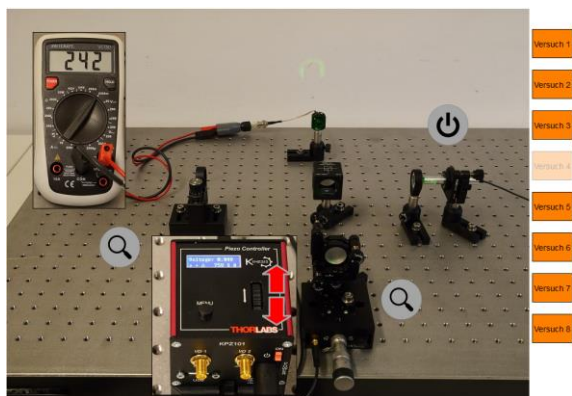


Abb.1: Aufnahme einer Signalform im IBE

Im IBE können die Lernenden den Laser ein- und ausschalten, die Armlängen des Interferometers verändern und in den entsprechenden Teilversuchen die Frequenz, Lautstärke und Richtung, aus der die Schallwellen ausgesandt werden, variieren. Ausgewählte Anzeigen wie die FFT-Darstellung auf dem PC-Bildschirm oder ein Multimeter zum Erfassen der Photospannung können vergrößert dargestellt werden.

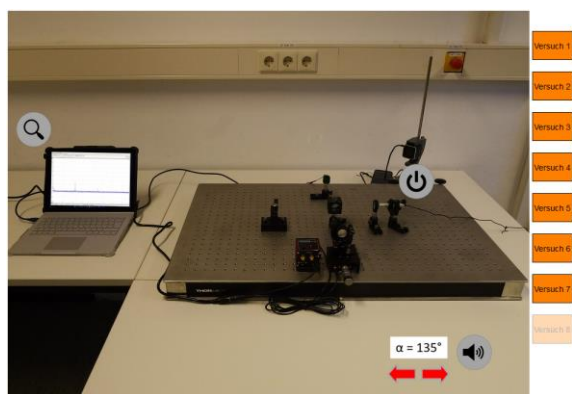


Abb.2: Detektion von Schallwellen im IBE

Den Lernenden ermöglicht dieses IBE festzustellen, dass das Interferometer nicht für alle Frequenzen und Lautstärken gleichermaßen sensitiv ist und dass auch die Richtung, aus der die Schallwellen ausgesandt werden, einen Einfluss auf die Sensitivität haben.

3.2. IBE zum (aktiven) Sagnac-Interferometer

Moderne Drehratensensoren in Industrie, Luftfahrt und Schifffahrt werden nach dem Prinzip von Sagnac-Interferometern gebaut. Im Physikunterricht findet sich dieser Interferometertyp, dessen schematischer Aufbau in seiner passiven Bauweise einem Mach-Zehnder-Interferometer und in seiner aktiven Bauweise einem Resonator ähnelt, allerdings kaum

wieder. Da die Anschaffungskosten sehr hoch und die Justage durchaus aufwendig sein können, bietet sich ein IBE an, um das Sagnac-Interferometer Lernenden zugänglich zu machen.

Grundlage für dieses IBE bildete ein Hörsaalexperiment, das an der Leibniz Universität Hannover in Grundlagenvorlesungen der Experimentalphysik zum Einsatz kommt. Hierbei handelt es sich um ein aktives Sagnac-Interferometer, bei dem die im und gegen den Uhrzeigersinn laufenden Moden an einem der Spiegel ausgekoppelt und überlagert werden. Wird das Interferometer in Rotation versetzt, lässt sich am Photodetektor eine Schwebungsfrequenz beobachten. Die Besonderheit bei dem hier verwendeten Aufbau besteht darin, dass die am Photodetektor gemessene Frequenz als äquivalente akustische Frequenz wiedergegeben wird.

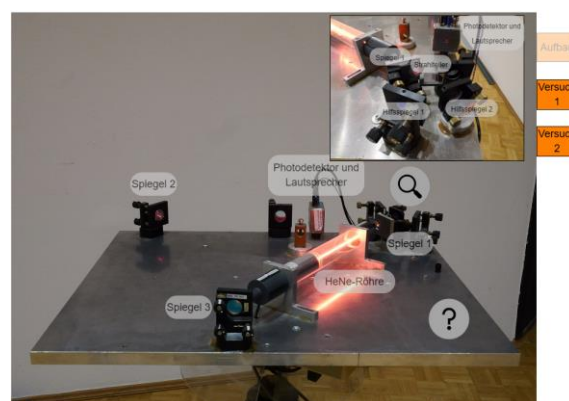


Abb.3: IBE zum Sagnac-Interferometer

Im IBE können Lernende sich zunächst den Aufbau erschließen und per Mausklick einzelne Teile vergrößern und sich die Beschriftung anzeigen lassen. Weiterhin können sie den Aufbau selber per Griff mit der Maus drehen und so verschiedene Frequenzen hervorrufen. Schließlich können sie das Interferometer sich mit sechs ihnen unbekanntem Winkelgeschwindigkeiten drehen lassen und diese mit Hilfe der Audio-Spektrums-Funktion von Phyxox und Gleichung 1 bestimmen.

$$\Delta f = \frac{a}{\sqrt{3} \cdot \lambda} \cdot \Omega \quad \{1\}$$

Δf bezeichnet dabei die Schwebungsfrequenz. Diese beträgt das 200-fache der akustischen Frequenz, die im IBE zu hören ist. Ω bezeichnet die Winkelgeschwindigkeit und $\lambda=632,8$ nm die Wellenlänge. Die Spiegel des Interferometers bilden die Ecken eines gleichseitigen Dreiecks mit $a=0,47$ m.

3.3. IBE zum Michelson-Sterninterferometer

Michelson schlug 1891 die Methode der Nutzung eines Zweistrahlinterferometers vor, um damit den Winkeldurchmesser von Himmelskörpern bestimmen zu können (Michelson, 1891). Das Objektiv eines Teleskops wird mit einem Doppelspalt versehen und der Spaltabstand bei diesem sukzessive erhöht, bis das Interferenzmuster verschwindet (beziehungsweise die

Kontrastfunktion in Gleichung 2 den Wert null annimmt).

$$V = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} = 2 \left| \frac{J_1\left(\frac{\pi \cdot d \cdot a}{L \cdot \lambda}\right)}{\left(\frac{\pi \cdot d \cdot a}{L \cdot \lambda}\right)} \right| \quad \{2\}$$

I_{\max} und I_{\min} bezeichnen dabei die Intensitäten im Hauptmaximum und ersten Minimum, J_1 bezeichnet die Besselfunktion erster Ordnung, a den Durchmesser des Sterns, L die Entfernung zu diesem und λ die Wellenlänge des von ihm ausgesandten Lichts. Das Verschwinden dieses Kontrasts ist für den Spaltabstand in Gleichung 3 zu beobachten.

$$d = 1,22 \cdot \frac{\lambda \cdot L}{a} \quad \{3\}$$

Dieses Prinzip findet auch gegenwärtig noch Anwendung in Großteleskopen und hat das Potential, Lernenden eine Anwendung der Interferometrie auf Grundlage des ihnen bekannten Doppelspaltexperiments aufzuzeigen.

Entsprechende Experimente mit (Doppel-)Sternatrappen für schulische und universitäre Praktika finden sich daher auch bei Fischer (2020), Illarramendi et al. (2014) und Arregui et al. (2017). Diese Experimente gehen mit einem nicht unerheblichen organisatorischen Aufwand einher, da sie nicht im Unterrichtsraum durchgeführt werden können. Darüber hinaus kann davon ausgegangen werden, dass vielen Schulen, wenn überhaupt, nur ein Teleskop zur Verfügung stehen dürfte, sodass den meisten Lernenden bei dem Experiment eine eher passive Rolle zu käme. Diese Umstände legen die Bereitstellung von diesem Experiment als IBE nahe.

Für das hier vorgestellte IBE wurde ein Celestron C8 SC-Teleskop verwendet. Als Kamera diente die Panasonic Lumix DC-GH6. Der Doppelspaltaufsatz wurde dem von Illarramendi et al. (2014) und Arregui et al. (2017) nachempfunden und mit einem 3D-Drucker angefertigt. Den Aufbau bei Tageslicht zeigt Abbildung 4. Die Sternatrappe orientierte sich ebenfalls an der von Illarramendi et al. (2014).



Abb.4: Teleskop mit Doppelspaltaufsatz und Kamera

Im IBE können Lernende die Sternatrappe durch das bloße Teleskop betrachten und sie somit als Beugungsscheibe sehen (linkes Bild in Abbildung 5) sowie den Doppelspaltaufsatz aufsetzen und dessen Spaltabstand variieren. Das mittlere und rechte Bild in Abbildung 5 zeigen die Interferenzmuster mit maximalem und minimalem Kontrast. Lernende können nach dem Spaltabstand suchen, bei dem der Kontrast verschwindet und diesen in Gleichung 3 einsetzen ($\lambda=625$ nm und $L=104,4$ m) oder die

Interferenzmuster per Screenshot sichern und beispielsweise mit der Software ImageJ analysieren, auf diese Weise die jeweiligen Kontrastwerte ermitteln und den Durchmesser der Sternatrappe mittels einer Regression anhand von Gleichung 2 bestimmen.

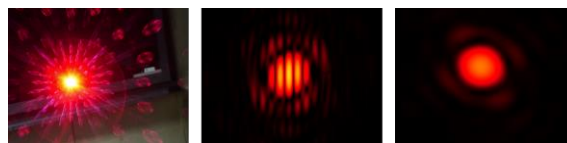


Abb.5: Beugungsscheibe und Interferenzmuster

Die Sternatrappe hat einen Durchmesser von 2 mm. Mit der erstgenannten Methode kommt man auf $a=2,54$ mm und mit der zweitgenannten Methode, je nach Bearbeitung in ImageJ, auf $a=(2,21 \pm 0,07)$ mm.

4. Usability-Test

Die erstellten IBEs sind Teil einer Lerneinheit im Erasmus+ Projekt STEM-Digitalis. Im Rahmen der Winter School dieses Projektes wurden die IBEs einer Erprobung mit Lehramtsstudierenden unterzogen. 14 Studierende bearbeiteten dabei Aufgaben zum IBE des Sagnac-Interferometers. Anschließend wurden sie gebeten einen Fragebogen auszufüllen und Fragen zu ihrer Experimentierwahrnehmung und der Qualität des IBEs zu beantworten.

Dass das Experiment im Vorfeld von jemandem durchgeführt wurde und diese Ergebnisse im IBE dargestellt werden, gab den Studierenden Sicherheit. Ebenso zeigte sich, dass den Studierenden neben der Nachvollziehbarkeit des Aufbaus auch der Aufbauprozess wichtig zu sein scheint. Letzterer konnte im IBE zum Sagnac-Interferometer nicht abgebildet werden, da alle Komponenten auf dem Drehtisch fixiert sind und sich nicht abnehmen und wieder aufsetzen lassen. Da sich im IBE aufgrund der Mausbeweglichkeit höhere Drehraten als in der Realität realisieren lassen, wurde das IBE von den Studierenden als weniger realitätsnah wahrgenommen. Dieser Effekt wurde vor allem dadurch verstärkt, dass vielen Studierenden das reale Experiment aus der Vorlesung bekannt gewesen sein dürfte. Nichtsdestotrotz bewerteten die Studierenden die vorhandenen Interaktionsmöglichkeiten im IBE als sehr gut und konnten alle Aufgaben zu dem IBE vollständig bearbeiten.

5. Ausblick

Die hier vorgestellten IBEs sind bei tet.folio abrufbar und werden gemeinsam mit weiteren Materialien auf der Plattform von STEM-Digitalis hochgeladen. Das IBE zum LIGO-Analogieexperiment wird in der Masterclass zur Gravitationswelleninterferometrie in Kombination mit dem entsprechenden Realexperiment und weiteren Experimenten eingesetzt. Das Konzept der Masterclasses erläutern Scheer et al. (2020).

Die Kombination von Simulationen und Realexperimenten hat einen bekanntermaßen großen Einfluss auf den Lernerfolg im Hinblick auf das konzeptuelle Wissen von Lernenden. Die Untersuchung der

Wirksamkeit von IBEs und Simulationen sowie IBEs, Realexperimenten und Simulationen bietet sich daher als Gegenstand weiterer Forschung an.

6. Literatur

- Arregui, L., Illarramendi, M. A., Zubia, J., Hueso, R., & Sanchez-Lavega, A. (2017). Interferometry of binary stars using polymer optical fibres. *European Journal of Physics*, 38 (4), 1–15. <https://doi.org/10.1088/1361-6404/aa7038>
- Brell, C. (2008). Lernmedien und Lernerfolg – reale und virtuelle Materialien im Physikunterricht: Empirische Untersuchungen in achten Klassen an Gymnasien (Laborstudie) zum Computereinsatz mit Simulation und IBE. Logos Verlag. Berlin.
- Bronner, P., Strunz, A., Silberhorn, C., & Meyn, J.-P. (2009). Interactive screen experiments with single photons. *European Journal of Physics*, 30 (2), 345–353. <https://doi.org/10.1088/0143-0807/30/2/014>
- Daam, M., Bergmann, A., Winter, M., Rockstuhl, C., & Nawrodt, R. (2022). Gravitationswellendetektion: Ein Analogie-Experiment zum LIGO-Gravitationswellenobservatorium. *Unterricht Physik*, 33 (192), 43–46.
- de Jong, T., Linn, M. C., & Zacharia, Z. C. (2013). Physical and virtual laboratories in science and engineering education. *Science* (New York, N.Y.), 340 (6130), 305–308. <https://doi.org/10.1126/science.1230579>
- Demtröder, W. (2013). *Experimentalphysik 2: Elektrizität und Optik*. Springer. Berlin Heidelberg.
- Fischer, O. (2020). „Zebrastrreifen“ im Schulfernrohr: Ein Zweistrahlinterferometer für die Schule. *Wissenschaft in die Schulen*, 1–33. <http://www.wissenschaft-schulen.de/alias/material/zebrastrreifen-im-schulfernrohr/1571280> (Stand 10/2022)
- Haase, S., Pfaff, M., Ermel, D., Kirstein, J., & Nordmeier, V. (2018). Interaktive Bildschirmexperimente als Systemkomponente der webbasierte Lernplattform tet.folio. In: *PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*, 1 (2018), S. 333-337, <https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phydid-b/article/view/910> (Stand 10/2022)
- Illarramendi, M. A., Hueso, R., Zubia, J., Aldabal-detrek, G., Durana, G., & Sanchez-Lavega, A. (2014). A daylight experiment for teaching stellar interferometry. *American Journal of Physics*, 82 (7), 649–653. <https://doi.org/10.1119/1.4869280>
- Michelson, A. A. (1891). Measurement of Jupiter's Satellites by Interference. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 3(17), 274–280. <https://doi.org/10.1086/120327>
- Niedersächsisches Kultusministerium. (2022). *Physik: Kerncurriculum für das Gymnasium – gymnasiale Oberstufe, die Gesamtschule – gymnasiale Oberstufe, das Berufliche Gymnasium, das Abendgymnasium, das Kolleg*. https://cuvo.nibis.de/index.php?p=detail_view&docid=1517&f0=Physik (Stand 01/2023)
- Scheer, S., Ghanbari, A., Friege, G., & Müller, R. (2020). Masterclasses in Quantenphysik. In: *PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*, 1 (2020). <https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phydid-b/article/view/1048> (Stand 12/2022)
- Ugolini, D., Rafferty, H., Winter, M., Rockstuhl, C., & Bergmann, A. (2019). LIGO analogy lab— A set of undergraduate lab experiments to demonstrate some principles of gravitational wave detection. *American Journal of Physics*, 87 (1), 44–56. <https://doi.org/10.1119/1.5066567>
- Wörner, S., Kuhn, J., & Scheiter, K. (2022). The Best of Two Worlds: A Systematic Review on Combining Real and Virtual Experiments in Science Education. *Review of Educational Research*, 92 (6), 911–952. <https://doi.org/10.3102/00346543221079417>

Anhang

Gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) im Rahmen der Exzellenzstrategie des Bundes und der Länder – EXC-2123 QuantumFrontiers – 390837967 sowie das Erasmus+ Programm der Europäischen Union – Grant Agreement No 2020-1-EL01-KA226-HE-094691

Die IBEs sind zu finden unter: <https://tetfolio.fu-berlin.de/tet/1780015>

Augmented Reality Experimente AR.X (download, print, cut, explore)

Johannes F. Lhotzky*, Klaus Wendt*

*Institut für Physik, Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Staudingerweg 7, 55128 Mainz
lhotzky@uni-mainz.de

Kurzfassung

„Augmented Reality“ (erweiterte Realität, kurz AR) ermöglicht die Ergänzung einer realen Umgebung mit virtuellen Objekten, Einblendungen oder Erläuterungen. So ist eine Simulation von Experimenten in natürlicher Umgebung ohne Abstraktion auf schematische Darstellungen möglich, was die Schüler:innen den realen Ablauf des Experimentierens „begreifen“ lässt. Die vorgestellten Anwendungen erfassen durch die Kamera eines mobilen Endgeräts reale Platzhalter in Form von speziellen QR-Code-Kärtchen, die durch AR Technik zu echten Experimentkomponenten erweitert werden und damit Experimentiergelegenheiten schaffen. Als aktuelles Themengebiet haben wir zunächst die Optik gewählt und möchten nachfolgend unser AR.X Konzept auf das Experimentieren mit Stromkreisen erweitern. Obwohl die Themenbereiche in der Schule prinzipiell im Realexperiment gut realisierbar sind, werden auch in diesem Bereich Experimente aus unterschiedlichen Gründen oftmals nicht oder nur sehr begrenzt von den Lernenden eigenständig durchgeführt. Zudem ist die Gestaltungsmöglichkeit der Platzierung der Experimente in der Unterrichtsreihe auf klassische, lineare Formate beschränkt. Durch die AR.X Umgebung können Unterrichtsinhalte sowohl in synchronen als auch asynchronen Unterrichtsformaten sowie losgelöst vom schulischen Geschehen realisiert werden. Für die Nutzung der Anwendung wird lediglich ein kompatibles Endgerät (Android bzw. iOS/iPadOS), sowie die ausgedruckten (kostenlosen) Targets benötigt.

1. Einführung

Augmented Reality (AR) ist eine Technologie, die virtuelle Elemente mit der realen Umgebung kombiniert, um eine erweiterte Wahrnehmung der Realität zu schaffen und mit dieser in Echtzeit zu interagieren (Azuma 2001). AR kann verschiedene Medien verwenden, die Grafik, Ton und haptisches Feedback einschließen. Die Technologie kann auf vielen Geräten genutzt werden, darunter Smartphones, Tablets, Headsets und Brillen – Mindestvoraussetzung ist jedoch das Vorhandensein einer eingebauten Kamera in der Hardware, die zudem portabel sein sollte (Formfaktor).

2. Allgemeine Aspekte zur AR in der Schule

Augmented Reality (AR) allgemein bietet eine Vielzahl von Anwendungsmöglichkeiten und darüber ein hohes Potential, um den Unterricht zu bereichern und die Lernerfahrung der Studenten zu verbessern (Zender et al. 2018). Eine Möglichkeit besteht darin, virtuelle Experimente durchzuführen, die in einer realen Laborumgebung nicht praktikabel oder nicht sicher wären. Schülerinnen und Schüler können durch die niederschwellige Anwendbarkeit von AR Anwendung eigenständig und ungefährdet experimentieren, recherchieren sowie Visualisierungen nutzen. Durch die Verwendung des digitalen Angebots entfällt ebenso die Limitierung des Experimentierens in einem Fachraum oder im engen unterrichtlichen Kontext. AR ermöglicht eine breite Partizipation der Lernenden gerade auch in den Naturwissenschaften

durch Anwendungen wie PUMA (Stolzenberger et al. 2022) und AR.X (Lhotzky et al. 2020).

Durch die Verfügbarkeit von digitalen Anwendungen ist es möglich interaktive Lernmaterialien zu erstellen und diese in differenzierte Unterrichtsplanungen mit einzuarbeiten (Würffel 2017, Watts & Hoffmann 2022). Lehrbücher und Lernmaterialien können mit zusätzlichen Informationen, 3D-Modellen oder interaktiven Übungen angereichert werden. Schülerinnen und Schüler können diese Materialien direkt auf ihren mobilen Geräten abrufen und mit den Einblendungen hybrid, also digital und gleichzeitig analog, interagieren und damit eine höhere Auseinandersetzungstiefe erreichen. Dadurch wird das Lernen individualisiert und an die Bedürfnisse der Schülerinnen und Schüler angepasst.

Eine weitere Einsatzmöglichkeit von AR im Unterricht sind virtuelle Exkursionen. Schülerinnen und Schüler können verschiedene Orte auf der Welt virtuell erkunden, ohne das Klassenzimmer verlassen zu müssen. Sie können antike Städte besuchen, Naturphänomene studieren oder andere Kulturen kennen lernen. Das erweitert ihren Horizont und fördert das interkulturelle Verständnis.

Auch das Sprachenlernen kann von AR profitieren. Durch die Einbettung virtueller Objekte mit den entsprechenden Bezeichnungen und Aussprachen in die reale Umgebung können Lernende ihren Wortschatz vergrößern und ihre Aussprache verbessern. So kann die Software oder der Nutzer reale oder virtuelle

Objekte benennen und mit ihnen interagieren, um damit die passiven und aktiven Sprachkenntnisse zu vertiefen. Auch die hier vorgestellte Anwendung AR.X sieht Erklärungstexte und Hinweise vor, um den Schülerinnen und Schülern zusätzliche Informationen und Hilfestellungen zu geben.

Neben den natur- und geisteswissenschaftlichen Fächern bietet AR auch Möglichkeiten für künstlerische und kreative Gestaltung im Unterricht. Die Schülerinnen und Schüler können ihre eigenen virtuellen Kunstwerke schaffen und mit digitalen Pinselstrichen, 3D-Modellen oder Animationen experimentieren.

Insgesamt eröffnet Augmented Reality im Unterricht fächerunabhängig neue Dimensionen des Lernens. Durch interaktive und immersive Erfahrungen können Schülerinnen und Schüler nicht nur Wissen vertiefen, sondern ihre Motivation anregen, ihr Engagement steigern und dazu ein tieferes Verständnis für die behandelten Themenkomplexe entwickeln. AR ist somit eine spannende Möglichkeit, den Unterricht zeitgemäßer und attraktiver zu gestalten.

3. Grundlegende Konzeption der AR.X Anwendung

Eine übliche, einfach und kostengünstig umzusetzende Realisierung der AR nutzt Targetkarten oder Marker, häufig in Form von QR-Codes, Bildern oder Symbolen. Diese Karten dienen als physische Ankerpunkte in der realen Welt, an denen virtuelle Objekte angebracht werden können.

Augmented Reality mit Targetkarten funktioniert über die dargestellte, speziell entworfene digitale Repräsentation. Targets können dabei nahezu beliebige Formen oder Designs aufweisen, müssen aber gut erkennbar und eindeutig sein. Dies ermöglicht, dass die AR-Software sie über die Kameras der digitalen Endgeräte (AR Brille, Smartphone, Tablet, ...) leicht und unabhängig von den äußeren Bedingungen identifizieren kann. Die Kamera scannt dazu die Umgebung und verwendet Bilderkennungssoftware.

Sobald eine Karte erkannt wurde, verfolgt das AR-System die Position und Ausrichtung der Karte bezogen auf die durch die Kamera auf dem Bildschirm übertragene reale Welt. Dieser Prozess wird üblicherweise als „Tracking“ bezeichnet. Die AR-Software platziert dann vordefinierte virtuelle dreidimensionale gezeichnete Objekte an der Stelle der jeweiligen Karte. Die Objekte können statisch, beweglich oder sogar interaktiv sein und über ihre Position und Ausrichtung im Raum zueinander in Beziehung gesetzt werden (siehe Abschnitt 4). Die Benutzerin bzw. der Benutzer kann die virtuellen Objekte durch sein AR-Gerät nicht nur sehen, sondern mit den Objekten in vielfältiger Weise interagieren, etwa indem er das Gerät bewegt, auf den Bildschirm tippt oder die Targetkarten in der realen Welt verschiebt oder dreht. Bei diesen Aktionen aktualisiert das AR-System die Position und Ausrichtung der virtuellen Objekte in Echtzeit. Die Verbindung zwischen der realen Welt und

den virtuellen Objekten ist damit fixiert und wirkt real.

4. AR.X – Konzept

Aufbauend auf dieser Technik ist AR.X (Augmented Reality Experiments) ein innovativer Ansatz zur Nutzung von erweiterter Realität (AR) in Ausbildung und Lehre, bei dem die reale Umgebung durch virtuelle Darstellungen von Experimentiergeräten ergänzt werden. Die Benutzerinnen und Benutzer legen dazu Marker-Karten in ihrer Umgebung aus, die vom digitalen Endgerät, also Smartphone oder Tablet, erkannt werden. Die AR.X-App fügt dann an diesen Stellen die entsprechenden virtuellen Experimentiergeräte hinzu, welche weitgehend beliebig manipuliert werden können.



Abb.1: Die Anwendung AR.X Optics – Wellenoptik in der Praxis

Die App simuliert zudem die zugrundeliegenden physikalischen Eigenschaften der digital eingeblendeten Geräte, sodass physikalisch korrekte Experimente durchgeführt werden können. Damit entstehen durch AR.X neue weitgefächerte Lehr-Lern-Gelegenheiten, indem vielfältige Einsatzmöglichkeiten durch die Targetkarten und deren Anordnung umsetzbar sind.

Im Gegensatz zu anderen AR-Ansätzen, die häufig ausschließlich zusätzliche Informationen zu realen Objekten einblenden, kann AR.X anspruchsvolle und komplexe physikalische Zusammenhänge aus unterschiedlichen Bereichen über entsprechende Belegung der Targetkarten generieren. Der einfache Ansatz über Smartphone oder Tablet sowie gedruckte Markerkarten, die kostenlos heruntergeladen werden können, soll sowohl Lehrkräfte als auch Lernende ansprechen. Die jeweilige Programmierung ermöglicht dann eine Vielzahl von Experimentaufbauten und -zielsetzungen. Aktuell konzentriert sich die Entwicklung von AR.X dabei auf Experimentiergeräte für geometrische und Wellenoptik. Diese beiden Programme sind bereits verfügbar und können erprobt werden.

Die eingesetzte AR.X-Software basiert auf der weit verbreiteten Unity-Engine und verwendet das Vuforia Augmented Reality Software Development Kit für die AR-Funktionen (Linowes & Babilinski 2017).

Dadurch kann sie unabhängig von der Zielplattform entwickelt und für eine breite Palette aktueller und zukünftig verfügbarer mobiler Endgeräte veröffentlicht werden (vgl. Lhotzky et al. 2020).

5. AR.X Circuit – Konzept

Das gerade neu im Aufbau befindliche Programm AR.X Circuit App sieht vor, dass die AR Anwendung den Aufbau von Stromkreisen ermöglicht, die aus Messgeräten (Ampere- und Voltmeter), sowie aus Netzgeräten/Batterien sowie Verbrauchern (Widerständen und Glühlampen) frei zusammengesetzt werden können. Das Userinterface (UI) blendet zudem zusätzliche Bedienmöglichkeiten ein, durch die die Experimentierbedingungen in Echtzeit variiert werden können. Es kann etwa Spannungen verändert, die Größe von Widerständen variiert oder aber methodische Aspekte wie Kabelfarben o.ä. geändert werden.

Eine Darstellung des momentanen Stands der Entwicklungen ist der Abbildung 2 zu entnehmen. Hier sind die wesentlichen Bauteile bereits als schematische Zeichnung enthalten und eine Verkabelung der

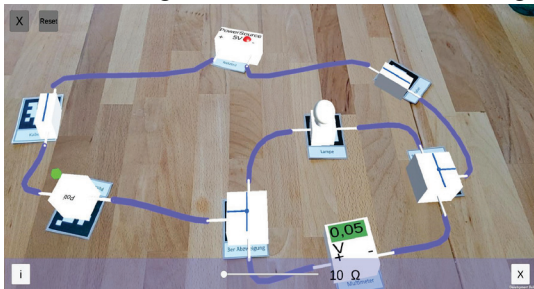


Abb.2: Prototyp der AR.X Circuit App (Abbildung von Tillmann Bolik)

Komponenten ist möglich. Der Prototyp wird zum allgemeinen Test des Systems und der Berechnungen im Hintergrund genutzt. Die Herausforderung des Experimentes liegt in der Umsetzung der korrekten Beschreibung der Schaltkreise. Hierzu wurden die Kirchhoff'schen Gesetze (vgl. Kämpf 2013) implementiert.

6. Erste Einblicke zur technischen Umsetzung

Technisch umgesetzt wird das Projekt mit der 3D Engine Unity im Zusammenspiel mit der Erweiterung des Vuforia Augmented Reality Software Development Kit (Linowes & Babilinski 2017) für die AR-Funktionen.

Im Kontrast zur Umsetzung der Optikexperimente, bei denen die Strahlrichtungen stets die weitere Interaktion vorgeben, musste für die Realisierung der Stromkreise eine komplexere Alternative entwickelt werden. Damit die durch die Targetkarten repräsentierten elektrischen Bauteile korrekt verkabelt werden können, wurden Verbindungsstücke zwischen die einzelnen Komponenten eingebunden. Diese werden durch „Kabelkarten“ umgesetzt, die technisch über aktive Interaktionszonen in Form von „Fangbereichen“ verfügen (s. Abb. 3).

Eine vollständige Verkabelung besteht aus einer Überlappung der Interaktionszonen von jeweils zwei Komponenten. Ist der Stromkreis geschlossen (s. Abb. 4), gibt die Simulation im Hintergrund eine physikalisch korrekte Darstellung ab mit der experimentiert werden kann und physikalische Prozesse virtuell einfach und korrekt nachvollzogen werden können.

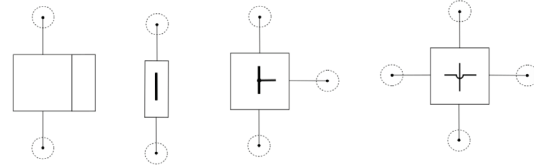


Abb.3: Targetkarten mit Interaktionszonen (Abbildung von Tillmann Bolik)

Für die Umsetzung des gleichermaßen nötigen „Lösen“ von Verschaltungen innerhalb der Anwendung gibt es derzeit zwei unterschiedliche Konzepte,

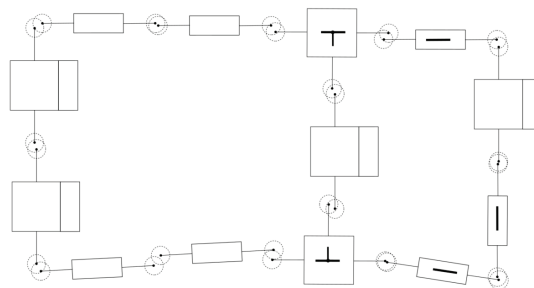


Abb.4: Theoretischer Stromkreis mit Parallelschaltung (Abbildung von Tillmann Bolik)

die erprobt werden.

So gibt es die Möglichkeit des Lösen einer Verbindung durch Tippen in der Anwendung und eine zweite Umsetzung, die eine weitere Interaktionszone (die „Haltezone. Die Verkabelung wird demnach getrennt, wenn die Karten aus der „Haltezone“ der ver-

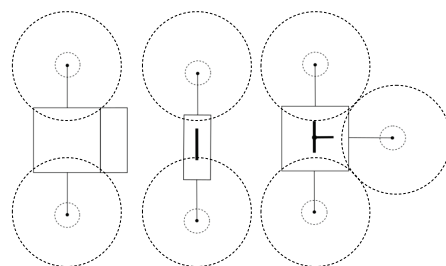


Abb.5: Targetkarten mit Interaktionszonen und Lösezonnen

bundenen Karte entfernt wird (s. Abb. 5).

7. Weiterentwicklungen und Ausblick

Das Konzept wurde bereits erprobt und fand dabei breite Zustimmung. Bereits jetzt kann die AR.X Optik App schon hohe Downloadzahlen verbuchen und die Rückmeldungen der Lehrerinnen und Lehrer sowie der Schülerinnen und Schüler fallen sehr positiv aus. Beide Nutzergruppen sind sowohl von den

aus. Beide Nutzergruppen sind sowohl von den Möglichkeiten im ernsthaften Experimentieren als auch von dem möglichen spielerischen Zugang der App begeistert. Dies wird für die anstehende Ausweitung in den Bereich der Stromkreise gleichermaßen erwartet. Dort ist auch eine Visualisierung bzw. Erweiterung der Darstellung der Stromkreise durch unterschiedliche Modelle wie etwa das Elektronengasmodell (vgl. Burde 2018), Wassermodell, Riemenmodell o.ä. ist perspektivisch anvisiert. Hierbei sind die Konsequenzen für das konzeptionelle Wissen der Schülerinnen und Schüler zu beachten (vgl. Haider & Fölling-Albers 2020).

8. Verfügbarkeit

Die Anwendung AR.X Optics ist bereits veröffentlicht und findet sich im AppStore (iOS/iPasOS) sowie im Playstore (Android) für unterstützte Geräte. Die in der Testphase befindliche Anwendung AR.X Circuit soll in naher Zukunft über die gleichen Kanäle veröffentlicht werden. Genaue Informationen dazu finden sich unter <https://www.larissa.physik.uni-mainz.de/arx/>

9. Literatur

- Azuma, R., Bailiot, Y., Behringer, R., Feiner, S., Julier, S., & MacIntyre, B. (2001). Recent advances in augmented reality. *IEEE computer graphics and applications*, 21(6), 34-47.
- 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.
- Haider, M., & Fölling-Albers, M. (2020). Auswirkungen von Analogiemodellen auf den Aufbau konzeptuellen Wissens im Sachunterricht der Grundschule—Beispiel Stromkreis. *Unterrichtswissenschaft*, 48, 469-491.
- Küpfmüller, K. (2013). Einführung in die theoretische Elektrotechnik. Springer-Verlag.
- Lhotzky, J. F., Schimmelpfennig, F., & Wendt, K. (2020). Augmented Physik AR im Physikunterricht. *PhyDid B-Didaktik der Physik-Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*.
- Linowes, J., & Babilinski, K. (2017). Augmented reality for developers: Build practical augmented reality applications with unity, ARCore, ARKit, and Vuforia. Packt Publishing Ltd.
- Stolzenberger, C., Frank, F., & Trefzger, T. (2022). Experiments for students with built-in theory: 'PUMA: Spannungslabor'—an augmented reality app for studying electricity. *Physics Education*, 57(4), 045024.
- Watts, E. M., & Hoffmann, C. (2022). Potenziale und Bestrebungen im Bereich der Digitalisierung und Inklusion im naturwissenschaftlichen Unterricht—Ergebnisse einer multiprofessionellen Tagung. In *Digitale NAWI-gation von Inklusion: Digitale Werkzeuge für einen inklusiven Naturwissenschaftsunterricht* (pp. 1-4). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Würffel, N. (2017). Differenzierung fördern mit digitalen Medien. Neue und weniger neue Ansätze für den Einsatz digitaler Medien im DaF/DaZ-Unterricht. *IDT*, 1, 123-139.
- Zender, R., Weise, M., von der Heyde, M., & Söbke, H. (2018). Lehren und Lernen mit VR und AR—Was wird erwartet? Was funktioniert. In *Proceedings der pre-conference-workshops der (Vol. 16)*.

Das Projekt PUMA (PhysikUnterricht Mit Augmentierung)

- Vorstellung und Beispiele aus der Praxis -

Christoph Stolzenberger, Florian Frank, Stefan Kraus, Annika Kreikenbohm, Hagen Schwanke, Thomas Trefzger

*Lehrstuhl für Physik und ihre Didaktik, Universität Würzburg
cstolzenberger@physik.uni-wuerzburg.de

Kurzfassung

Durch Augmented Reality (AR) können Realobjekte mit zusätzlichen digitalen Informationen überlagert werden, was neue Arten des Lernens ermöglicht. Internationale Studien beschreiben verschiedene Vorteile von AR-gestützten Lernumgebungen. Die professionelle Entwicklung und Evaluation von AR-Applikationen für den physikalischen Schulunterricht ist daher das Ziel des Projekts PUMA (Physik-Unterricht Mit Augmentierung). Unter diesem Projektdach werden in kleinen Teams (u. a. im Rahmen von Dissertationsvorhaben) Applikationen für die Vermittlung ausgewählter physikalischer Themen der Sekundarstufe 1 konzipiert und realisiert.

„PUMA : Magnetlabor“ dient als Grundlage für ein Lehr-Lern-Labor zum Themengebiet des (Elektro-)Magnetismus und erweitert die Realexperimente u. a. mit unsichtbaren Feldlinien.

„PUMA : Spannungslabor“ thematisiert einfache elektrische Stromkreise sowie grundlegende elektrische Konzepte und visualisiert gängige Analogiemodelle.

„PUMA : Optiklabor“ wird als WebAR-Anwendung zur Simulation von Optik-Versuchen entwickelt.

1. Das Projekt PUMA

Viele internationale Studien deuten auf den Nutzen von AR-gestützten Lernumgebungen hin. Dabei zeigen sich gerade für MINT-Fächer positive Effekte auf die Lernwirksamkeit, die Zusammenarbeit in Gruppen, die Motivation und die Entwicklung des räumlichen Vorstellungsvermögens der Lernenden [1][2]. Ziel des Projekts PUMA ist daher die professionelle Konzeption, Entwicklung und Evaluation von AR-Applikationen für den Physikunterricht. Das Experiment als zentrales Element des Physikunterrichts ist dabei die Grundlage für die Entwicklung der AR-Visualisierungen. Die Applikationen ersetzen die Experimente nicht, im Gegenteil, sie unterstützen ihre Durchführung bzw. erleichtern deren Auswertung und Diskussion sowie deren Vor- und Nachbereitung zu Hause.

Die im übergreifenden Projekt PUMA zugeordneten Einzelprojekte "PUMA : Magnetlabor", "PUMA : Spannungslabor" und "PUMA : Optiklabor" laufen nach den Prinzipien des Design-Based Research (DBR)-Ansatzes ab [3]. Am Beginn der Einzelprojekte wird ein unterstützungsbedürftiger Themenblock gewählt (z. B. aufgrund vielfältiger fehlerhafter Schüler*innen-Fehlvorstellungen) und für diesen Experimente identifiziert, welche von einer Augmentierung profitieren können. Dafür bieten sich vor allem die Experimente an, welchen eine komplexe Modellvorstellung zu Grunde liegt. Die Augmentierung liefert hierbei eine adaptive Visualisierung, welche einem besseren Verständnis der zu erlernenden Inhalte dienen soll. Die sich durch die Nutzung der Applika-

tionen ergebenden Änderungen kognitiver bzw. affektiver Merkmale werden im Rahmen von Dissertationsarbeiten untersucht.

Darüber hinaus findet zur Qualitätssicherung der Applikationen eine stetige entwicklungsbegleitende Evaluation auch im schulischen Kontext statt.

2. Vorstellung der Applikationen

Im Folgenden werden die einzelnen Applikationen vorgestellt. Dabei wird jeweils auch ein Einblick in die begleitende fachdidaktische Forschung gegeben.

2.1. PUMA : Magnetlabor (iOS, Android)

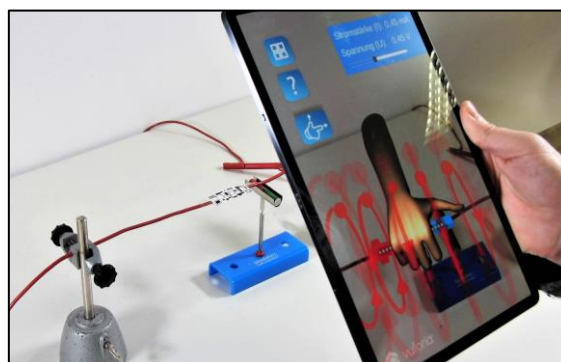


Abb.1: Augmentierung des Versuchs von Oersted

Inhalt der Applikation ist die Visualisierung mikroskopischer Strukturen und magnetischer Felder basierend auf etablierten Modellen aus den Themen des Magnetismus und der Elektrizitätslehre [4]. Hierbei werden u.a. folgende Experimente visuell unterstützt:

- Felder von (Permanent-)Magneten
- Weicheiseninstrument

- Influenz
- Induktion
- Lenz'sche Regel

Ziel der empirischen Begleituntersuchung ist die Frage nach dem Einfluss, welchen der Einsatz einer AR-App auf das situationale Interesse und die kognitive Last der Lernenden hat. Im Vergleich dazu steht die Durchführung derselben Experimente, welche zum einen mit passenden Simulationen und zum anderen mit Infografiken unterstützt und durchgeführt werden. Hierzu wird mit Schulklassen (10. Klasse, Gymnasium, Bayern) eine Schülerlabor-Vergleichsstudie mit mehreren Darbietungen (AR-App, Simulation, digitale Infografiken) durchgeführt. Dabei steht die subjektive Sicht der Schülerinnen und Schüler im Vordergrund, welche nacheinander alle drei Darbietungsmöglichkeiten erhalten. Nach jeder Intervention wird das situationale Interesse und die kognitive Belastung erhoben, sodass diese in Beziehung zu ihrer Darbietung gesetzt werden können. Zu Beginn des Besuches wird mittels quantitativer Testinstrumente das Individuelle Interesse, Selbstkonzept, Selbstwirksamkeitserwartung, Fachwissen und die Technikaffinität als Moderatorvariablen erhoben.

2.2. PUMA : Spannungslabor (iOS, Android)

Die App visualisiert Analogiemodelle der Elektrizitätslehre [5] und bietet dank einer BLE-(Bluetooth Low Energy) Messbox die Möglichkeit der Erhebung und Darstellung realer Messdaten [6].

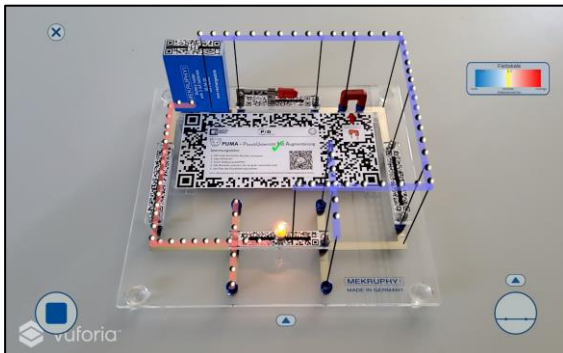


Abb.2: Augmentierung eines einfachen Stromkreises

Folgende Modelle wurden in die App implementiert:

- Elektronengasmodell
- Stäbchenmodell
- Murmelbahnmodell
- Stoßmodell des elektrischen Widerstands

Die App kann sowohl bei der Einführung der elektrischen Grundgrößen (Spannung, Stromstärke, Widerstand) und einfachen Schaltungen sowie zur Messung von Kennlinien und der Erforschung der Gesetzmäßigkeiten bei Reihen- und Parallelschaltungen eingesetzt werden.

Im Rahmen der empirischen Begleitforschung wird der Einfluss der Nutzung digitaler Unterstützung beim Experimentieren auf Fachwissenserwerb und

kognitive Last der Lernenden untersucht. Durchgeführt wird eine Schülerlabor-Pre/Post-Studie (8. Klasse, Gymnasium) mit mehreren Gruppen. Dies erlaubt eine Variation sowohl bei der Art der Modelldarbietung als auch der Messungsunterstützung. Untersucht wird der Einfluss der Technikaffinität (in vier Facetten), des räumlichen Vorstellungsvermögens und des Leistungsstands auf die Fachwissensänderung und die kognitive Last [7].

2.3. PUMA : Optiklabor (Web-AR)

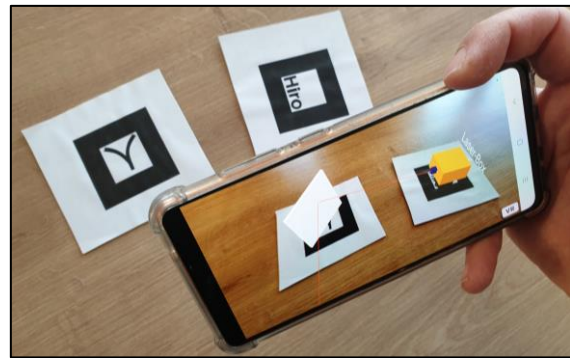


Abb.3: WebAR-Simulation eines Optik-Versuchs im Strahlenmodell

Diese Web-AR-Simulation visualisiert das Strahlenmodell von Licht zur haptischen Durchführung von Optik-Versuchen mit einfachstem Material [8]. Für eine unkomplizierte Nutzung auf vielerlei Geräten wird die Applikation via Web-Techniken zur Verfügung gestellt. Sie ist somit nicht an ein bestimmtes Betriebssystem geknüpft und muss nicht extra installiert werden.

Im Rahmen der App ist es möglich, Versuche zur Strahlenoptik der Sekundarstufe I (z. B. Lehrplankapitel Ph8.2 Optik für bayerische Gymnasien, 8. Jgst.) durchzuführen.

Die zentrale Forschungsfrage der Begleituntersuchung ist, inwiefern sich Schülerfehlvorstellungen im Bereich der Optik durch den Einsatz einer AR-Simulation vermeiden lassen.

Hierzu sollen entsprechend qualitative und quantitative Daten mittels browserbasierter Methoden erhoben werden. Grundsätzlich von Interesse ist der Verlauf der Entwicklung affektiv-motivationaler Faktoren der Lernenden, der aktuelle Reifegrad von WebAR und die Funktionalität der Plattformunabhängigkeit in der Unterrichtspraxis.

Der Entwicklungsprozess der App befindet sich derzeit in der Implementierungsphase. Ziel ist die Bereitstellung kleiner, abgeschlossener Experimentiereinheiten für den Physikunterricht und deren Beforschung im Rahmen einer Studie an bayerischen Gymnasien.

3. Ausblick

Der Einsatz von AR-Applikationen wird von internationalen Studien gefordert und durch die inzwischen gute Verfügbarkeit der nötigen Hardware an den

Schulen auch ermöglicht. Im Rahmen des Projekts PUMA (Physik-Unterricht Mit Augmentierung) werden entsprechende Apps zu verschiedenen schulrelevanten Themengebieten nach didaktischen Prinzipien konzipiert und deren Einsatz evaluiert. Weitere Informationen zum Projekt und zu den einzelnen Applikationen finden Sie auf unserer Homepage (<https://go.uni-wue.de/pid-puma>) oder in den weiteren Phydid B Beiträgen dieser Ausgabe: DD 13.2, DD 3.2, DD 22.8

4. Literatur

- [1] Ajit, Gloria; Lucas, Terry; Kanyan, Ringah (2021): A systematic review of augmented reality in STEM education. In: Studies of Applied Economics, 39(1).
Url: <https://doi.org/10.25115/eea.v39i1.4280> (Stand 6/2023)
- [2] Garzón, Juan; Pavón, Juan; Baldiris, Silvia (2019). Systematic review and meta-analysis of augmented reality in educational settings. In: Virtual Reality 23, S. 447–459.
Url: <https://doi.org/10.1007/s10055-019-00379-9> (Stand 6/2023)
- [3] Anderson, Terry; Shattuck, Julie (2012). Design-Based Research: A Decade of Progress in Education Research? In: Educational Researcher, Vol. 41(1), S. 16-25. Url: <https://doi.org/10.3102/0013189X11428813> (Stand 6/2023)
- [4] Schwanke, Hagen; Kreikenbohm, Annika; Trefzger, Thomas (2021): Augmented Reality in Schülerversuchen der E-Lehre in der Sekundarstufe I. In: Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik (GDGP) (Hg.): Naturwissenschaftlicher Unterricht und Lehrerbildung im Umbruch?, 41. Unter Mitarbeit von Sebastian Habig: Universität Duisburg-Essen (Band 41), S. 641–644. Url: https://www.gdcp-ev.de/wp-content/tb2021/TB2021_641_Schwanke.pdf (Stand 6/2023)
- [5] Stolzenberger, Christoph; Frank, Florian; Trefzger, Thomas; Wilhelm, Thomas; Kuhn, Jochen (2023). Spannung mit PUMA : Spannungslabor. In: Smarte Physik: Physik mit Smartphones und Tablet-PCs. Physik in unserer Zeit, 54 (1), S. 44-45, Url: <https://doi.org/10.1002/piuz.202370109> (Stand 6/2023)
- [6] Kirwald, Dustin; Dorsel, Dominik; Staacks, Sebastian; Noritzsch, Jens; Stampfer, Christoph; Heinke, Heidrun (2022). phyphox: Neue und verbesserte Experimente mit Hilfe externer Sensoren. Poster, GDGP-Jahrestagung 2022, Aachen. Url: <https://gdcp-ev.de/blog/2022/09/08/phyphox-neue-und-verbesserte-experimente-mit-hilfe-externer-sensoren/> (Stand 6/2023)
- [7] Frank, Florian; Stolzenberger, Christoph; Trefzger, Thomas (2023). PUMA : Spannungslabor – Untersuchung der Lernwirksamkeit von AR. In: (Habig, Sebastian (Hrsg.)): Lehren, Lernen und Forschen in einer digital geprägten Welt – Tagungsband der GDGP-Jahrestagung 2022. Url: https://gdcp-ev.de/wp-content/uploads/securepdfs/2023/05/A17_Frank.pdf (Stand 6/2023)
- [8] Kraus, Stefan; Trefzger, Thomas (2022). PUMA: Web-AR-Techniken als Ergänzung des Physikunterrichts. PhyDid B - Didaktik Der Physik - Beiträge Zur DPG-Frühjahrstagung, 1. Url: <https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phydid-b/article/view/1304/1455> (Stand 6/2023)

Digitale Messwerterfassung mit Mikrocontrollern

- Konnektivität, Datenauswertung, Nutzeroberflächen -

Fabian Bernstein*, Thomas Wilhelm*

* Institut für Didaktik der Physik, Goethe-Universität Frankfurt, Max-von-Laue-Str. 1, 60438 Frankfurt
bernstein@physik.uni-frankfurt.de, wilhelm@physik.uni-frankfurt.de

Kurzfassung

Um Messwerte digital im naturwissenschaftlichen Unterricht zu erfassen, stehen Lehrkräften unterschiedliche Optionen zur Verfügung. Neben klassischen Stand-alone-Messgeräten kann auf Messwerterfassungssysteme von Lehrmittelherstellern, mobile Endgeräte oder Mikrocontroller-Boards zurückgegriffen werden. Moderne Mikrocontroller weisen dabei eine große Leistungsfähigkeit bei geringen Kosten und hoher Flexibilität auf. Die reine Erfassung von Messdaten ist für unterrichtliche Zwecke allerdings nicht ausreichend: Vielmehr müssen schülergerechte Abläufe gestaltet werden, die insbesondere den Datentransfer vom Mikrocontroller zu Endgeräten wie PCs, Smartphones oder Tablets sowie grafische Nutzeroberflächen und Möglichkeiten der Datenauswertung miteinschließen. Dies wird durch moderne Schnittstellen wie Microsoft Datastreamer, die phyphox Arduino BLE-Bibliothek oder MIT App Inventor ermöglicht, die die Gestaltung robuster und hochwertiger Experimentierumgebungen erlauben.

1. Gründe für den Einsatz digitaler Messwerterfassung naturwissenschaftlichen Unterricht

Die digitale Erfassung von Messdaten ist nicht nur aus Wissenschaft und Industrie nicht mehr wegzudenken, sondern zunehmend auch ein Standard des allgemeinbildenden naturwissenschaftlichen Unterrichts. So wird Messwert- und Datenerfassung bspw. als eine der digitalen Basiskompetenzen des DIKOLAN-Frameworks geführt, in dem auch explizit auf die Vorteile für den naturwissenschaftlichen Unterricht hingewiesen wird. Demgemäß ermöglicht die digitale Erfassung von Messwerten u. a. die Beobachtung außerordentlich schnell oder langsam ablaufender Prozesse, flexible Darstellungs-, Visualisierungs- und Analysemöglichkeiten und erlaubt ferner, physikalische Vorgänge, die ohne technische Hilfsmittel nicht wahrnehmbar sind, der Anschauung zugänglich zu machen (z. B. mithilfe von Wärmebildkameras) [1].

Eine darüberhinausgehende Begründung für den Einsatz digitaler Messtechnik im naturwissenschaftlichen Unterricht geben Lück und Wilhelm [2]. Sie argumentieren, dass der Einsatz digitaler Messgeräte die Chance biete, den Unterricht von langweiligen und repetitiven Routinetätigkeit zu entlasten, die den Fokus von dem eigentlich interessierenden physikalischen Zusammenhang weg zu den Tätigkeiten seines manuellen Nachweises verschoben. Dementsprechend eröffneten digitale Messgeräte Zeitfenster im Unterricht, die zur Diskussion und allgemein zur Vertiefung des physikalischen Konzeptverständnisses bei den Schülerinnen und Schülern häufig besser genutzt werden könnten als zur manuellen Erhebung von Messwerten.

Schließlich kann mithilfe digitaler Sensoren in kurzer Zeit eine große Zahl an Messwerten mit (oft) großer Genauigkeit erfasst werden, sodass eine aus Schülersicht überzeugendere Begründung physikalischer Zusammenhänge möglich wird. Dies gilt insbesondere, wenn verschiedene physikalische Größen gleichzeitig gemessen werden und komplexe Interdependenzen verständlich gemacht werden sollen [2-3].

2. Digitale Messwerterfassung im Unterricht: Systeme und Optionen

Lehrkräfte, die Messwerte digital im Unterricht erfassen (lassen) möchten, können dies prinzipiell auf verschiedene Art und Weise unterrichtspraktisch umsetzen. Grob lassen sich Systeme digitaler Messwerterfassung wie folgt klassifizieren:

- Stand-alone-Messgeräte, wie z.B. digitale Multimeter, Digital-Oszilloskope, Wärmebildkameras etc.,
- Messwerterfassungssysteme von Lehrmittelherstellern, wie z.B. Cassy (Leybold), Cobra (Phywe), Passport (Pasco) oder LabQuest (Vernier),
- Mobile Endgeräte, d.h. Smartphones oder Tablets, die mittels geeigneter Apps wie bspw. Arduino Science Journal, phyphox oder Physics Sensor Toolbox zu Messgeräten umfunktioniert werden,
- Mikrocontroller-Boards und Einplatinencomputer, wie z.B. Mikrocontroller-Boards der Arduino-Familie oder der Raspberry Pi.

Vergleicht man diese verschiedenen Möglichkeiten, wird schnell deutlich, dass jede dieser Optionen in praktischer Hinsicht mit eigenen Vor- und Nachteilen einhergeht.

2.1. Stand-alone-Messgeräte

Stand-alone-Messgeräte – also eigenständige Messgeräte, die für bestimmte Messaufgaben spezifiziert und auf bestimmte Messbereiche ausgelegt sind – zeichnen sich oft durch eine hohe Zuverlässigkeit und Robustheit aus. Die Messbereiche und die Messgenauigkeit sind im Allgemeinen bekannt. Dem gegenüber stehen eine begrenzte Flexibilität, erhöhter Platzbedarf und zumeist höhere Kosten als für integrierte Lösungen.

2.2. Messwert-Systeme von Lehrmittelherstellern

Digitale Systeme zur Messwerterfassung von Lehrmittelherstellern sind für den unterrichtspraktischen Einsatz optimiert, weisen eine gute Usability auf, sind durch die Verfügbarkeit einer Vielzahl von Sensoren flexibel und ermöglichen zumeist einen einfachen Austausch der Messwerte zwischen verschiedenen Geräten oder Systemen zur weiteren Auswertung. Aufgrund der oft hohen Kosten sind die Systeme im Allgemeinen jedoch nicht flächendeckend und in Schülersätzen an Schulen verfügbar. Darüber hinaus impliziert der Erwerb eines solchen Systems de facto die Bindung an ein geschlossenes Ökosystem und die Messwerterfassung selbst bleibt zwangsläufig eine „Black-Box“, da die internen Prozesse der Messdatenverarbeitung nicht zugänglich sind.

2.3. Mobile Endgeräte

Der Einsatz von Smartphones und Tablets zur digitalen Messwerterfassung ist seit einiger Zeit sowohl in der Hochschullehre [4] als auch an allgemeinbildenden Schulen etabliert [5]. Dieser Ansatz bietet einige Vorzüge: In fachdidaktischer und lernpsychologischer Hinsicht stellen mobile Endgeräte einen Alltags- und Lebensweltbezug für die Schülerinnen und Schüler her, was positive motivationale und kognitive Effekte erwarten lässt [6]. In technischer Hinsicht ist ihr Einsatz niedrigschwellig, da eine Vielzahl von Apps für verschiedenste Messaufgaben zur Verfügung stehen, Einsatzszenarien beschrieben sind [5, 7] und die Messgeräte selbst – nämlich die Smartphones oder Tablets der Schule oder auch der Schülerinnen und Schüler – in aller Regel bereits vorhanden sind. Begrenzt werden die Einsatzmöglichkeiten einerseits durch die in den mobilen Endgeräten verbauten Sensoren, sowohl nach Typ als auch nach Genauigkeit, sowie andererseits durch den Formfaktor der Geräte und die Risikobereitschaft der Lehrkraft, die nicht beliebige Einsatzszenarien zulassen.

2.4. Einplatinencomputer

Wie (und dass) sich Mikrocontroller-Boards, bspw. der verbreitete „Arduino Uno“, oder Einplatinencomputern wie der Raspberry Pi zur digitalen Erfassung von Messdaten im Physikunterricht nutzbar gemacht werden können, wurde bereits verschiedentlich diskutiert [8-9]. Ein solcher Ansatz ist in mehrfacher Hinsicht naheliegend: Mikrocontroller-Boards sind preisgünstig, flexibel einsetzbar, weit verbreitet und

dank einer globalen Community hervorragend dokumentiert. Darüber hinaus existiert eine Vielzahl kosteneffektiver Sensoren für nahezu alle denkbaren unterrichtlichen Messszenarien und aufgrund des Open-Source und Open-Hardware-Ansatzes kann der Prozess der digitalen Messwerterfassung selbst, sofern gewünscht, zum Gegenstand des Unterrichts werden. Anders als bei „Closed Source“-Produkten ist der Programmiercode zur Messwerterfassung, -verarbeitung, und -speicherung einsehbar und modifizierbar oder kann sogar – je nach angestrebtem Kompetenzerwerb – durch die Schülerinnen und Schüler selbst erstellt werden. Dieser grundsätzliche Vorteil kann allerdings auch zum Nachteil werden, nämlich dann, wenn eine Beschäftigung mit dem digitalen Messwerterfassungssystem selbst nicht erwünscht ist. Die verbreitete Arduino-Entwicklungsumgebung bietet beispielsweise nur sehr begrenzte Möglichkeiten, aufgenommene Messwerte anzuzeigen oder zu visualisieren. Der standardmäßig verfügbare serielle Monitor sowie der serielle Plotter wurden für die Fehlersuche („Debugging“) und nicht für den Unterrichtseinsatz konzipiert, und dürften jedenfalls aus einer Vielzahl von Gründen für viele, wenn nicht die meisten, unterrichtlichen Einsatzszenarien wenig geeignet sein. Eine aus didaktischen Erwägungen und auch unter Usability-Gesichtspunkten sinnvolle Trennung zwischen den technischen Vorgängen, die zur Messdatenerfassung erforderlich sind (dem „Backend“), und der Nutzeroberfläche, über die die Nutzer mit dem System interagieren (das „Frontend“), war bis vor einigen Jahren noch schwer und nur unter erheblichem Aufwand zu realisieren. Dies begrenzte den Nutzen dieser Systeme für den naturwissenschaftlichen Unterricht und ließ diese eher für den Einsatz in AGs und Wettbewerben geeignet erscheinen.

3. Interfaces für Mikrocontroller: Microsoft Datastreamer, phyphox und MIT App Inventor

Seit einiger Zeit werden insbesondere im Kontext von Internet of Things (IoT), Smart Home und Industrie 4.0 Entwicklungsumgebungen auch für Konsumenten und Bildungsinstitutionen verfügbar, die es ohne größeren Aufwand ermöglichen, Messwerte von Mikrocontroller-Boards zu mobilen Endgeräten oder Desktop-Computern zu übertragen und ansprechende grafische Nutzeroberflächen zu gestalten. Populäre Beispiele hierfür bieten die Arduino IoT Cloud, Thingsboard, Node-Red, phyphox, Microsoft Datastreamer oder MIT App Inventor. In gewissem Sinne und bis zu einem gewissen Grad verbinden diese Schnittstellen die Vorteile von mobilen Endgeräten – verfügbar, vertraut, motivierend – mit jenen von Mikrocontrollern: flexibel, kostengünstig, transparent.

Drei der zuvor genannten Schnittstellen, Microsoft Datastreamer, phyphox und MIT App Inventor, werden im Folgenden genauer vorgestellt und ihre Vor- und Nachteile diskutiert. Diese Schnittstellen zeichnen sich dadurch aus, dass die zugrundeliegenden

Anwendungen bereits im schulischen Unterricht etabliert sind und dass sich in Kombination dieser Lösungen verschiedene unterrichtliche und außerunterrichtliche Einsatzszenarien abdecken lassen. Da Mikrocontroller, wie der Arduino, gegenüber Einplatinencomputern, wie dem Raspberry Pi, einfacher zu programmieren und generell robuster sind und zudem einen größeren Kostenvorteil bieten, wird die Messwerterfassung mit Einplatinencomputern nachfolgend nicht weiter betrachtet.

Um einen Vergleich der mit den Schnittstellen realisierbaren Nutzeroberflächen zu erleichtern, wurde ein Minimalbeispiel bestehend aus Mikrocontroller, Ultraschall-Abstandssensor und LED realisiert (s. Abb. 1). Die vom Abstandssensor aufgezeichneten Daten wurden vom Mikrocontroller zum Endgerät übertragen, wohingegen die LED durch ein Bedienelement auf der Nutzeroberfläche gesteuert werden kann.

3.1. Microsoft Datastreamer

Bei Microsoft Datastreamer handelt es sich um ein 2015 von Microsoft veröffentlichtes Add-In für Microsoft Office 365, das es ermöglicht, eine Verbindung zu einem Microcontroller-Board über die serielle Schnittstelle herzustellen (vornehmlich via USB-Kabel; es gibt aber auch drahtlose Konnektivitätslösungen wie „Serial over Bluetooth“). Daten können so in Echtzeit vom Microcontroller in ein Tabellenblatt (und zurück) übertragen werden. Ein großer Vorzug dieses Ansatzes besteht darin, dass Microsoft Excel ein im Physikunterricht ohnehin weitverbreitetes Werkzeug zur Aufnahme und Auswertung von Messdaten darstellt und dass alle Auswertungs- und Analysewerkzeuge von Excel zur Verfügung stehen. Darüber hinaus ist keine separate Installation des Tools erforderlich, da es standardmäßig mit Office 365 ausgeliefert wird. Auch fallen keine weiteren Kosten für die Nutzung des Add-Ins an. Als Nachteil muss genannt werden, dass Microsoft Datastreamer

nur für die Windows-Desktop-Version von Office 365 verfügbar ist – mobile Geräte oder Microsoft Office für Mac werden nicht unterstützt – und dass es nicht mit älteren Versionen von Microsoft Excel verwendet werden kann.

In praktischer Hinsicht läuft die Nutzung von Datastreamer so ab, dass zunächst das Add-In unter „Datei – Optionen – Add-Ins – COM-Add-Ins“ aktiviert werden muss. Dies führt dazu, dass ein weiteres Ribbon in der Menüleiste von Excel sichtbar wird, mit dem die Verbindung zum Mikrocontroller hergestellt werden kann. Hardwareseitig ist ein geeigneter Mikrocontroller erforderlich, der aufgenommene Messdaten in einem vorgegebenen Format über die serielle Schnittstelle sendet. Ein einfaches Beispiel ist in Abb. 2 zu sehen: Die Daten des Ultraschall-Entfernungssensors werden in ein Excel-Tabellenblatt übertragen und über der Zeit aufgetragen. Weitere Details zu den verwendbaren Mikrocontrollern sowie zur praktischen Nutzung von Datastreamer sind unter [10-12] zu finden.

Über die reine Übertragung von Messdaten hinaus können mit Microsoft Excel und Datastreamer auch sehr hochwertige grafische Nutzeroberflächen und interaktive Experimentierumgebungen geschaffen werden. Excel stellt hierzu als Teil der Entwicklerwerkzeuge zahlreiche Bedien- und Anzeige-Elemente wie Schaltflächen, Dropdown-Listen etc. zur Verfügung, deren Funktionalität allerdings mittels der Office-eigenen Programmiersprache „Visual Basic for Applications“ implementiert werden muss.

Einen Eindruck davon, was prinzipiell möglich ist, zeigen die Beispiele, die Microsoft in Kooperation mit der NASA für die Hacking STEM-Initiative realisiert hat [13]. In diesem Projekt wurden mehr als zwanzig Unterrichtsbausteine entlang der Next Gene-



Abb. 1: Minimalbeispiel: Mikrocontroller, LED und Ultraschall-Abstandssensor zur Demonstration der Kommunikation zwischen Mikrocontroller und Endgerät für verschiedene Schnittstellen

ration Science Standards entwickelt, die in technischer Hinsicht auf Datastreamer beruhen und teils sehr aufwendig gestaltet wurden.

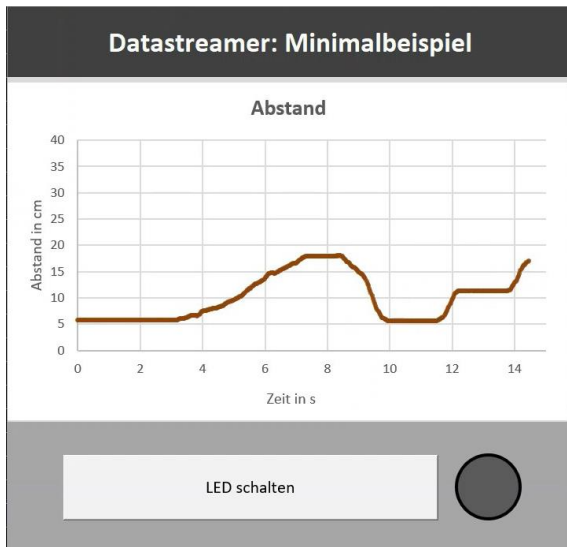


Abb. 2: Benutzeroberfläche zum Minimalbeispiel in Microsoft Datastreamer

3.2. phyphox Arduino BLE-Bibliothek

Die von der RWTH Aachen entwickelte App phyphox [14] ist im Physikunterricht bereits verbreitet und dafür konzipiert, die Sensoren eines Smartphones oder Tablets (Android oder iOS) auszulesen und die so erhobenen digitalen Messwerte zu visualisieren.

Mit der Veröffentlichung der phyphox Arduino BLE-Bibliothek [15-16] ist es nun darüber hinaus möglich geworden, Messdaten von einem Mikrocontroller mittels Bluetooth an ein mobiles Endgerät zu übertragen und in der phyphox-App aufzuzeichnen und darzustellen. Dies erweitert das Einsatzspektrum der App erheblich.

Die grundsätzliche Vorgehensweise besteht darin, Messwerte mit einem geeigneten Mikrocontroller und (fast) beliebigen externen Sensoren zunächst zu erheben und im zweiten Schritt per Bluetooth-Low-Energy an ein mobiles Endgerät in die phyphox-App zu übertragen. Die Nutzung von Bluetooth-Low-Energy als Übertragungsmedium impliziert, dass nur solche Mikrocontroller-Boards eingesetzt werden können, die diese Technologie beherrschen. Insbesondere das weitverbreitete Arduino-Uno-Board kann aus diesem Grund nicht verwendet werden. Stand 2023 werden fünf Mikrocontroller-Boards unterstützt: Arduino Nano 33 BLE, -IoT und -Sense, die senseBox sowie ESP32-Mikrocontroller-gestützte Boards.

Ein Beispiel für die Verwendung der phyphox BLE-Bibliothek zeigt Abb. 3: Wie im vorhergehenden Beispiel wurde der Abstand zu einem Objekt mithilfe eines Ultraschall-Entfernungssensors gemessen, die Messdaten an das Smartphone übertragen und in der phyphox-App visualisiert.

Weitere Hinweise zur Nutzung der phyphox BLE-Bibliothek sind [12, 15-17] zu entnehmen.

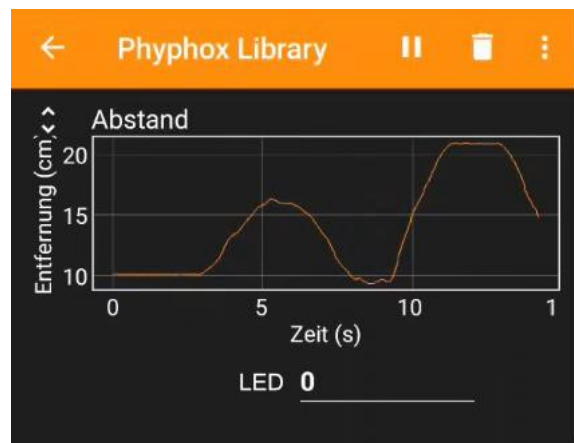


Abb. 3: Benutzeroberfläche zum Minimalbeispiel in der phyphox-App

3.3. MIT App Inventor

MIT App Inventor [18] ist eine blockbasierte Entwicklungsumgebung, die zur Erstellung von Apps für mobile Endgeräte dient. Die Entwicklungsumgebung selbst ist webbasiert und besteht aus zwei komplementären Ansichten: In der „Designer“-Ansicht der App werden Anzeige- und Bedienelemente wie z.B. Bilder, Diagramme, Schaltflächen, Schieberegler oder auch Sensoren hinzugefügt. In der „Block-Editor“-Ansicht wird das Verhalten der verschiedenen Elemente dann mithilfe einer blockbasierten Programmiersprache festgelegt. Die in der Entwicklung befindlichen Apps können mittels der „MIT AI2-Companion“-App auf dem eigenen Smartphone getestet und nach Fertigstellung entweder über den google Play-Store veröffentlicht oder zu .apk-Dateien kompiliert und mittels QR-Code verbreitet werden. Eine Verwendung mit iOS ist derzeit nur testweise mit der Companion App möglich, ein Build-Server für iOS ist aber schon seit längerer Zeit in Planung.

MIT App Inventor verfolgt einen universellen Ansatz und ist daher nicht primär für die Erstellung von Apps zur Messdatenerfassung ausgelegt. Der Hauptzweck von MIT App Inventor besteht darin, Schülerinnen und Schülern eine niedrigschwellige Einführung in die Programmierung von Apps für mobile Endgeräte zu bieten. Da App Inventor aber auch über Werkzeuge zur Erstellung von Diagrammen verfügt und über die Bluetooth-Schnittstelle eines Smartphones kommunizieren kann, ist es mit App Inventor möglich, eigene Apps zur Messwernerfassung und -visualisierung zu kreieren. Ein Beispiel gibt wiederum die Ultraschall-Abstandsmessung (s. Abb. 4), wobei die Datenübertragung und Visualisierung dieses Mal mithilfe von MIT App Inventor realisiert wurde.

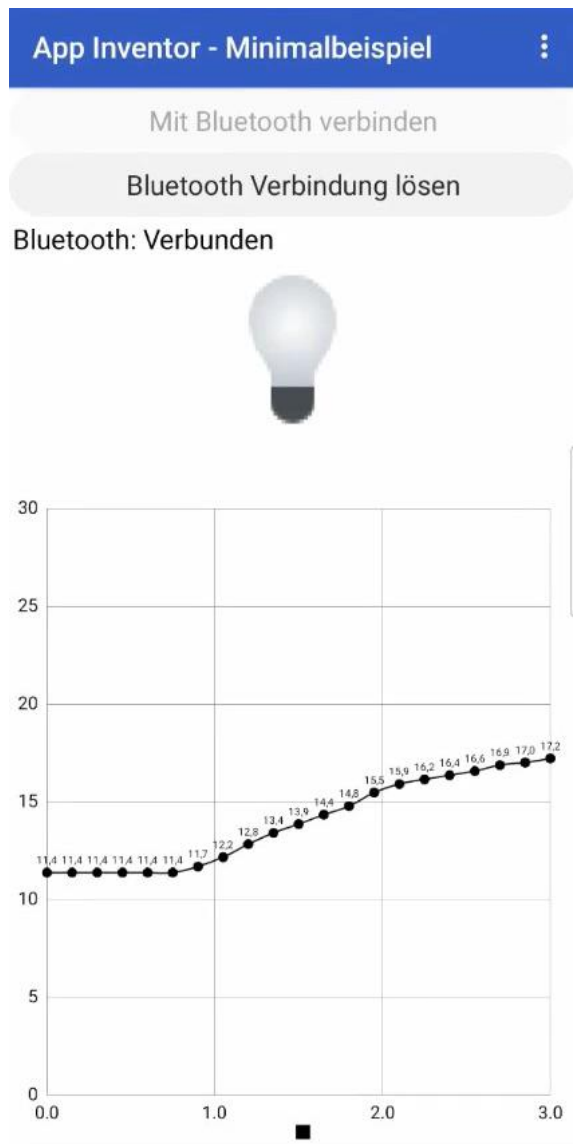


Abb. 4: Benutzeroberfläche zum Minimalbeispiel in MIT App Inventor

4. Mikrocontroller als Werkzeug zur digitalen Messwerterfassung im Physikunterricht?

Zusammenfassend stellen Schnittstellen wie Datastreamer, phyphox und MIT App Inventor eine interessante Alternative zur digitalen Messwerterfassung mit Messwerterfassungssystemen von Lehrmittelherstellern dar, die bestehende Ansätze komplementieren können. Insbesondere die Trennung von Frontend und Backend und die damit einhergehende Möglichkeit, ansprechende und didaktisch sinnhafte grafische Benutzeroberflächen zu gestalten, zeichnen diese Systeme aus – bei vergleichsweise geringen Kosten und einer hohen Flexibilität hinsichtlich der zu erhebenden physikalischen Größen. Die Abwägung, ob und welches der Systeme zum Einsatz kommen soll, wird einerseits von technischen Rahmenbedingungen abhängen – Datastreamer für Windows-Desktop-Computer, phyphox Arduino BLE-Bibliothek oder MIT App Inventor für mobile Endgeräte –

aber auch von den didaktischen Zielstellungen und organisatorischen Rahmenbedingungen.

Für den regulären Unterricht scheinen in Anbetracht von Entwicklungsaufwand und Zuverlässigkeit Datastreamer oder phyphox geeignet, während MIT App Inventor im Kontext digitaler Messwerterfassung seinen Platz eher in AGs oder Wettbewerben finden könnte. Insbesondere für App Inventor gilt, dass es zwar sehr flexibel einsetzbar ist, da es die Entwicklung einer vollständigen App erlaubt, dass aber im Umkehrschluss der Programmieraufwand erheblich ist und dass die Stabilität der so generierten Apps nicht immer den Erwartungen entspricht. Andererseits wird MIT App Inventor aktiv weiterentwickelt und durch eine Arbeitsgruppe am MIT gepflegt, so dass davon ausgegangen werden kann, dass sich Stabilität und Funktionsumfang in Zukunft weiter verbessern.

5. Literatur

- [1] Becker, S., Bruckermann, T., Finger, A., Huer, J., Kremser, E., Meier, M., Thoms, L.-J., Thyssen, C., & von Kotzebue, L. (2020). Orientierungsrahmen Digitale Kompetenzen für das Lehramt in den Naturwissenschaften – DiKo-LAN. In S. Becker, J. Meßinger-Koppelt, & C. Thyssen (Hrsg.), *Digitale Basiskompetenzen – Orientierungshilfe und Praxisbeispiele für die universitäre Lehramtsausbildung in den Naturwissenschaften*, (S. 14-43). Hamburg: Joachim Herz Stiftung. https://www.joachim-herz-stiftung.de/fileadmin/Redaktion/Projekte/Naturwissenschaften/2020_Nawi_Digitale_Basiskompetenzen_web.pdf (Stand 05/2023)
- [2] Lück, S. & Wilhelm, T. (2023). Messwerte aufnehmen und verarbeiten – In: Wilhelm, T. (Hrsg.): *Digital Physik unterrichten. Grundlagen, Impulse, Perspektiven*. Hannover: Klett Kallmeyer, S. 14-39.
- [3] Kurth, C., Walpert, D., & Wodzinski, R. (2019). Digitale Messwerterfassung im Kontext digitaler Bildung. *PhyDid B – Didaktik der Physik – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*. <https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phydid-b/article/view/965/1087> (Stand 05/2023)
- [4] Hütz, S., Staacks, S., Stampfer, C., & Heinke, H. (2018). Gelingensbedingungen von Innovationen in der Hochschullehre am Beispiel des Einsatzes der App phyphox. *PhyDid B – Didaktik der Physik – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*. <https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phydid-b/article/view/860/999> (Stand 05/2023)
- [5] Wilhelm, T. & Kuhn, J. (Hrsg.) (2022). *Für alles eine App: Ideen für Physik mit dem Smartphone* (1. Aufl. 2022). Berlin Heidelberg: Springer.

- [6] Kuhn, J. (2017). Smartphones, Tablets & Co. im Physikunterricht: Lehren und Lernen mit mobilen digitalen Medien von heute und morgen – In: Meßinger-Koppelt, J., Schanze, S. & Groß, J. (Hrsg.): Messwerte aufnehmen und verarbeiten. Hamburg: Joachim Herz Stiftung Verlag, S. 10-13.
- [7] Kuhn, J., & Vogt, P. (2019). Physik ganz smart. New York: Springer Spektrum.
- [8] Wiesner, H. (Hrsg.) (2018). Arduino. Plus Lucis 1/2018.
- [9] Girwidz, R. & Watzka, B. (Hrsg.) (2018). Arduino, Raspberry Pi & Co. Alltagsphysik und Messtechnik verstehen mit digitalen Werkzeugen. Naturwissenschaften im Unterricht Physik, 29 (167). Hannover: Friedrich Verlag.
- [10] <https://support.microsoft.com/de-de/office/was-ist-datenstreamer-1d52ffce-261c-4d7b-8017-89e8ee2b806f>
(Stand 05/2023)
- [11] <https://github.com/microsoft/HackingSTEMSamples/blob/master/DataStreamerSample/DataStreamerSample.ino>
(Stand 05/2023)
- [12] Bernstein, F. & Wilhelm, T. (2023): Digitale Messwerterfassung mit Mikrocontrollern und digitalen Endgeräten. Interaktive Dashboards mit Datastreamer und phyphox gestalten. Plus Lucis 3/2023.
- [13] <https://learn.microsoft.com/en-us/training/educator-center/instructor-materials/hacking-stem>
(Stand 05/2023)
- [14] <https://phyphox.org/>
(Stand 05/2023)
- [15] <https://phyphox.org/arduino/>
(Stand 05/2023)
- [16] <https://github.com/phyphox/phyphox-arduino>
(Stand 05/2023)
- [17] Dorsel, D., Staacks, S., Pusch, A. & Loch, M. (2023). Sensordaten drahtlos zur Smartphone-App phyphox übertragen und grafisch auswerten - ein einfaches Beispiel mit dem ESP32 und dem Ultraschallsensor HC-SR04. MNU Journal 76 (1), S. 36-43.
- [18] <https://appinventor.mit.edu/>
(Stand 05/2023)

Entwicklung eines 360° Serious Games zu Tätigkeiten von Forschenden in der Physik

Benedikt Weiss, Moritz Kriegel, Verena Spatz

Technische Universität Darmstadt, Hochschulstraße 12, 64289 Darmstadt
moritz.kriegel@physik.tu-darmstadt.de

Kurzfassung

Schüler_innen haben oft ein stark verkürztes Bild der Arbeitsweisen von Naturwissenschaftler_innen, was zu naiven, stereotypischen Vorstellungen über dieses Berufsfeld führen kann. Besonders die theoretische Physik spielt dabei eine stark untergeordnete Rolle. Diese unvollständigen Vorstellungen über den physikalischen Forschungsalltag können dazu führen, dass Entscheidungen hinsichtlich der späteren Berufswahl basierend auf falschen Annahmen getroffen werden. Um Schüler_innen eine reflektierte Berufsorientierung im MINT-Bereich zu ermöglichen bedarf es daher der Erfassung und Vermittlung eines möglichst vollständigen Tätigkeitsspektrums von Naturwissenschaftler_innen (Wentorf et al., 2015).

Vor diesem Hintergrund wurden in einem aktuellen Projekt die Tätigkeiten von Forschenden in einem Sonderforschungsbereich der Kern- und Astrophysik mittels Interview- und Fragebogenstudie differenziert erfasst. Auf dieser Grundlage wurde anschließend ein Serious Game entwickelt und erprobt, welches die verschiedenen Facetten der Arbeitsweisen von Forschenden aus der experimentellen sowie der theoretischen Physik in einer authentischen 360°-Umgebung adressatengerecht darstellt.

1. Verbreitete Vorstellungen unter Schüler_innen zu Tätigkeiten von Naturwissenschaftler_innen

Sollen Schüler_innen Forschende in den Naturwissenschaften beschreiben, so erhält man oftmals die Beschreibung eines intelligenten, ungepflegten, alten Mannes mit Brille, zerzausten Haaren und weißem Laborkittel, der allein an merkwürdigen sowie gefährlichen Dingen tüftelt (Höttecke & Hopf, 2018).

Dieses verbreitete Bild, dass Forschende in den Naturwissenschaften typischerweise männlich und nicht besonders attraktiv seien, lässt sich sogar noch bei einer kleinen Anzahl an Studierenden nachweisen (ebd.). Obgleich die Vorstellung, dass insbesondere die Physik männerdominiert ist, der gesellschaftlichen Wirklichkeit nicht entgegensteht, sind die mit dieser Vorstellung einhergehenden Erklärungsmuster problematisch. Lediglich 25% der befragten Jugendlichen geben an, dass die Fähigkeiten von Männern und Frauen bzgl. naturwissenschaftlicher Arbeit identisch seien (Höttecke & Hopf, 2018). Als Erklärung für diesen Unterschied werden von den Jugendlichen unterschiedliche Interessen von Frauen und Männern aufgrund von genetischen Ursachen oder auch soziale Unterschiede angegeben. Wenig verwunderlich ist daher, dass derartige negative Stereotype zu einem sich selbst reproduzierenden System der Männerdominanz in den Naturwissenschaften und insbesondere der Physik führen können (Taskinen, 2010).

2. Bedeutung adäquater Vorstellungen zum Tätigkeitsprofil von Naturwissenschaftler_innen

Adäquate Vorstellungen zu den Tätigkeiten von Forschenden in der Physik sind aus vielerlei Gründen relevant. Aus einer motivationalen Sicht ist es wünschenswert, dass eine Berufswahl vor allem interessegeleitet erfolgt, da dadurch langfristig eine höhere Berufszufriedenheit erwartet werden kann. Es zeigt sich, dass mit höherem Kenntnisstand über naturwissenschaftliche Berufe auch mehr Freude und Interesse an Naturwissenschaften einhergeht (Taskinen, 2010).

Aus einer gesellschaftlich-politischen Sicht argumentiert Taskinen (2010), dass naturwissenschaftliche Bildung für die aktive Teilhabe an der Gesellschaft stetig wichtiger wird. So werden Lebensstandard und Denkweisen des Einzelnen, aber auch der gesellschaftliche Wohlstand weltweit maßgeblich durch Erkenntnisse aus den Naturwissenschaften geprägt (vgl. ebd. 2010). Auch in Forschung, Wirtschaft und Industrie werden immer höher qualifizierte Mitarbeiter_innen gesucht, da einfache Tätigkeiten zunehmend von Maschinen übernommen werden. Besonders der Bedarf an Akademiker_innen in naturwissenschaftlichen Bereichen steige zunehmend. Jedoch zeigt sich, so Taskinen (2010), dass viele, auch begabte Jugendliche den Schulfächern und einem naturwissenschaftlichen Berufsfeld nur wenig Interesse entgegenbringen. Dies führt dazu, dass nur eine geringe Zahl von Schüler_innen einen naturwissenschaftlichen Schwerpunkt im Laufe ihrer Schulzeit wählen, von denen wiederum nur wenige ein Studium in den Naturwissenschaften anstreben. Zusätzlich zu

der ohnehin geringen Anzahl Studierender in den Naturwissenschaften, ist die Anzahl derjenigen, die ein solches Studium abbrechen, relativ groß, und Studienwechsel zugunsten der Naturwissenschaften sind eher ungewöhnlich (vgl. Taskinen, 2010, S. 13). „Dieses Phänomen der sogenannten Leaking Pipeline – der zunehmende Verlust von potentiellen Nachwuchskräften im Laufe der Schul- und Ausbildungskarriere – betrifft Naturwissenschaften und Ingenieurwissenschaften in einem hohen Maße und Mädchen und Frauen im Besonderen“ (Taskinen, 2010).

In beiden Argumentationen spielt das Interesse von Jugendlichen an Naturwissenschaften bei der Berufswahl zugunsten eines naturwissenschaftlichen Berufs eine zentrale Rolle. Dabei sind stereotypische Vorstellungen bei der Interessensentwicklung von Jugendlichen, insbesondere bei Mädchen, entscheidend (Taskinen, 2010). Stereotype wie einseitige oder wenig kreative Tätigkeiten und Männerdominanz erzeugen dabei negative Vorstellungen. Taskinen schreibt hierzu, dass beim Entscheidungsprozess für oder gegen einen naturwissenschaftlichen Beruf stereotypische Vorstellungen aktiv werden, „[...]“, wenn das persönliche, durch das Stereotyp geprägte Bild mit den eigenen Fähigkeiten, Fertigkeiten und Lebenszielen abgeglichen wird [...]“ (ebd., 2010, S. 65-66). Dieser Vergleich bestimme die Attraktivität des Berufs. Adäquate Vorstellungen über Tätigkeiten und Möglichkeiten in naturwissenschaftlichen Berufen, so Taskinen (2010), können stereotypischen Vorstellungen entgegenwirken und somit u.a. auch die Attraktivität von naturwissenschaftlichen Berufen erhöhen.

3. RIASEC+N Modell

Zur Klassifizierung der Tätigkeiten von Physiker_innen wurde das RIASEC+N Modell nach (Dierks et al., 2014) herangezogen. Das RIASEC+N Modell ist eine Erweiterung des aus der Berufswahlforschung stammenden RIASEC Modells nach (Holland, 1997). Das Akronym RIASEC+N bildet sich aus den sieben Dimensionen, nach denen sich Tätigkeiten einordnen lassen und steht für realistic, investigative, artistic, social, enterprising, conventional, und networking. Dabei lassen sich der realistic-Dimension handwerkliche und technische, der investigative-Dimension forschend-kognitive, der artistic-Dimension künstlerisch-gestalterische, der social-Dimension lehrend-unterstützende, der enterprising-Dimension unternehmerische, der conventional-Dimension administrative Tätigkeiten und der networking-Dimension der Austausch zwischen Naturwissenschaftler_innen zuzuordnen (Dierks et al., 2014).

In unseren Vorarbeiten haben wir das RIASEC+N Modell für die Arbeit von Forschenden in der Physik spezifiziert (Kriegel & Spatz 2022). Mittels Interview- und Fragebogenerhebung wurden die Tätigkeiten von Physiker_innen eines Sonderforschungsbereichs (SFB1245) der Kern- und Astrophysik differenziert erfasst.

Die somit ermittelten Tätigkeitsprofile wurden für die Entwicklung des 360° Serious Games als Grundlage verwendet.

4. Ziel des Projekts und Begründung der 360° Umgebung als innovative Umsetzungsmöglichkeit

Untersuchungen von (Stamer, 2019) und (Leiß, 2020) zur Vermittlung adäquater Vorstellungen zu den Tätigkeiten von Naturwissenschaftler_innen durch Schülerlabore konnten bereits positive Effekte verzeichnen. Problematisch bleibt allerdings, dass Schülerlabore mit einem hohen personellen, materiellen und zeitlichen Aufwand verbunden sind und gleichzeitig aufgrund geringer Kapazitäten nur wenige Schüler_innen erreichen.

Eine zugängliche Alternative unabhängig von Kapazität, Personal und Finanzierung könnte ein entsprechend gestaltetes Serious Game darstellen. Durch den Einsatz eines Serious Games wird versucht, die Unterhaltungsprozesse von digitalen Spielen zum Lernen nutzbar zu machen. Prensky (2003) begründet die Effektivität von digitalen Lernspielen durch das hohe Maß an intrinsischer Motivation, welche bei den Lernenden erzeugt wird. Diese Motivation entsteht durch den umfangreichen und angenehmen Kontext, sowie eine fesselnde Geschichte mit Überraschungsmomenten, in welche die Aufgaben eingebunden sind. Darüber hinaus sind sowohl Ziele und Regeln fest definiert, als auch Aktionen mit unmittelbarem Feedback versehen, wodurch ein hohes Level an Interaktivität und Herausforderung geschaffen wird. Aus lernpsychologischer Sicht begründet van Eck (2006) die Effektivität von Serious Games durch die Möglichkeit des situierten Lernens und dem Flow, in den Lernende durch die Spielhandlung geraten können.

Das Ziel dieses Projekts im Rahmen einer wissenschaftlichen Hausarbeit war, jene alternative Vermittlung adäquater Vorstellungen zu den Tätigkeiten von Physiker_innen durch ein 360° Serious Game zu ermöglichen.

Um diesem Ziel gerecht zu werden, sollte das erstellte Serious Game den Forschungsalltag in der Physik möglichst authentisch abbilden. Damit Spielenden einerseits ein Einblick in den Berufsalltag von Physiker_innen ermöglicht wird und sie andererseits mögliche stereotypische Vorstellungen vom „typischen Physiker“ abbauen können, sollten die im Spiel auftauchenden Arbeitsumgebungen und Personen so realistisch wie möglich vorgestellt werden. Dies gelingt durch die Aufnahme sog. Panoramen mit einer 360° Kamera.

Der Einsatz einer 360° Kamera birgt weitere Vorteile: Zum einen wird die spielende Person ins Zentrum des Spielgeschehens gestellt, da die Kamera in jeder Aufnahme das Zentrum des Panoramas darstellt. So wird für die Spielenden eine First-Person-Perspektive realisiert (auch als Ego-Perspektive bekannt), welche (im Gegensatz zu anderen Perspektiven, wie der Third-Person-Perspektive oder Vogelperspektive) keine fiktiven Protagonist_innen des Games benötigt,

mit denen sich die Spielenden identifizieren müssen. In der First-Person-Perspektive sind die Spielenden vielmehr selbst die Protagonist_innen, was oft als mitreißender empfunden wird (Günzel, 2006). Zum anderen sind für die Erstellung des Games keine Programmierkenntnisse erforderlich.

5. Umsetzung des 360° Serious Games

Das in diesem Projekt erstellte 360° Serious Game „Physics Life“ ist hauptsächlich mit Hilfe der Virtual Tour Software von 3DVista und einer GoPro Max (Kamera) aufgenommen und erstellt worden. Die aufgenommenen Umgebungen, in denen sich die Spielenden umschauen können, sind Räume der Technischen Universität Darmstadt.

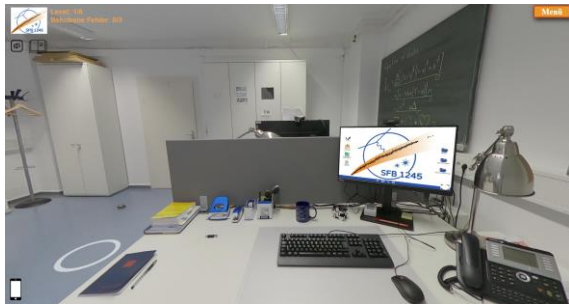


Abb.1: Auszug aus dem 360° Serious Game „Physics Life“ - Das Büro

Damit der Eindruck der Bewegungsfreiheit im Spiel entsteht, werden in dem Programm von 3DVista die Panoramen miteinander verknüpft: So sorgt beispielsweise ein Mausklick auf eine Wegmarkierung (weiße Kreise auf dem Boden, siehe Abb.2) dafür, dass das nächste Panorama angezeigt wird (das etwa an der Position der angeklickten Wegmarkierung aufgenommen wurde). Der dazu eingblendete Übergangseffekt lässt die Illusion der Bewegung durch den Raum von einer Wegmarkierung zur nächsten sehr realistisch wirken.



Abb.2: Auszug aus dem 360° Serious Game „Physics Life“ - Wegmarkierungen in der Bibliothek

Die Panoramen sind mit weiteren Interaktionsflächen, sogenannten Hotspots versehen. Hinter Hotspots können Aufgaben versteckt sein, die für den Spielfortschritt gefunden und bearbeitet werden müssen. Die Aufgaben repräsentieren dabei typische Tätigkeiten der Arbeitswelt von Doktorand_innen der

Physik. Hier exemplarisch dargestellt sind das Erstellen eines Posters (Abb. 3), die Teilnahme an einer Tagung (Abb. 4) und das Halten einer Übungsstunde für Studierende (Abb. 5).

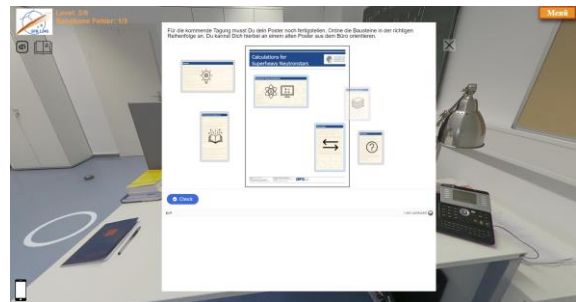


Abb.3: Auszug aus dem 360° Serious Game „Physics Life“ - Drag & Drop Aufgabe zur Erstellung eines Tagungsposters



Abb.4: Auszug aus dem 360° Serious Game „Physics Life“ - Physiktagung



Abb.5: Auszug aus dem 360° Serious Game „Physics Life“ - Übungsbetreuung

Damit die repräsentierten Tätigkeiten wiederholt werden, wurde ein Teammeeting einer Arbeitsgruppe ins Game implementiert, bei dem die Spielenden den eigenen Arbeitsfortschritt berichten und innerhalb der AG verschiedene anstehende Aufgaben verteilen. Dadurch werden die Tätigkeiten, welche ansonsten im Game lediglich implizit vermittelt werden, ins Gedächtnis gerufen und explizit verbalisiert.

Insgesamt sind für das Spiel 57 Panoramen, 38 Videos, 19 Audios und 18 Bilder erstellt und in einer Storyline verknüpft worden, welche die Spielenden in die Rolle von Promovierenden der theoretischen (Kern-)Physik hineinversetzen. Das Spielgeschehen verbindet Tätigkeiten aus allen sieben RIASEC+N Dimensionen miteinander, wobei die Hauptaufgabe

des Spiels in der Fertigstellung einer Computersimulation besteht, für die Rechenzeit auf einem Hochleistungsrechner beantragt wurde. Hierfür müssen mehrere Informationen gesammelt werden, welche die Spielenden nicht nur durch Literaturrecherche in der Bibliothek, sondern auch durch Austausch mit Kolleg_innen der Arbeitsgruppe, einer Kollegin der experimentellen Physik und Forschenden auf einer Tagung sammeln müssen.

Das Spiel ist ohne physikalische Vorkenntnisse ab der achten Jahrgangsstufe einsetzbar und dauert idR. etwa 70 Minuten.

6. Feedback zum 360° Serious Game „Physics Life“

Das erstellte 360° Serious Game „Physics Life“ hat mehrere Testphasen durchlaufen. Dabei ist das Spiel auch von Physiker_innen des SFB 1245 auf Authentizität überprüft und weitgehend für sehr realistisch und geeignet empfunden worden:

- “I think it is impressive. By the end of the game, I was in a groove and understood how things worked”.
- “I think this would be an enjoyable and informative experience for students to play through”.
- “I think it does a great job representing all the work that happens over the course of research work. I think the connections between the tasks were well motivated and the story fit together well. It was also encouraging to have to list what one accomplished and see really how many responsibilities are contained in research work”.
- “I think most things are adequately represented”.

Weiter sind vier Schüler_innen der siebten bis neunten Jahrgangsstufe mittels einer Think-Aloud Befragung hinsichtlich Verständlichkeit, Machbarkeit und Spielerlebnis interviewt worden. Die Testpersonen haben für den Durchlauf des gesamten Spiels zwischen 60 und 75 Minuten benötigt. Die Ergebnisse dieser Befragung zu konkreten Stolperstellen sind in eine Überarbeitung des Games eingeflossen und haben zu einer weiteren Verbesserung beitragen. Darüber hinaus zeigten die Schülerinnen auch hierbei viele positive und vielversprechende Reaktionen:

- „Es hat Spaß gemacht daran (am Computer) zu arbeiten“.
- Die Entschlüsselung der im ASCII-Code geschriebenen Wörter ist „richtig cool“.
- „Ich habe mir das (den Alltag von Physiker_innen) irgendwie ganz anders vorgestellt“.
- „Die Suche (Literaturrecherche in der Bibliothek) hat mir gut gefallen, [da es] [...] nicht einfach nur [im Internet] googeln [war]“.

Darüber hinaus ist das Spiel bereits im Rahmen einer Projektwoche mit mehreren Klassen getestet worden, wobei die Einsätze überwiegend reibungsfrei verliefen und positiven Anklang fanden.

7. Fazit und Ausblick

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass viele Schüler_innen verzerrte Vorstellungen von Naturwissenschaftler_innen haben. Diese naiven, stereotypischen Vorstellungen können sich negativ auf das Interesse an Naturwissenschaften und die naturwissenschaftliche Berufserwartung auswirken. Daher ist es wichtig, diese Zerrbilder von Schüler_innen durch adäquate Vorstellungen von Naturwissenschaftler_innen zu ersetzen, um ihnen eine reflektierte Entscheidungsgrundlage hinsichtlich naturwissenschaftlicher Berufe zu ermöglichen. Im Rahmen dieses Projekts ist der Versuch unternommen worden, ein 360° Serious Game „Physics Life“ zu erstellen, in welchem die Tätigkeiten von Physiker_innen adressatengerecht für Schüler_innen ab der achten Jahrgangsstufe dargestellt werden. Dabei konnte durch den Einsatz von 360° Technologie eine möglichst authentische Darstellung von Personen und Räumen realisiert werden.

Nach Erprobung und Anpassung konnte erreicht werden, dass das Spiel selbsterklärend ist. Es benötigt keinen didaktischen Rahmen, so dass Spielende die Arbeitswelt von Physiker_innen eigenständig kennenlernen und nacherleben können.

Es bleibt kritisch anzumerken, dass das Spiel nicht die Gesamtheit aller Tätigkeiten von Physiker_innen umfasst, sondern lediglich ein didaktisch reduziertes Arbeitsumfeld exemplarisch abbildet. Des Weiteren ist festzuhalten, dass die Entwicklung eines 360° Serious Games detaillierte und zeitaufwändige Planung und Umsetzung erfordert, um eine realistische Lernumgebung ohne Logikfehler zu erschaffen.

Die ersten Testphasen deuten an, dass das Spiel „Physics Life“ dazu beitragen kann, stereotypische Vorstellungen von Schüler_innen zum Arbeitsalltag von Physiker_innen abzubauen. Eine genauere Untersuchung der Wirksamkeit ist in Planung.

Bei Interesse am Spiel „Physics Life“ nehmen Sie jederzeit gerne Kontakt mit uns auf (AG Didaktik der Physik, TU Darmstadt).

8. Literatur

- Dierks, P. O., Höffler, T. N. & Parchmann, I. (2014). Profiling interests of students in science: Learning in school and beyond. *Research in Science & Technological Education* (32.2), 97–144.
- Günzel, S. (2006). Bildtheoretische Analyse von Computerspielen in der Perspektive Erste Person. Vorab-Onlinepublikation. <https://doi.org/10.25969/mediarep/16668>
- Holland, J. L. (1997). *Making vocational choices: A theory of vocational personalities and work environments* (3. ed.). Psychological Assessment Resources.
- Höttecke, D. & Hopf, M. (2018). Schülervorstellungen zu der Natur der Naturwissenschaften. In H. Schecker, T. Wilhelm, M. Hopf, R. Duit, H.

- Fischler, C. Haagen-Schützenhöfer, D. Höttecke, R. Müller & R. Wodzinski (Hrsg.), *Springer eBook Collection. Schülervorstellungen und Physikunterricht: Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis*. Springer Spektrum.
- Kriegel, M. & Spatz, V. (2022). Vorstellungen von Schüler_innen zur Tätigkeit von Forschenden in der Physik. In J. Grebe-Ellis & H. Grötzebauch (Hrsg.), *PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung 2022*.
- Leiß, F. (2020). *Untersuchung von Schülervorstellungen über Tätigkeiten von Naturwissenschaftlern und deren Beeinflussung durch ein Schülerlabor* [Dissertation]. RWTH Aachen University. <https://doi.org/10.18154/RWTH-2020-07442>
- Prensky, M. (2003). Digital game-based learning. *Computers in Entertainment (CIE)*, 1(1), 21.
- Stamer, I. (2019). *Authentische Vermittlung von Naturwissenschaften im Schülerlabor* [Dissertation, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel]. GBV Gemeinsamer Bibliotheksverbund.
- van Eck, R. (2006). Digital Game-Based Learning: It's Not Just the Digital Natives Who Are Restless. *Teaching, Leadership & Professional Practice Faculty Publications*. 25. <https://commons.und.edu/tlpp-fac/25>

Graphische und interaktive Aufgaben für Kenntnistests Physik

Karen Brösamle*, Achim Eichhorn⁺, Hanno Käb⁺, Günther Kurz⁺

*Philipp-Matthäus-Hahn-Schule Nürtingen, ⁺Hochschule Esslingen
broe@pmhs.de

Kurzfassung

Physik wird von Lernenden oft auf das Anwenden von Formeln reduziert, ohne ein tieferes Verständnis für Zusammenhänge zu entwickeln. Lernende scheitern daher häufig an unbekanntem oder komplexen Problemstellungen. Es wurden Tests zum generellen physikalischen Vorgehen („Methoden“) sowie zu spezifischen Inhalten („Elektrische Felder“) konzipiert, die methodische Fertigkeiten, Fachwissen und dessen Verständnis, sowie Problemlösekompetenz systematisch erfassen. Dabei stand die Entwicklung interaktiver und graphischer Aufgaben im Fokus. Die optisch ansprechenden Aufgaben wurden mit dem Moodle-Plugin Stack mit JSX-Graph umgesetzt.

Auf Grundlage hinterlegter Kompetenzraster wird ein gezieltes Feedback gegeben. Die Analyse der Lösungen hinsichtlich dieser Kompetenzen ermöglicht ein individuelles Feedback, das explizit Stärken bzw. Defizite rückmeldet. Die Tests erfüllen somit eine mehrfache Funktion: (1) Erfassung des Leistungsniveaus, (2) individuelles Feedback als Handlungsvorschlag, (3) detaillierte Rückmeldung an die Lehrperson, (4) Lernaufgabe durch integrierte Hilfestellungen.

1. Ausgangslage und Ziel

Physik vermittelt die wesentlichen Grundlagen und Kompetenzen für das Verständnis und die Beurteilung technischer Vorgänge. Daher sind die physikalischen Denk- und Arbeitsweisen nicht nur im Fach Physik relevant. Die Beantwortung physikalischer Fragestellungen erfordert die Vernetzung physikalischen Fachwissens, angemessener Fachsprache sowie mathematischer Darstellungen und Methoden. Zum Lösen komplexer Problemstellungen müssen Kenntnisse in klaren Strukturen vorliegen und zu Prinzipien und Konzepten geordnet sein. Da sich der Kenntnisstand bei Studienbeginn in den letzten Jahren zwischen einzelnen Teilgebieten des Fachs Mathematik verschoben hat, beziehungsweise in der Physik in allen Teilgebieten abgenommen hat [1], können auch Studierende physikalische Fragestellungen selten anhand übergeordneter Prinzipien oder Konzepte gelöst werden [2].

Die Situation an Hochschulen wird durch die Vielfalt der schulischen Zugangswege verschärft, sowohl im Hinblick auf den Kenntnisstand als auch auf die Heterogenität der Studienanfänger:innen [3]. Frühzeitige Diagnose und gezielte Förderung, beginnend in der Schule, kann und muss dem entgegenwirken, indem sich interessierte Schüler:innen aller Schularten gezielt auf ein entsprechendes Studium vorbereiten oder Studienanfänger:innen fehlendes Wissen und Kenntnisse nacharbeiten. Dieser Aufgabe hat sich die Arbeitsgruppe *cosh* – Cooperation Schule-Hochschule gewidmet, in der Beteiligte aus Schulen und Hochschulen in den Bereichen Diagnose und Intervention auf individueller und institutioneller Ebene kooperieren und Maßnahmen entwerfen. Im Rahmen der individuellen Diagnose wurden in der Physik

Aufgaben für Selbst- und Kenntnistests entwickelt. Die Aufgaben orientieren sich an dem von der Arbeitsgruppe *cosh*-Physik, unter Beachtung der kompetenzorientierten Bildungspläne Physik des Landes Baden-Württemberg (z.B. [4]), entwickelten Mindestanforderungskatalog Physik [5].

Ziel der Testentwicklung war es, Aufgaben zu konzipieren, die das Leistungsniveau der Schüler:innen systematisch erfassen. Der Fokus lag dabei auf der Erstellung interaktiver, digitaler Aufgaben und der Entwicklung eines adäquaten Feedbacks um Lernenden ihr Können individuell zurück zu melden und eventuelle Lücken anhand fehlender Kompetenzen aufzuzeigen.

2. Erste Untersuchungen und Folgerungen für die Testentwicklung

Ein erstes Bild der Kenntnisse und Fertigkeiten von Schüler:innen beruflicher Gymnasien ergab ein „Eingangstest“ und ein Test „mechanische Schwingungen“. Diese Tests wurden in der Eingangsstufe und der Jahrgangsstufe 2 eines Technischen Gymnasiums in Papierform durchgeführt und ausgewertet. Die Schüler:innen erreichen die Beruflichen Gymnasien in Baden-Württemberg mit einem mittleren Bildungsabschluss, den sie über einen Realschulabschluss, ein Versetzungszeugnis in Klasse 10 (G8) eines Allgemeinbildendes Gymnasiums oder adäquate Abschlüsse (Gemeinschaftsschulen, Berufsfachschulen) nachweisen.

In einem ersten Teil des Eingangstests wurde der Umgang mit physikalischen Größen, Formelzeichen bzw. Einheiten, Gleichungen und Schaubildern, in einem zweiten der Umgang mit Fachwissen und Konzepten (Energie, elektrische Stromkreise,

Bewegungen) erfragt. Die Auswertung ergab erhebliche Lücken in allen Bereichen, vor allem aber im Bereich des Fachwissens. Fehlendes Fachwissen oder Fehlvorstellungen, mangelndes fachsprachliches Niveau und mathematische Kenntnislücken führten häufig auch zu Widersprüchen in den Aussagen. Es zeigte sich zusätzlich eine Heterogenität in den Ergebnissen, die vielfach auf die Art der besuchten Schulen in der Sekundarstufe 1 zurückzuführen war.

Der für die Jahrgangsstufe 2 erstellte Test „mechanische Schwingungen“ wurde zu einem Zeitpunkt durchgeführt, an dem der Unterricht zu diesem Thema zwei Monate zurücklag.

Die Auswertungen ergaben, dass vielfach Fachwissen (z. B. zur Kreisfrequenz) fehlte. Zudem fielen vorwiegend Fehlvorstellungen im Bereich Funktionen und fehlende Fähigkeiten oder Fertigkeiten beim Übertragen mathematischer Darstellungen auf physikalische Sachverhalte auf.

Zusammenfassend bestätigen sich die TIMSS-Studien [6], denen zufolge große Lücken in grundlegender Kenntnis und Mängel im Verständnis von Fachwissen bestehen, bzw. fehlendes mathematisches Methodenkönnen in der Physik zu Verständnisproblemen führt [7].

Diese grundlegenden Schwierigkeiten ergeben die Problematik, adäquate und dem heterogenen Niveau der Schüler:innen angepasste Testaufgaben zu erstellen. Die große Diskrepanz zwischen der Norm- und Kriterienorientierung wirft die Frage auf, welche Inhalte zu welchen Zeitpunkten getestet werden können.

3. Modell und Aufgabenkonstruktion

Da das Lösen einer Aufgabe in der Physik meist mit mathematischen Darstellungen und Methoden verknüpft ist, stellen diese die Grundlage dar. Das Anforderungsprofil einer Aufgabe setzt sich zudem aus der Kenntnis und dem Verständnis von Fachwissen, der Anwendung des Fachwissens in unterschiedlichen Problemstellungen und der Problemlösekompetenz bei komplexeren Aufgaben zusammen. Über ein Modell, das die zugrundeliegenden Kompetenzen (Fachwissen und Methodenkönnen) erfasst, kann das Anforderungsprofil einer Aufgabe eingeordnet werden.

Eine Aufgabe wird daher unter Beachtung der Dimensionen Methodenkönnen, Fachwissen und Niveaustufe konzipiert. Die Kenntnisse und Fertigkeiten sind in Kompetenzrastern definiert. Das Anforderungsprofil einer Aufgabe ergibt sich aus der Anzahl einzelner Fakten oder Methoden, die zum Lösen notwendig sind. Zusätzlich wird die Niveaustufe bzw. die Taxonomie beachtet (s. Abb. 1). Die Erfassung der Kompetenzen in Kompetenzrastern ermöglicht ein individuelles Feedback, das Schüler:innen als Handlungsvorschlag dienen kann, um individuell an Defiziten zu arbeiten.

Folgende Schritte wurden im Rahmen der Aufgabenerstellung durchlaufen:

- Systematisierung des Methodenkönnens und des Fachwissens in Kompetenzrastern.
- Erfassung der Komplexität einer Aufgabe über die Anzahl der erforderlichen Kompetenzen.
- Erfassung der Taxonomie oder Niveaustufe einer Aufgabe, die das erforderliche Handeln erfasst.

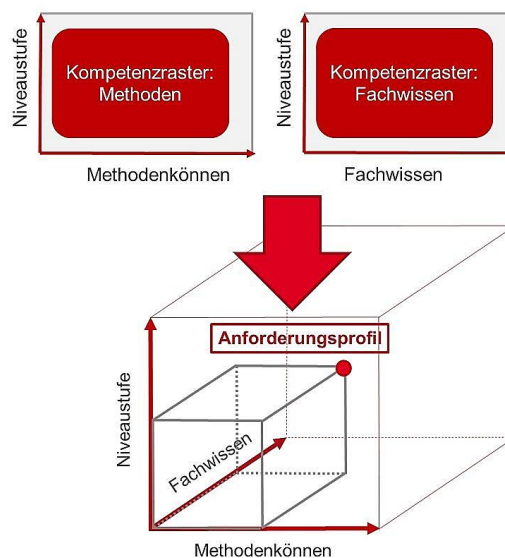


Abb. 1: Das Anforderungsprofil einer Aufgabe

Zur Erprobung des Modells wurde ein Test „Dynamik“ konzipiert und der Jahrgangsstufe 1 eines Technischen Gymnasiums durchgeführt. Die Aufgaben wurden anhand der Anzahl der Fakten und Fähigkeiten aus dem Bereich Methodenkönnen und Fachwissen in drei Schwierigkeitsstufen eingeteilt. Die Ergebnisse bestätigen das Modell qualitativ (s. Abb. 2).

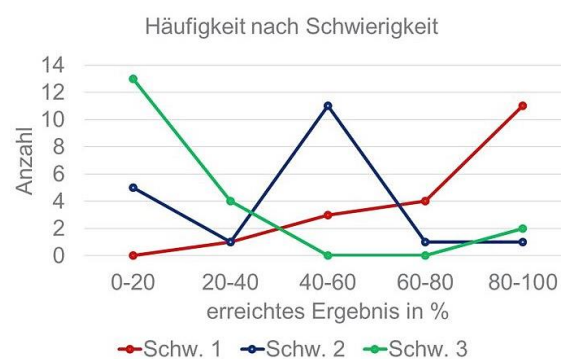


Abb. 2: Lösungsanzahl nach Schwierigkeit

4. Konzeption der Tests

Im Bereich „Methodenkönnen“ (Test „Methoden“) sind in vier Subtests formale Aufgaben zum Umgang mit Formzeichen, Einheiten und physikalische Größen, Umgang mit Formeln, Gleichungen und Schaubildern, enthalten. Diese Aufgaben können gelöst werden, ohne spezifisches Fachwissen anzuwenden. Das Anforderungsprofil dieser Aufgaben ergibt sich

dabei aus der Anzahl der notwendigen Rechenoperationen. Zu dem Themenfeld elektrische Felder (Test „elektrische Felder“) wurden Aufgaben unterschiedlichen Anforderungsprofils konzipiert und in drei Subtests unterteilt. Der Test „Kenntnis und Verständnis“ erfragt das zugrunde liegende Fachwissen auf unterschiedlichen Niveaustufen. Der Subtest „Anwendungen“ besteht aus Aufgaben, die eine Vernetzung von Methodenkönnen und Fachwissen erfordern. Der Subtest „Transfer“ enthält eine komplexe Aufgabe, bei der zusätzliches Fachwissen und Konzepte aus anderen thematischen Bereichen vernetzt werden müssen.

Formale Rechenaufgaben werden von Schüler:innen meist über eine Rückwärtssuche oder anhand bekannter standardisierter Beispiele gelöst, ohne auf physikalische Konzepte oder Sachverhalte zurück zu greifen. Diese Aufgaben sind zur Einübung wichtig, haben aber wenig Potential physikalisches Verständnis oder physikalische Kompetenz zu erfassen. Neben Standardaufgaben wurden daher vielfach qualitative und halbquantitative, meist interaktiv graphische Aufgaben entworfen, die vor allem das Verständnis physikalischer Zusammenhänge überprüfen.

Die komplexe Transferaufgabe wurde in physikalisch sinnvolle Teilaufgaben untergliedert, die eine mögliche Lösungsstrategie aufzeigt. Zusätzlich werden auf Grundlage der Kompetenzraster Hilfestellungen angeboten, die mittels Skizzen und Grafiken die Schüler:innen zur Auseinandersetzung mit den physikalischen Fragestellungen anregen sollen. Die Annahme der Hilfestellungen wird im Feedback aufgegriffen und in der Bepunktung berücksichtigt.

Die Aufgaben erfüllen dem entsprechend folgende Anforderungen:

- Erfassung des Leistungsniveaus unter Beachtung unterschiedlicher Schwierigkeitsgrade oder Anforderungsprofile der Aufgaben.
- Individuelles Feedback als Handlungsvorschlag. Dabei wird auf Kompetenzraster zurückgegriffen,

in denen die Fähigkeiten und Fertigkeiten zusammengestellt sind.

- Detaillierte Rückmeldung an die Lehrperson.
- Lernaufgabe mit integrierten, gestuften Hilfestellungen, die eine tiefere Auseinandersetzung ermöglicht.

5. Beispielaufgaben

5.1. Der Methodentest

Der Methodentest enthält klassische und interaktive Aufgaben zur Einheitenrechnung, zum Umgang mit Formeln, Gleichungen und von Schaubildern.

In der Abb. 3 sind zwei Teilaufgaben zum Umgang mit Einheiten dargestellt. Die Aufgaben unterscheiden sich dadurch, dass in der zweiten Teilaufgabe bei gleicher Aufgabenstellung zusätzlich eine Termumformung notwendig ist. Dies führt zu einem höheren Anforderungsprofil.

Die elektrische Leistung P kann berechnet werden mit $P = U \cdot I$

Die Einheit der elektrischen Leistung ergibt sich nach der Formel zu

$[P] = V \cdot A$

Ihre letzte Antwort wurde folgendermaßen interpretiert:

$V \cdot A$

Für die Gewichtskraft F_G gilt die Formel $F_G = m \cdot g$.

Die Einheit von g ergibt sich nach der Formel zu

$[g] = N/kg$

Ihre letzte Antwort wurde folgendermaßen interpretiert:

$\frac{N}{kg}$

Abb. 3: Beispielaufgabe Methoden: „Umgang mit Größen, Formelzeichen und Einheiten

Die Elektrostatik befasst sich mit elektrischen Ladungen und elektrisch geladenen Körpern. In den folgenden Aufgaben werden Grundkenntnisse zu diesem Themenfeld abgefragt .

Überprüfen Sie, ob die Aussagen zu elektrischen Ladungen und elektrisch geladenen Körpern wahr oder falsch sind und wählen Sie im Drop-Down-Menü.

Ein elektrisch positiv geladener Körper hat einen Mangel an negativen Ladungsträgern.

In elektrischen Leitern sind elektrische Ladungsträger unbeweglich.

✓ (Nicht beantwortet)
wahr
falsch
weiss nicht

Abb. 4: Test elektrische Felder: Ausschnitt einer Aufgabe (zwei von acht Aussagen) aus dem Bereich Kenntnis vom Fachwissen

5.2. Kenntnis und Verständnis (elektrische Felder)

Im Test Kenntnis und Verständnis sind Aufgaben mit unterschiedlichem Anforderungsprofil enthalten, die das Fachwissen prüfen. Dabei wird auf die Anwendung von mathematischen Methoden weitgehend verzichtet, sodass die Aufgaben keine expliziten Rechnungen enthalten. Es wird zwischen reinen Kenntnisaufgaben und Aufgaben zum Verständnis unterschieden. Eine typische Aufgabe aus dem Bereich Kenntnis ist in Abb. 4 gezeigt: Aussagen zu unterschiedlichen Teilbereichen, in der Beispielaufgabe zu Eigenschaften elektrischer Ladungen, müssen als wahr oder falsch bewertet werden. Die Aufgaben, die Verständnis abfragen, zeichnen sich dadurch aus, dass Wissen über Zusammenhänge, auch mit anderen Themengebieten qualitativ angewandt oder vernetzt werden muss. Eine Beispielaufgabe ist in Abb. 5 dargestellt: Zwei Kugeln werden an Fäden aufgehängt und mit unterschiedlichen Ladungen aufgeladen. Um diese Aufgabe zu lösen, müssen die Schüler:innen nicht nur Wissen über elektrische Ladungen einbringen, sondern diese mit zusätzlichen Konzepten (z.B. Wechselwirkungen) vernetzen.

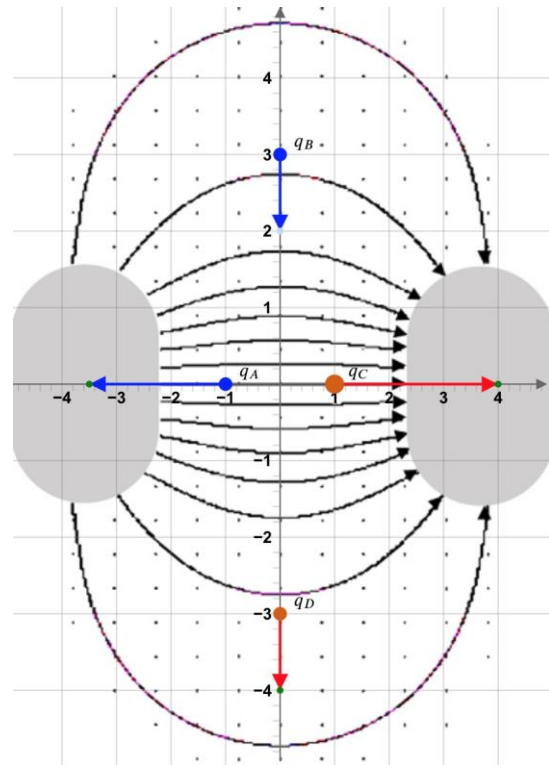


Abb. 6: Interaktive Aufgabe zur Anwendung elektrischer Felder

1)	2)	3)	4)	5)	6)
Versuche:		Stellung der Kugel:		Winkel:	
a) In einem ersten Experiment wird Kugel 1 negativ, Kugel 2 positiv, aber mit der gleichen Ladungsmenge $q_1 = -q_2$ geladen.		1) <input type="text" value=""/>		$\alpha =$ <input type="text" value=""/> β	
b) In einem zweiten Experiment werden beide Kugeln positiv aufgeladen. Dabei ist die Ladungsmenge q_2 doppelt so groß wie q_1 .		2) <input type="text" value=""/>		α <input type="text" value="(Nicht beantwortet)"/> β	
c) In einem dritten Experiment werden die Kugeln wie in dem zweiten Experiment geladen ($q_2 = 2 \cdot q_1$), jedoch wird die Kugel 1 durch eine Kugel der halben Masse ersetzt ($m_1 = \frac{1}{2} m_2$).		(Nicht beantwortet) <input type="text" value=""/>		α <input type="text" value="(Nicht beantwortet)"/> β	

Abb. 5: Test elektrische Felder: Aufgabe zum Verständnis von Fachwissen.

6. Anwendungen (elektrische Felder)

In der Abb. 6 ist eine interaktive, graphische Aufgabe aus dem Bereich „Anwendung elektrische Felder“ gezeigt. Anhand eines Feldlinienbildes sollen elektrische Kräfte halbquantitativ mit Hilfe von Vektoren dargestellt werden. Dabei werden Richtungen der

Kräfte, Beträge der Ladungen und die elektrische Feldstärke berücksichtigt.

Zusätzlich zu reinem Fachwissen muss daher Methodenkönnen (Vektoren) angewandt werden. Das Anforderungsprofil dieser Aufgabe ergibt sich somit aus Fachwissen und Methodenkönnen.

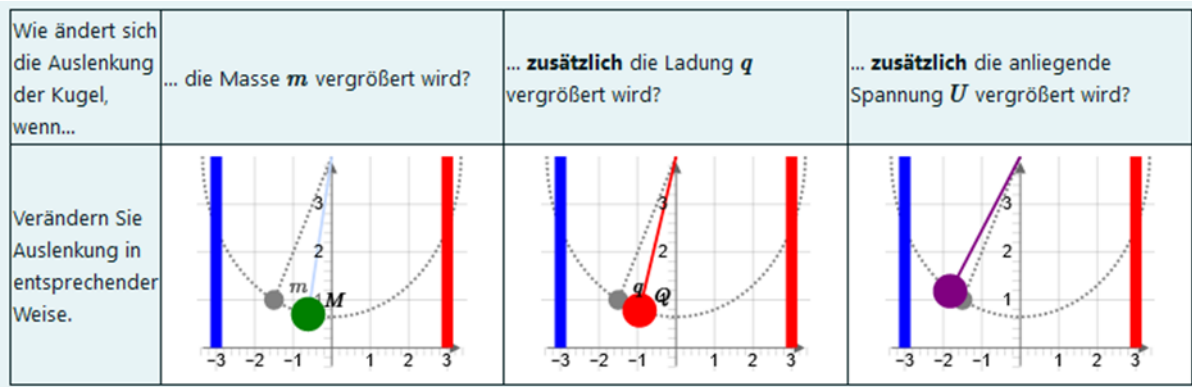
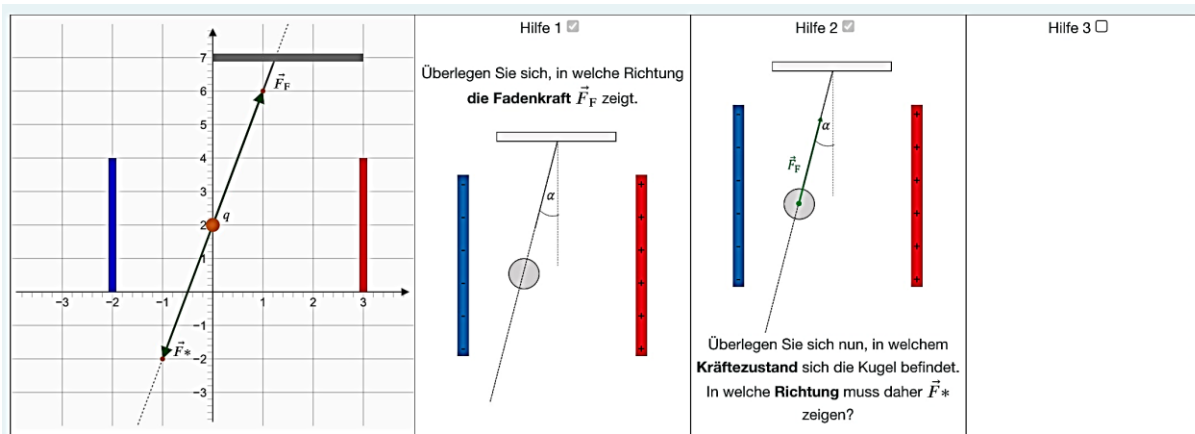


Abb. 7: Erste interaktive Teilaufgabe „Transferaufgabe“: qualitative Untersuchung des Problems anhand der Veränderung der Auslenkung der Kugel im Kondensator. Die Auslenkungen können interaktiv verändert werden.



Sie haben Hilfestellungen gewählt. Um ihre Kenntnisse zu vertiefen, wiederholen Sie diese Grundlagen:

- K1: Ich kann Richtungen physikalischer Kräfte bestimmen.
- K2: Ich kann eine Problemstellung mit Hilfe des Kräftegleichgewichtes beschreiben.

Sie können ein Kräftegleichgewicht anwenden. Sofern Sie eine größere Sicherheit gewinnen wollen, wiederholen Sie die Kompetenz K1 und K2.

Abb. 8: Hilfestellungen zum Kräftegleichgewicht und individuelles Feedback. Die angenommenen Hilfestellungen werden in das Feedback aufgenommen.

6.1. Transferaufgabe (elektrische Felder)

In der Transferaufgabe besteht die Problemstellung aus einer geladenen Kugel, die an einem Faden zwischen geladenen Kondensatorplatte hängt. Ziel ist es, die anliegende Spannung zu berechnen. Diese Aufgabe zeichnet sich dadurch aus, dass neben dem Fachwissen zu elektrischen Feldern das Kräftegleichgewicht quantitativ angewandt werden muss. Zudem müssen Zusammenhänge in mehrstufigen Rechnungen, unter Beachtung geometrischer Betrachtungen und Äquivalenzumformungen sicher angewandt werden können. Aufgrund der Komplexität wurde die Aufgabe in Teilaufgaben unterteilt, die eine Lösungsstrategie aufzeigt.

In der Abb. 7 und 8 sind interaktive Teilaufgaben gezeigt.

7. Zusammenfassung und Ausblick

Die konzipierten Aufgaben und Tests umfassen Methodenkönnen, das den Umgang mit den verschiedenen mathematischen Darstellungsformen abfragt und Aufgaben zu dem Themenfeld elektrische Felder. Die Aufgaben können anhand eines Modells unterschiedlichen Anforderungsprofilen zugeordnet werden. Dabei ergibt sich das Anforderungsprofil einer Aufgabe aus dem benötigten Methodenkönnen, dem Fachwissen und der Niveaustufe. Die Aufgaben können aufgrund des detaillierten Feedbacks und den angebotenen Hilfestellungen in unterschiedlichen Arrangements verwendet werden. Eine Überprüfung und Ermittlung des Wissens und Könnens, eine vertiefte Auseinandersetzung mit dem erworbenen Fachwissen und alternativ auch ein Einsatz als Lernaufgaben sind möglich. Eine Vernetzung des Feedbacks mit Lernmaterialien stellt eine Möglichkeit dar, Lernende gezielt individuell zu fördern.

Eine statistische Auswertung und eine Optimierung des Feedbacks, auch im Hinblick auf adaptives Testen, wird von cosh-Physik angestrebt.

Die Konzeption der Aufgaben setzt eine genaue Analyse der Kompetenzen, die in Rastern definiert sind, voraus. Eine Einordnung der Aufgaben anhand des Anforderungsprofils kann als Vorlage dienen, weitere Aufgaben und Tests zu anderen Themengebieten zu entwerfen oder vorhandene einzuordnen. Zudem ist eine Erweiterung des Methodentests auf Oberstufenniveau (z.B. Vektoren) denkbar.

Da das physikalische und methodische Vorwissen der Schüler:innen, aber auch angehender Student:innen unterschiedlicher Schularten und -formen sehr heterogen ist, muss eine Auswahl aus dem Aufgabenpool unter Beachtung und Abwägung der Norm- und Kriterienorientierung getroffen werden, die der Vorbildung der Lernenden gerecht wird, sodass eine hohe Akzeptanz der Tests unter Lehrenden und Lernenden erreicht wird. cosh-Physik wird dabei durch die enge Verzahnung von Professor:innen und Lehrer:innen unterschiedlicher Institutionen und Schularten in der Lage sein, belastbare Ergebnisse zu erarbeiten.

Die bisher erstellten Aufgaben und Tests stehen auf dem externen Moodle der HfT Stuttgart unter [8] zur Verfügung.

8. Literatur

- [1] Buschhüter, D.; L Spoden, C; 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, Volume 39, 2017 - Issue 9, Pages 1109-1132
- [2] von Aufschneider, C. (2008): Vortrag: Wie viel Mathematik braucht und verträgt das Schulfach Physik? Didaktik der Physik, JLU Gießen <https://www.uni-giessen.de/de/fbz/fb07/fachgebiete/physik/institute/didaktik/doku/FolienMat-DidKoll/view> (Stand 12.2022)
- [3] Kurz, G.; Käß, H. (2019): Physikkenntnisse von Studienanfängern des Maschinenbaus –eine Fallstudie an der Hochschule Esslingen. In PhyDid B, Didaktik Der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung 2019, Seiten 189-195, <https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phydid-b/article/view/928> (Stand 05.2023)
- [4] Homepage ZSL Zentrum für Schulqualität und Lehrerbildung Baden-Württemberg: https://www.bildungsplaene-bw.de/Ph_OS (Stand 05.2023)
- [5] Käß, H. et al., Mindestanforderungskatalog Physik, virtuelle DPG-Frühjahrstagung 2022, 21.03.-25.03.2022, Heidelberg, (Vortrag DD 5.2)
- [6] Schecker, H.; Klieme, E. (2001): Mehr denken, weniger Rechnen: Konsequenzen aus der internationalen Vergleichsstudie TIMMS für den Physikunterricht, Physikalische Blätter 57, Nr. 7/8, Seiten 113-117, <https://online-library.wiley.com/doi/10.1002/phbl.20010570730> (Stand 05.23)
- [7] Uhden, O. (2016): Verständnisprobleme von Schülerinnen und Schülern beim Verbinden von Physik und Mathematik, In Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften (2016) 22, Seiten 13–24, <https://link.springer.com/article/10.1007/s40573-015-0038-4> (Stand 05.23)
- [8] Externes Moodle der HfT Stuttgart: <https://moodle2.hft-stuttgart.de/?redirect=0>, (Stand 05.2023)

Danksagung

Die Entwicklung der Tests wurde in den Jahren 2019-2022 vom Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst Baden-Württemberg innerhalb des FESt-BW-Projektes gefördert.

Das Ministerium für Kultus und Sport Baden-Württemberg unterstützte die Entwicklung der Tests durch die Bereitstellung weiterer Ressourcen.

Wir möchten der Arbeitsgruppe cosh-Physik für die Unterstützung, die zahlreichen und anregenden Diskussionen danken. Insbesondere Florian Schifferer (Fachberater Physik RP Stuttgart, Gewerbliche Schule Göppingen), Ina Rieck (Fachberaterin Physik RP Stuttgart, Grafenbergschule Schorndorf) und Kim Fujan (Gewerbliche Schule Ehingen), die uns bei den Formulierungen der Aufgabenstellungen in zahlreichen Gesprächen mit Rat und Tat zur Seite standen.

Dem Physik-Kollegium der Friedrich-Ebert-Schule in Esslingen danken wir für die bereitwillige Unterstützung bei der Durchführung des „Eingangstests“ und des Tests „mechanische Schwingungen“.

phyphox: Exploration neuer Experimentierideen anhand der länderspezifischen Kernlehrpläne an deutschen Schulen

Dustin Kirwald*, Niklas Westermann*, Dominik Dorsel[°], Sebastian Staacks[°],

Christoph Stampfer[°], Heidrun Heinke*

*I. Physikalisches Institut A, RWTH Aachen University

[°]II. Physikalisches Institut A, RWTH Aachen University
kirwald@physik.rwth-aachen.de, dorsel@physik.rwth-aachen.de

Kurzfassung

Die Smartphone-App phyphox nutzt wahlweise interne Sensoren oder externe Sensorik via Bluetooth Low Energy und stellt die Messdaten live dar. Mit Hilfe interaktiver Auswertungswerkzeuge lassen sich so viele interessante und didaktisch gewinnbringende Experimente unter anderem für die schulische Lehre verwirklichen. Neben thematisch erweiterten Experimentiermöglichkeiten bieten smartphone-gestützte Experimente eine moderne und schülerzugewandte Möglichkeit der digitalen Messwerterfassung. Damit gelingt unabhängig von der technischen Ausstattung der Schulen die Einbindung digitaler Messwerterfassung in Bildungskontexten des Physikunterrichts, wie sie inzwischen in Vereinbarungen der Kultusministerkonferenz und in bundeslandspezifischen Lehrplänen (wie den Kernlehrplänen in Nordrhein-Westfalen) vorgesehen ist. Auf Grundlage einer gründlichen Auseinandersetzung mit den Lehrplänen ausgewählter Bundesländer sind deshalb Experimentierideen entwickelt und systematisiert worden, die sich unter Einbindung der App phyphox sowie externer Messsensorik durchführen lassen.

1. Motivation

In Deutschland existieren für alle 16 Bundesländer spezifische Lehrpläne, welche durch die zuständigen Ministerien in einem Zeitraum von circa fünf bis 10 Jahren neu herausgegeben werden. Obgleich eine Vielzahl von Lehrplänen existiert, ist es möglich, einige Gemeinsamkeiten in den Kompetenzerwartungen für die verschiedenen Jahrgangsstufen auszuarbeiten. Für die nachfolgenden Ausführungen ist der Fokus exemplarisch auf die Kernlehrpläne der beiden Bundesländer Nordrhein-Westfalen sowie Baden-Württemberg gelegt worden. Grundlegend können die vorgestellten Versuche jedoch auch in den Physikunterricht an weiterführenden Schulen im gesamten Bundesgebiet eingesetzt werden und sind i.d.R. problemlos mit den einschlägigen Kernlehrplänen vereinbar.

Dem konkreten Bezug zum Kerncurriculum wird von Lehrkräften eine hohe Bedeutung zugewiesen, wenn es darum geht, eine Innovation in ihrem eigenen Unterricht zu implementieren [1]. Außerdem sieht der Beschluss der Kultusministerkonferenz der Länder vor, dass digitale Werkzeuge in Lehr-Lern-Prozesse sinnhaft integriert werden sollen [2]. Konkret beschreibt der Kernlehrplan für das Land Nordrhein-Westfalen eine „Einbindung digitaler Messwerterfassungssysteme“ im Fach Physik der Sekundarstufe II [3]. Im Bildungsplan des Gymnasiums Physik für Baden-Württemberg findet sich analog hierzu die Formulierung, dass „die Schülerinnen und Schüler ... Messwerte auch digital erfassen und auswerten (unter anderem Messwerterfassungssystem, Tabellenkalkulation)“ können sollen [4, S. 8].

Eine digitale Messwerterfassung im Physikunterricht erfolgt in der Schule aktuell häufig durch die Lehrkraft im Rahmen eines Demonstrationsexperiments. Dabei wird primär auf die Sensorik von Lehrmittelherstellern zurückgegriffen, die in der Regel teuer ist und an vielen Schulen nicht in ausreichender Stückzahl zur Verfügung steht, um sie in Schülerexperimenten einzusetzen. Die App phyphox ermöglicht es auf die internen Sensoren mobiler Geräte wie Smartphones oder Tablets zuzugreifen, um damit physikalische Messdaten digital auf dem Gerät angezeigt zu bekommen. Diese Daten können dann unmittelbar auf dem Smartphone analysiert werden [5]. Laut der JIM-Studie aus dem Jahr 2022 sind 96% der Jugendlichen in Deutschland zwischen elf und 17 Jahren in Besitz eines Smartphones [6].

Klassische Smartphone-Experimente bieten damit bereits diverse Möglichkeiten, vor allem im Gebiet der Mechanik Schülerexperimente mit digitaler Messwerterfassung in den Unterricht zu integrieren. Um die experimentellen Möglichkeiten zu erweitern, bietet es sich an für die Messwerterfassung gezielt auch externe Sensormodule einzusetzen (siehe z.B. [7], [8], [9], [10] oder [11]). Da Sensoren verschiedener Art zu erschwinglichen Preisen verfügbar sind, können diese mit einem entsprechenden Know-How zu kostengünstigen Alternativen werden und somit mehr digitale Messwerterfassung seitens der Schülerinnen und Schüler im Physikunterricht ermöglichen (siehe z.B. [8], [12] und [13]). Damit lassen sich auch Sensoren auswählen und einsetzen, die für das Experimentieren im Physikunterricht noch besser geeignet

sind als die internen Sensoren von Smartphones. Zudem können externe Sensoren gemeinsam mit günstigen Mikrocontrollern deutlich kompakter und robuster verbaut werden, als dies bei geräteinternen Sensoren von Smartphones und Tablets der Fall ist, was wiederum neue experimentelle Möglichkeiten gegenüber den klassischen Smartphone-Experimenten erschließt. Ein weiterer Vorteil von externen Sensormodulen ist der Umstand, dass sie gegenüber den schülereigenen Smartphones den Vorteil von einheitlicher genutzter Hardware in einer Lerngruppe bieten. Dies erleichtert Lehr-Lern-Szenarien, in denen methodische Aspekte der Erfassung und Auswertung digitaler Messwerte in den Fokus genommen werden [12].

2. Externe Sensorboxen

In der jüngeren Vergangenheit sind im phyphox-Team der RWTH Aachen insgesamt vier externe Sensorboxen entwickelt worden, welche die Messdaten über die Bluetooth-Low-Energy-Schnittstelle (BLE) an das verbundene Smartphone bzw. Tablet übermitteln, sodass innerhalb der phyphox-App eine Analyse und Auswertung der Messdaten erfolgen kann [12]. Die verschiedenen Boxen werden im Folgenden kurz vorgestellt.

2.1. Distanzbox

Wie der Name bereits verrät, können mit Hilfe der Distanzbox (siehe Abb. 1) Distanzwerte gemessen



Abb. 2: Die phyphox Distanz-Box mit einem ToF-Sensor misst Distanzen von bis zu vier Metern bei einer Messrate von 50 Hz.

und unter Nutzung der phyphox-eigenen Auswerterroutinen gemeinsam mit ihren zeitlichen Ableitungen graphisch dargestellt werden. Dazu wird ein Time-of-Flight-Sensor (ToF-Sensor) eingesetzt, welcher über die Laufzeit des Lichts zu dem anvisierten Körper und zurück die entsprechende Strecke zwischen dem Sensor und der reflektierenden Oberfläche ermittelt. Die Messgenauigkeit liegt bei wenigen Millimetern, wobei Distanzen bis zu vier Metern gemessen werden können. Dabei können bis zu 50 Distanzwerte in der Sekunde gemessen werden.

2.2. E-Lehre-Box

Mit der phyphox E-Lehre-Box (siehe Abb. 2) können elektrische Spannungswerte erfasst werden. Damit

erweitert sie die interne Messsensorik von Smartphones und Tablets entscheidend um den experimentellen Zugang zu einer physikalischen Größe, die in vielen Gebieten und Experimenten der Schulphysik eine zentrale Rolle spielt. Die Box kann in einem Messbereich von -12V bis $+12\text{V}$ Spannungen messen und



Abb. 1: Die E-Lehre-Box ermöglicht die Messung von Spannungswerten im Messintervall von -12V bis $+12\text{V}$ und kann je nach gewünschter Zeitaufösung in zwei Mess-Modi betrieben werden.

diese via BLE-Verbindung an das Smartphone übermitteln. Für eine simultane Messung und Übermittlung der Daten kann der sogenannte „Live-Modus“ verwendet werden. Hierbei erfolgt die Messung bei einer Datenrate von maximal einem Kilohertz. Des Weiteren ist eine zeitlich präzisere Messung möglich, indem der Oszilloskop-Modus verwendet wird. Hierbei werden Zeitstempel und Spannungswert bei einer Datenrate von bis zu einem Megahertz aufgenommen und zeitlich verzögert über die BLE-Schnittstelle übertragen. So können höherfrequente Messverläufe besser dargestellt und analysiert werden, wie sie beispielsweise im RLC-Schwingkreis auftreten können.

2.3. Wärmelehre-Box



Abb. 3: Mit Hilfe der phyphox Wärmelehre-Box können thermodynamische Größen gemessen werden. Neben einer Druckmessung ist die Messung der Temperatur in verschiedenen Messbereichen möglich.

Die Wärmelehre-Box hilft dem Experimentator dabei, Temperaturen sowie Drücke messbar zu machen. Dazu stehen zum einen zwei Temperaturfühler zur Verfügung, wovon der eine für den Gefrier- und Sie-

debereich von Wasser und der zweite für hohe Temperaturen bis 1100 °C eingesetzt werden kann. Über einen Silikon-Schlauch kann eine Druckmessung bis 1720 mbar erfolgen (siehe Abb. 3).

2.4. Satelliten-Box

Zuletzt wird die sog. phyphox Satelliten-Box vorgestellt (siehe Abb. 4). Sie verfügt im Wesentlichen über ähnliche Sensoren wie typische Smartphones (Beschleunigungssensor, Magnetometer, Gyroskop), bietet aber mit Messsensorik für Druck, Temperatur und Feuchtigkeit auch Erweiterungen gegenüber den meisten schülereigenen Geräten. Die zylindrische Bauweise ermöglicht es die Box zu rollen und über das Gyroskop Strecken zu messen. Sie ist zudem mit



Abb. 4: Die phyphox Satelliten-Box verfügt über viele Sensoren, die prinzipiell auch in Smartphones verbaut sind, hier aber für physikalische Experimente optimiert ausgewählt wurden.

einem Durchmesser von 3,2 cm und einer Höhe von 6,0 cm deutlich kompakter als Smartphones oder gar Tablets und durch die Bauweise auch sehr viel robuster. Beides führt zu deutlich vielseitigeren Einsatzmöglichkeiten in Experimenten gegenüber der Verwendung von schülereigenen oder auch schuleigenen Geräten. Zudem konnte bei der Konstruktion die Position relevanter Sensoren (wie des Magnetometers) so optimiert werden, dass die Auswertung und Interpretation experimenteller Daten erleichtert wird.

Anders als bei den übrigen drei Boxen ist in der Satelliten-Box kein Akku verbaut, sondern ein Superkondensator, welcher vor den Messungen über ein USB-C-Kabel aufgeladen werden muss. Die Ladezeit beträgt hierbei nur wenige Sekunden. Im Anschluss können bis zu 60 Minuten lang Messwerte aufgenommen werden.

Damit ergeben sich verschiedene Vorteile der Satelliten-Box gegenüber der Nutzung eines Smartphones oder Tablets für die Messwerterfassung:

1. Ein wesentlicher Vorteil besteht in der optimierten Wahl der Sensoren für den physikalischen Messprozess. Das Problem, dass manche Sensoren im Smartphone nur geringe Messbereiche aufweisen und somit recht schnell in Sättigung gehen oder für Experimente ungünstige Messraten bieten, kann damit umgangen werden.

2. Die kompakte, robuste und in ihrem Design für experimentelle Anwendungen optimierte Bauweise eröffnet neue experimentelle Möglichkeiten.
3. Die einheitliche Ausstattung erleichtert bzw. erlaubt erst die didaktische Aufarbeitung von manchen methodischen Aspekten des Experimentierens mit digitaler Messwerterfassung. Smartphone-interne Sensoren haben bei ihrem Einsatz in der Lehre unter Nutzung schülereigener Geräte den Nachteil, dass sie sich von Hersteller zu Hersteller unterscheiden und somit keine standardisierte Messinfrastruktur darstellen. Dies betrifft zunächst einmal die Verfügbarkeit von Sensoren wie dem Drucksensor, die in schülereigenen Geräten nur teilweise gegeben ist (siehe <https://phyphox.org/sensordb/>). Es betrifft aber auch die Charakteristika von solchen Sensoren, die zwar in praktisch allen Schülergeräten vorhanden sind, dabei aber auch sehr verschieden sein können. Die Nutzung einer einheitlichen Messsensorik vereinfacht es erheblich, Aspekte von Messunsicherheiten oder der Planung von Experimenten unter Minimierung von Störeffekten in den Mittelpunkt von Unterrichtssequenzen zu stellen.

2.5. Zusammenwirken von geräteinternen Sensoren und externen Sensormodulen

An dieser Stelle sei nochmal betont, dass Smartphone-Experimente mit den geräteinternen Sensoren und die damit verbundene Möglichkeit von Schülerexperimenten mit digitaler Messwerterfassung einen erheblichen Mehrwert gegenüber traditionellem Physikunterricht ohne diese Option bieten. Die nachfolgend vorgestellten konkreten Experimentieransätze zeigen an ausgewählten Beispielen, dass die Erweiterung dieser Option mit externen Sensormodulen den experimentell gestützten Unterricht weiter bereichern kann und dabei lehrplankonform wichtige Kompetenzen adressiert. Die App phyphox kann dabei ein wichtiges Bindeglied zwischen beiden Anwendungen darstellen: Schülerinnen und Schüler können in Experimenten mit den smartphone-eigenen Sensoren erste Erfahrungen mit digitaler Messwerterfassung sammeln und dabei auch die Funktionalität der App kennenlernen. Später können sie ihre dabei erworbenen Fähigkeiten in Experimenten mit externen Sensormodulen nutzen. Die App bietet auch die Möglichkeit der Durchführung von Experimenten, in denen die Messdaten sowohl von geräteinternen Sensoren als auch von externen Sensoren ausgelesen und verarbeitet werden.

3. Experimente mit Kernlehrplanbezug

Die digitale Messwertaufnahme, welche die Sensorboxen in Kombination mit der phyphox-App ermöglicht, lässt sich mit verschiedenen Kompetenzerwartungen in den Lehrplänen der Bundesländer verknüpfen. Dies wird im Folgenden an ausgewählten Beispielen gezeigt.

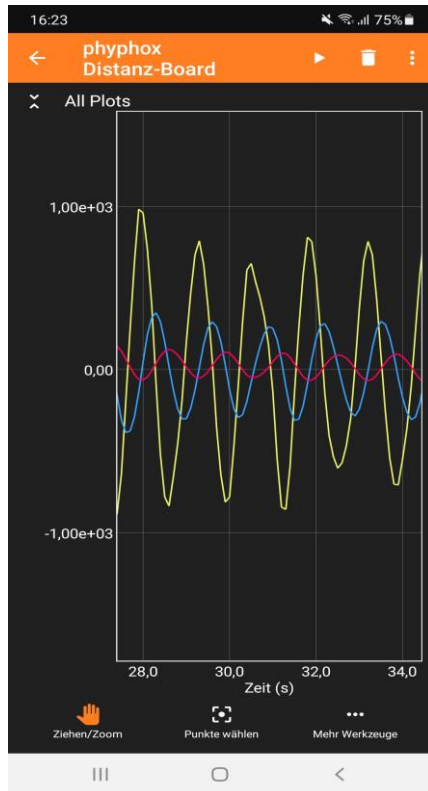


Abb. 5: Weg-Zeit- (rot), Geschwindigkeits-Zeit- (blau) und Beschleunigungs-Zeit-Graph (gelb) für das Federpendel gemessen mit der Distanz-Box. Die Graphen wurden hier in einer gemeinsamen Darstellung geplottet, können aber auch separat in jeweils eigenen Diagrammen dargestellt werden.

3.1. Federpendel (Distanz-Box)

Ein sehr bekanntes Schulexperiment aus dem Themenbereich der Mechanik stellt das Federpendel dar. Da mit dem intern verbauten Beschleunigungssensor lediglich ein Beschleunigungs-Zeit-Diagramm erzeugt werden kann, bietet sich die Distanz-Box dazu an, ein Weg-Zeit-Diagramm aufzunehmen, das für Schülerinnen und Schüler im Lernprozess deutlich einfacher zugänglich ist. Daraus kann mit Hilfe der Rechenwerkzeuge in phyphox anschließend auch ein Geschwindigkeits-Zeit- oder ein Beschleunigungs-Zeit-Diagramm erzeugt (und z.B. mit den Messdaten des Beschleunigungssensors verglichen) werden.

Für die Durchführung des Experiments wird die Distanz-Box auf eine Tischplatte gelegt und eine Feder mitsamt einem Gewichts-Teller mit Gewichten über dem ToF-Sensor der Distanz-Box ausgelenkt. Es ergeben sich die charakteristischen Funktionsgraphen für das Federpendel (Abb. 5). Verankert ist dieser Versuch z.B. im Kernlehrplan für die Sekundarstufe II in Nordrhein-Westfalen, wo es heißt, dass die

Schülerinnen und Schüler Experimente zur Abhängigkeit der Periodendauer von Einflussgrößen beim Federpendel konzipieren und diese unter Anwendung digitaler Werkzeuge auswerten sollen [3].

3.2. Kondensatorkennlinien (E-Lehre-Box)

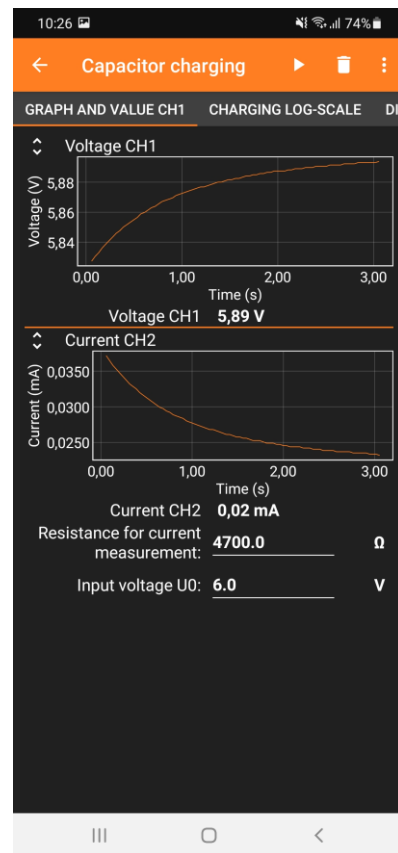


Abb. 6: Auf- und Entladevorgang eines Kondensators aufgenommen mit der phyphox E-Lehre-Box

Ein weiteres verbreitetes Experiment für die Sekundarstufe II ist die Untersuchung der Kondensatorauf- und -entladung aus dem Themenfeld der Elektrodynamik. Anstelle eines Oszilloskops kann die phyphox E-Lehre-Box zur digitalen Messwertaufnahme eingesetzt werden. So lassen sich die typischen zeitabhängigen Spannungs- und Stromkurven generieren (siehe Abb. 6). Durch logarithmisches Auftragen mit anschließender linearer Regression kann die Zeitkonstante des Aufladevorgangs als Kehrwert der Steigung experimentell bestimmt werden. Auch hier lässt sich eine passende Verknüpfung mit dem Kernlehrplan aus Nordrhein-Westfalen für die gymnasiale Oberstufe ausmachen. So sollen die SuS den Auf- und Entladevorgang bei Kondensatoren unter Anleitung experimentell untersuchen [3]. Die Untersuchungen der Kondensatorkennlinien werden für den Physik-Leistungskurs vorgesehen. Mit der E-Lehre-Box und einem entsprechenden phyphox-Experiment kann das Experiment unter Nutzung von digitaler Messwertaufnahme durch die Schülerinnen und Schüler selbst durchgeführt werden.

3.3. Schiefe Ebene (Satelliten-Box)

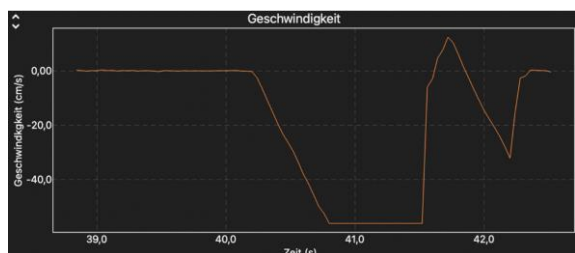


Abb. 7: Typische Messkurve in einem Experiment, bei dem eine Satelliten-Box eine schiefe Ebene herunterrollt. Bei $t \sim 40,8$ s wird die Messgrenze des Gyroskops erreicht. Bei $t \sim 41,6$ s kommt die Box am Ende der schiefen Ebene an.

Zuletzt soll ein Experiment mit der Satelliten-Box vorgestellt werden, welches darin besteht, die Box von verschiedenen Anfangshöhen startend eine schiefe Ebene hinunterrollen zu lassen. Das phyphox-Experiment sorgt dafür, dass aus den Messdaten des Gyroskops ein Weg-Zeit-Diagramm erzeugt wird. Eine typische Messkurve ist in Abb. 7 dargestellt. Bei diesem Experiment erfolgte der Start der Box auf der schiefen Ebene bei ca. 40,2 s und die Box rollte im Zeitintervall bis ca. 41,6 s die schiefe Ebene hinunter. Das Experiment ist durch das einfache Hinabrollen der Box auf einer schiefen Ebene sehr einfach und schnell durchführbar. Gleichzeitig sehen die experimentellen Daten deutlich anders aus, als theoretische Überlegungen nahelegen.

Das konzipierte Arbeitsmaterial soll bei den Schülerinnen und Schülern einen kognitiven Konflikt auslösen, indem die experimentellen Rahmenbedingungen zunächst gezielt so vorgegeben werden, dass ein anderer Verlauf gemessen wird, als er zunächst theoretisch zu erwarten wäre. Dies betrifft im gezeigten Beispiel zunächst die negativen Geschwindigkeitswerte. Hier können sich die Schülerinnen und Schüler durch wiederholte Durchführungen des Experiments ein Verständnis für diese Beobachtungen erarbeiten.

Zusätzlich wird nach dem Start der Rollbewegung zunächst eine Gerade für den Geschwindigkeits-Zeit-Graphen (bzw. eine Parabel für den Weg-Zeit-Graphen) gemessen. Allerdings bildet sich nach einer gewissen Zeit ein Plateau aus, obwohl die Box weiterhin die Ebene hinunterrollt (siehe Abb. 7 im Zeitintervall zwischen 40,8 s und 41,6 s). Diese Beobachtung ist damit zu erklären, dass das Gyroskop der Satelliten-Box die maximal messbare Drehrate erreicht hat, sodass trotz fortlaufender Beschleunigung eine Sättigung im Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm zu erkennen ist. Dieses zunächst womöglich unbefriedigend erscheinende Messresultat wird didaktisch genutzt, indem mit Hilfe des Arbeitsmaterials Grenzen der zur digitalen Messwerterfassung eingesetzten Sensoren als Ursache für die Abweichung zwischen den theoretischen Erwartungen und den Messdaten herausgearbeitet werden.

Die Interpretation der Messdatenauswertung von Bewegungen unter qualitativer Berücksichtigung von

Messunsicherheiten sieht der aktualisierte Kernlehrplan Physik für die gymnasiale Oberstufe in Nordrhein-Westfalen vor [3]. Insofern eignet sich das experimentelle Setting sehr gut dazu, dieses Lernziel zu verfolgen. Dabei kann von den Schülerinnen und Schülern explorativ in leicht abgeänderten weiteren experimentellen Durchführungen mit einfachen Mitteln der Gültigkeitsbereich der Theorie für die erhobenen Messdaten eigenständig erweitert werden (zum Beispiel durch Änderung der Neigung der schiefen Ebene oder durch die Verwendung von Rädern unterschiedlichen Durchmessers, deren Achse die Satellitenbox bildet).

4. Zusammenfassung und Ausblick

Die im vorangegangenen Kapitel vorgestellten Experimente zeigen exemplarisch, wie eine digitale Messwerterfassung unter Einbindung der Smartphone-App phyphox durch die Schülerinnen und Schüler gelingen kann. Die entwickelten Sensorboxen erweitern dabei die experimentellen Möglichkeiten und standardisieren die Messsensorik. Dabei ist es möglich Smartphone-basierte Experimente mit externen Sensorboxen sinnvoll mit den Vorgaben der Kernlehrpläne zu verknüpfen. Gezeigt worden ist dies insbesondere anhand des Kernlehrplans Physik für die gymnasiale Oberstufe in Nordrhein-Westfalen. Künftig sollen weitere Experimente entwickelt werden, die sich gut mit den Vorgaben der Lehrpläne in Deutschland verknüpfen lassen.

5. Literatur

- [1] T. K. Stürmer-Steinmann, J. A. Fischer, R. Scholz, M. Kerres und K. Neumann, „Stages of Concern: Vorerfahrungen, Interessen und Einstellungen von Lehrkräften in Bezug auf Lehr-Lernplattform-gestütztem Unterricht in den Naturwissenschaften,“ *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, Nr. 28, S. 1-18, 1 Dezember 2022.
- [2] Kultusministerkonferenz (KMK), *Lehren und Lernen in der digitalen Welt*, Berlin, 2021, S. 20.
- [3] Ministerium für Schule und Bildung des Landes Nordrhein-Westfalen, „Kernlehrplan für die Sekundarstufe II Gymnasium/Gesamtschule Physik,“ Düsseldorf, 2022.
- [4] Ministerium für Kultus, Jugend und Sport Baden-Württemberg, *Bildungsplan des Gymnasiums Physik*, Stuttgart, 2016.
- [5] S. Staacks, S. Hütz, H. Heinke und C. Stampfer, „Advanced tools for smartphone based experiments: phyphox,“ *Physics Education*, Nr. 53, S. 1-2, 2008.
- [6] T. Rathgeb und T. R. Schmid, JIM-Studie, Stuttgart: Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest (mpfs), 2022, S. 58.

- [7] F. Bouquet, A. Kolli, J. Bobrof und G. Organtini, „61 Ways to Measure the Height of a Building with a Smartphone,“ *Physics Education*, S. 1-11, 2020.
- [8] A. Pusch, „Arduino im Physikunterricht,“ *Physikjournal* 18, Nr. 5, S. 26-29, 2019.
- [9] P. Vogt, L. Kasper und A. Müller, „Smartphone Physics: Neue Experimente und Fragestellungen rund um das Messwerterfassungssystem Smartphone,“ in *Didaktik der Physik - Frühjahrstagung*, Frankfurt, 2014.
- [10] J. Kuhn und P. Vogt, *Physik ganz smart - Die Gesetze der Welt mit dem Smartphone entdecken*, Berlin: Springer-Verlag, 2019.
- [11] T. Wilhelm und J. Kuhn, *Für alles eine App - Ideen für Physik mit dem Smartphone*, Berlin: Springer-Verlag, 2022.
- [12] D. Dorsel, *Entwicklung der Nutzbarkeit externer Sensoren bei Smartphone-Experimenten und deren Einsatz in naturwissenschaftlichen Experimenten*, Aachen, 2023.
- [13] D. Dorsel, A. Krampe, S. Staacks, H. Heinke und C. Stampfer, „phyphox als Visualisierungstool für Sensordaten aus Arduino-gestützten Messmodulen,“ in *Didaktik der Physik - Frühjahrstagung*, Bonn, 2020.

Physik mit GeoGebra

Roger Erb, Albert Teichrew

Goethe-Universität Frankfurt, Institut für Didaktik der Physik, Max-von-Laue-Str. 1, 60438 Frankfurt
roger.erb@physik.uni-frankfurt.de

Kurzfassung

Die im Mathematikunterricht verbreitete Geometrie-Software GeoGebra kann auch zur Modellierung in der Physik verwendet werden. Besonders geeignet sind statische Sachverhalte wie etwa aus der geometrischen Optik und der Elektrostatik. Im Beitrag wird jedoch auch gezeigt, wie sich dynamische Probleme beschreiben lassen, was mit einem erhöhten Aufwand verbunden ist, jedoch eine Erweiterung darstellt im Vergleich zu Inhalten, die üblicherweise im Physikunterricht thematisiert werden können. Der Einsatz der Modelle wurde in verschiedenen unterrichtlichen Situationen empirisch überprüft.

1. Einleitung

Im Mathematikunterricht wird für Sachverhalte, die sich durch eine geometrische Betrachtung lösen lassen, oft eine Dynamische Geometrie-Software (DGS) verwendet. Diese ermöglicht Konstruktionen durch das Einfügen von grafischen Objekten, die sich aus Menüs abrufen lassen und miteinander in Verbindung stehen können. Die fertige Konstruktion kann dynamisch variiert werden, indem man Punkte auf der Grafikoberfläche verschiebt oder Parameter mit einem Schieberegler verändert. Eine solche DGs lässt sich auch für physikalische Fragen in Anwendung bringen, solange diese sich auf geometrische Sachverhalte reduzieren lassen.

Für zahlreiche solcher Sachverhalte haben wir die Dynamische Geometrie-Software GeoGebra verwendet und Modelle für den Einsatz im Physikunterricht vorgeschlagen. Naheliegend ist die Anwendung in der Optik (Erb, 2016), aber auch die Modellierung etwa elektrischer und magnetischer Felder. GeoGebra bietet im Sinne einer Augmented Reality (AR) zudem die Möglichkeit, Modell und Wirklichkeit in der Ansicht auf einem Tablet oder Smartphone zu überlagern (Freese, Glatz, Teichrew & Erb, 2023).

Die Verwendung der Modelle im Physikunterricht kann fachliche Kompetenzen stärken, sie adressiert besonders jedoch den Kompetenzbereich „Erkenntnisgewinnung“. So formulieren die Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss für diesen Kompetenzbereich: „Experimentelle und andere Untersuchungsmethoden sowie Modelle nutzen“ (KMK, 2004, S. 7). Erforderlich ist das Ermöglichen von Unterrichtstätigkeiten, wie etwa „das Vergleichen der Prognosen mit der Wirklichkeit sowie das Hinterfragen der Gültigkeit des Modells, das Aufzeigen der Grenzen des Modells und das Reflektieren über die eigene Vorgehensweise“ (Thiele, Mikelskis-Seifert & Wünsch, 2005, S. 36).

Dabei ist das Zusammenspiel zwischen Modellieren und Experimentieren relevant, wie es schon verschiedentlich beschrieben worden ist. Es kommt dann

idealerweise zu einem „zyklischen Wechselspiel“ (Leisner-Bodenthin, 2006, S. 97), in dem Schülerinnen und Schüler Parameter in einem Modell verändern, die Auswirkung dieser Änderung im Modell verfolgen, daraus eine Hypothese ableiten und dann eine vergleichbare Variation im Experiment vornehmen, um die Hypothese zu überprüfen. Eine detaillierte Ausführung dieses Zusammenspiels gibt Abbildung 1 (Teichrew & Erb, 2020a).

Im vorliegenden Beitrag soll ein Überblick über einen Teil der von uns mit GeoGebra erstellten Modelle gegeben werden, die das Potenzial des Einsatzes von GeoGebra im Physikunterricht aufzeigen. Hintergründe zur jeweiligen Modellierung und Einordnungen in den unterrichtlichen Kontext lassen sich in den jeweils angegebenen Beiträgen wiederfinden.

2. Optik

Der Unterricht in der geometrischen Optik ist in besonderer Weise auf den Gebrauch von Modellen angewiesen. Üblicherweise werden Lichtstrahlen oder Lichtwege gezeichnet, die von der Lichtquelle ausgehend die Folge von Streuung, Reflexion und Brechung erfassen und so etwa Schattenbildung oder die Entstehung einer optischen Abbildung beschreiben.

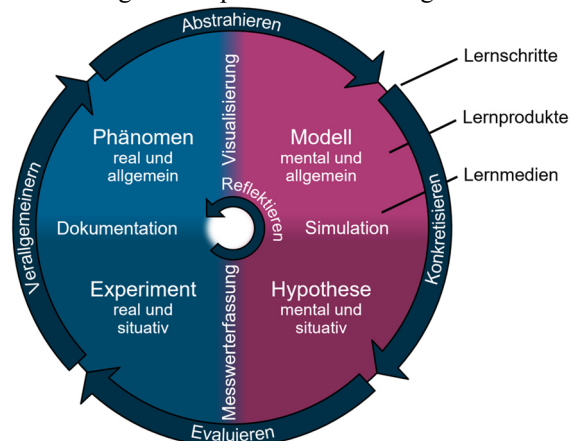


Abb. 1: Zusammenwirken von Modell und Experiment

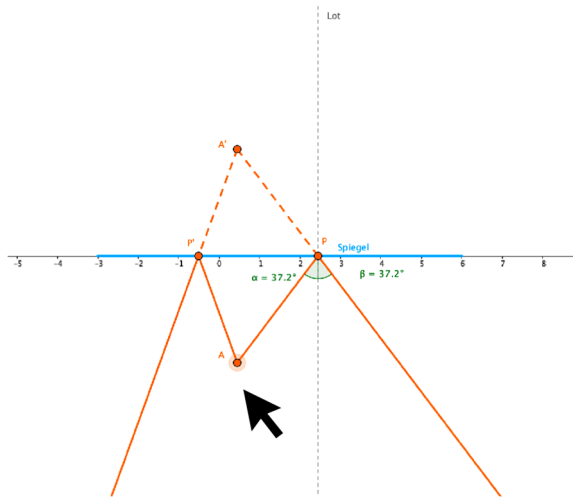


Abb. 2: Konstruktion des Ortes des virtuellen Bildes am ebenen Spiegel mit Hilfe des Reflexionsgesetzes

Abbildung 2 zeigt beispielhaft, wie sich der Ort des virtuellen Bildes am ebenen Spiegel durch Anwendung des Reflexionsgesetzes ergibt. Im Gegensatz zu einer zeichnerischen Konstruktion im Heft können die Schülerinnen und Schüler dabei den Ort des Objektes dynamisch verändern und die Veränderung der Lage des Bildes unmittelbar nachvollziehen.

Tatsächlich lassen sich auch zahlreiche Sachverhalte außerhalb der geometrischen Optik auf eine geometrische Beschreibung reduzieren und so mit GeoGebra modellieren. Beugungsphänomene etwa verlangen die Bestimmung der Länge von Lichtwegen zwischen Objektpunkt und Empfängerpunkten (auf einem Schirm). Um die Intensität in jedem Empfängerpunkt zu erhalten, werden die Amplituden phasenrichtig addiert.

Die verbreitete Vorgehensweise, nach der ein Beugungsspalt aufgeteilt wird, um dann den Beitrag dieser Teile in Rechnung zu bringen, führt lediglich im Falle der Fernfeldbeugung (Fraunhofer-Beugung) zum Erfolg. Durch die Modellierung mit GeoGebra lassen sich die Beiträge sehr vieler Lichtwege kalkulieren, wodurch auch Sachverhalte der Nahfeldbeugung (Fresnel-Beugung) erfasst werden können (Abb. 3).

3. Augmented Reality

Während bei Virtual Reality (VR) die reale Umgebung vollständig durch eine virtuelle ersetzt wird, etwa indem man durch eine entsprechende Brille schaut, wird mit Augmented Reality (AR) die reale Umgebung mit virtuellen Anteilen überlagert. GeoGebra bietet eine solche AR-Funktionalität, wenn man die Modelle in der 3D-Ansicht erstellt. Ein solches Modell wird dann dem Kamerabild eines realen Experiments auf einem Smartphone oder einem Tablet überlagert (Teichrew & Erb, 2020b). Hierzu muss zu Beginn das Modell durch Verschieben und Skalieren angepasst werden. Beim Bewegen um das Experiment bleibt die Überlagerung dann erhalten.

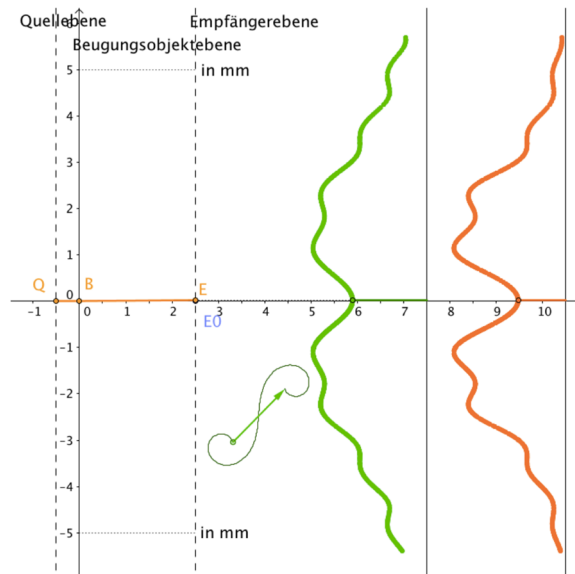


Abb. 3: Modellierung der Intensitätsverteilung hinter einem Spalt im Falle der Nahfeldbeugung (Erb, 2016)

Abbildung 4 zeigt eine Münze vor einem ebenen Spiegel, ihr virtuelles Bild im Spiegel und eingeblendet das zugehörige Modell (Teichrew & Erb, 2022). Bewegt man sich um das Experiment, verschiebt sich die Lage des Bildes relativ zum Spiegel, aber in jeder Situation schneiden sich die rückwärtigen Verlängerungen der Lichtwege am Ort des Bildes. Dies bleibt insbesondere auch dann erhalten, wenn man senkrecht von oben auf die Anordnung blickt: Das Spiegelbild ist dann nicht mehr sichtbar, die rückwärtigen Verlängerungen der Lichtwege hingegen schneiden sich auch dann hinter dem Spiegel, und zwar genauso weiter dahinter, wie die Münze davor liegt.

Besonders zur Modellierung geeignet sind auch Themen aus der Elektrostatik. Mit Ort und Stärke von elektrischen Ladungen lässt sich die Kraft auf eine

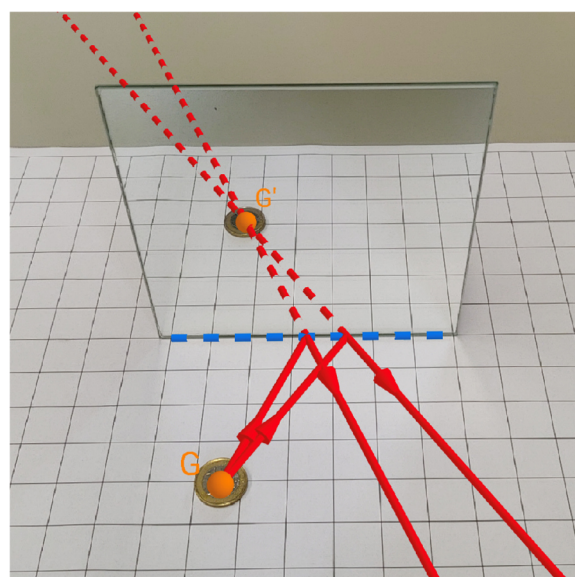


Abb. 4: Überlagerung von Experiment und Modell bei der Bildentstehung am ebenen Spiegel

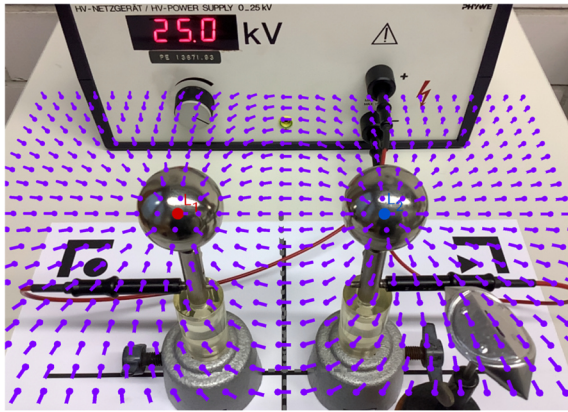


Abb. 5: Überlagerung von Experiment und Modell für das elektrische Feld zweier Kugeln

Probeladung und so auch die elektrische Feldstärke im Raum errechnen. Abbildung 5 zeigt das elektrische Feld zweier ungleichnamig geladener Kugeln (Erb & Teichrew, 2023). Dargestellt sind Richtungsanzeiger für die elektrische Feldstärke. Die Vektoren der Feldstärke sind dagegen zur Veranschaulichung nicht so gut geeignet, da ihre Länge stark mit dem Abstand variiert. Im Realexperiment zu erkennen ist weiter der etwas zusammengedrückte Aluminiumtopf eines Teelichtes. Aufgrund der Influenz gibt dieser (in Übereinstimmung mit dem Modell) die Richtung des Feldes an.

4. Das elektrische Potential

In der Elektrostatik hat sich neben der Darstellung des (vektoriellen) Feldes mit Hilfe von Feldstärkevektoren und Feldlinien auch die des (skalaren) Potentials bewährt. In GeoGebra haben wir für dessen Modellierung die Ebene, die die Ladungen enthält, in quadratische Abschnitte unterteilt, das Potential in jedem Abschnitt berechnet und schließlich den Abschnitt nach dem Potential farblich kodiert. Abbildung 6 zeigt das Ergebnis für zwei punktförmige, ungleichnamige Ladungen. Zusätzlich eingezeichnet sind erneut Richtungsanzeiger für die elektrische Feldstärke, die allerdings nicht mit dem Coulomb'schen Gesetz berechnet worden sind, sondern durch die Ableitung des Potentials (als Differenzenquotient).

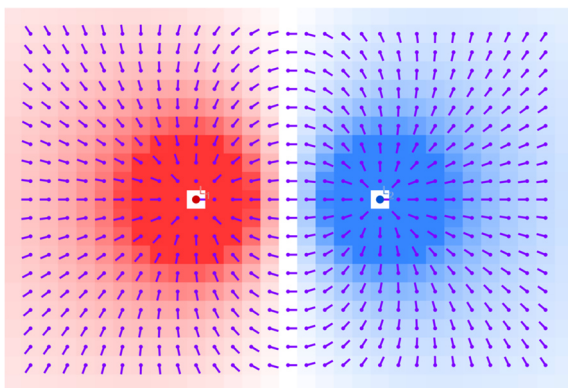


Abb. 6: Berechnung der Richtung der elektrischen Feldstärke aus dem Potential

Da zur Berechnung der elektrischen Feldstärke an jedem Ort der vektorielle Beitrag jeder Ladung berücksichtigt werden muss, bei der Berechnung des Potentials dagegen nur skalare Größen addiert werden müssen, bietet sich die Verwendung des Potentials insbesondere dann an, wenn viele Ladungen zugleich betrachtet werden. Die Modellierung mit GeoGebra macht das Kalkulieren mit wirklich vielen Ladungen nicht einfach, jedoch lässt sich die Vorgehensweise bereits mit wenigen Ladungen gut demonstrieren. Für Abbildung 7 wurde ein Plattenkondensator aus 14 diskreten Ladungen modelliert. Es ist gut erkennbar, dass das Feld im Innenraum homogen wird. Auch im Außenraum berechnet die Modellierung ein Feld, während der reale Plattenkondensator dort keines besitzt. Dies liegt an der Berechnung mit nur vergleichsweise wenigen Ladungen.

5. Dynamik

Eine geometrische Modellierung ist für statische Problemstellungen geeignet. Jedoch auch ein dynamischer Sachverhalt kann mit etwas Mühe modelliert werden, wenn man ihn in zeitlich diskrete Schritte zerlegt. Abbildung 8 zeigt den Fall einer Kugel (grün) mit Reibung. In Abständen von $\Delta t = 0,05$ s wird der Ort aus dem vorherigen Ort und der Geschwindigkeit mit dem Euler-Verfahren berechnet. Für jeden Zeitschritt wird in der rechten Hälfte der Abbildung der Vektor des zurückgelegten Weges angezeigt (grün), in Violett die Geschwindigkeitsänderung und in Rot die Geschwindigkeit. Man sieht, dass die Geschwindigkeit auf einen Grenzwert zuläuft, der sich aus der Reibung ergibt, die wiederum von der mit einem Schieberegler einstellbaren Querschnittsfläche der Kugel abhängt. Ein Vergleich mit einer genaueren Berechnung nach dem Runge-Kutta-Verfahren zeigt eine Abweichung, die von der Größe der Zeitschritte abhängt – die Einfachheit des Euler-Verfahrens spricht jedoch für dessen Verwendung.

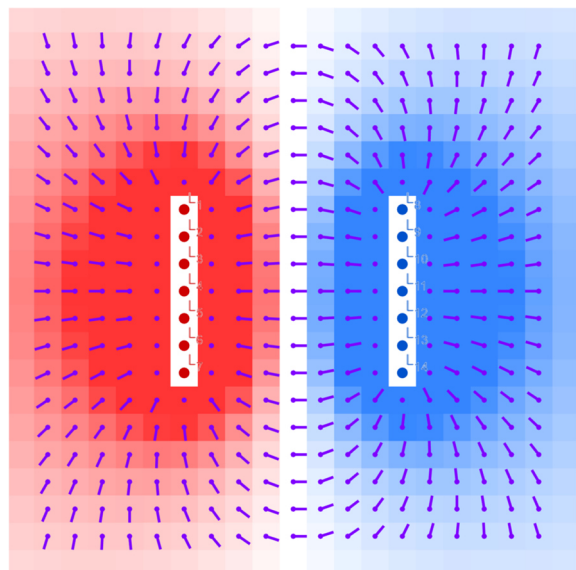


Abb. 7: Berechnung der Richtung der elektrischen Feldstärke aus dem Potential an einem Plattenkondensator

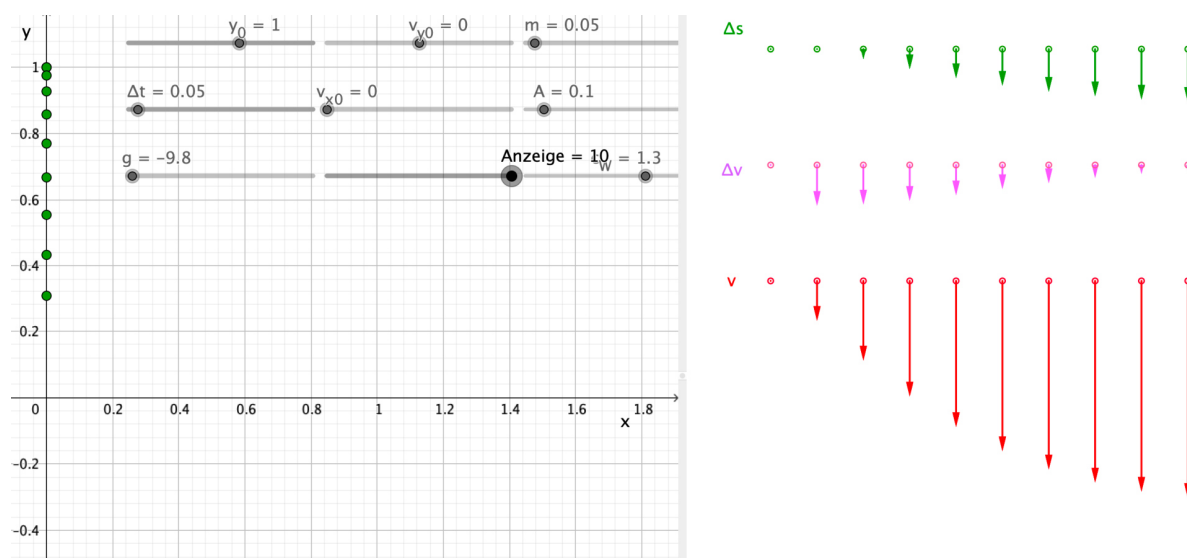


Abb. 8: Berechnung des zurückgelegten Weges und der Geschwindigkeit beim Fall mit Reibung

Es kann auch eine Anfangsgeschwindigkeit in y -Richtung so voreingestellt werden, dass der senkrechte Wurf betrachtet werden kann, und mit einer Anfangsgeschwindigkeit in x -Richtung auch der schiefe Wurf.

6. Fazit

Die Modellierung physikalischer Sachverhalte mit GeoGebra ist für mehrere Themenbereiche möglich. Sie erlaubt die Betrachtung von Problemstellungen, die sonst nur schwer zugänglich sind, wie im Falle der Beugung und der reibungsbehafteten Bewegungen. Als hauptsächlicher Vorteil erscheint uns aber die Möglichkeit, vergleichsweise einfache Modellierungen im Physikunterricht anwenden zu können, die von Schülerinnen und Schüler selbst manipuliert oder sogar selbständig angefertigt werden können. In diesen Fällen wird der gegenseitige Vergleich von Modell und Experiment möglich, was notwendig ist, um den physikalischen Erkenntnisprozess nachvollziehen zu können. Die Verwendung der AR-Funktionalität vereinfacht diesen Vergleich zusätzlich. Der Einsatz dieser Modelle wurde mittlerweile von uns in mehreren Fällen empirisch untersucht (Freese, Glatz, Teichrew & Erb, 2023).

7. Literatur

- Erb, R. (2016). *Optik mit GeoGebra*. Berlin: De Gruyter.
- Erb, R. & Teichrew, A. (2023). Das elektrische Feld – Modell und Experiment. *Plus Lucis*, 2023(3).
- Freese, M., Glatz, L. C., Teichrew, A. & Erb, R. (2023). Wirkungsvolle Augmented Reality-Experimente im physikalischen Praktikum. *PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*. Hannover.

KMK. (2004). *Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss (Jahrgangsstufe 10) - Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 16.12.2004*. München: Luchterhand in Wolters Kluwer Deutschland.

Leisner-Bodenthin, A. (2006). Zur Entwicklung von Modellkompetenz im Physikunterricht. *ZfDN*, (12), 91–109.

Teichrew, A. & Erb, R. (2020a). Lernen mit Modellen und Experimenten: Von der Beobachtung zur Erkenntnis am Beispiel des Regenbogens. *MNU*, 73(6), 481–486.

Teichrew, A. & Erb, R. (2020b). How augmented reality enhances typical classroom experiments: examples from mechanics, electricity and optics. *Physics Education*, 55(6), 065029. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/abb5b9>

Teichrew, A. & Erb, R. (2022). Dynamisch modelliert. *Physik Journal*, 21(2), 25–28.

Thiele, M., Mikelskis-Seifert, S. & Wünscher, T. (2005). Modellieren - Schlüsselfähigkeit für physikalische Forschungs- und Lernprozesse. *PhyDid A - Physik und Didaktik in Schule und Hochschule*, 1(4), 30–46.

Modelle verfügbar unter

- <https://www.geogebra.org/u/rephysik>
<https://www.geogebra.org/u/ateichrew>

PUMA : Magnetlabor * Ein AR-Lehr-Lern-Labor zum Themengebiet (Elektro-) Magnetismus in der Sekundarstufe I

Hagen Schwanke, Annika Kreikenbohm, Thomas Trefzger

Lehrstuhl für Physik und ihre Didaktik, Universität Würzburg
hagen.schwanke@uni-wuerzburg.de

Kurzfassung

Die Sekundarstufe I bietet zum Thema der Elektrizitätslehre viele Experimente zur Anwendung einer augmentierten Lernumgebung. Die in dem Projekt PhysikUnterricht mit Augmentierung (PUMA) entwickelte Applikation PUMA : Magnetlabor soll hauptsächlich die Modelle der magnetischen Felder sichtbar machen. Die Applikation ermöglicht einen Einblick in die Materie und macht das Unsichtbare sichtbar, indem sie die Realexperimente mit digitalen Inhalten überlagert. In diesem Artikel wird zunächst die Frage geklärt, warum sich Augmented Reality (AR) zum Thema Magnetismus anbietet. Daraufhin wird die freiverfügbare Applikation und deren Einbindung in ein Lehr-Lern-Labor vorgestellt. Dabei werden beispielhaft einzelne Stationen der Lernumgebung thematisiert, welche auf Grundlage eines Schülerexperimentiersatzes konzipiert wurden. Eine Herausforderung stellt u.a. die richtige Gestaltung von Aufgaben zur förderlichen Anwendung von AR dar.

1. Einleitung

In diesem Projekt geht es darum die Technologie Augmented Reality (kurz: AR) bei Schülerexperimenten zu implementieren.

Diese Technologie zeichnet aus, dass ein reales Bild mit digitalen Informationen erweitert werden kann. Damit kann das didaktische Prinzip der Anschaulichkeit genutzt werden, um den Schülerinnen und Schülern z.B. unsichtbare Atomstrukturen oder Felder anzuzeigen, um somit das Unsichtbare sichtbar zu machen. Diese Veranschaulichung kann u.a. als Erkenntnis- und Verstehenshilfe genutzt werden. Dies spricht für den Einsatz von AR im Unterricht. Hinzu kommt, dass das Experiment eine zentrale Erkenntnisquelle der naturwissenschaftlichen Forschung darstellt und somit auch im Unterricht eine zentrale Rolle einnimmt. Zusätzlich sollen die Schülerexperimente durch ihre Phänomene motivieren und gleichzeitig durch das selbst Aufbauen eine experimentelle Vertiefung darstellen [1].

Das Themengebiet (Elektro-) Magnetismus bietet sich für diese digitale Erweiterung an, da somit die magnetischen Felder und atomaren Strukturen innerhalb elektronischer Bauteile veranschaulicht werden können und somit der Bezug zum didaktischen Prinzip der Anschaulichkeit hergestellt werden kann.

2. Projekt PUMA

Das Projekt Physik-Unterricht Mit Augmentierung (kurz: PUMA, vgl. Abb.1) wurde am Lehrstuhl für Physik und ihre Didaktik der Universität Würzburg initiiert mit dem Ziel, AR-Apps für verschiedene physikalische Themenbereiche zu konzipieren und ausgiebig zu erproben. Nach Abschluss der Evaluationsphase werden diese Apps zur kostenfreien Nutzung für Android und iOS zur Verfügung gestellt. Das Projekt PUMA beinhaltet aktuell drei verschiedene AR-Apps mit Lehrplan relevanten Inhalten zur

Elektrizitätslehre in der 8. (Modellbildung elektri-



Abb. 1: Das Projekt PUMA

scher Strom), 10. Jahrgangsstufe (Elektromagnetismus) und zur Optik in der 8. Jahrgangsstufe in Bayern.

2.1. PUMA : Magnetlabor

In diesem Beitrag geht es um die Applikation PUMA : Magnetlabor, die eine Rahmenapp für sechs verschiedene Experimentierstationen eines Lehr-Lern-Labors (kurz: LLL) darstellt. Diese Stationen können alle unter der Verwendung des Experimentierkastens E2 der Firma Mekruphy nachgebaut werden (<https://mekruphy.com/de/produkte/physik/elektronik/experimentiersatz-elektrik-2/>). Für die sechs verschiedenen Stationen kann jeweils die zu bearbeitende Szene ausgewählt werden.

Inhalt der Applikation ist die Visualisierung mikroskopischer Strukturen und magnetischer Felder basierend auf etablierten Modellen aus den Themen des Magnetismus und der Elektrizitätslehre [2]. Mittels automatisch ablaufender Animationen kann die innere Logik der verschiedenen Prozesse und deren Abhängigkeiten direkt gezeigt werden. Alle AR-Szenarien lassen Interaktionen mit dem Realversuch zu. Teilweise erfolgt eine Einbindung von realen Messdaten mittels einer Bluetoothverbindung, welche in Echtzeit visualisiert werden.

Hierbei werden u.a. folgende Fachinhalte visuell unterstützt:

- Felder von (Permanent-)Magneten
- Versuch von Oersted (vgl. Abb.2)

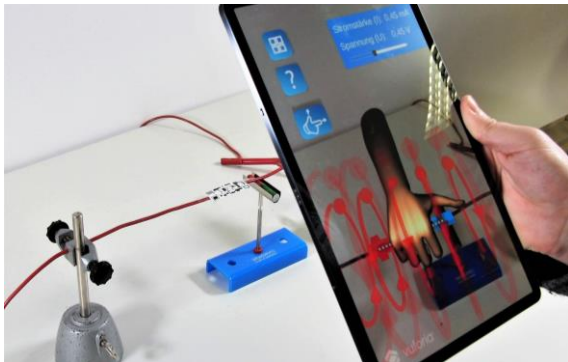


Abb. 2: Augmentierung des Versuchs von Oersted

- Weicheiseninstrument
- Influenz
- Induktion
- Lenz'sche Regel

3. Entwicklung und Evaluierung der Applikation

Am Anfang der Entwicklung stellte sich die Frage nach der richtigen Hardware. In diesem Fall wurde sich für Tablets entschieden, da sie durch den großen Bildschirm den besten Überblick liefern. Zur Erstellung der Applikation wird mit Unity3D (<https://unity.com/de>) gearbeitet. Dieses Programm bietet die Möglichkeit die Applikation für Android oder iOS zur Verfügung zu stellen, sodass Endgeräte-Hersteller unspezifisch gearbeitet werden kann. Zu Beginn steht die Auswahl eines Versuches. Anschließend muss die Visualisierung des Versuches erstellt und eine AR-App programmiert werden. Danach erfolgt eine Evaluierung im Sinne der Usability. Sollte diese nicht geeignet sein, muss ein anderer Versuch gewählt werden. Es bietet sich also an, bereits die technische Realisier- und Umsetzbarkeit bei der Auswahl des Versuches mitzubedenken. Damit erfolgt die Entwicklung der entsprechenden AR-Applikation gemäß eines DBR-Ansatzes [3].

Für die Entwicklung AR-bezogener Unterrichtsmittel muss die Auswahl des Experimentes noch einmal differenzierter betrachtet werden. Für die Auswahl bietet sich das deAR-Modell von Seibert et al. an [4]. Dabei steht deAR für didaktisch eingebettete Augmented Reality und richtet sich unter anderem auch an Lehrkräfte zur Erstellung digitaler Applikationen. Das Modell unterteilt sich in vier Ebenen:

Ebene 1 betrifft pädagogische Überlegungen. Dabei müssen unter pädagogischen Aspekten heraus die Ziele und Leitlinien des Lehrplans berücksichtigt werden.

Ebene 2 beschäftigt sich anschließend mit den fachlichen, fachdidaktischen und mediendidaktischen Aspekten der Umsetzung. Ziel ist es die AR-Applikation an den naturwissenschaftlichen Unterricht anzupassen.

Ebene 3 stellen technische Überlegungen dar und umfasst die Umsetzbarkeit der AR-Applikation. Dabei muss an die technischen Grenzen und Möglichkeiten von AR gedacht werden.

Ebene 4 ist die Erprobung in einer Realsituation und anschließend dem Einsatz in der Praxis.

Der DBR-Ansatz ist auch in diesem Modell wiederzufinden, da eine ständige Reflexion und Evaluation der einzelnen Ebenen in sich, aber auch untereinander vollzogen werden. Als Beispiel sollte nach dem Einsatz in der Praxis (Ebene 4) überlegt werden, ob alle fachdidaktischen Aspekte (Ebene 2) oder die technische Umsetzung (Ebene 3) berücksichtigt worden sind.

In diesem Projekt wurde ein Schülerexperimentierkasten genutzt, welcher bereits in einigen bayerischen Gymnasien verwendet wird. Dies hat den Vorteil, dass zum einen die technische Umsetzbarkeit, durch immer gleichbleibende Abmessungen der Materialien, zum anderen aber auch ein dichter Bezug zum naturwissenschaftlichen Unterricht und damit zum Lehrplan vorliegt.

4. Einbindung in ein Lehr-Lern-Labor

Um die Arbeitszeit mit der entsprechenden Darbietungsform so individuell wie möglich halten zu können, wurde sich für die Durchführung in einem Lehr-Lern-Labor entschieden. Ein weiterer Vorteil ist die Intensivierung der Arbeitszeit innerhalb der 4h des Besuches im Vergleich zu einer Feldstudie, bei der die Lernenden nur einen kurzen Einsatz pro Woche hätten.

Die Durchführungsart in einem LLL hat für die Lehr- und Lernpersonen gleichermaßen Vorteile. Das LLL bietet für die Lernenden den Raum eines außerschulischen Lernortes und für die Lehrenden, meist Lehramtsstudierende des Faches Physik, den Vorteil, dass sie ihre Aufgabe als zukünftige Lehrkraft in kleinen Gruppen nachkommen können und so ihre Eignung für den Lehrberuf prüfen können [5].

4.1. Durchgeführte Studie

Ziel der empirischen Begleituntersuchung ist die Frage nach dem Einfluss, welchen der Einsatz einer AR-App auf das situationale Interesse und die kognitive Last der Lernenden hat. Im Vergleich dazu stehen dieselben Experimente, welche zum einen mit passenden Simulationen und zum anderen mit Infografiken unterstützt und durchgeführt werden. Hierzu wird mit Schulklassen eine Schülerlabor-Vergleichsstudie mit mehreren Darbietungen (AR-App, Simulation, digitale Infografiken) durchgeführt. Dabei steht die subjektive Sicht der Schülerinnen und Schüler im Vordergrund, welche nacheinander alle drei Darbietungsformen erhalten. Nach jeder Intervention wird das situationale Interesse und die kognitive Belastung erhoben, sodass diese in Beziehung zur Darbietung gesetzt werden können. Zu Beginn des Besuches wird mittels quantitativer Testinstrumente das individuelle Interesse, Selbstkonzept,

Selbstwirksamkeitserwartung, Fachwissen und die Technikaffinität als Moderatorvariablen erhoben.

4.2. Durchführung

Nachdem die Schülerinnen und Schüler am außerschulischen Lernort eingetroffen sind, werden sie in drei zufällig gewählte Gruppen aufgeteilt. Dies ist nötig, um die Anzahl der zu verwendeten zusätzlichen Geräte (z.B. Netzgeräte, Stativmaterial,...) geringer zu halten. Gleichzeitig stellt diese Gruppe die Darbietungsart dar, mit welcher die Lernenden die darauffolgende Station bearbeiten werden. Insgesamt durchläuft jeder Lernende drei Stationen, welche jeweils zwei Experimente beinhalten. Dabei bearbeitet der Lernende jede Station mit einer anderen Darbietung.

4.3. Das SAMR-Modell

Um die Anwendung von AR-Applikationen möglichst gewinnbringend einzusetzen, muss sich natürlich auch die Aufgabenstellung entsprechend verändern. Durch die Technologie sind nun andere Fragen möglich, welche vorher beispielsweise nur durch ein weiteres Experiment zu beantworten wären. Auf ein konkretes Beispiel aus dem LLL wird im nächsten Unterkapitel eingegangen.

Für die richtige Einbindung von digitalen Unterrichtsmaterialien wird das SAMR-Modell von Puentedura [6] benutzt. Dieses Modell vergleicht den Einsatz der digitalen Medien gegenüber einer Aufgabenstellung ohne Technologie. Dies geschieht grundsätzlich auf zwei verschiedene Art und Weisen. Zum einen kann die Aufgabenstellung mit Technologie verbessert (engl.: „enhancement“) werden und zum anderen bietet die Technologie die Möglichkeit die Aufgabenstellung umzugestalten (engl.: „transformation“). Dabei kann das digitale Medium schlicht als Austausch (engl.: „substitution“) eingesetzt werden. Somit gilt die Technologie nur als Ersatz für das Lernwerkzeug, aber ohne funktionelle Veränderung. Eine weitere Option zur Umgestaltung der Aufgaben ist eine Erweiterung (engl.: „augmentation“) der Aufgabenstellung und somit einer funktioneller Verbesserung.

Mittels einer Transformation der Aufgabenstellung ist es nun aber auch möglich eine Abwandlung (engl.: „modification“) vorzunehmen und so die Aufgaben maßgeblich neu zu gestalten.

Als die maximal mögliche Veränderung der Aufgabe wird die Neubelegung (engl.: „redefinition“) gesehen. Diese Art der Umgestaltung ermöglicht die Entwicklung neuer Aufgaben, die zuvor nicht vorstellbar waren.

4.4. Einbindung der AR-App in das Lernmaterial

Zur Veranschaulichung der Theorie betrachten wir die Station „Magnetfeldlinien“ aus dem angebotenen Lehr-Lern-Labor.

In dem ersten Teilabschnitt der Aufgabe geht es um die Draufsicht eines Stabmagnetfeldes. Im

klassischen Design kontrollieren die Lernenden ihre Vermutung mit Antwortkarten. Mittels der AR-App können die Schüler ihre Antwort direkt am Experiment selbst überprüfen. Dies entspricht einer Erweiterung (A) der Aufgabenstellung mit funktioneller Verbesserung.

In der nächsten Teilaufgabe musste bereits unterschiedliche Aufgabenstellung für die klassische und die digitale Gruppe formuliert werden. Während sich die Lernenden in der klassischen Gruppe nur die Draufsicht des Magnetfeldes zweier Stabmagnete anschauen können, ist es für die digitale Gruppe möglich, die Drauf- und gleichzeitig die Vorderansicht des Magnetfeldes dieser beiden Stabmagneten zu betrachten. Dies entspricht einer Abwandlung (M) der Aufgabenstellung, da die Technologie eine maßgebliche Neugestaltung der Aufgabe ermöglicht. Zum Verständnis: Im klassischen Sinne ist die Betrachtung der Vorderansicht für die Lernenden nur möglich, wenn diese ein neues Experiment aufbauen. Mittels AR-App oder der Simulations-App geht dies direkt an demselben Experiment.

Die letzte Teilaufgabe im klassischen Sinne beschäftigt sich dann mit der Vorderansicht der Felder der beiden Stabmagnete. Die digitale Gruppe kann nun eine beliebige Anordnung der beiden Stabmagnete zueinander betrachten. Die Lernenden können dabei jede Kombination der Stabmagnete zueinander auswählen und die Technologie visualisiert das entsprechende Feld. Diese Art der Aufgabengestaltung kann als Neubelegung (R) gesehen werden, da die Technologie eine Entwicklung neuer Aufgaben zulässt, welche zuvor nicht vorstellbar waren.

Generell kann in allen Stationen die Verwendung von AR als Erweiterung mit funktioneller Verbesserung (A) gesehen werden, da die Visualisierung immer am Objekt selbst angezeigt wird und somit kein örtlicher Transfer von Ausdruck oder der Simulation zum Experiment stattfinden muss. Somit können sich die Lernenden der AR-Gruppe beispielsweise an dem Versuch von Oersted die räumliche Ausdehnung des Magnetfeldes entlang des stromdurchflossenen Leiters anschauen. Die klassische Gruppe konnte durch einen Ausdruck nur einen Querschnitt des Leiters betrachten, während die Simulations-Gruppe den örtlichen Transfer vollziehen muss.

In einem weiteren Experiment wurde die Regel von Lenz thematisiert. Dabei sollten die Lernenden eine Spule an eine Wechselspannungsquelle anschließen. Innerhalb dieser Spule wurde ein Eisenkern platziert, auf dessen Ende ein geschlossener Aluminiumring aufgesteckt war. Wenn der Stromkreis geschlossen wird, bewegt sich der Aluminium-Ring auf dem Eisenkern von der Spule weg. Die klassische Gruppe musste die Abfolge der einzelnen Schritte in die richtige Reihenfolge bringen. Dabei wurde aktiv in Kleingruppen oder mit einem Betreuer diskutiert, welche Reihenfolge logisch ist. Die digitalen Gruppen konnten anhand einer eingespielten Animation und einem

Play-/Pause-Button diese Animation schrittweise analysieren. Die Aufgabenstellung entspricht einer Neubelegung (R), da die Lernenden diese Aufgabe selbstständig bearbeiten konnten und ein Eingreifen des Betreuers selten notwendig war.

In dem Experiment zur Induktion sollten die Lernenden die Faktoren herausfinden, welche zu einer hohen Induktionsspannung führen. Die Faktoren waren die Anzahl der Windungen, die Stärke des Magnetfeldes und die relative Geschwindigkeit von Spule und Magnet zueinander. Alle Gruppen konnten die Induktionsspannung nur anhand eines elektronischen Messwertprogramms sehen. Zusätzlich wurden auch der physikalische Hintergrund und eine Erklärung des Phänomens abgefragt. Die klassische Gruppe konnten Karten mit Tipps ziehen, während die AR-Gruppe einfach die verschiedenen Materialien betrachten konnten. Dementsprechend haben sich beispielsweise die Anzahl der Elektronen innerhalb der verschiedenen Spulen geändert. Mittels dieser Visualisierung konnten die Lernenden selbstständig auf die physikalische Erklärung schließen. Diese Aufgabenstellung entspricht einer Abwandlung (M), da die Lernenden innerhalb der Aufgabe die Ursache für die verschiedenen hohen Induktionsspannungen belegen konnten.

AR bietet somit eine neue Art Aufgaben zu stellen, da durch die Visualisierung der mikro- und makroskopischen Elemente ein Verknüpfen von Phänomen und Ursache leichter vollzogen werden kann.

5. Literaturverzeichnis

- [1] LINDLAHR, William: Virtual-Reality-Experimente für Interaktive Tafeln und Tablets. In: MAXTON-KÜCHENMEISTER, Jörg; MEBINGER-KOPPELT, Jenny (Hrsg.): *Digitale Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht*. Hamburg : Joachim-Herz-Stiftung Verlag, 2014 (Naturwissenschaften), S. 90–97
- [2] SCHWANKE, Hagen ; KREIKENBOHM, Annika ; TREFZGER, Thomas: Augmented Reality in Schülerversuchen der E-Lehre in der Sekundarstufe I, Band 41. In: Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik (GDGP) (Hrsg.): *Naturwissenschaftlicher Unterricht und Lehrerbildung im Umbruch?* : Universität Duisburg-Essen, 2021 (Band 41), S. 641–644
- [3] ANDERSON, Terry ; SHATTUCK, Julie: *Design-Based Research*. In: *Educational Researcher* 41 (2012), Nr. 1, S. 16–25
- [4] SEIBERT, Johann ; LAUER, Luisa ; MARQUARDT, Matthias ; PESCHEL, Markus ; KAY, Christopher: deAR: didaktisch eingebettete Augmented Reality. In: KASPER, Kai; HOFHUES, Sandra; SCHMEINCK, Daniela; BECKER-MROTZEK, Michael; KÖNIG, Johannes (Hrsg.): *Bildung, Schule, Digitalisierung*. Münster : Waxmann Verlag, 2020, S. 451–456
- [5] ELSHOLZ, Markus ; TREFZGER, Thomas: Identitätsarbeit im Lehr-Lern-Labor-Seminar : Dimensionalität und Veränderung des akademischen Selbstkonzepts angehender Physiklehrkräfte während einer zentralen Praxisphase. In: BOSSE, Dorit; MEIER, Monique; TREFZGER, Thomas; ZIEPPRECHT, Kathrin (Hrsg.): *Professionalisierung durch Lehr-Lern-Labore in der Lehrerbildung*. Landau in der Pfalz : Empirische Pädagogik, 2020 (Lehrerbildung auf dem Prüfstand, 1-2020), S. 78–100
- [6] PUENTEDURA, Ruben R.: *Transformation, Technology, and Education*. URL <http://www.hippasus.com/resources/tte/> – Überprüfungsdatum 2023-06-05

Förderung

Dieses Projekt wird vom Universitätsbund Würzburg gefördert.

PUMA : Optiklabor - Optimierungsbedarf in der Optiklehre, Lösungsansätze via WebAR & ein erstes Studiendesign auf der Grundlage von Design-Based Research

Stefan Kraus, Thomas Trefzger

Lehrstuhl für Physik und ihre Didaktik, Julius-Maximilians-Universität Würzburg
stefan.kraus@physik.uni-wuerzburg.de

Kurzfassung

Optik und deren Schülerfehlvorstellungen werden standardmäßig in den Veranstaltungen der Physik-Fachdidaktik behandelt. Dennoch treten einige Probleme bei den Schülerinnen und Schülern auf. Um diesen entgegen zu wirken, wird im Projekt „PUMA : Optiklabor“ eine webbasierte Augmented Reality Applikation programmiert, die mittels eigens entwickelter Unterrichtsbausteine eben diesen Fehlvorstellungen entgegenwirken soll. Dabei wird auf das Prinzip „Design-Based Research“ [1] zurückgegriffen, um effektives und praxistaugliches Material sowie eine passende Webanwendung zu implementieren. Der Beitrag thematisiert die wichtigsten Fehlvorstellungen und skizziert die geplante Studie.

1. Optikunterricht in der Schule: Anschaulich und doch intransparent

Während Optik einerseits ein schönes und lebensnahes Thema im Physikunterricht der Sekundarstufe 1 darstellt, sorgen die zugrunde liegenden Modelle oftmals für nichttriviale Hürden. Je nach Bundesland wird der Optik mehr oder weniger Bedeutung zugemessen, teils aber als Thema, dessen Inhalte in den darauffolgenden Jahrgangsstufen wenig gefragt sind, in die letzten Wochen des Schuljahres geschoben.

Umso mehr liegt es daher an der Lehrkraft, die physikalischen Grundlagen und den Umgang mit den Modellen solide und anschaulich zu vermitteln.

2. Eine WebAR-Applikation zur Unterstützung

Augmented Reality bietet die Möglichkeit, die reale Welt mit virtuellen Inhalten zu verschmelzen. Dieser Vorteil lässt sich in der Optik nutzen, um Modelle sichtbar machen und weitere Informationen bereitstellen zu können. [2] Um den Einstieg in diese Welt möglichst niederschwellig zu gestalten, wird die zugrunde liegende App in diesem Projekt nicht nativ (zur Installation auf dem Gerät) implementiert. Es kommen Web-Techniken zum Einsatz, die auf allen

gängigen Betriebssystemen gleichermaßen funktionieren. Ziel ist dabei die Verwendung im Unterricht ohne Vorlaufzeiten für Installation und damit einhergehende Probleme wie dem Einholen von Installationsrechten zu ermöglichen. „Parental Control“ bezeichnet dabei die Möglichkeit für Eltern, Rechte ihrer Kinder wie die Befugnis zur Installation von Applikationen einzuschränken. Mit steigendem Sicherheitsbewusstsein der Eltern für ihre Kinder im digitalen Umfeld sind „Parental Control“ – Programme inzwischen weit verbreitet. [3]

Die Bereitstellung von Augmented Reality via Webprogrammierung ist noch relativ jung, so dass abzuwarten bleibt, wie gut Bilderkennung etc. in der Praxis auch auf verschiedensten Geräten und Betriebssystemversionen überzeugen. Auch diese Praxistauglichkeit ist Teil des Forschungsinteresses. Bei der Implementierung wird auf JavaScript-Frameworks zurückgegriffen die einerseits die Augmentierung, andererseits aber auch die 3D-Darstellung mit Hilfe von WebGL unterstützen. [4]

Die WebAR-Applikation bietet ein Optiklebor mit verschiedenen Gegenständen wie Laser, Linsen und Spiegeln, das die Schülerinnen und Schüler wie eine

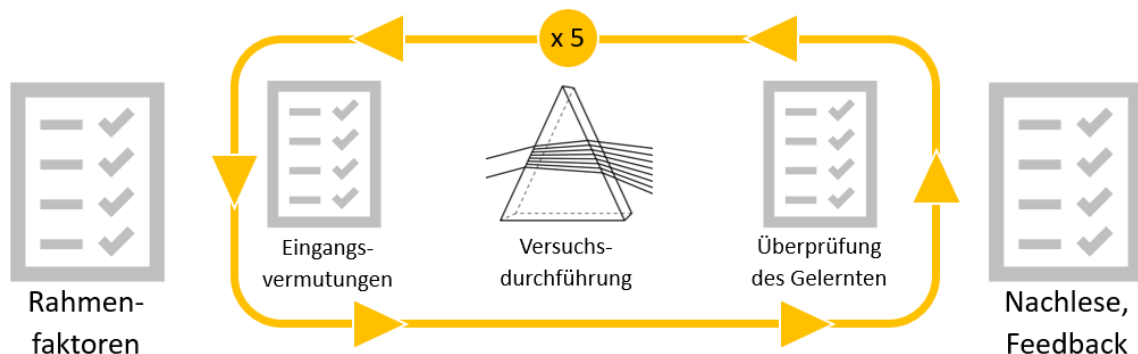


Abb. 1 Aufbau der Feldstudie mittels fünf Unterrichtsbausteinen nach wiederkehrendem Muster, eingerahmt von Fragebögen zu Rahmenfaktoren und Nachlese

Simulation nutzen können, wobei die haptische Komponente den Immersionsgrad gegenüber reinen Computersimulationen erhöht. Nutzerinnen und Nutzer „experimentieren“ dabei mit Kärtchen, auf denen Marker aufgedruckt stehen. Jedes Kärtchen steht für ein Bauteil, das beim Blick auf den Bildschirm des Smartphones oder Tablet-PCs sichtbar wird. Dabei werden die Lichtstrahlen und deren Eigenschaften simuliert. Es besteht darüber hinaus die Möglichkeit, physikalische Größen im laufenden Versuch zu ändern.

Hierbei spielerisch gewonnene Erfahrungen und sichtbare Modelle sollen dazu beitragen, Schülerfehlvorstellungen entgegen zu wirken. Im Gegensatz zu anderen Augmented-Reality-Projekten handelt es sich hierbei um eine AR-gestützte Simulation, die kein Realexperiment voraussetzt. So kann die Applikation auch im Rahmen von Hausaufgaben genutzt werden. Auch ist der Kostenaufwand für die Durchführung der Übungen im Gegensatz zu teuren Materialien von Lernmittelherstellern auf ein Blatt Papier begrenzt.

3. Bereiche von Schülerfehlvorstellungen

In der Literatur finden sich schon seit vielen Jahren zahlreiche Schülerfehlvorstellungen in der Optik. [5] Da Ziel des Dissertationsvorhabens ist, diese Ansichten zu korrigieren, werden diese in vier Fachbereiche der Sekundarstufe 1 eingeteilt. Dazu werden insgesamt fünf Unterrichtsbausteine konzipiert, deren Durchführungen gezielt auf die Vorstellungen einwirken sollen. Diese Bausteine stellen jeweils eine Unterrichtsstunde dar, die von den Lehrkräften flexibel in den eigenen Unterricht integriert werden können.

3.1. Licht & Sehen

Gängige Fehlvorstellungen: [6]

- „Sehen heißt: Aktiv hinschauen.“
- „Licht ist ruhende Helligkeit.“
- „Licht breitet sich linienförmig als Lichtstrahl aus.“
- „Sehen geht auch ohne Licht.“
- „Schatten: Eine Substanz, die Körper ausströmen.“
- „Beleuchtungsvorstellung: Mit Licht bestrahlte Gegenstände sind sichtbar.“

Zu diesem Bereich entsteht der Baustein „Sichtbarkeit“. Er lässt die Lernenden spielend erfahren, wie sich Licht ausbreitet und welche Voraussetzungen gegeben sein müssen, damit ein Körper sichtbar ist oder dass sich ein Schatten bildet.

3.2. Reflexion

Gängige Fehlvorstellungen: [6]

- „Ping-Pong: Vor der Reflexion ist nach der Reflexion.“

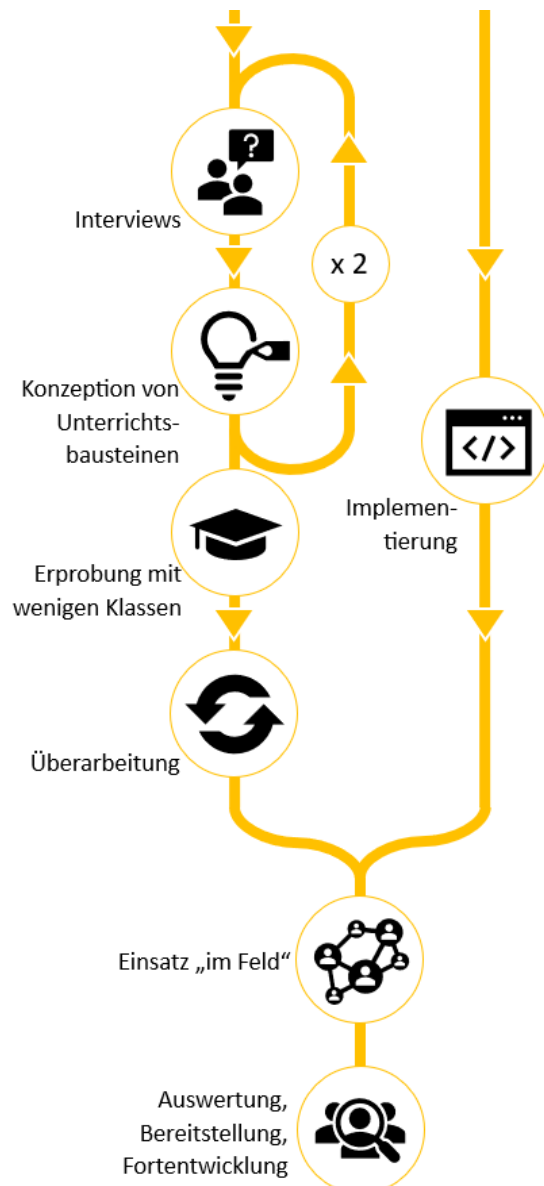


Abb. 2 Die Projektphasen im Überblick

- „Licht bleibt an der Oberfläche liegen und macht einen hellen Lichtfleck.“
- „Das Spiegelbild liegt auf dem Spiegel.“
- „Spiegelbilder sind seitenverkehrt.“

Der Unterrichtsbaustein „Abbildungen am Spiegel“ soll den Fehlvorstellungen im Bereich Reflexion entgegenwirken. Dabei werden insbesondere die Strahlengänge und die Lage des virtuellen Bilds sichtbar gemacht.

3.3. Lichtausbreitung & optische Linsen

Gängige Fehlvorstellungen: [6]

- „Brechung = Reflexion“
- „Bilder wandern als Ganzes.“
- „An der Abbildung durch die Linse sind nur Mittelpunkt-, Parallel und Brennpunktstrahl beteiligt.“
- „Ein Lichtbündel endet im Brennpunkt“

- „Die Sammellinse dreht das Bild, deshalb steht es auf dem Kopf.“
- „Der Linsendurchmesser bestimmt die Bildgröße.“
- „Ohne Schirm kein Bild.“
- „Die Sammellinse dreht das Bild, deshalb steht es auf dem Kopf. (links-rechts-Umkehr nicht wahrgenommen)“
- „Licht kann mehr oder weniger werden.“

Diesem komplexeren Themenbereich werden zwei Unterrichtsbausteine gewidmet: Zunächst erforschen die Schülerinnen und Schüler die „Lichtbrechung“. Neben bekannten Übergängen wie bei Glasblöcken könnte dies auch bei Luftblasen unter Wasser oder Lichtleitern geschehen. Auch können Brechungsindizes während des Versuchs geändert und die Auswirkungen beobachtet werden.

Im nächsten Schritt wird der Übergang zur optischen Linse nachvollzogen. Der Baustein „Abbildungen an Linsen“ behandelt den Weg einzelner und vieler Lichtstrahlen durch Linsen. Dies mündet in der Beobachtung des Brennpunkts einer Sammellinse und der Bildentstehung auf einem Schirm.

3.4. Auge

Gängige Fehlvorstellungen: [7]

- „Die Pupille ist kein Loch, sondern ein schwarz eingefärbter Teil des Auges.“
- „Ich sehe nur mit den Augen. Eine Verbindung zwischen Augen und Gehirn existiert nicht.“

Zuletzt dürfen die Jugendlichen bei der Unterrichtsstunde „Strahlengang im Auge“ eben diesen in einem virtuellen Augenmodell beobachten. Normal- und Fehlsichtigkeit, sowie Hilfsmittel zu deren Korrektur sollen so spielerisch veranschaulicht werden.

4. Studiendesign & weiterer Verlauf

Parallel zur aktuell laufenden Implementierungsphase werden Interviews mit Lehrkräften sowie im Rahmen einer Unterrichtsevaluation auch mit Schülerinnen und Schülern durchgeführt, um den Kern der Unterrichtsbausteine herauszuarbeiten (siehe Abb. 2). In einer zweiten Interviewrunde werden diese Stundenkonzepte noch einmal an den Erwartungen der Zielgruppe gemessen. Sobald es sinnvoll erscheint, werden erste Tests der Software durchgeführt, welche wiederum zur weiteren Verbesserungen führen sollen. Anschließend wird eine Erprobung der Unterrichtsbausteine im größeren Maßstab an bayerischen Gymnasien durchgeführt. Zielgruppe sind hierbei die achten Klassen aller Ausbildungsrichtungen. Dafür wird den Lehrkräften ein Paket von Unterrichtsbausteinen übergeben, die sie an curricular sinnvollen Stellen in ihren eigenen Unterricht übernehmen.

Die zugehörigen Unterrichtsmaterialien führen die Schülerinnen und Schüler über einen QR-Code auf eine Website, die nicht nur die WebAR-Applikation bereitstellt, sondern auch Fragebögen vor und nach dem Versuchsteil beinhaltet. (siehe Abb. 1) So soll

der Einfluss durch die Lehrkraft möglichst geringgehalten und die Vergleichbarkeit gewährleistet werden. Zusätzlich bieten sich einige Auswertemöglichkeiten durch den Einsatz von Webtechnologien an. Um auch einen Prozess über den Studienzeitraum hinweg beobachten zu können, bekommen die Schülerinnen und Schüler ein Pseudonym zugewiesen, dessen Zuordnung der Studienleitung nicht bekannt ist.

Im Anschluss an die Durchführungen im Unterrichtskontext fließen die Ergebnisse der Auswertung in die Fortentwicklung der Applikation ein. Zudem soll sie der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt werden. Gemäß Design-Based-Research besteht hier in Abhängigkeit des Studienergebnisses die Möglichkeit weiterer Iterationen und Anschlussforschung.

5. PUMA: Physik-Unterricht mit Augmentierung

Der Lehrstuhl für Physik und ihre Didaktik der Universität Würzburg unter Prof. Dr. Thomas Trefzger widmet sich in mehreren Projekten der Augmentierung von Physikunterricht. [8] Dabei steht der Einfluss von Augmented Reality auf die Lernenden im Vordergrund. So werden neben dem Optiklabor auch ein Magnetlabor [9] und ein Spannungslabor [10] entwickelt, die sich bereits in weiter entwickelten Stadien befinden. Bei diesen Projekten wurden native Applikationen mittels Unity implementiert, die Realexperimente graphisch und mit Zusatzinformationen unterstützen.

6. Literatur

- [1] HAAGEN-SCHÜTZENHÖFER, Claudia; HOPF, Martin: Design-Based Research: Unterrichtsgang zur Anfangsoptik. In: In Maurer, C. (Hrsg.): Qualitätsvoller Chemie- und Physikunterricht – normative und empirische Dimensionen, Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Regensburg 2017, Band 38, 2018, S. 118-121 (2018)
- [2] PESCHEL, Markus; KAY, Christopher; LAUER, Luisa; SEIBERT, Johann; MARQUARDT, Matthias; LANG, Vanessa: Augmented Reality (AR) als Werkzeug im naturwissenschaftlichen Unterricht. In: HABIG, Sebastian (Hrsg.): Naturwissenschaftliche Kompetenzen in der Gesellschaft von morgen: Tagungsband der 46. Jahrestagung der Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik (GDGP), 2020 (40), S. 940–943
- [3] ESET DEUTSCHLAND GMBH: Medienkompetenz an Schulen: Eltern vergeben nur mäßige Noten. <https://www.eset.com/de/about/presse/pressemitteilungen/pressemitteilungen/medienkompetenz-an-schulen-eltern-vergeben-nur-maessige-noten/> 13.07.2023

- [4] KRAUS, Stefan; TREFZGER, Thomas: WebAR-Techniken unterstützen die Optik-Lehre. In: VORST, Helena van (Hrsg.): Lernen, Lehren und Forschen in einer digital geprägten Welt: Tagungsband der 49. Jahrestagung der Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik (GDGP), 2023 (43), S. 857–860
- [5] WIESNER, Hartmut: Physikunterricht - an Schülervorstellungen und Lernschwierigkeiten orientiert. Unterrichtswissenschaft 23 (1995) 2, S. 127-145. In: Unterrichtswissenschaft 23 (1995)
- [6] SCHECKER, Horst (Hrsg.); WILHELM, Thomas (Hrsg.); HOPF, Martin (Hrsg.); DUIT, Reinders (Hrsg.): Schülervorstellungen und Physikunterricht: Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis. 1. Aufl. 2018. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2018
- [7] MUTH, Laura; WINKELMANN, Jan: Veränderungen von Schülervorstellungen durch Experimentieren, Bd. 2014. In: DPG-Frühjahrstagung des Fachverbands Didaktik der Physik.
- [8] FRANK, Florian; KRAUS, Stefan; KREIKENBOHM, Annika; SCHWANKE, Hagen; STOLZENBERGER, Christoph; TREFZGER, Thomas: Das Projekt PUMA (Physik-Unterricht Mit Augmentierung). Frühjahrstagung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (DPG), Aachen, 2023
- [9] SCHWANKE, Hagen; TREFZGER, Thomas: Augmented Reality in Schülerversuchen – Entwicklung und Evaluierung der Applikation PUMA: Magnetlabor. In: ROTH, Jürgen; BAUM, Michael; EILERTS, Katja; HORNUNG, Gabriele; TREFZGER, Thomas (Hrsg.): DIE ZUKUNFT DES MINT-LERNENS: Digitale Tools und Methoden für das Lehren und Lernen. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum, 2023, S. 77–91
- [10] STOLZENBERGER, Christoph; FRANK, Florian; TREFZGER, Thomas; WILHELM, Thomas; KUHN, Jochen: Spannung mit PUMA : Spannungslabor. In: Physik in unserer Zeit 54 (2023), Nr. 1, S. 44–45

Schülerlaborstudie zum Einsatz von Augmented Reality in der Elektrizitätslehre

- Studiendesign, Interventionsmaterial & vorläufige Ergebnisse
zur Reduktion der Bearbeitungszeit durch AR -

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. Es wurden zwei Einsatzmöglichkeiten von AR für die schulische E-Lehre identifiziert: die Darstellung von didaktischen Analogiemodellen und die Messung physikalischer Größen. Im Projekt PUMA (Physik-Unterricht Mit Augmentierung) wurde ausgehend davon die App „PUMA : Spannungslabor“ entwickelt.

Die Lernförderlichkeit der App wurde im Rahmen einer Schülerlaborstudie evaluiert. Nach Abschluss des Elektrizitätslehre-Anfangsunterrichts erarbeiten die Lernenden dort innerhalb eines Projekttages die Kerninhalte der Elektrizitätslehre mit Bezugnahme auf didaktische Analogiemodelle erneut. Der Lernzuwachs wurde im Prä-/Post-Test-Design erfragt, mit zusätzlicher Erhebung der kognitiven Last, des räumlichen Vorstellungsvermögens und der Technikaffinität. Die Darstellung der didaktischen Modelle durch AR wurde dabei verglichen mit der Darstellung per Simulation oder per Infografiken, die Messung von physikalischen Größen per AR mit der Messung mittels Multimetern. Eine erste Auswertung der in der Studie erhobenen Daten zur Bearbeitungszeit zeigt eine deutliche Reduktion derselben durch den Einsatz von AR zur Messung bei physikalischen Experimenten.

1. Hintergrund

Das Schülerlabor „Elektrische Stromkreise“ und die zugehörige Studie „Digitale Unterstützung für die E-Lehre“, die in diesem Beitrag beschrieben werden, sind Teile des Vorhabens „PUMA : Spannungslabor“. Dieses wird im Rahmen des Projekts Connected Teacher Education (kurz: CoTeach) am Lehrstuhl für Physik und ihre Didaktik der Universität Würzburg durchgeführt und vom Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert. Das Vorhaben umfasst die Konzeption und Entwicklung einer Augmented Reality-Applikation namens „PUMA : Spannungslabor“ und die Evaluation der Lernförderlichkeit von AR im Vergleich mit anderweitig gestalteter digitaler Unterstützung.

Das Projekt verläuft nach den Grundsätzen der Design-Forschung, deren Ziel es ist, die Forschung praxisbezogener auszurichten [1]. Die auch als Design-Based Research (kurz: DBR) bekannte Methode folgt sechs Grundsätzen [2]:

- a) Ein DBR-Projekt soll ein reales, auf Ergebnissen früherer Forschung basierendes Problem der Praxis adressieren und zu dessen Bewältigung beitragen.
- b) Zentraler Bestandteil des Projekts soll die Gestaltung und Bewertung einer Intervention sein. Diese soll die Bewältigung des eingangs definierten Problems zum Ziel haben.
- c) Das Projekt soll in Kooperation von Forscher*innen und Praktiker*innen durchgeführt werden.

Dabei profitiert die Planung und Umsetzung der Intervention von der Praxiserfahrung, während die in Studien vollzogene Bewertung von Forscher*innen nach den Grundsätzen guter wissenschaftlicher Praxis durchgeführt werden kann.

- d) Für die Bewertung der Intervention sollen nach Möglichkeit sowohl qualitative als auch quantitative Methoden eingesetzt werden.
- e) Ziel eines DBR-Projekts soll neben der Intervention ein Beitrag für den wissenschaftlichen Diskurs sein. Während die Ergebnisse der Interventionsentwicklung an die Praxis kommuniziert werden sollen, soll das Ergebnis der zur Bewertung durchgeführten Studien der wissenschaftlichen Gemeinschaft zur Verfügung gestellt werden.
- f) Idealerweise soll ein DBR-Projekt mehrere Iterationen beinhalten. Dafür sollen die Erkenntnisse der Entwicklung und Bewertung der Intervention genutzt werden, um diese entweder schrittweise zu verbessern oder um auf deren Grundlage eine neue Intervention zu konzipieren.

Im Zusammenspiel miteinander ergeben diese Grundsätze einen Phasenablauf vor, der einen parallelen Prozess der praktischen Entwicklung und der wissenschaftlichen Begleitung vorsieht. Ausgehend von dem zentralen Problem werden Hypothesen gebildet, die sich auf etablierte Lerntheorien oder Forschungsergebnisse früherer Studien stützen. Auf Praxisseite wird zeitgleich die Konzeption der Intervention vollzogen.

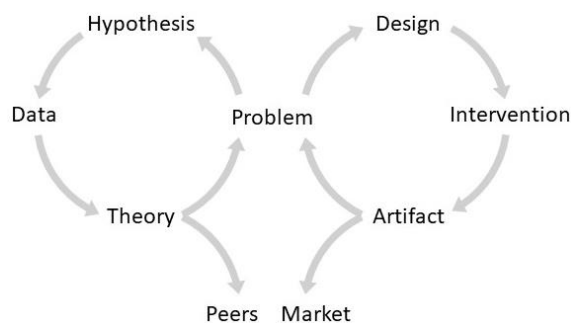


Abb.1: Phasen eines DBR-Projekts [3]

Im nächsten Schritt wird die Intervention in der realen Praxissituation durchgeführt. Während des Einsatzes werden Daten für die Bewertung der Intervention gesammelt. Das Ergebnis der Analyse der gesammelten Daten soll der Beitrag für den wissenschaftlichen Diskurs sein, am Ende des Einsatzes in der realen Praxissituation soll die Intervention als fertige Maßnahme vorliegen. Beides soll zum einen im jeweiligen Bereich kommuniziert werden, kann aber nach dem Iterationsgedanken von DBR erneut für eine Problemdefinition genutzt werden, bzw. für einen neuen Durchgang des DBR-Zyklus.

2. Problemidentifikation und Lösungsansatz

Dem DBR-Ansatz folgend sind der Ausgangspunkt des Vorhabens „PUMA : Spannungslabor“ die Ergebnisse der jüngeren fachdidaktischen Forschung zur Schwierigkeit der Lernenden, die Inhalte der Elektrizitätslehre zu verstehen. Demzufolge sind fehlerhafte Schülervorstellungen zu mehreren Zeitpunkten nach Ende des Lehrgangs zur Elektrizitätslehre nachweisbar, so etwa direkt nach Abschluss desselben [4][5], am Ende der Sekundarstufe I [6] und bei Studienanfänger*innen der Physik [7]. Die Annahme, dass die Komplexität des Lerninhalts aufgrund der notwendigen Vernetzung der Wissensstrukturen die Lernenden vor (zu) hohe kognitive Herausforderungen stellt, liegt also nahe [8].

Das Ziel einer Intervention muss es demzufolge sein, die Lernenden im Lernvorgang kognitiv zu entlasten. Die Theorie des Multimedialen Lernens (kurz: CTML, [9]) bietet hierfür Prinzipien, die eine ebensolche kognitive Entlastung ermöglichen sollen. Nach dem Prinzip der räumlichen und zeitlichen Gleichzeitigkeit (Spatial and Temporal Contiguity Principle [10]) wird die kognitive Belastung der Lernenden reduziert, wenn alle für den Lernvorgang notwendigen Ressourcen zum selben Zeitpunkt am selben Ort zur Verfügung gestellt werden. Eine Möglichkeit, dies zu bewerkstelligen, wenn die Ressourcen sowohl realer Natur (physikalisches Experiment) als auch theoretischer Natur (Modellanalogie des elektrischen Stromkreises) sind, ist die Nutzung von Augmented Reality (AR)-Technologie. Tablet-gestützte AR erlaubt hier die Überblendung eines Live-Bilds der Realität mit virtuellen Objekten, z.B. grafischen Darstellungen, Texten oder Messwer-

ten. Nach dem Grundsatz der Segmentierung (Segmenting Principle [11]) kann ein Lernvorgang auch dadurch entlastet werden, dass der Prozess in mehrere Teilschritte zerlegt wird, die vom Lernenden selbstbestimmt bearbeitet werden können. In Verbindung mit dem Grundsatz der Kohärenz (Coherence Principle [11]), welcher die Exklusion von für den Lernvorgang nicht notwendigen Inhalte empfiehlt, ergeben sich damit klare Richtlinien für die Gestaltung einer multimedialen Intervention.

Für den Kontext der Elektrizitätslehre der Sekundarstufe I wurden zwei Lernbereiche identifiziert, die Unterstützungspotential aufweisen. Einerseits ist im Schulkontext der Einsatz von Analogiemodellen (wie z.B. das Stäbchenmodell, das Elektronengasmodell oder Wasserkreislaufmodelle) zur Erklärung einfacher Stromkreise und der Prozesse und Gesetzmäßigkeiten in diesen weit verbreitet und lernförderlich [8]. Die Nutzung der Analogiemodelle ist aber durch die Unterschiedlichkeit der Lernressourcen (realer Stromkreis & theoretisches Modell in Form von Texten, Bildern, o.ä.) erschwert. Als zweiter Lernbereich wurde die Messwerterfassung identifiziert: die Unterstützung der Erhebung von Messdaten und die Darstellung der Messdaten direkt am gemessenen Objekt durch digitale Medien kann lernförderlich wirken [12].

Ausgehend von diesen Analysen wurde als digitales Unterstützungsmaterial für die Vermittlung der Elektrizitätslehre die Applikation „PUMA : Spannungslabor“ entwickelt. Diese ist als AR-Applikation oder als Simulation einsetzbar, überblendet einen realen Stromkreis (oder einen digitalen dreidimensionalen Nachbau desselben) mit gängigen Analogiemodellen der Elektrizität [13][14] und ermöglicht durch eine Bluetooth Low Energy (BLE)-Schnittstelle auch die Erhebung und Darstellung von Messdaten [15]. Die Applikation wurde den DBR-Grundsätzen folgend in einem kleinen Team aus am Lehrstuhl beschäftigten Lehrkräften und wissenschaftlichen Mitarbeitern entwickelt und im Entwicklungsprozess durch qualitative Interviews mit externen Lehrkräften stetig begleitet und evaluiert [16].

Aufbauend auf der Applikation wurde das Schülerlabor „Elektrische Stromkreise“ entwickelt, in welchem die digitale Unterstützung der Elektrizitätslehre auf ihre Lernförderlichkeit untersucht wird.

3. Das Schülerlabor „Elektrische Stromkreise“

3.1. Konzeption, Zielsetzung und Aufbau

Das Schülerlabor soll die entwickelte Applikation in einen Lehrgang zur Elektrizitätslehre der Sekundarstufe I einbetten. Die Inhalte des Lehrgangs orientieren sich am Lehrplan der 8. Jahrgangsstufe für bayerische Gymnasien, da das Schülerlabor mitsamt Begleitforschung am M!ND-Center der Universität Würzburg mit bayerischen Schulklassen durchgeführt wird. Die Begleitforschung hat zum Ziel, den Einsatz der Applikationen zur Modelldarstellung und

Messwertdarstellung auf Lernförderlichkeit zu prüfen und mit der Nutzung klassischer Modelldarstellungsverfahren (Lehrbilder) und Messwerterfassungsmethoden (Multimetern) zu vergleichen.

Das Schülerlabor umfasst insgesamt vier Stationen, welche innerhalb eines Projekttags von teilnehmenden Schulklassen in vorgegebener Reihenfolge bearbeitet werden. Die Stationen adressieren jeweils zentrale Themenkomplexe der schulischen Elektrizitätslehre: „Stromstärke und Spannung“, „Elektrischer Widerstand“, „Parallelschaltung“ und „Reihenschaltung“. Die Stationen beinhalten sowohl Wiederholungs- als auch Erarbeitungsaufgaben. Ziel des Schülerlabors ist die stärkere Verknüpfung der Analogiemodelle mit dem Fachwissen der Lernenden. Dafür werden die Lernenden im Laufe der Stationen immer wieder aufgefordert, Hypothesen auf Grundlage der Modelldarstellungen zu formulieren und Ergebnisse der physikalischen Experimente rückblickend mit den Analogiemodellen in Einklang zu bringen und zu erklären. So werden über das Schülerlabor hinweg Umgang und Einsatz der Analogiemodelle geübt und ganz natürlich auch die Grenzen der Nutzbarkeit derselben erfahren.

Für das am M!ND-Center Würzburg durchgeführte Schülerlabor werden für das Arbeiten an den Stationen ein Netzgerät, der Experimentierkasten E1 der Firma MEKRUPHY, ein AR-fähiges Tablet, ein Begleitheft und unter Umständen eine Messbox E-Lehre von phyphox benötigt. Die Lernenden arbeiten mit dem Begleitheft und werden an den notwendigen Stellen in diesem auf die Durchführung der physikalischen Experimente und auf die Nutzung der digitalen Unterstützungsmaterialien hingewiesen. Im Begleitheft wird fast vollständig auf Bilder verzichtet, alle Darstellungen werden als digitales Unterstützungsmaterial bereitgestellt.

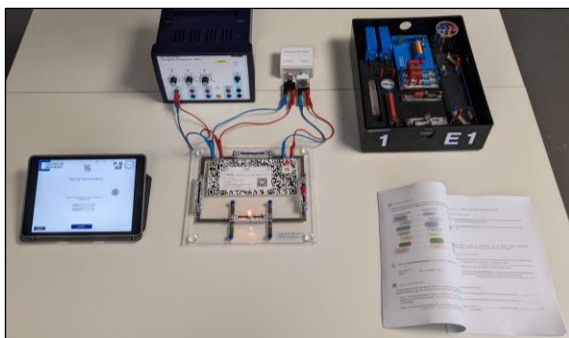


Abb.2: Im Schülerlabor verwendetes Material

3.2. Verwendetes digitales Unterstützungsmaterial

Für das Schülerlabor wurden verschiedene Varianten des digitalen Unterstützungsmaterials erstellt: die AR-Applikation „PUMA : Spannungslabor“ (mit und ohne BLE-Einbindung der Messbox phyphox:e), die gleichnamige Simulation „PUMA : Spannungslabor“ und zwei tet.books „Visualisierungen“ bzw. „Messunterstützung“.

Die AR-App erlaubt die Darstellung ausgewählter Analogiemodelle für die Vermittlung der Elektrizität, namentlich das Stäbchenmodell [17], das daran angelehnte Murmelbahnmodell, das Elektronengasmodell [4] und das Stoßmodell des elektrischen Widerstands (auch Drude-Modell). Alle Modelle werden mittels Tracker-basierter AR auf einen realen Stromkreis aufgeblendet [18]. Die Einbindung der BLE-Box E-Lehre von phyphox [19] erlaubt zusätzlich die Erhebung und Darstellung zweier zentraler Größen des Stromkreises (Spannung des Netzgeräts und Stromstärke im Primärstromkreis). Aus diesen Größen und den bekannten Eigenschaften der Bauteile können weitere Kenndaten berechnet und angezeigt werden, wie z.B. der Spannungsabfall an den verschiedenen Bauteilen bei einer Reihenschaltung oder die Stromstärken in den Zweigen einer Parallelschaltung.

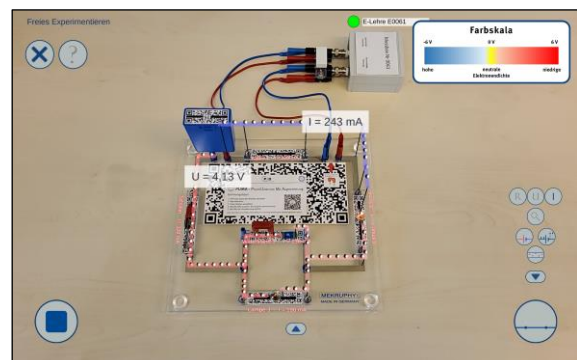


Abb.3: AR-Variante der Applikation (inkl. Messbox)

Die Simulationsvariante der Applikation umfasst dieselben Funktionalitäten in der Darstellung der Modelle und der Anzeige der Messwerte, verzichtet aber auf die Nutzung der BLE-Messbox. Die angezeigten Kenndaten werden direkt aus den bekannten Eigenschaften der Bauteile berechnet. Die Simulationsvariante ist um zusätzliche Einstellungsmöglichkeiten (Schieberegler für die Spannungsänderung des Netzgeräts und die Änderung der Kameraperspektive) erweitert [15].

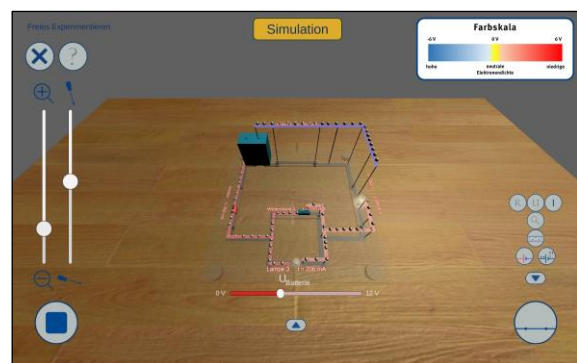


Abb.4: Simulationsvariante der Applikation

Beide Applikationen sind als native iOS- und Android-Apps konzipiert und für Tablets optimiert. In den jeweiligen Appstores ist eine Gesamtversion der Ap-

plikation unter dem Namen „PUMA : Spannungslabor“ mit allen Funktionalitäten der AR- und der Simulations-Variante kostenfrei verfügbar.

Zusätzlich wurde digitales Unterstützungsmaterial erstellt, welches auf der Lernplattform tet.folio [20] zur Verfügung gestellt wurde. Das Unterstützungsmaterial umfasst zwei tet.books namens „Visualisierungen“ und „Messunterstützung“, welches in Bildform mit vereinzelt Texten die Analogiemodelle einführt bzw. den Umgang mit Multimetern einfach und anschaulich erklärt. Die Darstellungen und Form der Unterstützung wurden dabei an klassische Text- und Bild-basierte Darbietungen in Schulbüchern angelehnt.

3.3. Auszug aus dem Schülerlabor

Die erste Station des Schülerlabors widmet sich den Themen Stromstärke und Spannung. Begonnen wird mit einem Experiment zum einfachen Stromkreis, um das für die Lernenden eventuell unbekanntes Experimentiermaterial kennenzulernen. Daran schließt sich ein Theorietext zur Stromstärke an, welchen die Lernenden mithilfe der digitalen Unterstützung mit Darstellungen der sich in einem geschlossenen Stromkreis bewegenden Elektronen in Verbindung bringen sollen. Nach demselben Schema verläuft dann auch die Erarbeitung der Analogiemodelle „Murmelmahmodell“ und „Elektronengasmodell“. Der im Begleitheft abgedruckte Text soll in Verbindung mit den digitalen Darstellungen genutzt werden, um Zuordnungsaufgaben der Analogiekonzepte zu den elektrischen Konzepten zu bearbeiten. Die Station wird mit einer offenen Aufgabe abgeschlossen, im Rahmen derer die Lernenden die Darstellungen der Analogiemodelle für weitere Stromkreise kennenlernen. Das Ziel der Station ist damit die Erarbeitung der Analogiemodelle und das Erlernen der Nutzung der digitalen Unterstützung für die Darstellung derselben.

In der zweiten Station zum elektrischen Widerstand steht im Gegensatz dazu die Nutzung digitaler Unterstützung für die Messwerterfassung im Fokus. Auch diese Station beginnt mit einem kurzen, qualitativen Experiment zur Beziehung von Stromstärke und Spannung in einem gegebenen Stromkreis. Hauptteil der Arbeit in der Station ist dann die Messung und grafische Auswertung zweier Kennlinien: die einer Glühlampe und eines Ohm'schen Widerstands. Ein anschließender Theorietext verknüpft die experimentell erworbenen Kenntnisse mit dem zugrundeliegenden Konzept des elektrischen Widerstands. Die Lernenden berechnen dafür exemplarisch Widerstandswerte und beziehen diese zurück auf den Verlauf der Kennlinien. Die Station wird mit einer offenen Aufgabe zum Stoßmodell des elektrischen Widerstands beschlossen.

In beiden Stationen bieten die offenen Aufgaben am Ende der Stationsarbeit schnellen Lernenden die Möglichkeit, sich intensiver mit der Thematik der Station auseinanderzusetzen. Die Inhalte dieser Aufgaben geht dabei teilweise über den Lehrplan hinaus.

Das gesamte Begleitmaterial zum Schülerlabor „Elektrische Stromkreise“ ist kostenfrei zum Download verfügbar unter go.uniwue.de/puma-s.

4. Die Studie „Digitale Unterstützung für die E-Lehre“

4.1. Forschungsinteresse

Im Schülerlabor wird die Studie „Digitale Unterstützung für die E-Lehre“ durchgeführt. Zielgruppe des Schülerlabors und der Studie sind Gymnasialschüler*innen der 8. Jahrgangsstufe, die den Schulunterricht zur Elektrizitätslehre bereits teilweise oder vollständig absolviert haben. Das Schülerlabor kann innerhalb der kurzen Interventionszeit nicht die komplette Elektrizitätslehre der 8. Jahrgangsstufe vermitteln, kann aber nach abgeschlossenem Schulunterricht zu einer Vernetzung und Vertiefung des Stoffes beitragen. In Rahmen des Schülerlabors wird untersucht, welchen Einfluss die Nutzung der digitalen Unterstützung auf das Lernen der Elektrizitätslehre hat. Entsprechend der eingangs zitierten Theorie des Multimedialen Lernens und der identifizierten Lernbereiche mit Unterstützungspotential sind die zentralen Forschungsfragen folgende:

- Welchen Einfluss hat die digitale Unterstützung für die Modelldarstellung auf das Lernen (in Form von Fachwissenszuwachs und Arbeitsdauer) und die kognitive Belastung der Lernenden?
- Welchen Einfluss hat die digitale Unterstützung für die Messwerterfassung auf das Lernen (in Form von Fachwissenszuwachs und Arbeitsdauer) und die kognitive Belastung der Lernenden?

Zur Untersuchung dieser Fragen wird das Schülerlabor in vier Varianten durchgeführt: eine Kontrollgruppe (KG), welche die tet.books „Visualisierungen“ und „Messunterstützung“ nutzt; Testgruppe 1 (TG1), welche die Simulation zur Modelldarstellung und das tet.book „Messunterstützung“ nutzt; Testgruppe 2 (TG2), welche die AR-App (ohne BLE-Funktionalität) zur Modelldarstellung und das tet.book „Messunterstützung“ nutzt; und Testgruppe 3 (TG3), welche die AR-App (inklusive BLE-Funktionalität) sowohl zur Modelldarstellung als auch zur Messwerterfassung und -darstellung nutzt.

Tab.1: In der Studie untersuchte Gruppen

	Modelldarst. mit Bildern	Modelldarst. mit Simulation	Modelldarst. mit AR
Messung mit Multimeter	Kontroll- gruppe	Testgruppe 1	Testgruppe 2
Messung mit AR			Testgruppe 3

Im Vergleich der Varianten KG, TG1 und TG2 lässt sich so der Einfluss der digitalen Unterstützung der Modelldarstellung untersuchen, während der Vergleich der Gruppen

TG2 und TG3 einen Rückschluss auf den Einfluss der digitalen Unterstützung der Messwerterfassung ermöglicht.

4.2. Erhobene Daten & Testinstrumente

Die für die Studie erhobenen Daten umfassen...

- ...den Lernzuwachs der Schüler*innen durch Prä-/Post-Messung mit dem zweistufigen Fachwissenstest 2T-SEC [5].
- ...die kognitive Belastung der Schüler*innen bei der Bearbeitung der Stationen, erhoben direkt im Anschluss an die einzelnen Stationen mittels der Kurzskaala Naïve Rating Scale [21].
- ...die Technikaffinität der Schüler*innen, gemessen in vier Dimensionen (Glaube an positive Technikfolgen, Glaube an negative Technikfolgen, Technikbegeisterung, Technikkompetenz) mittels des TA-EG [22].
- ...die Fähigkeit zur Veranschaulichung als Komponente des räumlichen Vorstellungsvermögens durch Subtest N3 des KFT 5-12+R [23].
- ...den schulische Leistungsstand der Schüler*innen in Form ihrer letzten Zeugnisnote in Mathematik und Physik.
- ...die Arbeitsdauer der Gruppen an den vier Stationen, erfasst durch die betreuenden studentischen und wissenschaftlichen Hilfskräfte.
- ...Kontextinformationen des bisher absolvierten Schulunterrichts (Schulzweig, bekannte Analogiemodelle, bereits erworbenes Fachwissen, Zeit seit der bzw. bis zur Schulaufgabe, ...), erhoben durch einen Fragebogen für die Lehrkräfte der teilnehmenden Klassen.

Die Daten werden dabei größtenteils begleitend zum Schülerlabor erhoben, lediglich die Prä-Erhebung des Fachwissens und die Erhebung der Technikaffinität finden im Rahmen einer regulären Schulstunde vor dem Besuch des Schülerlabors an den Schulen der teilnehmenden Klassen statt.

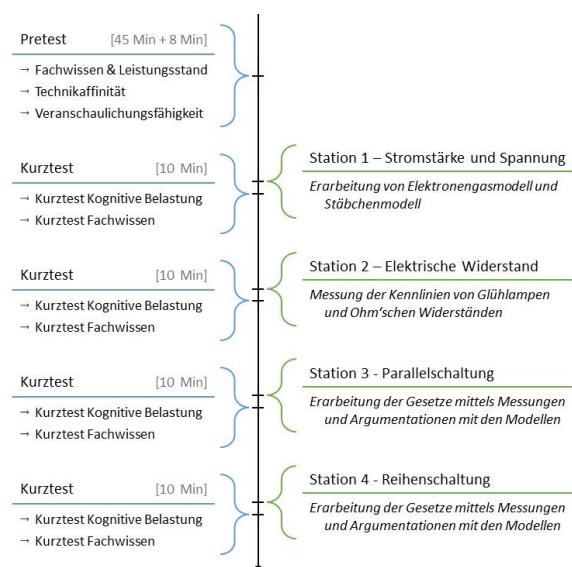


Abb.5: Ablauf der Intervention inklusive Datenerhebung

5. Vorläufige Ergebnisse der Studie

Von Dezember 2022 bis Februar 2023 haben sieben Klassen mit insgesamt 177 Schüler*innen teilgenommen. Von diesen Durchführungen sind 150 Datensätze vollständig und damit für die Auswertung uneingeschränkt nutzbar. Geplant sind weitere Durchführungen im Juni und Juli 2023, um die Stichprobengröße zu erhöhen. Die hier präsentierten Ergebnisse basieren auf den bisherigen Durchführungen, berichtet wird über den Einfluss der Nutzung digitaler Unterstützung auf die Arbeitsdauer an den Stationen des Schülerlabors.

Ein Blick auf die Zeitdaten der ersten Station zeigt die Tendenz einer längeren Einarbeitungszeit für die Nutzung der AR-Applikation (TG2 & TG3) im Vergleich zur Nutzung der Simulation (TG1), vor allem aber im Vergleich der Nutzung der tet.books (KG). Die Arbeitsweise mit Infografiken und Texten zur Erarbeitung der Analogiemodelle scheint die Schüler*innen vor weniger Initialhürden zu stellen als die Erarbeitung mit den interaktiveren Medien Simulation und AR-Applikation.

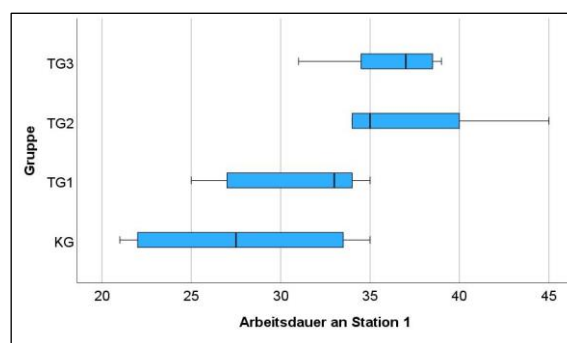


Abb.6: Arbeitsdauer an der ersten Station

In den Zeitdaten zu Station 2 zeigt sich ein anderes Bild. Da sich die Inhalte der Station vor allem um die Erhebung von und Arbeit mit Messdaten konzentrieren, lässt sich hier eine Tendenz des Einflusses der digitalen Unterstützung der Messwerterfassung erkennen. Die Messwerterfassung mit AR (TG3) nimmt unseren bisherigen Erhebungen zufolge weniger Zeit in Anspruch als die Messwerterfassung mittels Multimetern (KG, TG1 & TG2).

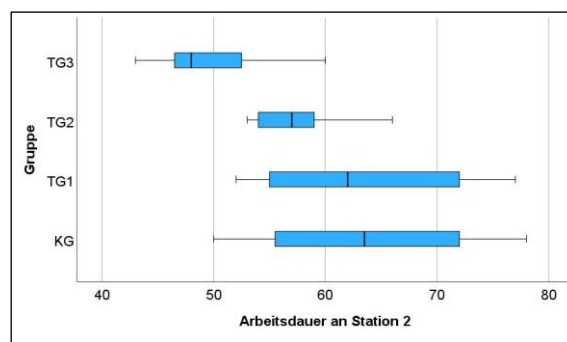


Abb.7: Arbeitsdauer an der zweiten Station

Dieser Einfluss der Messwerterfassung lässt sich auch in der Betrachtung der Gesamtarbeitsdauer von

TG2 und TG3 erkennen. Die beiden Gruppen arbeiten mit demselben Material zur Darstellung der Modelle (AR-Applikation) und unterscheiden sich rein in der Erfassung der Messwerte (mittels Multimetern in TG2 und mittels AR in TG3). Man sieht hier eine deutliche Zeitersparnis: Die Median-Gesamtarbeitsdauer in TG2 beträgt 155 Minuten, während die Median-Gesamtarbeitsdauer in TG3 nur bei 131 Minuten liegt.

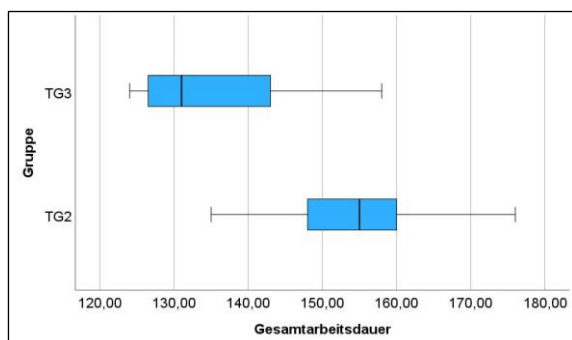


Abb.8: Gesamtarbeitsdauer für TG2 und TG3

6. Ausblick

Die Ergebnisse geben einen ersten Eindruck von möglichen Auswirkungen des Einsatzes digitaler Unterstützung für die Modelldarstellung und Messwertfassung für die Elektrizitätslehre der Sekundarstufe I auf die Arbeitszeit der Schüler*innen. Wenn die geplanten Erhebungen im Juni und Juli abgeschlossen sind, sollen die erhobenen Daten der Tests zum Fachwissen, zur kognitiven Belastung, zur Technikaffinität und zur Veranschaulichungsfähigkeit nach der probabilistischen Testtheorie (auch Item-Response-Theorie, kurz: IRT) rasch-skaliert werden [24][25]. Auf diesen Analysen basierend sollen die bereits geschilderten Gruppenvergleiche KG, TG1 & TG2 zum Einfluss der Modelldarstellung und die Gruppenvergleiche TG2 & TG3 zum Einfluss der Messwertunterstützung erfolgen.

7. Literatur

- [1] Wilhelm, Thomas; Hopf, Martin (2014): Design-Forschung. In (Krüger, Dirk; Parchmann, Ilka; Schecker, Horst (Hrsg.)): Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung, S. 31-42. Springer Verlag, Berlin.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 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).
- [7] 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.
- [8] Burde, Jan-Philipp; Wilhelm, Thomas (2020): Teaching electric circuits with a focus on potential differences. In: Phys. Rev. Phys. Educ. Res. **16**, 020153.
- [9] Mayer, Richard (2014): Cognitive Theory of Multimedia Learning. In (Mayer, Richard (Hrsg.)): The Cambridge Handbook of Multimedia Learning, Second Edition, S. 43-71. Cambridge University Press, New York.
- [10] Mayer, Richard; Fiorella, Logan (2014): Principles for Reducing Extraneous Processing in Multimedia Learning: Coherence, Signaling, Redundancy, Spatial Contiguity, and Temporal Contiguity Principles. In (Mayer, Richard (Hrsg.)): The Cambridge Handbook of Multimedia Learning, Second Edition, S. 279-315. Cambridge University Press, New York.
- [11] Mayer, Richard; Moreno, Roxana (2010): Techniques That Reduce Extraneous Cognitive Load and Manage Intrinsic Cognitive Load during Multimedia Learning. In (Plass, Jan; Moreno, Roxana; Brünken, Roland (Hrsg.)): Cognitive Load Theory, S. 131-152. Cambridge University Press, New York.
- [12] Kapp, Sebastian; Lauer, Frederik; Beil, Fabian; Rheinländer, Carl; Wehn, Nobert; Kuhn, Jochen (2021): Smart Sensors for Augmented Electrical Experiments. In: Sensors, **22**(1), 256.
- [13] Stolzenberger, Christoph; Frank, Florian; Trefzger, Thomas; Wilhelm, Thomas; Kuhn, Jochen

- (2023): Spannung mit PUMA : Spannungslabor.
In: Phys. Unserer Zeit, Vol. 54, No. 1, S. 44-45.
- [14] Frank, Florian; Stolzenberger, Christoph; Trefzger, Thomas (2022): PUMA : Spannungslabor – Eine AR-Applikation für den Einsatz in der E-Lehre der Sek I.
In: PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung, 1 (2022).
- [15] Frank, Florian; Stolzenberger, Christoph; Trefzger, Thomas (2023): PUMA : Spannungslabor – Untersuchung der Lernwirksamkeit von AR.
In (Habig, Sebastian (Hrsg.)): Lehren, Lernen und Forschen in einer digital geprägten Welt – Tagungsband der GDGP-Jahrestagung 2022. S. 91 – 94.
- [16] 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.
- [17] Koller, D. (2008): Entwurf und Erprobung eines Unterrichtskonzepts zur Einführung in die Elektrizitätslehre.
Zulassungsarbeit am Lehrstuhl Didaktik der Physik der LMU München.
- [18] 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.
- [19] Kirwald, Dustin; Dorsel, Dominik; Staacks, Sebastian; Noritzsch, Jens; Stampfer, Christoph; Heinke, Heidrun (2022): phyphox: Neue und verbesserte Experimente mit Hilfe externer Sensoren.
Poster im Rahmen der GDGP-Jahrestagung 2022.
- [20] Haase, Sebastian; Kirstein, Jürgen; Nordmeier, Volkhard (2016): The Technology Enhanced Textbook: An HTML5-based Online System for Authors, Teachers and Learners.
In (Thoms, Lars-Jochen; Girwidz, Raimund (Hrsg.)): Selected Papers from the 20th International Conference on Multimedia in Physics Teaching and Learning, S. 95-92. European Physics Society, Mulhouse.
- [21] 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.
- [22] 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.
- [23] Heller, Kurt; Perleth, Christoph (2000): Kognitiver Fähigkeitstest für 4.-12. Klassen, Revision (KFT 4-12+ R). Hogrefe, Göttingen.
- [24] Neumann, Knut (2014): Rasch-Analyse naturwissenschaftsbezogener Leistungstests.
In (Krüger, Dirk; Parchmann, Ilka; Schecker, Horst (Hrsg.)): Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung, S. 31-42. Springer Verlag, Berlin.
- [25] Bond, Trevor; Yan, Zi; Heene, Moritz (2021): Applying the Rasch Model – Fundamental Measurement in the Human Sciences, Fourth Edition. Routledge, New York.

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.

Viana 2 – eine App zur Videoanalyse im Physikunterricht

Volkhard Nordmeier und Dirk Schwarzhans

Freie Universität Berlin, Fachbereich Physik, Arnimallee 14, 14195-Berlin
viana-app@physik.fu-berlin.de

Kurzfassung

Für den naturwissenschaftlichen Unterricht bieten mobile Endgeräte, Computer und digitale Videotechnik eine sehr gute Alternative zu den klassischen Verfahren der Erfassung und Analyse von Bewegungsdaten. Die (computergestützte) Videoanalyse wird daher im Physikunterricht inzwischen vielfach eingesetzt. Dabei wird ein realer Bewegungsvorgang z. B. per Smartphone- oder Tablet-Kamera zunächst aufgezeichnet. Der digitale Videoclip der Bewegung besteht aus einer Reihe von Einzelbildern, über die sich die Bewegung eines Objektes dann verfolgen lässt – manuell ‚per Hand‘ (mit Finger oder Eingabestift) oder auch automatisiert.

In den letzten Jahrzehnten wurden viele Videoanalyzesysteme vorgestellt. Neben den kommerziellen Lösungen existieren weiterhin auch Freewarelösungen wie z. B. ‚Viana‘ (seit ca. 25 Jahren!).

Viana wurde in den letzten Jahren als App für den Einsatz auf mobilen Endgeräten (iPads) stetig weiterentwickelt und bietet auch die Möglichkeit einer automatischen Objekterkennung. Die Entwicklung der Software, Einsatzbeispiele und aktuelle technische Neuerungen werden vorgestellt.

1. Ausgangslage

„Die digitale Videoanalyse bietet die Möglichkeit, Orts- und Zeitkoordinaten von bewegten Körpern aus einer Videoaufnahme zu erfassen, daraus weitere Größen zu berechnen und diese in unterschiedlichen Repräsentationsformen zu visualisieren.“ [1]

Für den naturwissenschaftlichen Unterricht bietet die digitale Videoanalyse eine echte Alternative zu den klassischen Verfahren der sensorgestützten Erfassung und Analyse von Bewegungsdaten. Insbesondere mit Hilfe moderner Endgeräte wie Smartphone oder Tablets können Videos sowohl aufgenommen als auch per App direkt analysiert und die Ergebnisse visualisiert werden.

Die Frage nach dem didaktischen ‚Mehrwert‘ digitaler Medien für das Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften ist seit längerer Zeit einer der Schwerpunkte fachdidaktischer Forschung [2]. Die Ziele eines didaktisch sinnvollen Medieneinsatzes, der die Gestaltung von Lernumgebungen in lebensweltbezogenen Kontexten in den Mittelpunkt rückt, sind vielfältig: Die Schülerinnen und Schüler sollen die Welt mit Hilfe digitaler Medien erkunden und verstehen, sie lernen neuartige experimentelle Zugänge zu naturwissenschaftlich-technischen Phänomenen kennen, die zum Teil weit über die Grenzen des klassischen Unterrichts hinausgehen und erleben eine neue Qualität von Anschauung (vgl. z. B. [3] - [4]).

Insbesondere der Einsatz digitaler Videoanalyse bringt aber auch direkte didaktische Vorteile für den Physikunterricht, wie bspw. eine Erhöhung der effektiven Lernzeit und der Lernintensität oder durch

Messungen von Bewegungen im Alltag ein kontextbasiertes Lernen [1].

Der Umgang mit digitalen Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht selbst hat einen besonderen Stellenwert: Die Aufzeichnung, Bearbeitung und Analyse von digitalen Ton- und Bilddaten etwa erweitert den didaktisch-methodischen Spielraum des Experimentierens erheblich. Sonst nur im Fachraum durchführbare Experimente zur Analyse von Bewegungsvorgängen lassen sich nun in Alltagssituationen untersuchen.

Naturwissenschaftlicher Unterricht sollte Situationen und reale Probleme aus der Lebenswelt aufgreifen und reichhaltige Lernumgebungen bieten, in denen Schülerinnen und Schüler Wissen möglichst aktiv und konstruktiv erwerben können. Im naturwissenschaftlichen Unterricht nehmen Experimente hierbei eine Schlüsselrolle ein (s. z.B. [1], [5]).

2. Digitale Videoanalyse

Seit etwa 25 Jahren hat sich dazu die computergestützte Videoanalyse etabliert (vgl. z. B. [1], [6]-[11]): Ein realer Bewegungsvorgang wird per Videokamera aufgezeichnet. An der Vorgehensweise bei der Analyse hat sich dabei grundsätzlich nichts verändert: Der digitale Videoclip der Bewegung besteht aus einer Reihe von Einzelbildern (Frames), über die sich die Bewegung eines Objektes Bild für Bild verfolgen lässt.

In der (historisch) einfachsten Variante wird auf einem Bildschirm eine Transparentfolie befestigt, dann wird das Video Bild für Bild dargestellt und die jeweilige Position eines Objektes per Folienschreiber markiert. Das geht auch ganz ohne Computer direkt

an einem Bildschirm. So lassen sich manuell Weg-Zeit-Diagramme erstellen und Messwertepaare zur Weiterverarbeitung erfassen.

In der computergestützten Variante dient die Maus, ein Eingabestift oder einfach auch der Finger am Tablet als eigentliches Messwerterfassungssystem: Ein Frame wird angezeigt, dann auf die Position eines markanten Punktes oder Gebiets des ‚verfolgten‘ Objektes geklickt und dieser Vorgang sukzessive für alle Frames durchgeführt. Als Resultat ergibt sich eine Reihe von Koordinatenpaaren, die die Bewegung des betrachteten Objektes in einem zweidimensionalen Ortsraum beschreiben (vgl. Abb. 1).

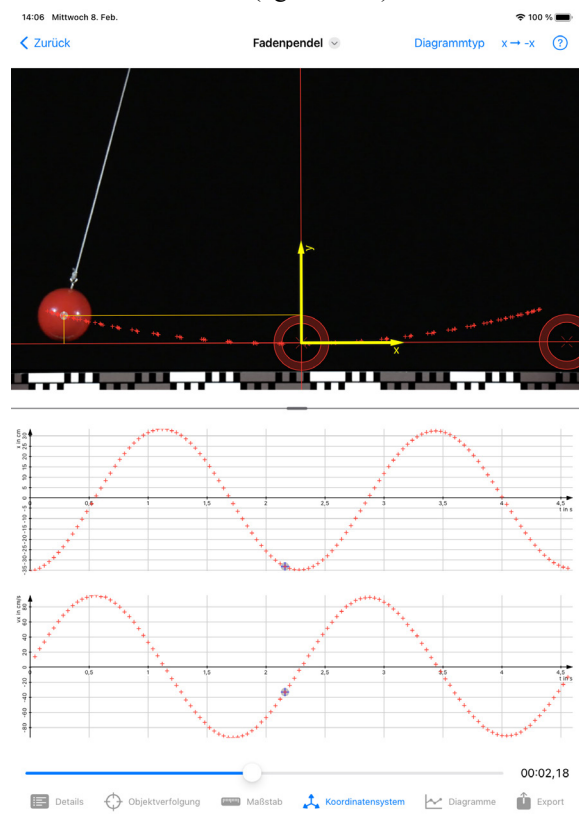


Abb. 1: Screenshots einer Videoanalyse der Bewegung eines Pendels mit Hilfe der App Viana 2.

Bei konstanter Bildfrequenz (fps: frames per second) eines Videos kann nun jedem Frame eine Zeitkoordinate zugeordnet werden. Damit lassen sich die Messwerte quantitativ weiterverarbeiten, d. h. aus Ortsraumkoordinaten können z. B. Geschwindigkeiten oder Beschleunigungen errechnet werden.

Die Messwertaufnahme per digitaler Videoanalyse kann aber auch automatisch passieren, z. B. per Objekterkennung.

Die digitale Videoanalyse bietet Möglichkeiten für Lernaktivitäten auf allen Ebenen: Die Schülerinnen und Schüler können Beispiele von dynamischen Vorgängen aus ihrer Alltagswelt oder aus Experimenten selbst wählen, filmen und auswerten. Im Physikunterricht – oder auch im ‚Hausexperiment‘ – können so reale Phänomene anhand digitaler Videosequenzen unter physikalischer Perspektive interpretiert werden.

Beispielsweise lassen sich Bewegungsabläufe aus dem Bereich des Sports, des Straßenverkehrs, der Raum- und Luftfahrt usw. betrachten, deren Realisation im reinen Laborexperiment oftmals als lebensfern und uninteressant empfunden wird. (In [1] finden sich zahlreiche Anregungen, aber auch in [3]-[4], [6]-[11]).

Die Auswahl an Sequenzen aus dem Internet, aber auch aus Lehr-, Video- oder Fernsehfilmen, die hinsichtlich ihres physikalischen Gehaltes analysiert werden können, ist sehr groß: Filme der NASA (z. B. Raketenstarts, ‚Moonjump‘), Sportsendungen (z. B. Fußball, Basketball, Bungee-Jumping), Szenen aus dem Straßenverkehr oder aus Crash-Tests. Die dabei auftretenden physikalischen Fragestellungen sind äußerst vielschichtig.

Neben diesen fächerübergreifenden oder -integrierenden Aspekten kann die Videoanalyse zudem zur Erweiterung der Medienkompetenz beitragen: Neben dem Erlernen oder Einüben des Umgangs mit digitalen Medien können Computervideos per Smartphone oder Tablet selbst erstellt oder physikalische Experimente dokumentiert und ausgewertet werden.

In den letzten 25 Jahren wurden zahlreiche softwarebasierte Videoanalyzesysteme vorgestellt (eine Übersicht findet sich z. B. in [1]). Während bei den ersten Programmen die Position der bewegten Objekte für jedes Bild nur ‚per Hand‘ ermittelt werden konnte, wurde ab Mitte in der 1990iger Jahre zunehmend auch die Möglichkeit einer automatischen Positionserkennung implementiert.

Neben den kommerziellen Programmen existieren seit vielen Jahren aber auch Freewarelösungen wie bspw. ‚Viana‘ ([12]-[13]).

3. Viana als App

Aufgrund der rasanten Entwicklung der Computertechnik lassen sich viele Anwendungen heute mit mobilen Endgeräten (wie Smartphone oder Tablet) nutzen – so auch die digitale Videoanalyse. Insbesondere können nun die Aufnahme, die Analyse der Videos und auch die Visualisierung und Weiterverarbeitung der Daten (bspw. zur Modellierung) mit einem Gerät durchgeführt werden.

Viana wurde daher auch als App für den Einsatz auf mobilen Endgeräten (derzeit nur iPads; s. Abb. 2) entwickelt und bietet neben der manuellen Erfassung auch die Möglichkeit einer automatischen Objekterkennung bzw. -verfolgung.

In der aktuellen Version Viana 2 für iPadOS sind die folgenden Features enthalten:

- manuelle und automatische Erfassung von Objekten in Videos
- direkte Aufnahme von Videos mit der integrierten Kamera des iPads (bis zu 240 fps, abhängig vom verwendeten Gerätemodell)
- Bibliothek mit Beispielveideos physikalischer Vorgänge

- Analyse aller auf dem iPad abspielbarer Videos möglich
- automatische Erstellung von Graphen zur Auswertung
- anpassbare Lage des Koordinatensystems und des Maßstabes
- Export in CSV-Datei, die z.B. mit Excel weiterverarbeitet werden kann
- Export an andere Software speziell für den Schuleinsatz wie z.B. GeoGebra

An neuen Funktionen bietet Viana 2:

- In der Ansicht „Diagramme“ lassen sich nun bis zu drei Diagrammtypen gleichzeitig anzeigen und somit vergleichen.
- Neue Diagrammtypen für Phasendiagramme (x, v_x) und (y, v_y) .
- In der Ansicht „Koordinatensystem“ lassen sich nun während der Festlegung des Koordinatensystems ausgewählte Diagramme gleichzeitig daneben anzeigen (Abb. 3).
Somit kann in Echtzeit sofort erkannt werden, wie sich die Wahl der Koordinatenachsen auf die Ergebnisse auswirkt. Die Aufteilung der zwei Bildschirmbereiche lässt sich außerdem einstellen. (Bedienhinweis: Je nach Seitenverhältnis des Videos und Anzahl der ausgewählten Diagramme kann ggf. durch Drehen des iPads ins Hochformat der verfügbare Platz dabei optimal ausgenutzt werden.)
- Beim „Blättern“ im Video in der Ansicht „Koordinatensystem“ werden in Echtzeit die zum aktuellen Videobild gehörenden Punkte im Diagramm und die Projektion auf die gewählten Achsen im Videobild angezeigt.
- Einzelne Projekte können als „viana-Archiv“ exportiert, importiert und damit archiviert oder zwischen Geräten ausgetauscht werden und somit als Ausgangspunkt für die Arbeiten der Schülerinnen und Schüler dienen.

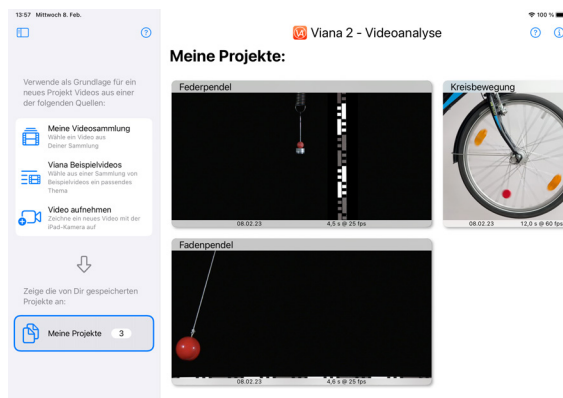


Abb. 2: Screenshot Bedienoberfläche der App Viana 2.

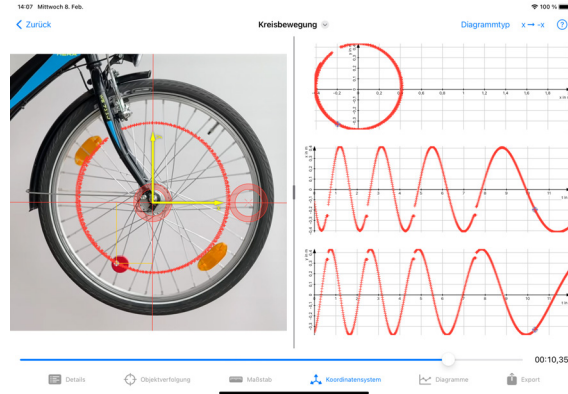


Abb. 3: Screenshots der App Viana 2: Als neue Funktion lassen sich in der Ansicht „Koordinatensystem“ während der Festlegung des Koordinatensystems ausgewählte Diagramme gleichzeitig daneben anzeigen.

4. Download der App „Viana 2 – Videoanalyse“

Die App „Viana 2 – Videoanalyse“ wird stetig weiterentwickelt und kann frei vom App Store (iOS) geladen werden:

<https://apps.apple.com/de/app/viana-2/id1554845327>

5. Literatur

- [1] Gößling, A., Becker, S. Kuhn, J. & Wilhelm, T. (2023): Bewegungen analysieren mittels digitaler Videoanalyse. In: T. Wilhelm (Hrsg.): Digital Physik unterrichten. Grundlagen, Impulse und Perspektiven. Klett-Verlag, S. 40-70.
- [2] Herzig, B. (2014): Wie wirksam sind digitale Medien im Unterricht? Bertelsmann Stiftung: Gütersloh. Url: http://www.bertelsmann-stiftung.de/fileadmin/files/BSSt/Publikationen/GrauePublikationen/Studie_IB_Wirksamkeit_digitale_Medien_im_Unterricht_2014.pdf (05/2023)
- [3] Kuhn, J. (2015): Materialien & Methoden: Experimentieren mit Smartphones und Tablets. (Themenheft) Naturwissenschaften im Unterricht (NiU), 26/145.
- [4] Wilhelm, T. & Bresges, A. (2014): Tablets im Physikunterricht. (Themenheft) Praxis der Naturwissenschaften Physik (PdN), 5/63.
- [5] Neuhaus, W.; Kirstein, J. & Nordmeier, V. (2013): Technology Enhanced Textbook Provoking active ways of Learning. In: I. Buchem et al. (Eds.): Learning and Diversity in the Cities of the Future. The PLE Conference 2013. Proceedings: Berlin, Melbourne. S. 323-335.
- [6] Dziarstek, C. & Hilscher, H. (1998): Bewegungsabläufe auf Video festgehalten und per Computer analysiert. In: Physik in der Schule, 1/36, 25-30.
- [7] Nordmeier, V. (2002): Videoanalyse von Bewegungen mit dem Computer. In: Unterricht Physik, 13/69, 27-30.

- [8] Wilhelm, T. (2009): Möglichkeiten der Videoanalyse. Habilitationsschrift, Universität Würzburg (unveröffentlicht).
- [9] Klein, P., Gröber, S., Kuhn, J. Fouckhardt, H., von Freymann, G., Oesterschulze, E., Widera, A. Fleischhauer, A. & Müller, A. (2015). physics.move - Videoanalyse-Aufgaben in der Experimentalphysik 1. In: Physik und Didaktik in Schule und Hochschule (PhyDid A) 14 (1).
Url: <http://www.phydid.de/index.php/phydid/article/view/571> (05/2023)
- [10] Becker, S., Klein, P., Gößling, A. & Kuhn, J. (2019): „Förderung von Konzeptverständnis und Repräsentationskompetenz durch Tablet-PC-gestützte Videoanalyse“, Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, Jg. 25, S. 1.-24.
- [11] Weber, J. (2022): „Mathematische Modellbildung und Videoanalyse zum Lernen der Newtonschen Dynamik im Vergleich“ (Dissertation), Berlin: Logos Verlag, Bd. 345.
- [12] Viana 2 (2023): Url: <https://www.physik.fu-berlin.de/einrichtungen/ag/ag-nordmeier/forschung/laufende/viana/index.html> (05/2023)
- [13] Viana.NET (2022). Url: <http://www.viananet.de> (05/2023)

Virtual-Reality-Experimente: Neueste Entwicklungen - Atomphysik

Johannes F. Lhotzky*, William Lindlahr[†], Florian Bennert*, Klaus Wendt*

*Institut für Physik, Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Staudingerweg 7, 55128 Mainz,

[†]Fachhochschule Südwestfalen, Medienpädagogik/Medientechnik

lhotzky@uni-mainz.de

Kurzfassung

Virtual-Reality-Experimente (VRE) stellen realistische 3D-Simulationen naturwissenschaftlicher Versuche dar. Innerhalb einer realitätsnah modellierten und damit authentischen digitalen Laborumgebung kann mit den Experimenten und den zur Verfügung stehenden Geräten frei und selbstgesteuert experimentiert werden. Dabei werden diejenigen Versuche umgesetzt, deren Beschaffung für die Schule nicht realisierbar ist oder von denen zu hohe Gefahrenpotentiale bei Schülerexperimenten ausgehen. VRE ermöglichen durch ihre digitale Verfügbarkeit neue Partizipationsmöglichkeiten auf Seiten der Schüler:innen, die sonst nicht oder nur sehr erschwert realisierbar sind. Vorge stellt werden die neu entwickelten Experimente der Braunschen Röhre zur Untersuchung bewegter Ladungen in elektrischen Feldern sowie das VRE zum Franck-Hertz-Experiment zur Untersuchung der Energiequantelung als entscheidendem Aspekt der Quantenmechanik. Die Experimente stellen wesentliche Bausteine der Atom- und Quantenphysik dar und bieten essenzielle Lerngelegenheiten in diesem Themengebiet. Als Ausblick wird der Lernbegleiter „Atomi“ konzeptionell eingeführt und vorgestellt.

1. Einführung

Der Physikunterricht ist geprägt durch einen forschend-entwickelnden Zugang mit vielen Experimenten und die intensive Beschäftigung mit physikalischen Phänomenen und Forschungsgegenständen. Dennoch gibt es Versuche, die aus verschiedenen Gründen nur schwer oder gar nicht in den Unterricht integriert werden können. Besondere Gefährdungspotentiale, die z.B. von radioaktiven Stoffen, Lasern oder Hochspannung ausgehen, aber auch Kosten oder Experimentieraufwand sind oft die Ursache für das Ausbleiben von Praxiselementen und eigenständigen Experimenten im Unterricht. Eine Lösung, um dennoch auch in solchen Bereichen praktische Erfahrungen im Unterricht sammeln zu können, sind die an der Johannes Gutenberg-Universität entwickelten Virtual-Reality-Experimente (VRE). Diese simulieren reale Physik in einer digitalen, aber authentisch gestalteten Laborumgebung. Mit den VRE können Schulversuche mit den dazugehörigen Geräten und Apparaturen durchgeführt und gesteuert werden. Die Funktionalität der Software umfasst unter anderem das Einstellen von Spannungen und Strömen, das Variieren von Messbereichen an Multimetern, die Verkabelung von Schaltkreisen oder das Bedienen von Timern und Zählern sowie das Interagieren mit teils radioaktiven Präparaten. Ganz wie im realen Experiment ist dazu das Navigieren im Raum und das Fehlermachen beim Experimentieren wichtiger Bestandteil der Aktivität. Durch die plattformunabhängige Kompatibilität der Software können die virtuellen Experimente neben Smartphones, Tablets und Com-

putern auch auf interaktiven Displays oder Whiteboards durchgeführt werden. Im Folgenden werden konkrete die neu Entwickelten Umsetzungen der Braunschen Röhre und des Franck-Hertz-Experiment präsentiert und neue Entwicklungen im Bereich geführten Experimentierens durch den digitalen Assistenten „Atomi“ vorgestellt (Lindlahr 2014; Lindlahr & Wendt 2016; Lindlahr 2022; Lhotzky 2022).

2. Braunsche Röhre

Die Braunsche Röhre, auch Kathodenstrahlröhre genannt, spielte eine zentrale Rolle in der Geschichte der Elektronik und Physik und war eines der ersten elektronischen Anzeigergeräte. Benannt wurde sie nach ihrem Erfinder, dem deutschen Physiker Ferdinand Braun. Mit dem Strahl schneller Elektronen in dieser Röhre können verschiedene physikalische Prinzipien nicht nur untersucht, sondern auch für den unterrichtlichen Kontext veranschaulicht werden.

Der Versuchsaufbau demonstriert die zentralen Eigenschaften von Elektronen: Die negativ geladenen Teilchen werden durch thermische Emission aus einem Kathodenmaterial ausgelöst und können durch ein elektrisches Feld beschleunigt werden. Dabei kann der Einfluss von elektrischen Feldern auf Ladungen, in unserem Fall bewegte Elektronen, gezeigt werden. In einer späteren Ausbaustufe ist auch die Implementation eines magnetischen Feldes vorgesehen, damit die vollständige Breite der Elektrodynamik dargestellt werden kann. Die Bewegung von geladenen Teilchen in elektrischen (und magnetischen) Feldern wird durch die Lorentz-Kraft beschrieben. Diese lässt sich aus dem Experiment oder theoretisch

aus den Maxwell-Gleichungen ableiten. Die Entwicklung der Braunschen Röhre als graphisches Anzeigegerät für Wechselspannungen, z.B. im Bereich der Ton- oder Hochfrequenztechnik, stellt einen zentralen Fortschritt für die Entwicklung der Elektronik als Teilgebiet der Physik dar (Gente 1954). Aus diesem konnte sich der Röhrenfernseher in schwarz weiß und später in Farbe entwickelt, der über Jahrzehnte in allen Wohnzimmern weltweit vertreten war. Erst in den letzten zwei Jahrzehnten erfolgte die Ablösung durch die Halbleitertechnologie in Form von LED-Flachbildschirmen.

Trotz der mittlerweile antiquiert wirkenden Technologie hat die Braunsche Röhre auch heute noch einen hohen didaktischen Wert für den Physikunterricht. Der Versuchsaufbau bietet eine intuitive und visuelle Methode, um das Verhalten von geladenen Teilchen in externen Feldern zu untersuchen, zu veranschaulichen und die einfache mathematische Beschreibung zu verstehen. Die grundlegenden Prinzipien, die sie demonstriert, werden auch heute noch in vielen modernen Geräten, etwa bei Teilchenbeschleunigung, Röntgenröhren und Elektronenmikroskopie, eingesetzt. Darüber hinaus bietet sie einen faszinierenden historischen Zugang zur Entwicklung der Elektronik von der Vakuumröhre zur Halbleitertechnologie. Der historische Aspekt ermöglicht es den Schülerinnen und Schülern, den technologischen Fortschritt im zeitlichen Querschnitt zu betrachten und den Mehrwert heutiger Technologien zu schätzen. Auch wenn die Braunsche Röhre selbst keine allzu große kommerzielle Verwendung mehr findet, sind.

Durch die Verwendung des VREs zur Braunschen Röhre im Unterricht können Schülerinnen und Schüler grundlegende physikalische Konzepte im Experiment erfahren (s. Abb. 1).

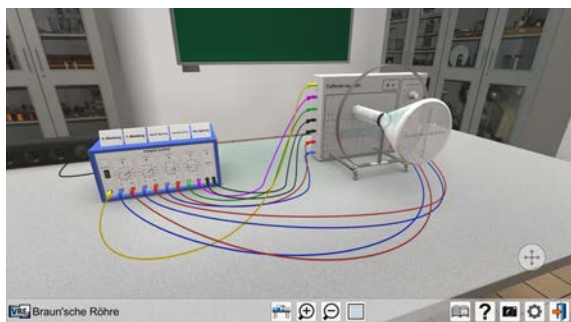


Abb.1: Der Aufbau zum VRE Braunsche Röhre bestehend aus Betriebsgerät mit Röhre und dem Netzteil

2.1. Probleme der Verwendung des Experiments im Unterricht

Die Verwendung einer realen Braunschen Röhre im Unterricht bringt verschiedene Herausforderungen und Aspekte mit sich, die berücksichtigt werden müssen. An erster Stelle stehen Sicherheitsfragen, da die Röhre unter hohen Spannungen und Temperaturen betrieben wird. Um Gefährdungen oder Verletzungen

zu vermeiden, sind Sicherheitsvorkehrungen und ein sorgfältiger Umgang mit der Ausrüstung erforderlich. Da das Experiment mit Spannungen von deutlich über 100V arbeitet, ist es für Schülerinnen und Schüler zu gefährlich und daher nicht als Schülerversuch geeignet bzw. zugelassen.

Die Vorbereitung kann auch für die Lehrperson aufwändig sein, z.B. wenn elektrische oder magnetische Streufelder vorliegen. Um die gewünschten Zusammenhänge der Ablenkspannungen quantitativ zu zeigen, müssen die herrschenden Felder fein abgestimmt werden, damit etwa die Nullposition vom Elektronenstrahl sauber getroffen wird.

Die Sichtbarkeit des Elektronenstrahls kann ein weiteres Problem darstellen, etwa wenn die vorhandene Beleuchtung im Raum nicht gut angepasst ist. Schließlich müssen auch die Kosten berücksichtigt werden. Die Lebensdauer einer Braunschen Röhre ist wie bei allen Vakuumröhren begrenzt. Sie muss ggf. ausgetauscht werden. Was zusätzliche Kosten verursacht. Die Anschaffung und Vorhaltung der notwendigen Ausrüstung an Netzgeräten kann teuer sein. Dies kann dazu führen, dass Schulen, die nur über begrenzte finanzielle Mittel verfügen, eine Anschaffung des Versuchs nicht in Erwägung ziehen und somit keine experimentelle Verankerung der Thematik vornehmen können.

Diesen Nachteilen des Realexperiments kann durch die Umsetzung des VRE im virtuellen Raum begegnet werden und zudem Aspekte der erhöhten Partizipationsfähigkeit und Teilhabe adressiert werden, wodurch ein echter Mehrwert für den Unterricht entstehen kann, auch neben dem Realexperiment.

3. Franck-Hertz-Experiment

Das Franck-Hertz-Experiment ist ein grundlegendes Experiment der Atomphysik, das die diskreten Energieniveaus der Elektronen in einem Atom eindrucksvoll als Messgraph oder Leuchterscheinung veranschaulicht. Der Versuch feierte 2014 sein hundertjähriges Jubiläum und wurde erstmals von James Franck und Gustav Hertz durchgeführt, die dafür 1925 den Nobelpreis für Physik erhielten (Robson et al. 2014).

Das bahnbrechende Experiment behandelt mehrere physikalische Aspekte. Es zeigt visuell die Quantelung der Energieniveaus in Atomen auf als grundlegendes Element der Quantenphysik (Niedderer 1992). Das Experiment nutzt dazu aus, dass neben elastischen Stößen, bei denen keine Energie von den Elektronen an die Atome übertragen wird, auch inelastische Stöße auftreten, bei denen die Elektronen Energie an die Atome abgeben. Dies führt zu einem diskreten Abfall der kinetischen Energie der Elektronen. Ferner liefert das Franck-Hertz-Experiment eine experimentelle Bestätigung der Existenz und der energetischen Lage der diskreten Energieniveaus eines Atoms, wie es von dem Bohrschen Atommodell vorhergesagt wird. Damit hat das Experiment einen Bezug zur optischen Atomspektroskopie, da die

Übergänge zwischen den Energieniveaus charakteristischen Spektrallinien entsprechen. Diese werden im Experiment sichtbar.

Der didaktische Nutzen des Franck-Hertz-Experiments ist immens, insbesondere durch seine Fähigkeit, das eher abstrakte Konzept der Quantenphysik in einem experimentellen Kontext zu veranschaulichen. Es ermöglicht den Lernenden, einen zentralen Aspekt der Quantenphysik, nämlich das Bohrsche Atommodell und das Konzept diskreter Energieniveaus, im experimentellen Kontext zu erfahren. Es ist ein Grundstein, auf dem die Lehrperson die Quantenmechanik als viel umfassendere Theorie mit ihren weiteren Zusammenhängen und Phänomenen aufbauen kann. Gleichzeitig vermittelt das Experiment einen Einblick in historische Methoden der experimentellen Physik an Elektronenröhren, einschließlich der Interpretation unerwarteter Daten. Das VRE (s. Abb. 2) bietet hierzu eine interaktive Umgebung, in der die Schülerinnen und Schüler anspruchsvoll, authentisch und sicher experimentieren können.

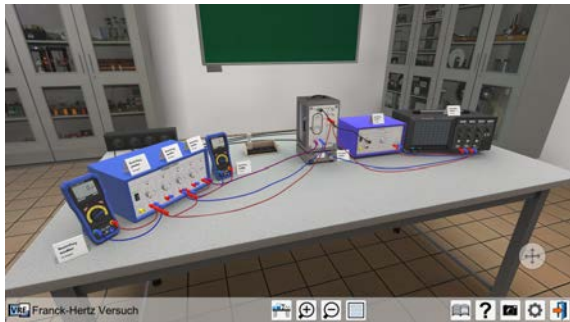


Abb.2: Der Aufbau zum VRE Franck-Hertz

3.1. Probleme der Verwendung des Experiments im Unterricht

Die Verwendung einer realen Franck-Hertz-Röhre als Schülerexperiment scheidet aufgrund der Gefährdung im Umgang mit der Vakuumröhre und der notwendigen Hochspannung aus, es kann i.d.R. ausschließlich als Demonstrationsexperiment eingesetzt werden. Zudem stellt die ordnungsgemäße Verkabelung eine Herausforderung dar und kann im Realexperiment leicht zur Zerstörung von Netzgeräten oder der Röhre selbst führen. Diese Aspekte führen für Schulen oder Bildungseinrichtungen mit begrenztem Budget meist zu einer Entscheidung gegen eine Beschaffung. Die Umsetzung des VRE im virtuellen Raum kann hier nutzbringend eingesetzt werden, wobei wiederum die Aspekte der Teilhabe und Partizipationsfähigkeit als Schülerexperiment im Vordergrund steht.

4. Bedienungshilfen

In das VRE zum Franck-Hertz-Experiment und zur Braunschen Röhre wurden aus didaktischen Gesichtspunkten einige Neuerungen eingearbeitet: So kann zum optimalen Verständnis und zur Strukturierung Vorbereitungs- und Planungsschritte direkt im VRE vorgenommen werden. Dazu, ist für die individuellen Stromkreise und Kanäle der Netzgeräte eine

Beschriftung vorgesehen, die von den Experimentator:innen selbstständig vorgenommen werden muss, bevor das VRE in Betrieb genommen werden kann. Dies macht den Gesamtaufbau und die Verkabelung deutlich übersichtlicher und verständlicher (s. Abb. 3).

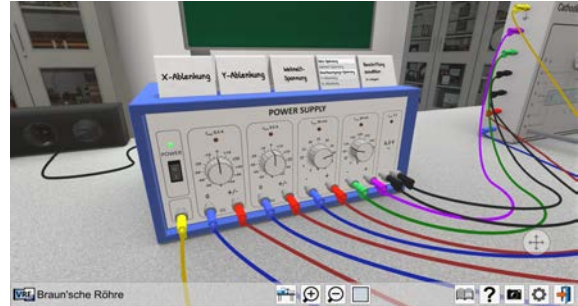


Abb.3: Kärtchen zur Strukturierung in der VRE Anwendung am Beispiel der Braunschen Röhre

Dabei gibt es keine vorgegebene Lösung der Beschriftung, sondern es können wie in der Realität unterschiedliche Benennungen zum Ziel führen, ebenso sind Fehler möglich, die zu Funktionslosigkeit oder Ausfall von Sicherungen führen. Beispielsweise kann die gewünschte Spannung nicht erreicht werden, wenn die Beschleunigungsspannung an einem der ersten Ausgänge angeschlossen wird, wodurch kein Elektronenstrahl entstehen kann.

5. Bedeutung von Schülerexperimenten

Die Umsetzung des Experiments zur Braunschen Röhre und das Franck-Hertz-Experiment als digitale Schülerexperimente haben einige unterrichtspraktische Vorteile, die folgend dargelegt werden.

Dank der digitalen Umsetzung der Experimente ist die Sicherheit der Lernenden jederzeit gewährleistet. Ein eigenständiges und selbstorganisiertes Lernen kann demnach ohne Sicherheitsbedenken auch ohne Aufsicht durchgeführt werden. Die Experimente können auf jedem digitalen Endgerät, Computer oder interaktiven Whiteboard ausgeführt werden und benötigen keine besonderen Ressourcen, speziell da die VRE plattformübergreifend entwickelt wurden. Dadurch ermöglichen sie hohe Zugänglichkeit und Flexibilität im Einsatz, z.B. im Lernkontext, Wissensüberprüfung oder als Hausaufgabe. Dabei geben sie den Schülerinnen und Schülern die Freiheit, in ihrem eigenen Tempo selbstständig und ortsunabhängig zu lernen. Die Möglichkeit der Sicherung der einzelnen Versuchsschritte oder der Arbeitskontrolle über Screenshots oder -recording stellt weitere praktische Aspekte für die Experimentier- und Auswertungspraxis zur Verfügung.

Trotz dieser deutlichen Vorzüge sollen VRE immer nur als Erweiterung und nicht als Ersatz von realen Experimenten dienen, da sie dem mentalen und haptischen Erleben einer „echten“ Experimentierumgebung natürlich nicht gleichzusetzen sind. Wenn auch durch den intensiven Einsatz digitaler Experimente neue Lerngelegenheiten und Lernziele entstehen, so

verlieren diese aber gleichermaßen auch schnell an Charme, Authentizität und Durchführungspraxis und verspielen damit den Faktor der Motivation.

6. Atomi als digitale Unterstützung

Aufgrund der inzwischen breiten Verfügbarkeit von Virtual-Reality-Experimenten, die teilweise über den lehrergesteuerten Einsatz hinausgeht oder ohne diesen auskommen soll, wurde angeregt, die Nutzerinnen und Nutzer in der Anwendung anzuleiten und Hilfestellungen zu geben. Zu diesem Zweck wird zukünftig der Ansprechpartner „Atomi“ zur Verfügung stehen, um optional durch die Anwendung zu führen und individuelle Hilfestellungen zu geben (s. Abb. 4). Er agiert anfangs in einem Einführungstutorial, das die grundlegenden Interaktionsmöglichkeiten innerhalb der VRE-Anwendung aufgreift und diese dem Nutzer bzw. der Nutzerin spielerisch näherbringt. In



Abb.4: Digitaler Assistent Atomi in Aktion

diesem geschützten Rahmen der Einführung können die Benutzbarkeit und die Stärken der Software erkundet werden und es kann so ein effizientes, frustrationsfreies Experimentieren in den eigentlichen Experimenten vorbereitet werden.

7. Verfügbarkeit

Neben den hier dargestellten Neuentwicklungen findet sich in Lindlahr et al. 2023 ein Überblick über weitere Experimente. Die VRE App 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.

8. Förderungen

Das Projekt wird gefördert durch den Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft e. V. im Rahmen der Ausschreibung „Wirkung hoch 100“. Die Entwicklung der Versuche zum Abstandsgesetz radioaktiver Strahlung, Franck–Hertz-Versuch und Braunsche Röhre werden gefördert durch das Ministerium für Bildung Rheinland-Pfalz. Die Entwicklung des Versuchs zum Hall-Effekt zusammen mit dem Rastertunnelmikroskop wird gefördert über den SFB/TRR 173 SPIN+X.

9. Literatur

- Gente, H. (1954). *Die Braunsche Röhre*. Vieweg.
- Lhotzky, J. F., Lindlahr, W., & Wendt, K. (2022). VRE Physik im digitalen Labor. *PhyDid B-Didaktik der Physik-Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*.
- 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). Virtual-Reality-Experimente. Entwicklung und Evaluation eines Konzepts für den forschend-entwickelnden Physikunterricht mit digitalen Medien. Logos Verlag, Bd. 349
- Lindlahr, W., Lhotzky, J., Bennert, F. & Wendt, K. (2023). Virtual-Reality-Experimente: Neueste Entwicklungen, Radioaktivität und Elektromagnetismus. *PhyDid B-Didaktik der Physik-Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*.
- Niederer, H. (1992). Atomphysik mit anschaulichem Quantenmodell. *Quantenphysik in der Schule*, S. 88-113.
- Robson, R. E., White, R. D., & Hildebrandt, M. (2014). One hundred years of the Franck-Hertz experiment. *The European Physical Journal D*, 68, 1-20.

Virtual-Reality-Experimente: Neueste Entwicklungen – Radioaktivität und Elektromagnetismus

William Lindlahr^{*,†}, Johannes Lhotzky⁺, Florian Bennert⁺, Klaus Wendt⁺

^{*}Fachhochschule Südwestfalen, Medienpädagogik/Medien- und Informationstechnik,

[†]AG Larissa, Institut für Physik, Johannes Gutenberg-Universität Mainz

lindlahr.william@fh-swf.de

Kurzfassung

Virtual-Reality-Experimente sind anspruchsvolle Simulationen von typischen Schulexperimenten in einer dreidimensionalen Umgebung, mit weitreichenden didaktischen sowie Interaktionsmöglichkeiten. Sie können auf diversen Unterrichtsmedien überall dort eingesetzt werden, wo reale Schulexperimente nicht (mehr) verfügbar sind oder sich durch die Simulation weitere Vorteile ergeben. Der Beitrag stellt die konzeptionellen Grundlagen und die Entwicklung des Konzepts Virtual-Reality-Experimente als Design-Based-Research-Projekt vor, das an zwei Praxisproblemen des Physikunterrichts ansetzt. Weiterhin wird das Portfolio der verfügbaren Versuche vorgestellt, mit einem Fokus auf die neuesten Entwicklungen zu zwei zentralen Themengebieten des Physikunterrichts, nämlich Radioaktivität und Elektromagnetismus. Dabei werden Virtual-Reality-Experimente zum Cäsium-Barium-Isotopengenerator, zum Abstandsgesetz radioaktiver Strahlung und zum Hall-Effekt präsentiert.

1. Konzeptionelle Grundlagen

1.1. Rolle des Experimentierens im Unterricht

Das Experiment bildet eine der zentralen Erkenntnisquellen der naturwissenschaftlichen Forschung und nimmt ebenso seit jeher eine zentrale Rolle im Fachunterricht ein. Es bietet eine Reihe von Einsatzmöglichkeiten und ist geeignet, vielfältige didaktische Funktionen im Unterricht zu erfüllen (Girwidz 2020, S. 270). Den beiden wesentlichen Ausprägungen als Demonstrations- sowie als Schülerexperiment werden jeweils unterschiedliche Vorteile zugeschrieben, wie z. B. die Motivation oder die Vermittlung bzw. Bestätigung von Fachinhalten.

1.2. Virtual-Reality-Experimente als Design-Based-Research-Projekt

Das Konzept der Virtual-Reality-Experimente wurde im Rahmen eines Design-Based-Research-Projekts entwickelt. Grundlage hierfür waren zwei im Physikunterricht identifizierte Praxisprobleme (Lindlahr 2022).

Im vergangenen Jahrzehnt, beginnend bereits etwa mit dem Jahre 2009, wurde eine neue Generation von Unterrichtsmedien zunehmend in Schulen verfügbar: Medien mit einer berührungsempfindlichen Oberfläche, kurz Touch-Medien. Darunter fielen zunächst interaktive Tafeln, auch interaktive Whiteboards (IWB) genannt, die seit 2009 für immer mehr Klassenzimmer und Fachräume angeschafft wurden. Wenig später folgten zunehmend Pilotprojekte zum Einsatz von Tablets im Unterricht, die mit der insgesamt stark zunehmenden Verbreitung dieser Geräte möglich wurden.

Für die Akzeptanz der neuen Mediengeneration durch Lehrerinnen und Lehrer war die Entwicklung neuer didaktischer Konzepte angezeigt, die die Vorteile der neuen Medien als einen Mehrwert nutzen.

In einer Umfrage unter 68 Physiklehrerinnen und -lehrern im Jahre 2010 wurde dieses Praxisproblem neben weiteren Begründungen genannt (Aulenbacher 2011). Das anhand dieser Umfrage identifizierte Problem erfuhr später, im Jahre 2016, auch eine bildungspolitische Verankerung als eines der beiden Ziele der Strategie der Kultusministerkonferenz zur Bildung in der digitalen Welt:

Bei der Gestaltung von Lehr- und Lernprozessen werden digitale Lernumgebungen entsprechend curricularer Vorgaben dem Primat des Pädagogischen folgend systematisch eingesetzt. Durch eine an die neu zur Verfügung stehenden Möglichkeiten angepasste Unterrichtsgestaltung werden die Individualisierungsmöglichkeit und die Übernahme von Eigenverantwortung bei den Lernprozessen gestärkt. (KMK 2016, S. 11)

Als zweites Praxisproblem für den Ansatz des Design-Based-Research ergab sich die zunehmende Einschränkung des Experimentierens im Schulunterricht. In der Unterrichtspraxis sind in den vergangenen Jahrzehnten einige Experimente dadurch weggefallen, dass sich die Wahrnehmung ihrer Gefahrenpotenziale verstärkt hat und rechtliche Vorgaben verschärft wurden. Als ein Beispiel hierfür seien zunehmende Einschränkungen in der Strahlenschutzverordnung genannt, die dazu führen, dass Experimente mit radioaktiver Strahlung immer mehr an Attraktivität verlieren.

Der Online-Unterricht während der Schulschließungen der Corona-Pandemie 2020 und 2021 führte vorübergehend zu völlig neuen didaktischen Anforderungen an den naturwissenschaftlichen Unterricht, die insbesondere auch das Experimentieren betrafen. Vom einen Tag auf den anderen musste der Unterricht auf Online-Angebote umgestellt werden, die beispielsweise über Videokonferenzsysteme und digitale Lernplattformen verbreitet wurden. Damit kam es ebenfalls zu einer sehr plötzlichen Einschränkung der Möglichkeiten zum Einsatz des Experiments im Unterricht. Der Landesverband Rheinland-Pfalz zur Förderung des MINT-Unterrichts (MNU) formulierte daraufhin im zweiten Corona-Jahr 2021 in einem Standpunkt zum „experimentellen Fernunterricht“ sogar als Warnung die „Gefahr, dass der experimentelle Charakter der naturwissenschaftlichen Fächer verloren geht“ (MNU 2021).

Das Konzept der Virtual-Reality-Experimente wurde ausgehend von den beiden beschriebenen Praxisproblemen – dem Bedarf nach didaktischen Konzepten für Touch-Medien sowie den zunehmenden Einschränkungen des Experimentierens – entwickelt. Die Entwicklung erfolgte entsprechend dem Design-Based-Research-Ansatz (vgl. Wilhelm & Hopf 2014) in Zyklen, die sich durch die Konzeption und Umsetzung von Prototypen für einzelne Experimente ergaben. Diese Teilprozesse leisteten jeweils weitere Beiträge zur Entwicklung des Gesamtkonzepts.

1.3. Didaktisches Konzept

Als Virtual-Reality-Experimente (VRE) werden anspruchsvoll gestaltete Simulationen für den Unterricht bezeichnet, die in einer Virtual-Reality-Umgebung verortet sind. Damit ist jedoch nicht spezielle Hardware gemeint, sondern das Eintauchen in eine virtuelle Welt im Sinne einer Präsenzillusion. Die Zielsetzung des Konzepts besteht darin, eine größtmögliche Realitätsnähe und einen ähnlich breiten Einsatzbereich wie bei Realversuchen zu erreichen (Lindlahr 2014; Lindlahr & Wendt 2016; Lindlahr 2022).

VRE bedienen sich hierzu einer dreidimensionalen, besonders realitätsnahen Darstellung mit realistischen Bewegungs- sowie umfangreichen Interaktionsmöglichkeiten in der virtuellen Welt. „Die simulierten Messwerte sind analog zur Realität fehlerbehaftet und stehen damit inhaltlich dem realen Experiment deutlich näher als der Ideal- bzw. ‚Lehrbuchphysik‘“. Weiterhin ermöglichen es Virtual-Reality-Experimente, bei der Versuchsdurchführung handwerkliche Fehler zu machen, die nur durch entsprechende Messergebnisse sichtbar werden und nicht etwa durch die Software ausgeschlossen werden. Als VRE sollen gezielt solche Versuche simuliert werden, die als Realexperimente wegen ihrer Gefahren oder Kosten nicht durchführbar sind oder die mit Hilfe digitaler Medien neue didaktische Möglichkeiten für den Unterricht eröffnen (ebd.).

1.4. Hardware-Konzept

Das Konzept der VRE orientiert sich an der in Schulen bereits verfügbaren Hardware und nutzt deren Möglichkeiten, indem die Eingabe entweder über Touch-Gesten oder über Tastatur und Maus erfolgen kann. Weiterhin sind auch die Hardware-Anforderungen an schulische Geräte angepasst, sodass die Performanz auch bei weniger leistungsfähiger Hardware erreicht wird; bei Bedarf über entsprechende Leistungseinstellungen innerhalb der Software. Angepasst an schulische Hardware, wird die App für alle gängigen Plattformen zur Verfügung gestellt, nämlich für Microsoft Windows ebenso wie für Android und Apple-Plattformen.

1.5. Einsatzszenarien im Unterricht

Da die Virtual-Reality-Experimente einen Realversuch mit allen relevanten fachlichen und fachdidaktischen Aspekten nachbilden, umfasst das Spektrum der Einsatzmöglichkeiten dieselben wie beim Realexperiment und geht noch darüber hinaus. Die Vielfalt der didaktischen „Einsatzorte“ im Unterricht wird nicht zuletzt dadurch aufrechterhalten, dass keine detaillierten Versuchsanleitungen in die Software eingebaut werden. Dies ermöglicht z. B. explorative Vorgehensweisen (Lindlahr 2014; Lindlahr 2022).

VRE sind mit entsprechenden digitalen Endgeräten sowohl als Demonstrations-, wie als Schülerexperiment einsetzbar. Über die breite Verfügbarkeit digitaler Medien kann eine beliebige Anzahl der verfügbaren virtuellen Experimente bereitgestellt werden. Darüber hinaus ist die Durchführung von Experimenten zu Hause möglich, die sich als Ergänzung zum Präsenzunterricht, oder aber im bereits erwähnten Online-Unterricht anbietet.

2. Portfolio der Virtual-Reality-Experimente

2.1. Experimentieren während der Corona-Pandemie

Kurz nach Beginn der Schulschließungen in der Corona-Pandemie im März 2020 wurde den Schulen eine App mit zwei fertigen Virtual-Reality-Experimenten nach dem beschriebenen Konzept zur kostenlosen Nutzung bereitgestellt. Die Software beinhaltete den Cäsium-Barium-Isotopengenerator als zentralen Versuch aus dem Themengebiet Radioaktivität (siehe unten, 3.1) sowie den Rutherford'schen Streuversuch. Beide Experimente waren Ergebnisse von Entwicklungsprozessen, die bereits weit davor begonnen wurden.

2.2. Virtual-Reality-Experimente, Version 2.0

Im Frühjahr 2022 wurde die Version 2.0 der Software veröffentlicht. Diese beinhaltete neben den beiden bereits genannten Versuchen noch zwei Experimente aus dem Themengebiet Röntgenstrahlung, nämlich einen Versuch zur Röntgenbeugung sowie zur Röntgenspektroskopie (Lhotzky et al. 2022, vgl. auch Abb. 1). Die Simulation eines Röntgengerätes erweist

sich nach dem Konzept der Virtual-Reality-Experimente als ideal, da Experimente mit Röntgeneräten speziell von verschärften Sicherheitsanforderungen für die Benutzung im Unterricht betroffen sind. Während diese Demonstrationsgeräte früher ein fester Bestandteil nahezu jeder schulischen Physiksammlung waren, mussten sie durch höhere Sicherheitsanforderungen in den letzten Jahren flächendeckend außer Betrieb genommen werden.

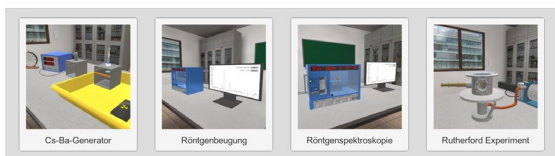


Abb.1: Portfolio der Versuche in der VRE-App, Version 2.0.

3. Virtual-Reality-Experimente zum Themengebiet Radioaktivität

Experimente zum Themengebiet Radioaktivität sind von Einschränkungen des Experimentierens im Schulunterricht schon seit Längerem besonders betroffen. Dies ist einerseits begründet durch die tatsächlichen Gefahren dieses Naturphänomens, aber noch stärker durch dessen Wahrnehmung in der Öffentlichkeit sowie durch die Änderung rechtlicher Bestimmungen. Schulversuche aus diesem Themenbereich sind daher bereits seit Langem im Fokus der Konzeption von Virtual-Reality-Experimenten (Lindlahr & Wendt 2016).

3.1. Cäsium-Barium-Isotopengenerator

Der Cäsium-Barium-Isotopengenerator nach Pinajian 1967 ist ein typisches Schulexperiment, das unter einer veränderten Rechtslage zu leiden hat. Der Versuch ermöglicht eine Bestimmung der Halbwertszeit unter optimalen Bedingungen für den Schulunterricht. Die Messung benötigt nur etwa eine halbe Stunde und das überschüssige Material kann nach kurzer Zeit über die Kanalisation entsorgt werden. Das Mutternuklid Cäsium 137 liegt in gebundener Form in einem abgeschlossenen Behälter vor. In diesem Behälter zerfällt es stetig u. a. in das metastabile Tochternuklid Barium 137m, wie im Zerfallsschema in Abb. 2 dargestellt.

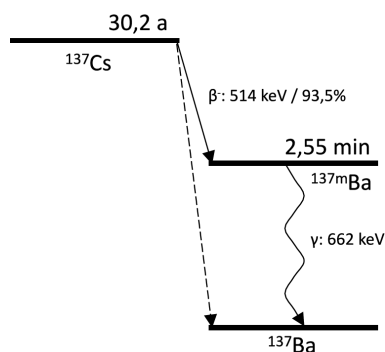


Abb. 2: Zerfallsschema, das dem Cäsium-Barium-Generator zu Grunde liegt.

Mit einer speziellen Elutionsflüssigkeit kann das Tochternuklid aus dem Behälter herausgespült werden und wird in einer Petrischale aufgefangen (vgl. Abb. 3, rechte Bildhälfte). Die Zerfälle des Tochternuklids zum stabilen Barium 137 mit einer Halbwertszeit von nur 2,55 min. können mit einem Geiger-Müller-Zählrohr gemessen und damit das radioaktive Zerfallsgesetz nachgewiesen werden.

Der Versuchsaufbau wird von Lehrmittelherstellern vertrieben, aber seine Bauartzulassung ist bereits im Jahre 2010 ausgelaufen. Dadurch ist in Deutschland der Umgang mit bis zum oben genannten Jahr beschafften Geräten genehmigungsfrei, während bei Neuanschaffungen eine Umgangsgenehmigung bei der Strahlenschutzbehörde beantragt werden muss, die mit Auflagen für die Handhabung verbunden werden kann. Unter dieser Änderung, die mit weiteren Aspekten zusammentrifft, hat die Attraktivität des Experiments für Schulen gelitten (ebd.). Daher wurde dieser Versuch in einer Kooperation mit dem deutschschweizerischen Fachverband für Strahlenschutz e. V. in das Portfolio der Virtual-Reality-Experimente aufgenommen (vgl. Abb. 3). Das VRE fordert die Einhaltung der Regeln des Strahlenschutzes ein, indem am Ende des Versuchs eine entsprechende Auswertung erfolgt.

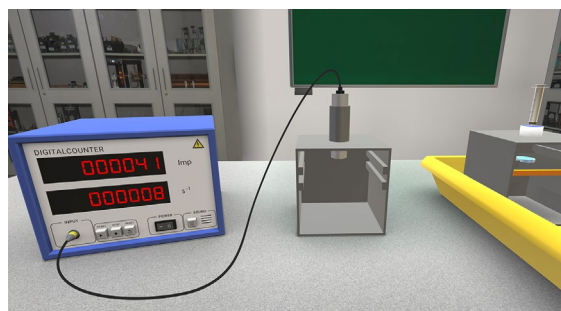


Abb. 3: Cäsium-Barium-Generator als Virtual-Reality-Experiment.

3.2. Abstandsgesetz radioaktiver Strahlung

Der Versuch zum Abstandsgesetz radioaktiver Strahlung ist in jedem Physik-Curriculum fest verankert. Die Abhängigkeit der Strahlung vom Abstand von ihrer radioaktiven Quelle ist eine zentrale Erkenntnis in diesem Themengebiet. Praxisorientiert lässt sich dieser Inhalt nicht zuletzt über die zentralen Regeln des Strahlenschutzes, die „Fünf A“ – Abstand, Abschirmung, Aufenthaltsdauer, Aktivität sowie Aufnahme vermeiden – motivieren.

Ein möglicher Realversuch zum Abstandsgesetz ist in Abb. 4 zu sehen. Auf einer optischen Bank befindet sich ein Präparatehalter (Bildmitte), dem in einer entsprechenden Halterung ein Geiger-Müller-Zählrohr direkt gegenüber steht. Das Zählrohr ist an das Zählgerät, ganz rechts im Bild, angeschlossen. Hinter der Schiene ist ein radioaktives Präparat in dessen abschirmendem Aufbewahrungsbehälter (rot) zu sehen.

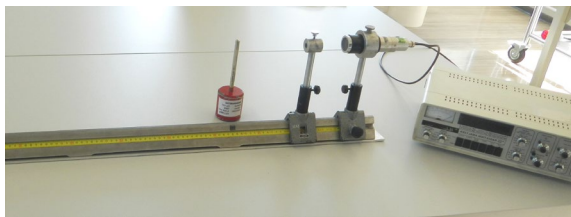


Abb. 4: Realversuch zum Abstandsgesetz radioaktiver Strahlung.

Im Virtual-Reality-Experiment (vgl. Abb. 5) ist der reale Aufbau nachgeahmt. Die optische Bank befindet sich in der Mitte des Experimentiertisches. Auf dieser ist wiederum ein Präparatehalter (links) sowie eine Halterung mit Zählrohr (rechts) montiert. Es stehen zwei Zählrohre zur Auswahl, die sich in ihrer „Parkposition“ rechts hinter den gelben Abschirmungsböcken befinden. Beide Zählrohre sind an das Zählgerät (ganz rechts im Bild) angeschlossen. Es stehen verschiedene radioaktive Präparate zur Verfügung, die im Aufbewahrungsbehälter am linken Tischende gelagert werden.

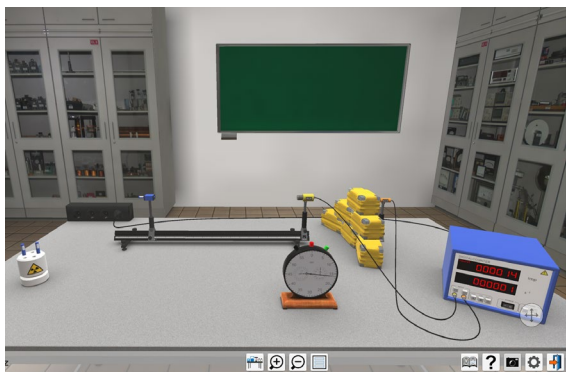


Abb. 5: Virtual-Reality-Experiment zum Abstandsgesetz.

Mit dem Virtual-Reality-Experiment zum Abstandsgesetz kann die Ausbreitung der radioaktiven Strahlung verschiedener Präparate in Abhängigkeit vom Abstand zwischen Präparat und Zählrohr quantitativ ermittelt werden. Hierzu stehen zwei unterschiedliche Typen von Zählern, nämlich ein Geiger-Müller-Zählrohr und ein Proportionalzählrohr, zur Verfügung. Es können die Zählraten für drei verschiedene, durchaus schultypische, Präparate gemessen und damit auf die Eigenschaften unterschiedlicher Strahlungsarten geschlossen werden:

- Americium 241 (Alphastrahler),
- Strontium 90 (Betastrahler) sowie
- Cobalt 60 (Gamma-Strahler).

Die hier genannten Strahlungsarten betreffen die für die Unterrichtspraxis relevanten, messbaren Charakteristika, die sich durch die Bauart der Präparate (u. a. Abschirmung) ergeben. Diese müssen nicht unbedingt den Angaben zu den Isotopen in der Nuklidkarte entsprechen. Zusätzlich zur Messung der Aktivität der Präparate ist es möglich, die Nullrate zu ermitteln, indem keines der Präparate in die Halterung eingesetzt wird.

4. Virtual-Reality-Experimente zum Themengebiet Elektromagnetismus

Das Themengebiet Elektrizitätslehre bzw. Elektromagnetismus nimmt im schulischen Physikunterricht traditionell einen hohen Stellenwert ein, der sich u. a. in der Breite der Themengebiete in den Curricula zeigt. Viele Versuche aus diesem Gebiet sind einfach und unproblematisch als Realexperimente durchführbar und finden mitunter sogar Umsetzungen mit Materialien aus dem Baumarkt. Das Themengebiet bietet aber gleichermaßen eine Reihe von Experimenten, die mit Gefahren verbunden sind, allen voran durch hohe Spannungen und Ströme. Diese und weitere charakteristische Probleme im experimentellen Prozess motivieren die Umsetzung von Versuchen nach dem Konzept der Virtual-Reality-Experimente. Im Folgenden wird der Versuch zum Hall-Effekt als typisches Experiment aus der Elektrizitätslehre mit seinen spezifischen Problemen dargestellt und auf die Braunsche Röhre als weiteren Versuch auf dem Gebiet der Elektrizitätslehre verwiesen.

4.1. Experiment zum Hall-Effekt

Der Hall-Effekt ist einer der zentralen Versuche in der Elektrizitätslehre und findet eine Reihe von Anwendungen in moderner Technik, wie z. B. beim Magnetfeldsensor in Smartphones. Er beschreibt die Entstehung einer elektrischen Spannung bei einem elektrischen Strom in einem Magnetfeld. Die Richtung der Spannung steht senkrecht sowohl zur Richtung des Stroms als auch zu den magnetischen Feldlinien.

Die Durchführung des Realexperiments zum Hall-Effekt ist von guten Messbedingungen abhängig und birgt außerdem die Gefahr, in der Praxis das zentrale Bauteil, die Hall-Probe, durch einen zu hohen Strom oder durch mechanische Einwirkung zu beschädigen. Kommt es zu einer solchen Beschädigung, sind damit direkt hohe Kosten verbunden, die in Schulen schnell Probleme bereiten. Diese Gefahren liefern eine gute Begründung für die Umsetzung des Versuchs als Virtual-Reality-Experiment. Das VRE ist für Schülerinnen und Schüler unproblematisch auf digitalen Endgeräten verfügbar und vermeidet die Gefahr der Beschädigung der empfindlichen Komponenten. Aufgrund der besonderen Empfindlichkeit der Gerätschaft ist das VRE zum Hall-Effekt darüber hinaus prädestiniert für eine Kombination aus realem Versuch und Simulation. Das Virtual-Reality-Experiment kann als Vorbereitung für den Realversuch benutzt werden und von beliebig vielen Schülerinnen und Schülern gleichzeitig als Übung durchgeführt werden. Im Anschluss daran kann entweder die Lehrkraft oder eine praktisch versierte Schülerin bzw. Schüler den Realversuch übernehmen.

Den Aufbau des VRE zum Hall-Effekt zeigt die Abb. 6. In der Mitte des Experimentiertisches ist der Elektromagnet zu sehen, bestehend aus zwei Spulen und einem geblätternen Weicheisenkern. Im Zentrum des Spaltes des Eisenkerns befindet sich die Hall-Probe,

eingebaut in eine entsprechende Halterung. Die Halterung beinhaltet weiterhin Buchsen, über die die Anschlüsse der Hall-Probe erreichbar gemacht werden. Dies ist jeweils ein Buchsenpaar für den Strom, für die Heizung des Hall-Plättchens, sowie für die Messung der Hall-Spannung.

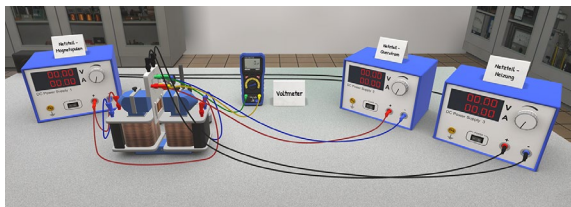


Abb. 6: Virtual-Reality-Experiment zum Hall-Effekt.

Der Hall-Effekt bietet weitere experimentelle Herausforderungen, denen auch im Virtual-Reality-Experiment Rechnung getragen wird. Zum Aufbau gehören mehrere Spannungs- bzw. Stromquellen (vgl. Abb. 6), die nicht verwechselt werden dürfen und deren Werte während der gesamten Durchführung im Blick behalten werden müssen. Hierzu bietet das Virtual-Reality-Experiment Beschriftungsmöglichkeiten, die in Form von „Aufstellern“ auf den jeweiligen Geräten realisiert sind. An jedem dieser Aufsteller kann eine von mehreren Beschriftungen ausgewählt werden, die das Gerät eindeutig im Rahmen des Experiments bezeichnet – Stromquelle Magnetspulen, Stromquelle Querstrom sowie Stromquelle Heizung.

Beim Aufbau des Versuchs müssen zunächst mit Kabeln die Stromquellen mit den entsprechenden Buchsen an der Halterung der Hall-Probe verbunden werden. Zu diesem Zeitpunkt empfiehlt sich auch die Auswahl der Beschriftungen. Auch das Voltmeter muss zunächst entsprechend verkabelt werden.

4.2. Braunsche Röhre

Auf dem Gebiet des Elektromagnetismus ist weiterhin aktuell ein Virtual-Reality-Experiment zur Braunschen Röhre in Entwicklung. Dessen Konzeption wird in Lhotzky et al. 2023 vorgestellt.

5. Verfügbarkeit

Die App mit Virtual-Reality-Experimenten ist für alle in der Schule verbreiteten Plattformen verfügbar. Hierbei werden Microsoft Windows, Apple MacOS sowie die mobilen Plattformen iOS bzw. iPadOS und Android unterstützt. Ebenso kann für Android-Geräte eine APK-Datei von der Homepage heruntergeladen werden (<https://www.vre.uni-mainz.de>).

6. Literatur

Aulenbacher, M. (2011): Interaktive Whiteboards und ihre Anwendung im Physikunterricht. Staatsexamensarbeit, Johannes Gutenberg-Universität Mainz, unveröffentlicht. Zitiert nach Lindlahr (2022), S. 13.

Sekretariat der Kultusministerkonferenz (KMK 2016): Bildung in der digitalen Welt. Strategie der Kultusministerkonferenz. Berlin.

Girwidz, R. (2020): Experimente im Physikunterricht. In: Kircher, E., Girwidz, R., Fischer, H. (Hrsg.): Physikdidaktik, Grundlagen. 2020, S. 263-291.

Lhotzky, J. F., Lindlahr, W., & Wendt, K. (2022): VRE Physik im digitalen Labor. *PhyDid B-Didaktik der Physik-Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*.

Lhotzky, J. F., Lindlahr, W., Bennert, F. & Wendt, K. (2023): Virtual-Reality-Experimente: Neueste Entwicklungen - Atomphysik. *PhyDid B-Didaktik der Physik-Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*.

Lindlahr, W. (2014): Virtual-Reality-Experimente für Interaktive Tafeln und Tablets. In: Maxton-Küchenmeister, J., Meßinger-Koppelt, J. (Hrsg.): Digitale Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht. Hamburg.

Lindlahr, W. & Wendt, K. (2016): Virtual-Reality-Experimente. Experimentieren mit realitätsnahen Simulationen. In: Naturwissenschaften im Unterricht, Physik 27(2016)151, S. 26-28.

Lindlahr, W. (2022): Virtual-Reality-Experimente. Entwicklung und Evaluation eines Konzepts für den forschend-entwickelnden Physikunterricht mit digitalen Medien. Berlin, Logos Verlag, Bd. 349.

MNU Landesverband Rheinland-Pfalz (2021, Hrsg.): Standpunkt des MNU Rheinland-Pfalz zum experimentellen Fernunterricht. Verfügbar unter: https://www.mnu.de/images/landesverbaende/rheinland_pfalz/Positionspapiere/210315_Statement-Naturwissenschaftlicher_Unterricht_digital-Ver%C3%B6ffentlichung.pdf (Zugriff 27.05.2023)

Pinajian, J. J.: A Cesium-137 – Barium-137m Isotope Generator. In: Journal of Chemical Education (1967), S. 212-213.

Wilhelm, T. & Hopf, M. (2014): Design-Forschung. In: D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.): Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung. Berlin, S. 31-42.

Förderungen

Das Projekt wird gefördert durch den Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft e. V. im Rahmen der Ausschreibung „Wirkung hoch 100“.

Die Entwicklung der Versuche zum Abstandsgesetz radioaktiver Strahlung sowie zur Braunschen Röhre werden gefördert durch das Ministerium für Bildung Rheinland-Pfalz.

Die Entwicklung des Versuchs zum Hall-Effekt zusammen mit dem Rastertunnelmikroskop wird gefördert über den SFB/TRR 173 SPIN+X.

Evaluating digital experimental tasks for physics laboratory courses

Simon Z. Lahme^{1,a}, Pascal Klein¹, Antti Lehtinen^{2,3}, Andreas Müller⁴, Pekka Pirinen²,
Lucija Rončević⁵, Ana Sušac⁵

¹ Faculty of Physics, Physics Education Research, University of Göttingen, Friedrich-Hund-Platz 1, 37077, Göttingen, Germany

² Department of Physics, University of Jyväskylä, P.O. Box 35, 40014 University of Jyväskylä, Finland

³ Department of Teacher Education, University of Jyväskylä, P.O. Box 35, 40014 University of Jyväskylä, Finland

⁴ Faculty of Sciences, Department of Physics, University of Geneva, Boulevard du Pont d'Arve 40, 1211, Genève, Switzerland

⁵ Department of Applied Physics, Faculty of Electrical Engineering and Computing, University of Zagreb, Unska 3, 10000, Zagreb, Croatia

^a simon.lahme@uni-goettingen.de

Abstract

As physics laboratory courses are an integral part of studying physics, many approaches have been pursued to evaluate their quality e.g., regarding the improvement of conceptual understanding, the students' motivation, or the acquisition of adequate concepts about experimental physics. So far, most approaches either evaluate laboratory courses in their entirety like a course evaluation or focus on the students' development of (specific) competencies. However, even though experimental tasks are the backbone of any laboratory course concept, specific instruments to evaluate individual experimental tasks are missing. Both approaches mentioned above are unsuitable for that aim since typical laboratory courses consist of multiple tasks and the development of competencies takes place on a larger time scale than the execution of individual tasks. Thus, as part of the Erasmus+ project DigiPhysLab (Developing Digital Physics Laboratory Work for Distance Learning), we developed a questionnaire to explicitly evaluate the quality of an individual experimental task. The questionnaire has been discursively developed and softly validated within our project group and is now available in four languages. In this contribution, we share our ideas behind and our experiences with the use of this instrument for piloting experimental tasks.

1. Motivation

University physics laboratory courses usually follow the approach of task-based learning (cf. Müller & Brown, 2022); this means that experimental tasks are understood as “an idea/concept of an experiment- and task-based learning environment with materials like task instruction sheets, lab equipment, etc.” (Lahme et al., 2023b, p. 2) are the main learning opportunity for students in this course format. In the sense of The Offer-and-Use-Model (Helmke, 2007) instructors develop and prepare suitable experimental tasks. This offer can for example consist of written task instructions, prepared experimental equipment, or guidance during the execution of the experimental tasks. The students use the experimental tasks (often in pairs or small groups) for their own learning process. They conduct the experiments with the given equipment following the provided task instructions and by this, (hopefully) the desired outcome is achieved (e.g., reinforcing a concept, improving experimental skills, etc.). The quality and especially the outcome of this learning process depend on the quality of the experimental tasks so on the quality of the instructors' offer for their students. Thus, instructors need to be careful when designing new experimental tasks for their

physics laboratory courses and after a first implementation, they should evaluate and respectively re-design their experimental tasks.

As described by Lahme et al. (2023b), instructors should follow six design principles during this design process: They need to think of their target group and their learning objectives, need to come up with a task conception and explicit materials needed for the conduction of the experimental task and implement the tasks in their lab courses while acknowledging existing circumstances. Based on these six design principles an iterative process of design and re-design in the sense of an Action Research approach (Costello, 2003) can follow to continuously improve the experimental task. So, after each implementation instructors should evaluate and improve their task conception and designed materials based on students' feedback (and their observations). A systematic evaluation especially with larger groups of students can best be done with a questionnaire. To our knowledge, no questionnaire exists that primarily addresses the evaluation of individual experimental tasks for physics laboratory courses. In this contribution, we present our draft of such a questionnaire developed in the Erasmus+ project DigiPhysLab (see Lahme et al., 2022).

2. Need for a new questionnaire

As educational research on physics laboratories has been conducted for several decades, some instruments have already been developed to evaluate physics lab courses. They belong to two general approaches that have already been pursued. First, instruments have been developed to evaluate a lab course in its entirety i.e., with no specific focus on an individual task but with a general evaluation of the whole course program e.g., at the end of a semester. An example of such an instrument is the PraQ-questionnaire (Praktikumsqualitätsfragebogen; Rehfeldt, 2017). It consists of items to be rated by the students at the end of a whole lab course that addresses the students' perceived learning gain regarding the acquisition of experimental, communication, cooperation, and evaluation competencies, the development of interest and factual knowledge as well as time management skills. Furthermore, the questionnaire can be used to assess the instructor's guidance (e.g., how good their explanations are and if a good learning atmosphere has been created), the quality of the task instructions, and how well the content from the accompanying lecture is integrated into the course.

Second, instruments have been developed and approaches have been pursued to assess students' acquisition of specific competencies within lab courses to determine the outcome reached. For example, the acquisition of expert-like views on experimental physics in a lab course can be assessed with the E-CLASS instrument (Colorado Learning Attitudes about Science Survey for Experimental Physics; Zwickl et al., 2014), the development of critical thinking skills with the PLIC instrument (Physics Lab Inventory of Critical thinking; Walsh et al., 2019), and the improvement of conceptual understanding with exam tasks (cf. Holmes et al., 2017). Further research on the assessment of experimental skills has for example been conducted by Schreiber (2012) and Bauer (2023).

Both approaches presented before, evaluating the lab course in its entirety and assessing the students' acquisition of competencies, are important and purposeful for evaluating lab concepts in general. However, we argue that they are unsuitable for evaluating individual experimental tasks for physics lab courses e.g., after the design of a new task. The first approach is not expedient because typical lab courses consist of multiple tasks, so the evaluation of a lab course in its entirety only provides limited information for every individual experimental task in this lab course as it rather addresses the overall (average) impression of all experimental tasks in the evaluated lab course. The second approach is inappropriate for evaluating individual experimental tasks because the acquisition of competencies takes place on a larger time scale than the execution of an individual task. So, it can be used to assess the students' development over the course of an entire semester (or study program) but not for evaluating individual experimental tasks. Therefore,

a new instrument is needed that focuses on the evaluation of an individual experimental task while considering the two described limitations.

3. Development of the questionnaire

Our goal was the development of a new questionnaire ready to be used for the evaluation of individual experimental tasks for physics lab courses that neither evaluates a lab course in its entirety nor addresses the development of competencies. Instead, it should be a tool to quickly obtain feedback from larger groups of students on a newly developed and firstly implemented experimental task to optimize the experimental task evidence-based for further lab courses.

The primary rationale for the development of such an instrument was the evaluation and improvement of 15 standalone, competence-centered, smartphone-based experimental tasks ready to be used for on-campus and distance learning physics lab courses that were developed in the project "Developing Digital Physics Laboratory Work for Distance Learning" (DigiPhysLab) co-funded by the Erasmus+ program of the European Union (03/21-02/23; cf. Lahme et al., 2022). However, as we realized that a suitable instrument is missing, we hope that this instrument will also serve as a tool for other instructors to evaluate and improve existing or newly developed experimental tasks in their lab courses. We formulated two guiding questions for the development of a new questionnaire:

1. To what extent are the developed experimental tasks from students' point of view suitable for university education?
2. How do students experience working on the experimental task?

Initially, with the focus on evaluating the DigiPhysLab tasks, items to evaluate the experimental tasks were discursively developed and structured within the group of researchers, based on their own experiences, and inspired by already existing instruments and literature about experimental tasks and physics lab courses. The items were initially formulated in English and then translated into German, Finnish, and Croatian. The German, Finnish, and Croatian versions were each communicatively validated with two to three native-speaking physics (teacher training) students (2nd to 5th year of study) to secure that students understand the items as intended. The English version was additionally piloted with a German-speaking physics teacher training student in the 5th year of study and by retranslating the German version back into the English version by an English teacher training student in the 2nd year of study. Feedback from all participating students in all four languages and the results from the re-translation of the German version was used to improve the English version of the questionnaire and its translations consecutively. The final English version can be found in Tab.1 in the appendix, all four versions in a printable, ready-to-be-used mode on our project website (www.jyu.fi/digiphyslab/).

4. Overview of the questionnaire

The questionnaire as displayed in the appendix consists of seven sections with in total of 60 closed items and eight open-text field questions. Section [A] is about the personal information of the participating students to better interpret subsequent responses. Besides demographic data (field and year of study and finished lab courses; items [A1] to [A3]), the general attitude to digital technologies (item [A4]), physics (item [A5]), and lab experiments (item [A6] to [A9]) are addressed. The latter items have been adopted from an addition to the PLIC instrument (Walsh et al., 2019) as done by Pirinen et al. (2023).

Section [B] focuses on the students' perceived learning gains and therefore the efficacy of the experimental task. All items are particularly formulated so that they can be answered for individual experimental tasks e.g., if the concepts in the specific task can be explained to someone else (cf. item [B1]) or if learning goal-related feelings are evoked (e.g., if one feels more confident in conducting experiments, cf. item [B3]). The items in this section address typical learning objectives of physics lab courses (AAPT, 1997; Zwickl et al., 2013; Welzel et al., 1998; Teichmann et al., 2022) like reinforcing concepts, acquiring experimental skills, fostering interest, or acquiring expert-like views on experimental physics without inappropriately assessing the acquisition of competencies in the experimental task. As these items address typical learning objectives, they help to evaluate if the task is suitable for university physics education as intended in the first guiding question of the development of this questionnaire.

Section [C] is about the perceived adequacy of the task referring to the task conception, the designed materials, and the actual implementation (cf. design principles by Lahme et al. (2023b)) and therefore obviously addressing the first guiding question, too. The students are asked to evaluate the quality of the task instructions (items [C1] to [C4], [C9], and [C13]), the relevance and adequacy to their field and level of study (items [C5] and [C8]), the conditions to conduct this task even in distance learning scenarios (items [C6] and [C7], as this was one objective of the DigiPhysLab-project) and the desired circumstances of implementation (items [C10] to [C12]).

Section [D] refers to the students' experience during the task and therefore addresses the second guiding question for the development of this questionnaire. Here, a list of twelve emotions and feelings that one could experience while conducting physics experiments (e.g., frustration, excitement, competency, freedom) is presented to the students and the students can rate to which extent they experienced them. The items [D1] to [D3] are inspired by Schneider et al. (2016) based on the flow theory (Csikszentmihalyi, 2008), the items [D4] to [D12] are adapted from the short version of the *Epistemically-Related Emotion Scales* (Pekrun et al., 2016) and allow insights in the

students' perception of the task especially regarding the adequacy of the level of difficulty, the degree of openness, and the achieved engagement during the experiment.

Section [E] focuses on the students' activities rather than the emotions and feelings during the conduction of the experiment and also addresses the second guiding question. 15 statements are provided which contain typical steps of the experimental physics cognition process ranging from the formulation of research questions and hypotheses (items [E1] and [E2]) over the design (items [E3] to [E5]) and data collection (items [E6] to [E8]) to the data analysis (items [E9] to [E13]) and the presentation of findings (items [E14] and [E15]). These items are largely inspired by literature describing typical activities while conducting physics experiments (e.g., Haller, 1999; Millar, 2009; Trinh-Ba, 2016; Tesch & Duit, 2004; Holmes & Lewandowski, 2020). The students rate on the three-point scale "yes – somewhat – no" to which extent they needed to do each activity in the given experimental task. By this, one gains insight into the students' perception of the requirement profile of the task since not every experimental task requires all experimental activities to the same extent. A comparison with the central activities intended by the instructor allows, without an unfeasible measurement of the acquisition of competencies, a reflection of whether the intended experimental skills are fostered.

Section [F] addresses the use of digital technologies in the task and therefore the second guiding question, too. Of course, this section is only applicable if digital technologies are used in the experimental task. However, the use of digital technologies, especially computers for data analysis and visualization, and the use of digital data logging systems (like smartphones, microcontrollers, or computers in remote-controlled labs) is very common in many physics lab courses, so it is reasonable to evaluate if these technologies are from the students' point of view helpful and utilizable for the experimental task. Thus, the students are asked to rate statements about the experienced obstacles while using the technologies (items [F1]), their benefits (items [F2] to [F4] and [F7]), the cost-benefit-ratio of learning how to handle new digital technologies (item [F5]), and the attitude to digital technologies in general (item [F6]). Furthermore, they were asked to describe the impact of digital technologies on the learning process in an open text field (item [F8]).

Section [G] finally is about the students' overall impression of the experimental task and how the experimental task could be further improved. Thus, it addresses both the first and second guiding questions. First (item [G1]), the students are asked to give an overall grade for the task on a scale from 1 (worst) to 10 (best) to get a general impression of the students' perception of the task which allows easy comparisons between different tasks. Consecutively, the students should explain in three open text fields their rating with respect to what they liked, disliked, or would

change in the experimental task (items [G2] to [G4]). The responses to these questions are very important to develop further the experimental tasks as they might contain the most explicit feedback.

All in all, the questionnaire collects relevant information on the suitability of the experimental task for physics university education and on the students' experience while working on the task. Through this, students' feedback is gathered to develop further experimental tasks after an (initial) implementation. Depending on the experimental tasks and the instructor's interest, one could add further items to this questionnaire, for example about the students' perception of the factual and disciplinary authenticity of the experimental tasks (cf. Klein, 2016). Based on a sample of $N = 104$ students (three outliers who paused the participation were excluded), fully responding to our questionnaire (and 18 additional closed items on the authenticity of the experimental tasks) takes about $M = 15$ min, $SD = 5$ min. So, using our questionnaire for evaluating experimental tasks is on a time scale comparable to typical course evaluation surveys.

5. Example data and manipulation check

The questionnaire has not been statistically validated yet. Though to showcase as a kind of a manipulation check that the questionnaire reflects differences in the students' perception of different experimental tasks,

Experimental activities in focus

In this task I had to...

... formulate or identify the research question.

... assemble the experimental setup

... collect reliable data

... debug/solve apparatus-related difficulties

... analyze the experimental data

... evaluate the results by comparing them with the hypotheses/predictions/known theory

... discuss the limitations of the experiment

... draw my own conclusions of the experiment

we present example data of $N = 110$ students for a part of this questionnaire in Fig.1. The questionnaire was used to evaluate undergraduate research projects in a first-year university lecture about mechanics at the University of Göttingen. The students worked in groups of three to five independently over two months on one experimental task that uses smartphones and household items for data collection and computers for data analysis. In total, six different tasks were assigned (each group of students worked on one task) that were originally developed as part of the DigiPhysLab-project but were modified significantly to be suitable for undergraduate research projects. All task instructions followed the same structure and degree of openness but addressed different physics topics. A quick overview of these tasks and the number of students who participated in the questionnaire afterward are displayed in Tab.2 in the appendix (for further information about the tasks see Lahme et al. (2023a) and Lahme et al. (submitted)).

Since the task instructions were designed following the same principles and implemented within the same cohort of students, we would argue that differences in the responses to the questionnaire can mainly be due to differences in the conception of the experimental tasks. In Fig.1, means and standard errors of the students' responses for selected items from section [E]

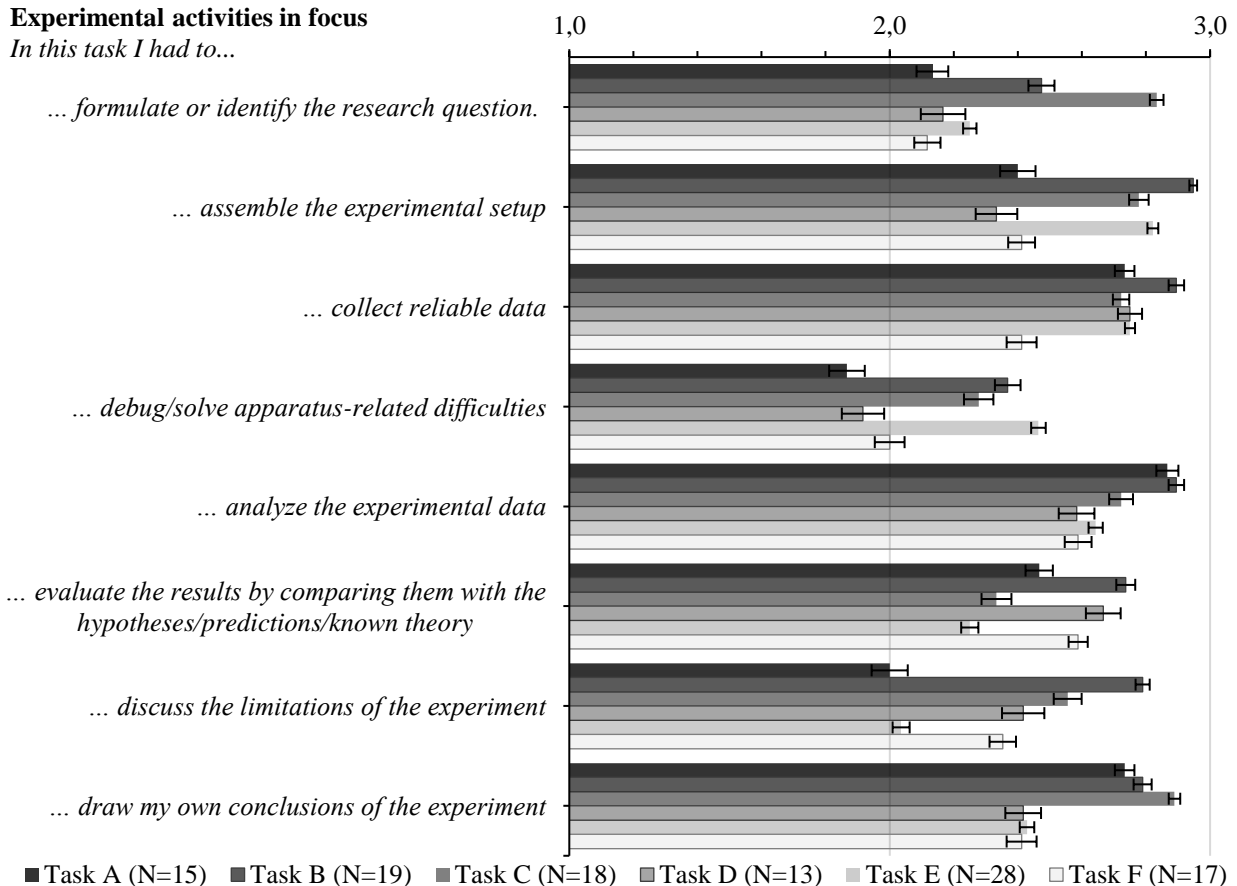


Fig.1: Students' responses (mean and standard error) for selected items of section [E] (experimental activities in focus) for six different experimental tasks characterized in Tab.2. Items were rated on a three-point scale (1 = no, 2 = somewhat, 3 = yes). N indicates the number of responses per task (in total $N = 110$ responses).

(experimental activities in focus) are displayed, broken down by the six tasks. The data demonstrate that the students perceived the relevance of the various experimental activities differently for each task. This is in accordance with the intended task conception.

For example, for all but tasks B and C the research question was given in the task instructions while in task B just the main research question was given, and sub-questions needed to be formulated and in task C students needed to come up with their own research question according to a given overall goal. These differences are reflected in the questionnaire responses as the need for identifying/formulating their own research question was rated significantly higher for task C than tasks A, D, E, and F, with task B in between.

Similarly, students' perception is largely in line with the intended task conception for assembling the experimental setup that is demanded rather in tasks C and E than in A and D. Just the high rating for task B is not as expected but can be explained with reported difficulties to procure suitable household items for the experiment (e.g., falling bodies and scales) and not a higher demand in setting up the experiment.

The students perceived (in accordance with what they were asked in the task instructions) the need for collecting reliable data as similarly high for all tasks except task F. However, this task is the only one in which data should primarily be analyzed qualitatively, so that is exactly as intended.

The responses to the other items can be similarly discussed, so the data provide anecdotal evidence that the questionnaire enables students to provide differentiated feedback on experimental tasks. This feedback can serve instructors as a basis for reflecting on their implemented experimental tasks and developing them further based on the students' feedback, especially in the case that the students' responses do not go along with the instructor's intentions.

6. Summary and outlook

Students' feedback on experimental tasks in physics lab courses can help to reflect their quality and to develop them further. As already existing instruments and approaches focus either on the evaluation of lab courses in their entirety or on the students' acquisition of specific competencies, we developed a new questionnaire that provides information about the students' perception of the task suitability for university education and about the students' experience while working on the experimental task. The responses on the efficacy/perceived learning gains, the adequacy of the task, the students' experience during the task, the experimental activities in focus, the use of digital technologies in the task, and the overall impression of the task help instructors to reflect and re-design their experimental tasks. Example data show that students indeed respond differently to the questionnaire for different experimental tasks and that their responses are in accordance with the intended task conception.

In the future, the questionnaire needs to undergo a more advanced statistical analysis, for example, regarding scale reliability. For this, the instrument should be largely used in different lab courses and for different tasks to assemble variable data. Moreover, the validity should not only be checked with students as done in this work but also with experts.

7. References

- American Association of Physics Teachers (1997). Goals of the Introductory Physics laboratory. *The Physics Teacher*, 35(9), 546–548. <https://aapt.scitation.org/doi/pdf/10.1119/1.2344803>
- Bauer, A. B. (2023). *Experimentelle Kompetenz Physikstudierender: Entwicklung und erste Erprobung eines performanzorientierten Kompetenzstrukturmodells unter Nutzung qualitativer Methoden* [Thesis]. Universität Paderborn, Paderborn. <https://doi.org/10.17619/UNIPB/1-1652>
- Costello, P. J. M. (2003). *Action research. Continuum Research Methods*. Continuum.
- Csikszentmihalyi, M. (2008). *Flow: The Psychology of Optimal Experience*. Harper Collins.
- Haller, K. (1999). *Über den Zusammenhang von Handlungen und Zielen: Eine empirische Untersuchung zu Lernprozessen im physikalischen Praktikum*. Logos.
- Helmke, A. (2002). Kommentar: Unterrichtsqualität und Unterrichtsklima: Perspektiven und Sackgasen. *Unterrichtswissenschaft*, 30(3), 261–277. https://www.pedocs.de/volltexte/2013/7689/pdf/UnterWiss_2002_3_Helmke_Kommentar.pdf
- Holmes, N. G., & Lewandowski, H. J. (2020). Investigating the landscape of physics laboratory instruction across North America. *Physical Review Physics Education Research*, 16(2), 020162. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.16.020162>
- 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), 010129. <https://journals.aps.org/prper/abstract/10.1103/PhysRevPhysEducRes.13.010129>
- Klein, P. (2016). *Konzeption und Untersuchung videobasierter Aufgaben im Rahmen vorlesungsbegleitender Übungen zur Experimentalphysik (Mechanik)* [Thesis]. Technische Universität Kaiserslautern, Kaiserslautern. <https://www.uni-goettingen.de/de/document/download/8f76f0f86ffc48a34292baaaddbaead8.pdf/Dissertation%20KLEIN%20Pascal.pdf>
- Lahme, S. Z., Klein, P., Lehtinen, A., Müller, A., Pirinen, P., Sušac, A., & Tomrlin, B. (2022). DiGiPhysLab: Digital Physics Laboratory Work for Distance Learning. *PhyDid B – Didaktik der Physik – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung virtuell 2022*, 383–390. <https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phydid-b/article/view/1250/1503>

- Lahme, S. Z., Fipp, M., Müller, A. & Klein, P. (submitted). Offene Projektaufgaben mit Smartphone-Experimenten für die Studieneingangsphase Physik. *PhyDid B – Didaktik der Physik – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung Hannover 2023* [in this proceedings].
- Lahme, S. Z., Müller, A., & Klein, P. (2023a). Lehrveranstaltungsverbindende Experimentieraufgaben im Physikstudium. In v. Vorst, H. (Hrsg.). *Lernen, lehren und forschen in einer digital geprägten Welt, Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Aachen 2022*, 43, 663-666. https://gdcp-ev.de/wp-content/uploads/securepdfs/2023/05/P020_Lahme.pdf
- Lahme, S. Z., Pirinen, P., Rončević, L., Lehtinen, A., Sušac, A., Müller, A., Klein, P. (2023b). *A framework for designing experimental tasks in contemporary physics lab courses*. Preprint on arXiv, submitted to the proceedings of GIREP conference Ljubljana 2022. <http://dx.doi.org/10.48550/arXiv.2302.14464>
- Millar, R. (2009). *Analysing practical activities to assess and improve effectiveness: The Practical Activity Analysis Inventory (PAAI)*. York. Centre for Innovation and Research in Science Education, University of York. <https://www.rsc.org/cpd/teachers/content/filerepository/frg/pdf/Researchby-Millar.pdf>
- Müller, A., & Brown, A. (2022). An evidence-based approach to tasks in science education: Meta analytical and other quantitative results. *Progress in Science Education*, 5(1), 6-32. <https://doi.org/10.25321/prise.2022.1275>
- Pekrun, R., Vogl, E., Muis, K. R., & Sinatra, G. M. (2017). Measuring emotions during epistemic activities: The Epistemically-Related Emotion Scales. *Cognition and Emotion*, 31(6), 1268-1276. <https://doi.org/10.1080/02699931.2016.1204989>
- Pirinen, P., Lehtinen, A., & Holmes, N. G. (2023). Impact of traditional physics lab instruction on students' critical thinking skills in a Finnish context. *European Journal of Physics*, 44, 035702. <https://doi.org/10.1088/1361-6404/acc143>
- Rehfeldt, D. (2017). *Erfassung der Lehrqualität naturwissenschaftlicher Experimentalpraktika*. Logos.
- Schneider, B., Krajcik, J., Lavonen, J., Salmela-Aro, K., Broda, M., Spicer, J., Bruner, J., Moeller, J., Linnansaari, J., Juuti, K., & Viljaranta, J. (2016). Investigating optimal learning moments in U.S. and Finnish science classes. *Journal of Research in Science Teaching*, 53(3), 400-421. <https://doi.org/10.1002/tea.21306>
- Schreiber, N. (2012). *Diagnostik experimenteller Kompetenz: Validierung technologiegestützter Testverfahren im Rahmen eines Kompetenzstrukturmodells*. Logos.
- 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), 010135. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.18.010135>
- Tesch, M., & Duit, R. (2004). Experimentieren im Physikunterricht: Ergebnisse einer Videostudie. *Zeitschrift Für Didaktik Der Naturwissenschaften*, 10, 51-69.
- Trình-Bá, T. (2016). *Development of a course on integrating ICT into inquiry-based science education* [Thesis]. Vrije Universiteit Amsterdam, Amsterdam. <https://research.vu.nl/ws/portalfiles/portal/42159760/complete+dissertation.pdf>
- Walsh, C., Quinn, K. N., Wieman, C., & Holmes, N. G. (2019). Quantifying critical thinking: Development and validation of the physics lab inventory of critical thinking. *Physical Review Physics Education Research*, 15(1), 010135. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.15.010135>
- Welzel, M., Haller, K., Bandiera, M., Hammelev, D., Koumaras, P., Niedderer, H., Paulsen, A., Robinault, K., & Aufschnaiter, 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.
- 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>
- Zwickl, B. M., Hirokawa, T., Finkelstein, N., & Lewandowski, H. J. (2014). Epistemology and expectations survey about experimental physics: Development and initial results. *Physical Review Special Topics Physics Education Research*, 10(1), 010120. <https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.10.010120>

Author contributions*

Pascal Klein: Conceptualization (supporting), Funding Acquisition (supporting), Supervision (equal), Writing – review & editing (supporting). Simon Z. Lahme: Conceptualization (lead), Visualization, Writing – original draft, Writing – review & editing (lead). Antti Lehtinen: Conceptualization (supporting), Funding acquisition (lead), Project administration, Supervision (equal), Writing – review & editing (supporting). Andreas Müller: Supervision (equal), Writing – review & editing (supporting). Pekka Pirinen: Conceptualization (lead), Writing – review & editing (supporting). Lucija Rončević: Conceptualization (lead), Writing – review & editing (supporting). Ana Sušac: Conceptualization (supporting), Funding Acquisition (supporting), Supervision (equal), Writing – review & editing (supporting).

* 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).

Appendix

Tab.1: The full (English) questionnaire for evaluating experimental tasks in physics laboratory courses. The German, Finnish, and Croatian versions of this questionnaire (as well as the English one) can be found in a printable, ready-to-be-used version at <https://www.jyu.fi/digiphyslab/>.

Item(s)	Scale
[A] Personal information	
[A1] What is your major field of study?	open text field
[A2] What is your year of study?	
[A3] Please list all lab courses you have finished during your studies.	
[A4] In general, I am interested in digital technologies.	strongly disagree
[A5] In general, I am interested in physics.	– disagree – I do not disagree or agree – agree – strongly agree
In general, where would you put doing lab experiments on the following scales of opposites?	
[A6] Boring - Interesting	1 (left adjective)
[A7] Useless – Useful	– 2 – 3 – 4 – 5
[A8] Hard – Easy	(right adjective)
[A9] Stressful – Fun	
[B] Efficacy/perceived learning gains	
After completing the task...	strongly disagree
[B1] ... I could explain the physical concepts in this task to someone else.	– disagree – I do not disagree or agree – agree – strongly agree
[B2] ... I could explain what I have done in this task to someone else.	
[B3] ... I feel more confident in conducting physics experiments.	
[B4] ... I am more interested in conducting physics experiments.	
[B5] ... I have a better insight into what research in experimental physics looks like.	
[B6] ... I feel like I learned something new.	
[B7] ... I feel more confident in using digital technologies in the lab.	
[C] Adequacy of the task	
[C1] The learning objectives of the task were clear to me.	strongly disagree
[C2] The task instructions were easy to understand.	– disagree – I do not disagree or agree – agree – strongly agree
[C3] The task instructions had a clear layout.	
[C4] Instructions on how to use the digital technologies in this task were sufficient for me.	
[C5] It is clear to me how this task is related to my field of study.	
[C6] I have the conditions (e.g., necessary equipment) to conduct this experimental task at home.	
[C7] I feel confident that I could do the experiment on my own at home.	
[C8] This experimental task was <i>too easy/adequately challenging/too difficult</i> for my level of study.	The italic answers are selectable.
[C9] Task instructions and supportive materials were <i>too detailed/sufficient/insufficient</i> .	
[C10] How much time would you need to complete this experimental task without any pressure?	open text field
[C11] I would prefer to do this task <i>on campus/synchronously (e.g., during a web conference) at home/asynchronously (e.g., support only via e-mail) at home/no preference</i> .	The italic answers are selectable.
[C12] For this task, I would prefer to <i>work alone/in pairs/in small groups</i> .	
[C13] Which task instructions were confusing?	open text field
[D] Students' experience during the task	
[D1] During this task I felt skilled at what I was doing.	strongly disagree
[D2] During this task, I was interested in what I was doing.	– disagree – I do not disagree or agree – agree – strongly agree
[D3] I understood this task as a challenge.	
[D4] During this task, I felt surprised.	
[D5] During this task, I felt curious.	
[D6] During this task, I felt excited.	
[D7] During this task, I felt confused.	
[D8] During this task, I felt anxious.	
[D9] During this task, I felt frustrated.	

[D10] During this task, I felt bored.	
[D11] I had opportunities to use my creativity in designing and conducting experiments.	
[D12] I had opportunities to make my own decisions about the experiment.	
[E] Experimental activities in focus	
In this task, I had to...	
[E1] ... formulate or identify the research question.	no – somewhat –
[E2] ... formulate my own hypothesis.	yes
[E3] ... assemble the experimental setup.	
[E4] ... decide what physical quantities I need to measure in the experiment.	
[E5] ... decide how to measure physical quantities in the experiment.	
[E6] ... collect reliable data.	
[E7] ... debug/solve apparatus-related difficulties.	
[E8] ... document the experimental process.	
[E9] ... analyze the experimental data.	
[E10] ... determine the uncertainty of the experimental data.	
[E11] ... evaluate the results by comparing them with the hypotheses/predictions/known theory.	
[E12] ... discuss the limitations of the experiment.	
[E13] ... draw my own conclusions of the experiment.	
[E14] ... use different representations for data visualization (graphs, tables, ...).	
[E15] ... present and discuss the results of the experiment using scientific terminology (e.g., in a lab report or an oral presentation).	
[F] Use of digital technology in the task	
[F1] The use of digital technologies made this task difficult.	strongly disagree
[F2] Digital technologies made this task interesting.	– disagree – I do
[F3] The digital technologies helped me to develop further my experimental skills.	not disagree or
[F4] The digital technologies helped me get a better understanding of the physical concepts.	agree – agree –
[F5] The effort to learn how to use digital technologies in this task was worthwhile.	strongly agree
[F6] I prefer to use standard lab equipment instead of digital technologies like smartphones/simulations.	
[F7] Digital technologies made performing the task easier.	
[F8] In what way did the use of digital technologies impact your learning process?	open text field
[G] Final open questions	
[G1] Rate this task based on your overall impression (regardless of your own performance) on a scale of 1 (worst) to 10 (best)	1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 – 7 – 8 – 9 – 10
[G2] What did you like about the task? And why?	open text field
[G3] What did you dislike about the task? And why?	
[G4] What would you change in this task? And why?	

Tab.2: Topic/goal and characterization of the six experimental tasks for which example data are displayed. The task documents are available at <https://doi.org/10.57961/49zr-w490>.

Task	Topic/goal	Characteristics
A Slamming door	Modeling frictional effects of a slamming door	Focus on data analysis (fitting data & testing known models)
B Paper parachute	Video analysis of the velocity dependency of air friction in free fall	Own sub-questions needed to be formulated, and video analysis for answering the research questions
C Sensor analysis	Comparing the precision of acceleration sensors of different smartphones	An own experiment (research question, setup, etc.) needed to be developed to compare the sensors.
D Elevator oscillations	Analysis of the relationship between the period duration and rope length of an oscillating elevator cabin	No setup is needed, focus more on preparing and analyzing data
E Rolling smartphone	Analysis of the relationship between the angle of a declined plane and the parameters of a rolling tin on it	Own setup needed to be assembled, focus on data analysis
F Rotating smartphone	Analysis of parameters of a free rotating smartphone over time	More qualitative analysis & interpretation of graphs investigating which rotations are (un-)stable

Wirkungsvolle Augmented Reality-Experimente im physikalischen Praktikum

Mareike Freese*, Lion Cornelius Glatz*, Albert Teichrew*, Roger Erb*

*Goethe-Universität Frankfurt, Institut für Didaktik der Physik
freese@physik.uni-frankfurt.de

Kurzfassung

Augmented Reality (AR) bietet als digitales Werkzeug neue Möglichkeiten, die auch in der Lehre immer häufiger zum Einsatz kommen. Im Rahmen des Projektes WARP-P (Wirkungsvolle AR im Praktikum Physik) wurden ausgewählte Experimente des Elektrizitätslehre-Praktikums mit passenden dynamischen Modellen zu AR-Experimenten transformiert. Eingebettet in eine digitale Lernumgebung wird der naturwissenschaftliche Erkenntnisprozess den Lehramtsstudierenden erlebbar: Anstatt die Versuchsanleitung rezeptartig abzuarbeiten, werden mithilfe der dynamischen Modelle Hypothesen generiert und anschließend im Experiment direkt überprüft. Mithilfe von Tablets wird das Kamerabild des (realen) Experiments mit dem Modell und den in ihm abgebildeten physikalischen Größen in Echtzeit überlagert. Nach dem Einsatz des AR-Experiments können die Studierenden die Richtigkeit ihrer Modellannahmen in Kontrollfragen mit Musterantworten überprüfen. Über den gesamten Verlauf wurde das Projekt qualitativ, in Form von Studierendenbefragungen, und quantitativ in Bezug auf die Selbstwirksamkeitsentwicklung evaluiert. Die qualitativen Ergebnisse zeigen, dass die AR-Experimente als gewinnbringend wahrgenommen werden. Außerdem ist über das Praktikum hinweg eine positive Entwicklung der Selbstwirksamkeit in Bezug auf das Experimentieren mit AR zu beobachten.

1. Theoretischer Hintergrund

Im Lehramtsstudium Physik bilden experimentelle Übungen in Form eines Praktikums eine wichtige Komponente für die fachliche Ausbildung [1]. Dabei führen die Studierenden in einem kontrollierten Rahmen Experimente in Laborräumen durch, deren Aufbau, Durchführung und Auswertung größtenteils vorgegeben sind und in Form eines Protokolls festgehalten und benotet werden. Die Praktika sollen dem Kompetenzerwerb dienen und die Studierenden auf Experimentiersituationen vorbereiten, welche ihnen in ihrem späteren Beruf begegnen. Dennoch sind die Versuche im Praktikum häufig durch Anleitungen begleitet, die von den Studierenden rezeptartig abgearbeitet werden. Dadurch kann das Ziel, experimentelle Fähigkeiten und wissenschaftliches Denken zu fördern, verfehlt werden. Auch die Motivation der Studierenden kann unter dem Mangel an Selbstbestimmung leiden [2].

Die Einbindung digitaler Medien kann unter bestimmten Bedingungen dazu beitragen, dass die Motivation und das Interesse der Studierenden erhöht werden [3]. Dabei ist es wichtig, dass Lernziele und Kompetenzerwerb nicht aufgrund des gewählten Mediums aus dem Fokus rücken, und auch die kognitive Belastung darf durch multiple Repräsentationen nicht erhöht werden [4, 5]. Ein vielversprechendes digitales Werkzeug für diesen Zweck ist Augmented Reality (AR), das durch die Schaffung räumlicher Kontiguität den extrinsischen Cognitive Load (ECL) redu-

zieren kann [6]. AR kommt auch aus diesem Grund im Bildungsbereich immer häufiger zum Einsatz [7]. Die Technologie ermöglicht es, reale Umgebungen in Echtzeit um virtuelle Inhalte zu erweitern, die dann natürlich im Raum erscheinen [8]. Im Physikunterricht lassen sich mit AR reale Experimente mit virtuellen Modellierungen verknüpfen, wodurch Phänomene besser verstanden werden können [9]. Solche AR-Experimente können beispielsweise mit der Dynamische Geometrie-Software (DGS) GeoGebra (geogebra.org) modelliert und per mobiler App eingesetzt werden. Dies ermöglicht es, unsichtbare Komponenten eines Modells, z.B. elektrische Felder, sichtbar zu machen (siehe Abbildung 1).

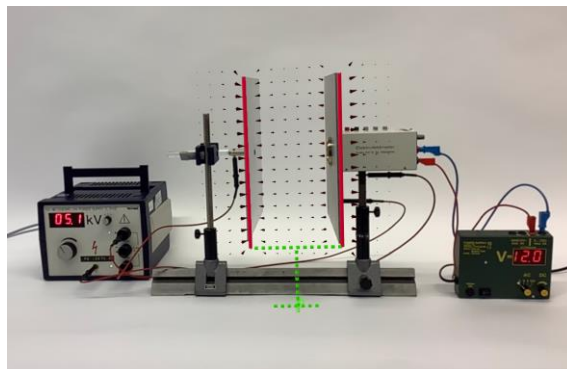


Abb. 1: AR-Experiment zur Visualisierung der elektrischen Feldvektoren an einem Plattenkondensator, gesehen durch die Kamera eines Tablets

Im physikalischen Praktikum können mit AR-Experimenten Hypothesen generiert und direkt anschaulich überprüft werden. So wird das Forschende Lernen ermutigt [10] und die Studierenden erkunden die Gesetzmäßigkeiten hinter den Phänomenen virtuell und analog.

2. Evaluationsdesign

Im Rahmen studentischer Abschlussarbeiten wurden an der Goethe-Universität Frankfurt zwei klassische Praktikumsversuche (A. Elektrisches Feld am Kondensator; B. Fadenstrahlrohr) in AR-Experimente umgewandelt. Zusätzlich zu den entsprechend überarbeiteten Versuchsanleitungen wurde für den Versuch am Fadenstrahlrohr eine interaktive Lernumgebung erstellt. Anschließend wurden diese AR-Experimente im physikalischen Praktikum für Lehramtsstudierende eingesetzt und im Rahmen des Projekts WARP-P (Partnership des Gesamtprojekts „DigiTeLL – Digital Teaching and Learning Lab“ [11]) in einem Pretest-Posttest-Design evaluiert. Neben den Vorerfahrungen der Lehramtsstudierenden mit digitalen Medien (drei Items; Multiple Choice und offene Antworten) wurde im Pretest vor der Durchführung des Praktikums die Selbstwirksamkeitserwartung (SWE) der Studierenden beim Experimentieren mit und ohne AR mit jeweils fünf Items erhoben (Likert fünfstufig von 1 bis 5; angepasst nach [12]).

Während des Praktikumsverlaufs wurde strukturiertes Feedback zu AR und den Versuchen erhoben, sowohl in qualitativer Form als auch mit Hilfe von vier Likert-Skalen zur Bewertung der Erfahrungen während eines AR-Experiments auf verschiedenen Ebenen: technologisch, immersiv, affektiv und kognitiv (siehe Tabelle 1). Die technologische Ebene betrifft die Benutzerfreundlichkeit des Systems (angelehnt an [13]) bezogen auf die Bedienung des in GeoGebra erstellten Modells sowie die Einblendung in bzw. Anpassung des Modells an die Realität. Die immersive Ebene erfasst, inwiefern sich ein Gefühl der Präsenz der Objekte in der Realität eingestellt hat (angelehnt an [14]). Die affektive Ebene greift das Vergnügen bei der Arbeit mit dem AR-Experiment als Merkmal intrinsischer Motivation auf (angelehnt an [15]). Die kognitive Ebene umfasst die subjektive Auffassung der Verständniserweiterung durch die Lernaktivität, was als Merkmal der lernbezogenen kognitiven Belastung herangezogen wird (angelehnt an [16]).

Im Anschluss an das Praktikum wurde im Posttest die rückblickend wahrgenommene Selbstwirksamkeit (in Anlehnung an SWE) mit und ohne AR analog zum Pretest gemessen. Zudem gab es zwei offene Fragen zu einem möglichen Einsatz von AR im eigenen (späteren) Unterricht.

Die Stichprobe setzte sich aus Studierenden des Lehramts Physik für Haupt- und Realschulen sowie für Förderschulen zusammen (N = 12), die Studierenden befanden sich größtenteils im dritten Fachsemester.

Tab. 1: Aussagen zur Bewertung eines AR-Experiments in vier Ebenen

<i>Technologische Ebene</i>
Die Bedienung des Modells in der App war verständlich.
Das Einblenden des Modells auf den Tisch hat gut funktioniert.
Es war leicht, das Modell an den realen Aufbau anzupassen.
<i>Immersive Ebene</i>
Ich hatte nach dem Einblenden des Modells das Gefühl, dass es wirklich dahin gehört.
Es sah nach dem Anpassen des Modells so aus, als ob es zum realen Aufbau passt.
Die Anwesenheit des Modells im realen Aufbau hatte für mich einen Sinn.
<i>Affektive Ebene</i>
Ich habe gerne mit dem Modell gearbeitet.
Es war interessant, das Modell gemeinsam mit der Realität zu betrachten.
Es hat mir Spaß gemacht, den realen Aufbau mit dem Modell zu erweitern.
<i>Kognitive Ebene</i>
Die Arbeit mit dem Modell hat mir geholfen, die Physik dahinter zu verstehen.
Durch das Einblenden des Modells konnte ich mir den Sachverhalt besser vorstellen.
Die Verbindung des Modells mit dem realen Aufbau machte das Phänomen verständlicher.

3. Ergebnisse

3.1. Selbstwirksamkeitsentwicklung der Studierenden beim Experimentieren

Es ist zu beobachten, dass die Selbstwirksamkeitserwartung vor Beginn des Praktikums in Bezug auf das Experimentieren mit AR niedriger ist als beim Experimentieren ohne AR. Die Auswertung von Pre- und Posttest ergab, dass sich die Selbstwirksamkeit beim Experimentieren mit AR über das Praktikum hinweg positiv entwickelt (siehe Abbildung 2). Bezogen auf die klassischen Experimente ohne AR ist ein entgegengesetzter Verlauf zu beobachten, der jedoch weniger deutlich ist.

3.2. Erfahrung der Studierenden beim Experimentieren mit AR

Auf allen vier Skalen erhalten beide AR-Experimente hohe Werte in der Einschätzung durch die Studierenden (mindestens 3,44 von 5; siehe Abbildung 3), was dafür spricht, dass sie als motivierend (affektive Ebene), für das physikalische Verständnis unterstützend (kognitive Ebene) und technisch-gestalterisch gut umgesetzt (technologische und immersive Ebene) wahrgenommen werden.

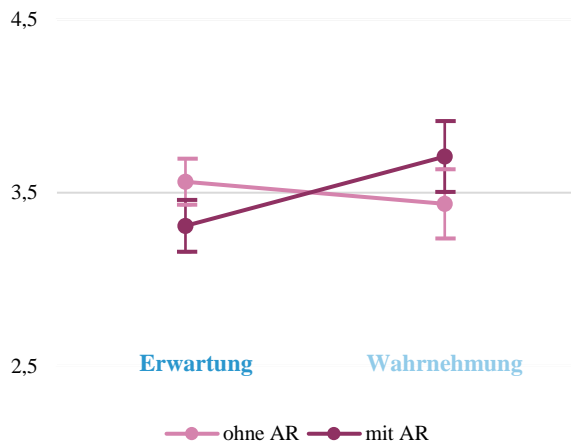


Abb. 2: Selbstwirksamkeitserwartung beim Experimentieren mit und ohne AR (n = 11) mit Standardfehler des Mittelwerts

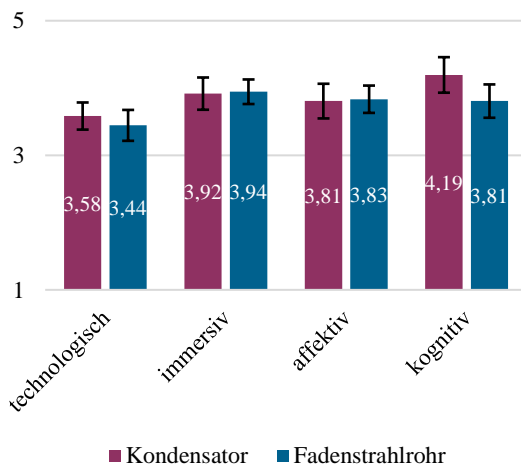


Abb. 3: Bewertung der Erfahrung der Studierenden beim Experimentieren in vier Ebenen von AR-Experimenten (n = 12)

Das strukturierte, offene Feedback deckt sich inhaltlich mit den vier Skalen zu den AR-Experimenten. Für einen Einsatz von AR in ihrem späteren Physikunterricht sehen die Studierenden Potential in Bezug auf den technologischen Fortschritt sowie auf die Motivation und das Verständnis der Schüler*innen. Hinderungsgründe sind vor allem technischer Art (Aufbau, Internetverbindung) sowie der hohe Zeit- und Organisationsaufwand.

4. Diskussion

Die geringere Selbstwirksamkeitserwartung im Pretest bei den Versuchen mit AR im Vergleich zu den übrigen Praktikumsversuchen lässt sich darauf zurückführen, dass die Studierenden noch keine eigenen Erfahrungen mit AR-Experimenten hatten. Die Entwicklung der Selbstwirksamkeit über das Praktikum hinweg spricht dafür, dass die Studierenden von den Experimenten mit AR-Anteilen profitieren. Sie schätzen diese auf kognitiver Ebene als verständlich ein und geben an, Spaß an der Arbeit mit dem Experiment zu haben.

Im offenen Feedback zu den Versuchen bewerten sie die Fähigkeit der Experimente, das inhaltliche Verständnis zu unterstützen, als besonders hoch (vgl. Abbildung 3, kognitive Ebene). Dies ist vor allem der Sichtbarmachung von modellhaften Inhalten (z.B. Vektorfelder) zu verdanken.

5. Ausblick

Auf Wunsch der Studierenden, eigene AR-Experimente zu entwickeln, wird im laufenden Sommersemester 2023 an der Goethe-Universität Frankfurt ein Seminar angeboten, in dem der Fokus darauf liegt, das Erstellen von dynamischen GeoGebra-Modellen zu lernen und diese im Rahmen eines Schülerlabors an zwei Lerngruppen zu erproben [17]. Dabei liegt der Fokus neben den digitalen Kompetenzen beim Modellieren von 3D-Objekten auf dem Einsatz des AR-Experiments in der Praxis, d.h. der Planung und Reflexion des Besuchs der Lerngruppen. Die Projektverantwortlichen planen neben der Beobachtung auch Befragungen von einzelnen Schüler*innen in Bezug auf deren Motivation und Selbstwirksamkeitserwartung beim Experimentieren sowie die Usability der AR-Experimente.

6. Literatur

- [1] Kreiten, Marga: [Chancen und Potenziale web-basierter Aufgaben im physikalischen Praktikum](#). Universität Köln, Dissertation, 2012.
- [2] Hopf, Martin: Problemorientierte Schülerexperimente. Universität München, Dissertation, 2007.
- [3] Schirmer, Carola; Marín, Victoria: [Die Gestaltung Forschenden Lernens mit digitalen Medien](#). In: Wulf, Carmen; Haberstroh, Susanne; Petersen, Maren (Hrsg.): *Forschendes Lernen*. Wiesbaden: Springer Fachmedien, 2020, S. 280-288.
- [4] Sweller, John; Ayres, Paul; Kalyuga, Slava: [Cognitive Load Theory](#). Dordrecht: Springer, 2011.
- [5] Horz, Holger; Schnotz, Wolfgang: [Cognitive Load in Learning with Multiple Representations](#). In: Plass, Jan L.; Brünken, Roland; Moreno, Roxana (Hrsg.): *Cognitive Load Theory*. Cambridge: Cambridge University Press, 2010, S. 229-252.
- [6] Thees, Michael; Kapp, Sebastian; Strzys, Martin P.; Beil, Fabian; Lukowicz, Paul; Kuhn, Jochen: [Effects of augmented reality on learning and cognitive load in university physics laboratory courses](#). In: *Computers in Human Behavior* Nr. 108 (2020), S. 106316.
- [7] Altinpulluk, Hakan: [Determining the trends of using augmented reality in education between 2006-2016](#). In: *Education and Information Technologies* Nr. 24 (2019), S. 1089-1114.
- [8] Carmigniani, Julie; Furht, Borko: [Augmented Reality: An Overview](#). In: Furht, Borko (Hrsg.): *Handbook of Augmented Reality*. New York: Springer, 2011, S. 3-46.

- [9] Teichrew, Albert; Erb, Roger: [How augmented reality enhances typical classroom experiments: examples from mechanics, electricity and optics](#). In: Physics Education Nr. 55 (2020), Nr. 6, S. 065029.
- [10] Winkelmann, Jan; Ullrich, Mark; Freese, Mareike: Physikalische Phänomene erforschen – zeitgleiches Experimentieren und digitales Modellieren mit Hilfe von Augmented Reality. In: Eghtessad, Axel; Kosler, Thorsten; Oberhauser, Claus; Örley, Gregor; Plattner, Irmgard (Hrsg.): Forschendes Lernen, Transfer Forschung ↔ Schule. Bad Heilbrunn: Klinkhardt, 2020, S. 225-227.
- [11] Zeaiter, Sabrina; Ernst, Michael; Freese, Mareike; Herr, Julius: DigiTeLL – Digital Teaching and Learning Lab. In: Mrohs, Lorenz; Hess, Miriam; Lindner, Konstantin; Overhage, Sven; Schlüter, Julia (Hrsg.): Digitalisierung in der Hochschullehre – Perspektiven und Gestaltungsoptionen. Bamberg: Univ. of Bamberg Press, 2023.
- [12] Schroedter, Stefan; Körner, Hans-Dieter: Entwicklung eines Fragebogens zur Selbstwirksamkeitserwartung beim Experimentieren (SWE_EX). In: Bernholt, Sascha (Hrsg.): Konzepte fachdidaktischer Strukturierung für den Unterricht. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Oldenburg, 2011, S. 164-166.
- [13] Brooke, John: [SUS: A “Quick and Dirty” Usability Scale](#). In: Jordan, Patrick W.; Thomas, Bruce; McClelland, Ian L.; Weerdmeester, Bernard (Hrsg.): Usability Evaluation in Industry. London: CRC Press, 1996, S. 207-212.
- [14] Dengel, Andreas: [Effects of Immersion and Presence on Learning Outcomes in Immersive Educational Virtual Environments for Computer Science Education](#). Universität Passau, Dissertation, 2020.
- [15] Wilde, Matthias; Bätz, Katrin; Kovaleva, Anastasiya; Urhahne, Detlef: [Überprüfung einer Kurzsкала intrinsischer Motivation \(KIM\)](#). In: ZfDN Nr. 15 (2009), S. 31-45.
- [16] Thees, Michael; Kapp, Sebastian; Altmeyer, Kristin; Malone, Sarah; Brünken, Roland; Kuhn, Jochen: [Comparing Two Subjective Rating Scales Assessing Cognitive Load During Technology-Enhanced STEM Laboratory Courses](#). In: Frontiers in Education Nr. 6 (2021), S. 705551.
- [17] Freese, Mareike; Winkelmann, Jan; Ullrich, Mark; Teichrew, Albert; Erb, Roger: [Einsatz von Augmented Reality: Phasenvernetzt und praxisorientiert vermittelt](#). In: Kubsch, Markus; Sorge, Stefan; Arnold, Julia; Graulich, Nicole (Hrsg.): Lehrkräftebildung neu gedacht: Ein Praxishandbuch für die Lehre in den Naturwissenschaften und deren Didaktiken. Münster: Waxmann, 2021, S. 237-242.

Förderung

Das Projekt „WARP-P – Wirkungsvolle AR im Praktikum Physik“ wird als Partnership des Gesamtprojekts „DigiTeLL – Digital Teaching and Learning Lab“ im Rahmen der Förderlinie „Hochschullehre durch Digitalisierung stärken“ von der Stiftung Innovation in der Hochschullehre gefördert.

Interessenförderung zur Quantenphysik in einem Nebenfachpraktikum Physik

Sebastian Nell*, Heidrun Heinke*

*RWTH Aachen University
nell@physik.rwth-aachen.de, heinke@physik.rwth-aachen.de

Kurzfassung

Das Inhaltsfeld der Quantentechnologie wird in den nächsten Jahrzehnten zentraler Bestandteil physikalischer Forschung weltweit sowie in Deutschland sein und damit auch in den Fokus der Nachwuchsförderung rücken. Vor diesem Hintergrund entwickelt das Schülerlabor Physik der RWTH Aachen SCIphyLAB gemeinsam mit dem Exzellenzcluster ML4Q (Matter and Light for Quantum Computing) Versuche zu grundlegenden quantenphysikalischen Phänomenen und bereitet diese so auf, dass sie sowohl von Schüler:innen als auch von Studierenden verschiedener nicht-physikalischer Studiengänge bearbeitet werden können. In den physikalischen Nebenfachpraktika können interessierte Studierende der Chemie, der Informatik und der Materialwissenschaften die entwickelten Versuche im Rahmen eines individuellen Förderangebots durchführen und ergänzend Forschungslabore zu dem Thema besuchen. Ziel ist es, das Interesse der Studierenden am Thema Quantentechnologien als zukunftssträftigem interdisziplinären Forschungsfeld zu wecken. Der Beitrag stellt neben dem Grundkonzept des Angebots auch Ergebnisse aus den ersten drei Durchläufen vor.

1. Motivation

In der heutigen Zeit gehört das Themengebiet der Quantenphänomene und ihrer technischen Nutzung zu den größten interdisziplinären Forschungsfeldern. Grundlagenforschung zum Quantencomputer oder anderen Quantentechnologien, ihre Weiterentwicklung und technische Nutzung sind zentrale Bestandteile aktueller Forschung, zu der u.a. Physikerinnen und Physiker wichtige Beiträge leisten. Die Breite der Forschungsaktivitäten und ihre Bedeutung werden auch daran ersichtlich, dass die Europäische Union im Rahmen ihres Flagship-Programms (vgl. Europäische Kommission 2023) im Oktober 2018 die Initiative Quantum Flagship unter anderem mit dem Ziel gestartet hat, „Europa zu einer dynamischen und attraktiven Region für innovative Forschung, Unternehmen und Investitionen in diesem Bereich zu machen“ (übersetzt nach Quantum Flagship). Gefördert wird die Initiative mit ca. 1 Mrd. € in einem Zeitraum von 10 Jahren (vgl. ebd.).

Die Finanzierung der Forschung an Quantentechnologien ist somit über lange Zeit gesichert. Um aber tatsächlich erfolgreich forschen zu können, müssen Menschen gewonnen werden, die die Forschung durchführen möchten und können. Daher ist es sehr wichtig, eine angemessene Ausbildung und Förderung im Bereich der Quantenphänomene und -technologien sowohl für Schülerinnen und Schüler als auch für Studierende anzubieten. Dabei sollten aufgrund der Interdisziplinarität des Forschungsfeldes Studierende nicht nur der Physik, sondern auch anderer MINT-Disziplinen angesprochen werden.

Vor diesem Hintergrund entwickelt das Schülerlabor Physik der RWTH Aachen, SCIphyLAB, aufbauend auf Vorarbeiten aus dem SFB 917 Nanoswitches und gemeinsam mit dem Exzellenzcluster Matter and Light for Quantum Computing, ML4Q, Versuche zu grundlegenden und weiterführenden quantenphysikalischen Phänomenen. Diese sollen sowohl mit Schülerinnen und Schülern mit Leistungskurs Physik als auch mit Studierenden nicht-physikalischer Studiengänge durchgeführt werden.

In diesem Beitrag wird ein Konzept für ein Angebot einer gezielten Interessenförderung vorgestellt, mit der das Interesse von Studierenden der Chemie, der Informatik und der Materialwissenschaften an Quantenphysik gefördert werden soll. Hierzu führen die Studierenden im Rahmen eines physikalischen Nebenfachpraktikums freiwillig quantenphysikalische Versuche durch und gewinnen außerdem erste Einblicke in Aspekte der aktuellen Forschung in dem Themengebiet. Im Beitrag werden das Grundkonzept des Angebots erläutert, die durchgeführten Experimente benannt und ausgewählte Ergebnisse aus den ersten drei Durchläufen vorgestellt.

2. Pädagogische Interessentheorie

Im Rahmen der Interessenförderung soll untersucht werden, inwiefern sich das Interesse der teilnehmenden Studierenden entwickelt (siehe Abschnitt 4). Eine zentrale Theorie im Bereich der Interessenforschung ist das Modell der Person-Gegenstands-Beziehung nach Prenzel, Krapp und Schiefele (vgl. Prenzel, Krapp & Schiefele 1986). Schiefele beschreibt diese als „eine Beziehung, in der [die Person] versucht,

erkennend, die Eigenart des Gegenstands verstehend, ihn sich zu erschließen und dabei selbst Bereicherung zu erfahren“ (vgl. Schiefele 1986, S. 156).

Dabei ist hier relevant, dass der Interessenbegriff auf zwei verschiedene Arten verstanden werden kann. Krapp beschreibt konkret die Unterscheidung zwischen Interesse als „persönlichkeitsspezifisches Merkmal des Lerner“ und Interesse als „einmaligen, situationspezifischen, motivationalen Zustand“ (vgl. Krapp 1992, S. 748). Zudem erläutert Krapp folgende Unterscheidung:

- Individuelles Interesse bzw. aktualisiertes Interesse bezeichnen ein persönlichkeitspezifisches Merkmal. Sie „beeinflussen das Handeln“ vor allem in der Freizeit einer Person und sorgen dafür, dass sich eine Person „ohne äußere Veranlassung“ mit einem (Lern-)Gegenstand beschäftigt (vgl. ebd., S. 748 – 749).

- Interessantheit bzw. situationales Interesse beschreiben hingegen eine Art des Interesses, welches „durch die interessante Aufbereitung des Lernstoffs ange-regt“ (Krapp 1998, S. 191) werden kann. Interessantheit beschreibt dementsprechend ein Merkmal des Lernstoffes (vgl. ebd., S. 749).

Nach Krapp stehen diese Merkmale in Relation zueinander, die Merkmale der Person (individuelles Interesse) bzw. der Lernumgebung (Interessantheit) können den motivationalen Zustand auslösen. Dies stellt Krapp wie in Abbildung 1 abgebildet dar (vgl. Krapp 1992, S. 749 f.).

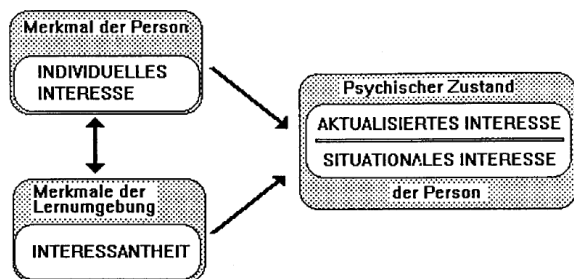


Abb.1: Darstellung der Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Merkmalen und Zuständen von Interesse (Krapp 1992, S. 750).

3. Rahmenbedingungen der Interessenförderung

Die Interessenförderung findet im Rahmen des physikalischen Nebenfachpraktikums statt. Das Praktikum selbst ist Teil des Moduls „Physik für Naturwissenschaftler, Mathematiker und Ingenieure“, welches verschiedene Studienfächer mit Nebenfach Physik abdeckt (vgl. z.B. Modulhandbücher der Fächer Chemie und Materialwissenschaften in RWTH Online). Ein typischer Ablauf des Moduls ist in Abbildung 2 dargestellt. Demnach hören die Studierenden zunächst zwei Semester lang Vorlesungen zur Physik, worauf ein physikalisches Nebenfachpraktikum folgt.

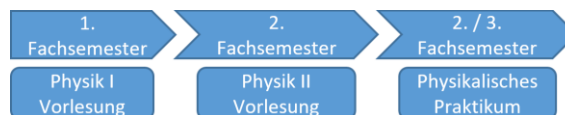


Abb.2: Darstellung des Ablaufs des Moduls „Physik für Naturwissenschaftler, Mathematiker und Ingenieure“ an der RWTH Aachen (vgl. Modulhandbücher der Fächer Chemie und Materialwissenschaften in RWTH Online).

3.1 Aufbau des physikalischen Nebenfachpraktikums an der RWTH Aachen

Die physikalischen Nebenfachpraktika an der RWTH Aachen sind in den Fächern Chemie, Materialwissenschaften und Informatik in Anlehnung an das traditionelle Praktikumskonzept nach Westphal aufgebaut (vgl. Westphal 1970). Die Studierenden werden in (je nach Teilnehmerzahl unterschiedlich viele) Kleingruppen von max. 8 Studierenden aufgeteilt. In diesen führen sie dann zunächst einen einführenden Versuch zu wesentlichen methodischen Lernzielen des physikalischen Praktikums durch. Je nach Praktikum schließen sich daran zwischen 10 und 12 Termine mit Versuchen zu verschiedenen Inhaltsfeldern (und teilweise speziellen Tutorien) an. Die Versuche betreffen hauptsächlich Themengebiete der klassischen Physik (z.B. Schwingkreis, Spektroskopie), gehen teilweise aber auch darüber hinaus (z.B. Michelson-Interferometrie, Röntgenanalysen).

Die Lernziele im physikalischen Praktikum liegen sowohl auf inhaltlicher als auch auf methodischer Ebene:

- Die Studierenden sollen die ausgewählten Inhalte der einzelnen Versuche verstehen, vertiefen und ihr Fachwissen durch die Beobachtung der Effekte und Phänomene sowie die Auswertung der erhobenen Daten festigen.

- Die Studierenden sollen lernen, wie die Durchführung und Auswertung von Versuchen in der Physik prototypisch ablaufen. Hierzu beschreiben sie Messunsicherheiten sowohl qualitativ als auch formal-mathematisch. Sie schätzen Messunsicherheiten ab, nutzen die Verfahren der Gauß'schen Fehlerfortpflanzung sowie der linearen Regression und können so aus erhobenen Daten Ergebnisse ableiten und deuten.

3.2 Aufbau des Angebots zur Interessenförderung

Die Lernziele in Physikpraktika und der teils limitierte Erfolg beim Erreichen dieser Ziele ist Gegenstand jahrzehntelanger Diskussionen sowohl unter Lehrenden als auch unter Vertreter:innen der Fachdidaktik (siehe z.B. Neumann 2004, Schwarz et. al. 2013, Rehfeldt 2017, Fricke 2018). In physikalischen Nebenfachpraktika sehen sich die Lehrenden bei den teilnehmenden Studierenden zusätzlich mit einer hohen Heterogenität bzgl. des physikalischen und experimentellen Vorwissens sowie der Motivation für die Aufgaben im Praktikum konfrontiert. Manche Studierende hatten in der Schule Physik im Leistungskurs und haben demnach sowohl eine tendenziell höhere physikalische Grundbildung als

auch ein stärkeres individuelles Interesse an Physik. Andere Studierende haben dagegen nach der Mittelstufe Physik abgewählt oder wurden (zum Teil mangels Lehrkräften) fast gar nicht in Physik unterrichtet. Da die Praktikumsaufgaben so konzipiert sind, dass auch Studierende ohne ausgeprägtes physikalisches Vorwissen diese bewältigen können, kann damit eine Unterforderung besonders leistungsfähiger und/oder motivierter Studierender einhergehen, die im Verlauf des Praktikums zumindest bezüglich der methodischen Lernziele zunehmen kann.

Vor diesem Hintergrund setzt die Interessenförderung von geeigneten Studierenden zu quantenphysikalischen Themen an. Sie adressiert Studierende, die die methodischen Lernziele des Praktikums bereits früh im Semester erreichen und die Interesse an einer Beschäftigung mit dem Thema Quantenphysik haben. Letzteres ist Voraussetzung, weil sich die Studierenden nach wenigen Praktikumsterminen freiwillig zur Teilnahme an dem Angebot anmelden und dabei ihren Wunsch an einer Teilnahme auch kurz motivieren müssen. Durch die Sichtung der von den interessierten Studierenden bereits erstellten Versuchsberichte und ein sogenanntes Kompetenzgespräch wird sichergestellt, dass die betroffenen Studierenden wichtige methodische Lernziele des Praktikums früh in dessen Verlauf bereits erreicht haben. Ist dies der Fall, werden für die Studierenden die zu diesem Zeitpunkt noch verbleibenden sechs Termine des Praktikums modifiziert. Hierbei werden einerseits die typischen Praktikumsversuche durch vier spezielle Versuche ersetzt, die grundlegende Phänomene der Quantenphysik behandeln. Das Angebot wurde unter der wichtigen Maßgabe entwickelt, dass der gesamte Zeitaufwand für den modifizierten Teil des Praktikums den typischen Aufwand für die ersetzten Versuche nicht wesentlich übersteigen soll. Konkret werden dabei die folgenden Themen behandelt:

Eindimensionaler Potentialtopf: Die Studierenden führen einen Analogieversuch zum eindimensionalen Potentialtopf unter Nutzung von Schallwellen durch.

Tunneleffekt: Die Studierenden lernen eine Anwendung des Tunneleffektes, die Rastertunnelmikroskopie, kennen. Sie bestimmen eine Gitterkonstante von Graphit.

Welle-Teilchen-Dualismus: Die Studierenden führen ein Doppelspaltexperiment mit wenigen Photonen durch und beobachten den Welle-Teilchen-Dualismus und die Wahrscheinlichkeitsverteilung dieser Quantenobjekte.

Hong-Ou-Mandel Effekt: Die Studierenden führen ein Einzelphotonen-Experiment zur Ununterscheidbarkeit von Photonen durch. In diesem Versuch wird neben dem namensgebenden Effekt auch die (Polarisations-)Verschränkung von Photonen behandelt und durch die Studierenden exemplarisch vermessen.

Kurz-Workshop zur Programmierung von Quantencomputern (nur für Studierende der Informatik): Die Studierenden lernen wesentliche Aspekte des Arbeitens mit Quantencomputern kennen. Sie erarbeiten grundlegende Operationen mit Qubits wie UND, ODER, Addition und weitere. Das Ganze wird ergänzt durch Einblicke in den Aufbau und die Funktionsweise von Quantencomputern.

Laborführungen: Die Studierenden erhalten Einblicke in aktuelle Forschung an der Entwicklung von Quantencomputern. Die genaue Thematik der Führungen wird kurz vorher durch die beteiligten Arbeitsgruppen festgelegt.

4. Forschungsfragen und Testinstrumente

Die Entwicklung der Interessenförderung zu quantenphysikalischen Phänomenen und ihre Evaluierung stehen insbesondere unter zwei Leitfragen für die Forschung:

1. Wie gelingt es, unter den Rahmenbedingungen eines Physik-Nebenfachpraktikums Studierende an Themen der modernen interdisziplinären physiknahen Forschung im Themenfeld von Quantenphänomenen heranzuführen?

2. Inwiefern entwickelt sich durch die Förderung das Interesse von Studierenden mit Nebenfach Physik an Quantenphänomenen und -technologien?

Zur Beantwortung dieser Fragen können verschiedene Daten herangezogen werden, die im Rahmen der Interessenförderung entstehen. Dies sind:

Kurze Motivationsschreiben der Teilnehmenden (vor Beginn der Intervention): Nach der Vorstellung des Projekts zu Beginn des Semesters melden sich die Studierenden freiwillig zum Projekt an. Im Rahmen der Interessenbekundung schreiben sie maximal eine halbe Seite über ihre Motivation zur Teilnahme am Projekt.

Das Kompetenzgespräch dient in seinem Kern dazu, mit den Studierenden über das physikalische Grundverständnis der Studierenden insbesondere bzgl. des Vorgehens beim Experimentieren sowie des Umgangs mit Messunsicherheiten zu sprechen, betrifft aber am Rande auch die Motivation der Studierenden zur Teilnahme an dem Angebot.

Zu jedem der vier oben genannten Praktikumsversuche formulieren die Studierenden Antworten auf Vor- und Nachbereitungsfragen, welche die Erwartungen der Studierenden zum jeweiligen Thema sowie die wahrgenommene Relevanz des Themas erfassen sollen. Konkret werden folgende Fragen gestellt:

Vor dem Versuch:

1. Was erwarte ich vom heutigen Versuch?
2. Was verbinde ich an diesem Versuch mit Quantentechnologien?

Nach dem Versuch:

3. Inwiefern wurden meine Erwartungen zum heutigen Versuch erfüllt?

4. Inwiefern wurde durch diesen Versuch mein Wissen / Verständnis von Quantentechnologien vertieft?

Nach Ende des Projekts nehmen die Studierenden an einem Interview teil, in dem sie über ihre Motivation zur Teilnahme an dem Angebot, ihre Wahrnehmung des Projekts während der Durchführung und nach seinem Abschluss berichten sowie erläutern, inwiefern sie eine weitere Beschäftigung mit dem Inhaltsfeld quantenphysikalischer Phänomene und deren technologischer Nutzung in der Zukunft für sich in Betracht ziehen.

Während der Durchführung des Projekts wird ein Fragebogen an Praktikusteilnehmer:innen der adressierten Studiengänge ausgegeben, die nicht am Projekt teilgenommen haben. Diese Studierenden beantworten zwei Freitextfragen:

1. Inwiefern hat die Vorstellung des Projektes zur Quantenphysik Ihr Interesse geweckt?
2. Wieso haben Sie sich gegen eine Teilnahme entschieden?

In dieser Veröffentlichung liegt der Fokus auf den Untersuchungen zur Forschungsfrage 1, die nachfolgend genauer betrachtet wird. Sie thematisiert die Rahmenbedingungen der praktischen Umsetzung der Interessensförderung ebenso wie ihre Umsetzbarkeit. Dabei muss zu einer vollumfänglichen Beantwortung dieser Frage eine Betrachtung der Interessensförderung sowohl aus Sicht der Dozierenden als auch aus der Perspektive der Studierenden erfolgen. Diese Betrachtung

umfasst dabei die folgenden Teilaspekte:

Praxistauglichkeit: Dieser Aspekt ist aus beiden Perspektiven zu betrachten. Die Interessensförderung muss sowohl im Arbeitsalltag der Anbieter wie auch im Studienalltag der Adressaten routinemäßig durchführbar sein. Im vorliegenden Fall muss das Angebot zu den Rahmenbedingungen der Lehrveranstaltung des physikalischen Nebenfachpraktikums passen und darf den Ablauf des Praktikums nicht beeinträchtigen.

Nachhaltigkeit: Aus Sicht der Dozierenden muss die Interessensförderung im Rahmen des physikalischen Nebenfachpraktikums bei moderatem zeitlichen Aufwand von Betreuenden durchführbar sein, damit das Angebot nachhaltig gestaltet werden kann.

Interessantheit: Aus Sicht der Studierenden muss die Interessensförderung hinreichend attraktiv sein, da das Angebot aufgrund seiner Freiwilligkeit nur so zustande kommt. Die Attraktivität betrifft dabei sowohl Aspekte der inhaltlichen Ausrichtung der Förderung, den (wahrgenommenen) Schwierigkeitsgrad als auch den zu erwartenden Zeitaufwand im Vergleich zum regulären physikalischen Nebenfachpraktikum.

Relevanz des Angebots und speziell der Versuche für das Inhaltsfeld und ggfs. berufliche Perspektiven der Teilnehmenden: Aus Sicht der teilnehmenden Studierenden sollten die angebotenen Versuche

wahrnehmbar mit dem Gebiet der Quantenphysik bzw. Quantentechnologien verbunden sein. Die Studierenden sollten also eine Relevanz der Versuche für dieses Inhaltsfeld und ggfs. auch ihre eigenen beruflichen Perspektiven erkennen.

5. Rahmendaten der Untersuchung

Wichtige Meilensteine im zeitlichen Ablauf der Entwicklung der Interessensförderung zu quantenphysikalischen Phänomenen und ihrer Evaluation waren:

WS 21/22: Erste Durchführung der Interessensförderung zur Erprobung des grundlegenden Konzeptes. Die Förderung wurde im physikalischen Nebenfachpraktikum Chemie durchgeführt, wobei 16 Plätze zur Verfügung standen.

SS 22: Die Interessensförderung wurde zum zweiten Mal durchgeführt und dabei in wenigen organisatorischen Punkten verändert. Zudem wurden die oben beschriebenen Datenerhebungen erprobt. Die Förderung wurde in den physikalischen Nebenfachpraktika für Studierende der Informatik und Materialwissenschaften durchgeführt, wobei jeweils 8 Plätze zur Verfügung standen.

WS 22/23: Die Instrumente für die Datenerhebungen wurden in überarbeiteter Version erprobt. Weiterhin wurde die Information der Studierenden über das Angebot zur Interessensförderung am Anfang des Praktikums verändert. Die Durchführung fand aber wie bei den vorigen Kohorten statt (in diesem Semester erneut im physikalischen Nebenfachpraktikum für Chemie-Studierende mit 16 verfügbaren Plätzen).

Tabelle 1 zeigt die Anzahl an Teilnehmenden in den benannten Semestern und Praktika. Weitere Durchführungen der Interessensförderung sind für die Semester SS 23, WS 23/24 und SS 24 geplant.

Tab.1: Auflistung der Semester und der physikalischen Nebenfachpraktika, in denen die Interessensförderung stattgefunden hat. Angegeben sind die Gesamtzahl an Studierenden im Praktikum sowie die Anzahl an Teilnehmenden an dem Förderangebot.

	Studierende im Praktikum	Davon im Förderangebot
WS 21/22 Chemie	80	7
SS 22 Informatik Materialwiss.	32 16	2 4
WS 22/23 Chemie	99	14

6. Ergebnisse zu Forschungsfrage 1

Im Folgenden werden die zu Forschungsfrage 1 erzielten Ergebnisse auf der Basis der Daten aus den bisher durchlaufenen drei Semestern vorgestellt. Hierbei erfolgt zunächst kurz die Beschreibung, wie

die Durchläufe aus Sicht der Dozierenden erfolgt sind. Im Anschluss wird ausführlich auf die Rückmeldungen von Studierenden eingegangen.

6.1 Teilaspekte aus Sicht der Dozierenden

Aus Sicht der Dozierenden sind zwei Teilaspekte zu betrachten:

Die Praxistauglichkeit der Förderung ist nach den bisherigen Erfahrungen gegeben. Das Förderangebot ist bereits drei Semester lang erfolgreich durchgeführt worden, wobei die Organisation der einzelnen Termine im Laufe dieser Zeit mit geringer werdendem Zeitaufwand verbunden war.

Die Nachhaltigkeit des entwickelten Förderangebots kann derzeit noch nicht abschließend bewertet werden, da die Durchführung zurzeit noch im Rahmen einer befristeten Projektstelle organisiert wird. Es wird in Kürze erprobt werden, ob die Organisation der Förderung durch eine studentische Hilfskraft gelingt.

Aus Tabelle 1 geht hervor, dass die Rate der Teilnehmenden an der Förderung je nach Semester stark schwankt. Unter dem Gesichtspunkt der Nachhaltigkeit ist daher die Frage zu stellen, ob bei zukünftigen Durchführungen eine Mindestteilnehmerzahl vorgegeben wird, um ineffiziente Betreuungsverhältnisse zu vermeiden.

6.2 Interessantheit und Praxistauglichkeit aus Sicht der Studierenden

Die Tabelle 1 mit den Teilnehmerzahlen liefert auch erste Indizien zur Bewertung der Praxistauglichkeit sowie der Interessantheit des Angebots aus Sicht der Studierenden. Zum Beispiel haben im SS 22 nur 2 von 32 Studierenden der Informatik an dem Angebot teilgenommen. Als daraufhin der Workshop zur Programmierung von Quantencomputern für alle Praktikumsteilnehmer geöffnet wurde, haben an diesem Einzeltermin 20 Studierende teilgenommen.

Um die Beurteilung der Attraktivität des Angebots aus Studierendensicht besser verstehen zu können, wurde in den physikalischen Nebenfachpraktika für Studierende der Informatik im SS 22 sowie für Chemie-Studierende im WS 22/23 der in Abschnitt 4 beschriebene Fragebogen zur Erfassung von Interessantheit und Praxistauglichkeit des Förderangebots an alle Studierenden der jeweiligen physikalischen Nebenfachpraktika ausgegeben, die nicht an der Interessensförderung teilgenommen haben. Im SS 22 haben 22 Studierende den Fragebogen ausgefüllt, im WS 22/23 40 Studierende.

Zunächst wurden die Studierenden in einer offenen Fragestellung gefragt, inwiefern nach der Vorstellung des Förderangebots Interesse an einer Teilnahme bestand. Die Freitext-Antworten der Studierenden wurden mittels zusammenfassender Inhaltsanalyse nach Mayring (vgl. Mayring 1991) analysiert. Im WS 22/23 beinhalten 34 von 40 Antworten Formulierungen wie „großes Interesse“ oder „wenig Interesse“ und können daher entsprechenden

Kategorien zugeordnet werden. Im SS 22 beinhalten 13 von 22 Antworten Formulierungen dieser Art. Die Zuordnung aller Antworten ist in Abbildung 3 dargestellt.

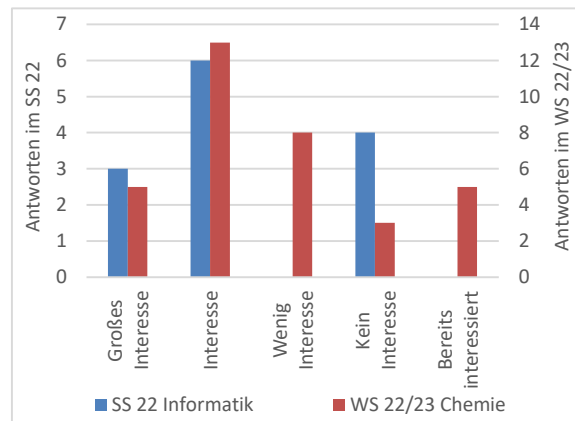


Abb.3: Darstellung der Kategorisierung von Antworten zur Freitextfrage „Inwiefern hat die Vorstellung des Projektes zur Quantenphysik Ihr Interesse geweckt?“ von Studierenden der Informatik im SS 22 (linke Achse) sowie Studierenden der Chemie im WS 22/23 (rechte Achse).

Wie aus der Abbildung hervorgeht, haben 18 Studierende der Chemie geäußert, dass Interesse oder großes Interesse an dem Projekt geweckt wurde. Dies entspricht einem Anteil von über 50% aller Antworten. Zusammen mit den Studierenden, die bereits vorher Interesse an dem Thema des Projekts hatten (Kategorie: Bereits interessiert), ergibt sich eine Zahl von 23 Studierenden und damit ein Anteil von über zwei Drittel derjenigen Studierenden, die den Fragebogen ausgefüllt haben, als prinzipielle weitere Adressaten des Angebots. Die Teilnehmenden am Projekt sind hier noch nicht enthalten.

Bezüglich der Interessantheit ist also festzuhalten, dass ein großer Anteil der Studierenden im physikalischen Nebenfachpraktikum Chemie im WS 22/23 eine Teilnahme erwogen hat. Für das Nebenfachpraktikum Informatik im SS 22 ergeben sich vergleichbare Zahlen aus der Fragebogenerhebung. Die Diskrepanz zu den tatsächlichen Teilnehmerzahlen lässt vermuten, dass die Praxistauglichkeit des Angebots zur Interessensförderung durch die Studierenden als problematisch wahrgenommen wurde. Um dies differenziert betrachten zu können, wurden die Studierenden nach den Gründen gefragt, weshalb sie sich gegen eine Teilnahme entschieden haben. Auch hier wurden Freitextantworten mittels zusammenfassender Inhaltsanalyse nach Mayring (vgl. Mayring 1991) analysiert, wobei die Antworten einzelner Studierender in mehreren Kategorien erfasst sein können. Die Ergebnisse sind in der Abbildung 4 für das Praktikum Informatik im SS 22 und für das Praktikum Chemie im WS 22/23 dargestellt.

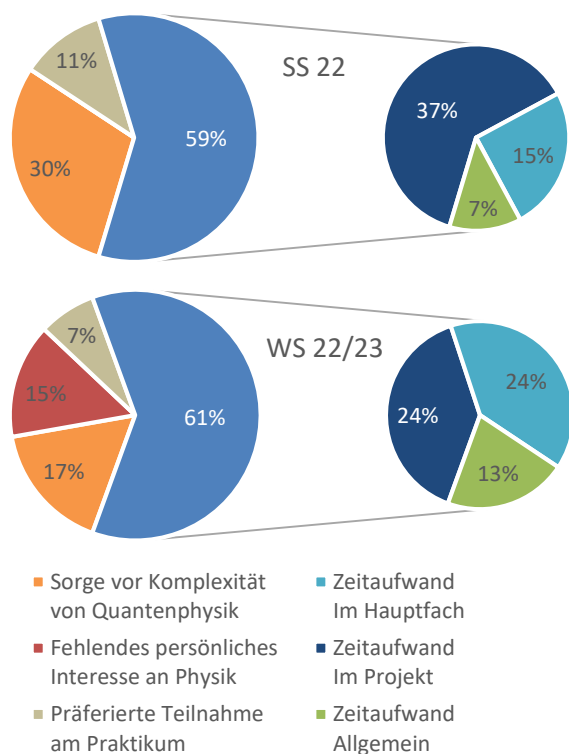


Abb.4: Darstellung der Kategorisierung von Antworten zur Freitextfrage „Wieso haben Sie sich gegen eine Teilnahme [am Projekt] entschieden?“, die Studierenden im physikalischen Nebenfachpraktikum Informatik im SS 22 sowie Studierenden im physikalischen Nebenfachpraktikum Chemie im WS 22/23 gestellt worden ist. Das blaue Segment in den linken Kreisen stellt die Oberkategorie „Zeitaufwand“ dar, die im rechten Kreis jeweils weiter aufgeschlüsselt wird.

Bemerkenswert sind die teilweise großen Ähnlichkeiten in den Antworten der Studierenden der beiden Semester. In beiden Fällen geben ca. 60% einen Grund an, welcher der Oberkategorie „Zeitaufwand“ zugeordnet werden kann. Weitere häufig genannte Gründe, sich nicht zur Teilnahme zu melden, wurden in der Kategorie „Sorge vor Komplexität von Quantenphysik“ zusammengefasst. Hier finden sich Antworten wie die Sorge, die Versuchsinhalte nicht verstehen zu können, oder die Befürchtung, nicht mit den anderen Teilnehmenden mithalten zu können.

An zwei Stellen unterscheidet sich das Antwortverhalten der Studierenden zwischen den beiden Semestern und damit auch den Studienfächern der Studierenden:

- Von den Studierenden der Informatik hat niemand „Fehlendes persönliches Interesse an Physik“ angegeben, dagegen 15% der Studierenden der Chemie. Hintergrund dieser Beobachtung ist, dass das Nebenfachpraktikum Physik im Chemie-Studium für alle Studierenden eine Pflichtveranstaltung ist, während sich die Studierenden der Informatik im

Rahmen des Wahlpflichtbereichs freiwillig für die Teilnahme am Praktikum entschieden haben.

- Der Anteil der Studierenden, die explizit einen zu hohen „Zeitaufwand im Hauptfach“ angeben, ist bei den Studierenden der Chemie deutlich höher als bei den Studierenden der Informatik. Dies liegt vermutlich auch daran, dass parallel zum physikalischen Nebenfachpraktikum im selben Semester verschiedene Praktika in der Chemie wie das Praktikum zur anorganischen Chemie durchgeführt werden. Darauf lassen typische Antworten wie „Ich habe nicht teilgenommen, da das aktuelle Hauptpraktikum zu viel Zeit beansprucht hat [...]“ schließen.

6.3 Folgerungen aus den Fragebogenerhebungen

Aus den Antworten der Studierenden kann geschlossen werden, dass das Angebot zur Interessenförderung im Bereich der Quantenphysik seinen Adressaten offenbar Interessantheit bietet. Allerdings scheinen auch prinzipiell interessierte Studierende insbesondere aufgrund des befürchteten Zeitaufwandes im Projekt oder aufgrund des benötigten Zeitaufwandes im Hauptfach vor einer Teilnahme zurückzuschrecken. Weiterhin wird die Quantenphysik als komplexes Thema wahrgenommen, was ebenfalls als Grund für die Nicht-Teilnahme genannt wurde.

Es gilt also daran zu arbeiten, dass die Praxistauglichkeit des Angebots zur Interessenförderung aus Sicht der Studierenden zum Zeitpunkt der Entscheidung für oder gegen eine Teilnahme an dem Angebot positiver bewertet wird. Zentrale Bedeutung kommt hierbei der Präsentation des Förderangebots vor den Studierenden am Anfang des Semesters zu. Das Angebot zur Interessenförderung ist so konzipiert, dass Studierende auch ohne Vorwissen und -erfahrungen zur Quantenphysik teilnehmen können. Die Teilnahme soll zudem mit keinem erhöhten Zeitaufwand im Vergleich zum regulären physikalischen Nebenfachpraktikum verbunden sein. Tatsächlich haben die Studierenden, die in den ersten drei Durchläufen an der Interessenförderung teilgenommen haben, jeweils in Feedbackrunden zu den einzelnen Versuchen bestätigt, dass der Schwierigkeitsgrad der Versuche aus ihrer Sicht angemessen ist und keine zusätzliche Zeit zur Vorbereitung nötig war. Hieraus ist zu schließen, dass die angestrebte Praxistauglichkeit aus der Studierendenperspektive zwar gegeben ist. Allerdings scheinen die Informationen der Studierenden im Vorfeld der Interessenförderung die Sorgen der Studierenden noch nicht hinreichend zu berücksichtigen, weshalb die Studierenden die Praxistauglichkeit als problematisch wahrgenommen haben.

Deshalb wurde die Präsentation des Angebots zur Interessenförderung insofern überarbeitet, dass die von den Studierenden in den Fragebogenerhebungen geäußerten Sorgen bereits bei der Vorabinformation zum Angebot direkt thematisiert werden. Einige

Aspekte in den Informationen der Studierenden zum Angebot sind zwischen dem Sommersemester 22 und dem Wintersemester 22/23 bereits geändert worden. Dass in diesem Wintersemester die Rate der teilnehmenden Studierenden gegenüber dem Vorjahr gestiegen ist (siehe Tab. 1), kann mit diesen Änderungen zusammenhängen.

Die Teilnehmerzahlen und Begründungen für eine Nicht-Teilnahme werden mithilfe des skizzierten Fragebogens auch in den weiteren Durchläufen erfasst, um zu evaluieren, inwiefern eine Verbesserung in der Wahrnehmung der Praxistauglichkeit erreicht werden konnte.

7. Zusammenfassung und Ausblick

Seit dem WS 21/22 wird in den physikalischen Nebenfachpraktika für Studierende der Chemie, der Informatik und der Materialwissenschaften eine Interessenförderung zur Quantenphysik angeboten. Die Studierenden, die am physikalischen Praktikum teilnehmen, können dabei freiwillig an alternativen Versuchen zu grundlegenden Phänomenen der Quantenphysik sowie an einer Führung durch Forschungslabore im Bereich der Entwicklung von Quantencomputern teilnehmen.

Das Angebot zur Interessenförderung ist hierbei so konzipiert, dass gegenüber der regulären Ausbildung im Nebenfach Physik kein zusätzlicher zeitlicher Aufwand entsteht. Zudem werden die Versuche so gewählt bzw. ausgestaltet, dass die Studierenden für die Teilnahme kein Vorwissen benötigen und der Schwierigkeitsgrad für das physikalische Nebenfachpraktikum angemessen ist.

Im Rahmen der Entwicklung und Evaluation des Angebots werden zwei Leitfragen bearbeitet, wobei die erste auf praktische Aspekte der Entwicklung und Durchführung der Interessenförderung eingeht und die zweite Leitfrage didaktische Forschung zur Förderung von Interesse (hier am Themenfeld der Quantentechnologien) in den Mittelpunkt stellt.

In diesem Beitrag werden Ergebnisse hinsichtlich der ersten Forschungsfrage aus den ersten drei Durchläufen der Interessenförderung vorgestellt, wobei die Perspektiven sowohl der Dozierenden als auch der Studierenden berücksichtigt werden.

Aus Sicht der Dozierenden hat sich das Angebot zur Interessenförderung als praxistauglich erwiesen, da eine weitestgehend reibungslose Durchführung des Förderangebots gelingt. Dies gilt zumindest unter den Rahmenbedingungen eines moderaten Einsatzes zusätzlicher Personalressourcen im Rahmen einer Projektförderung. Inwiefern das Angebot auch im laufenden Betrieb des Praktikums langfristig und damit nachhaltig gestaltet werden kann, ist noch zu prüfen.

Aus Sicht der Studierenden bietet das Angebot zur Interessenförderung Interessantheit, sodass sich viele eine Teilnahme aus inhaltlicher Sicht vorstellen können. Allerdings äußern viele Studierende unter den

Randbedingungen einer Nebenfachausbildung Physik auch Bedenken hinsichtlich des befürchteten Zeitaufwandes für das Förderangebot, benennen einen zu hohen Zeitaufwand in ihrem Hauptfach als Hinderungsgrund für eine Teilnahme oder trauen sich die Teilnahme aufgrund eines wahrgenommenen hohen Schwierigkeitsgrades nicht zu.

Aus Sicht der Teilnehmenden an der Interessenförderung bleibt der Zeitaufwand auf einem Niveau mit dem im regulären physikalischen Nebenfachpraktikum benötigten Zeitaufwand und erscheint somit angemessen. Zudem bewerteten die Teilnehmenden auch den Schwierigkeitsgrad der durchgeführten Versuche als angemessen.

Hieraus folgt, dass die Praxistauglichkeit des Angebots aktuell differenziert bewertet werden muss: Teilnehmende Studierende beurteilen sie positiv, aber viele potentielle weitere Adressaten fühlen sich durch einen falschen Erwartungshorizont bezüglich des Zeitaufwands und des fachlichen Niveaus abgeschreckt.

Ausblickend muss daher die Information der Studierenden zur Interessenförderung dahingehend weiter überarbeitet werden, dass die Studierenden einen realistischen Einblick in den zeitlichen Aufwand und das erwartbare fachliche Niveau des Angebots erhalten. Neben der Weiterentwicklung der eingesetzten Versuchsaufbauten und -anleitungen wird in zukünftigen Durchführungen zudem die Untersuchung der Relevanz der Versuche aus Studierendensicht sowie die tatsächlich erzielte Entwicklung des Interesses an dem Themenfeld der Quantenphysik und -technologie in den Fokus rücken.

8. Literatur

- Europäische Kommission (29.03.23): <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/activities/flagships> Stand (05/2023)
- Fricke, A. (2018). Interaktive Skripte im Physikalischen Praktikum. Entwicklung und Evaluation von Hypermedien für die Nebenfachausbildung. Berlin: Logos Verlag Berlin.
- Krapp, A. (1992). Interesse, Lernen und Leistung. Neue Forschungsansätze in der Pädagogischen Psychologie. In: Zeitschrift für Pädagogik 38 (1992) 5, S. 747 – 770.
- Krapp, A. (1998). Entwicklung und Förderung von Interessen im Unterricht. In: Psychologie in Erziehung und Unterricht (PEU) 44 (1998) 3, S. 185 – 201.
- Mayring, P. (1991). Qualitative Inhaltsanalyse. In: Flick, U., v. Kardoff, E., Keupp, H., van Rosentiel, L., & Wolff, S. (Hrsg.). Handbuch qualitative Forschung: Grundlagen, Konzepte, Methoden und Anwendungen (S.209 – 213). München: Beltz.

Neumann, K. (2004): Didaktische Rekonstruktion eines physikalischen Praktikums für Physiker. In Niedderer, Fischler (Hrsg.): Studien zum Physiklernen, Bd. 38, Logos Verlag Berlin.

Prenzel, M., Krapp, A., & Schiefele, H. (1986). Grundzüge einer pädagogischen Interessentheorie. In: Zeitschrift für Pädagogik 32 (1986) 2, S. 163 – 173.

Quantum Flagship:

<https://qt.eu/about-quantum-flagship/>

Stand (05/2023)

Rehfeldt, D. (2017). Erfassung der Lehrqualität naturwissenschaftlicher Experimentalpraktika. Berlin: Logos Verlag Berlin.

Schiefele, H. (1986). Interesse. Neue Antworten auf ein altes Problem. In: Zeitschrift für Pädagogik 32 (1986) 2, S. 153 – 162.

Schwarz, I., Effertz, C., & Heinke, H. (2013). Entwicklung eines Physikpraktikums für Biologie-studierende -der Umgang mit Messunsicherheiten. PhyDid B - Didaktik Der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung. Abgerufen von <https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phydid-b/article/view/479>

Westphal, W. H. (1970). Physikalisches Praktikum (13. Aufl.). Braunschweig: Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH.

Danksagung

Wir bedanken uns bei der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) für die Förderung wichtiger Vorarbeiten im Rahmen des SFB 917 sowie die fruchtbare Zusammenarbeit mit dem Exzellenzcluster Matter and Light for Quantum Computing (ML4Q).

Kompetenzlevel für das European Competence Framework for Quantum Technologies

Franziska Greinert*, Rainer Müller*

*Technische Universität Braunschweig, Institut für Fachdidaktik der Naturwissenschaften
f.greinert@tu-braunschweig.de

Kurzfassung

Mit der Entwicklung moderner Quantentechnologien zur Industriereife ergibt sich ein neuer Bedarf an Fachkräften, die beispielsweise Quantensensoren bedienen oder Quantenalgorithmen an bestimmte Anwendungsfälle anpassen können. Im europäischen Quantum Flagship Koordinierungsprojekt QUCATS wird die Aus- und Weiterbildung von Fachkräften im Bereich der Quantentechnologien vorangetrieben. Dabei bietet das European Competence Framework for Quantum Technologies eine gemeinsame „Sprache“, eine Orientierungshilfe für die Planung und den Vergleich von Bildungsangeboten. Thematisiert wird das Feedback zu Version 1.0 und die Weiterentwicklung zu Version 2.0 des Frameworks, konkret die Ergänzung von Beschreibungen der Proficiency Levels, und weitere Aktivitäten im Projekt QUCATS, insbesondere Competence Types als Grundlage für Interviews zu Industriebedarfen und der Ausblick auf ein europäisches Zertifizierungsschema.

1. Einleitung

Quantentechnologien (QT) gewinnen rasant an Relevanz und damit ergeben sich neue Anforderungen an Quanten-Fachkräften [1]. Für Europa werden die Aktivitäten zum Aufbau einer Quantum Workforce durch das Quantum Flagship und das zugehörige Koordinierungs- und Unterstützungsprojekt QUCATS [2] vorangetrieben. Dort wird unter anderem die Arbeit aus dem Projekt QTedu CSA [3] weiter geführt, in dem eine erste Version des European Competence Framework for Quantum Technologies zusammengestellt wurde [4].

Version 1.0 des Competence Framework war stark auf Inhalte fokussiert. Für die Verwendung als Grundlage für die Planung oder den Vergleich von Bildungsaktivitäten ist eine weitere Dimension erforderlich: Proficiency Levels. In der ersten Version wurden bereits die Level A1 bis C2 eingeführt, jeweils mit einem Schlagwort aus dem DigCompEdu Framework [5], das auch generell als Vorlage für ein Competence Framework bei der initialen Zusammenstellung verwendet wurde. Diese Levelbezeichnungen sind aus dem Sprachenlernen [6] bekannt. Sie dienten bereits in der Betaversion der Qualification Profiles [7] als erste Einordnung zur Abstufung der Qualifikationen in verschiedenen Bereichen, um so unterschiedliche Profile abzubilden. Ein Profil ist eine Art Prototyp der Qualifizierung, die eine Person etwa durch ein Studium oder Weiterbildungen erreichen kann.

Bei der Zusammenstellung der Qualification Profiles durch Interviews erwiesen sich die fehlenden Levelbeschreibungen und entsprechend unterschiedliche subjektive Vorstellungen von den Levels als eine

große Hürde. Ihre Ergänzung ist die wohl wichtigste Neuerung der Version 2.0 des Competence Frameworks [8], die im April 2023 unter doi: [10.5281/zenodo.7827254](https://doi.org/10.5281/zenodo.7827254) veröffentlicht wurde.

Erste Level-Formulierungsversuche, eigene Erfahrungen aus dem Umgang mit dem Framework – etwa aus dem Entwicklungsprozess der Qualification Profiles – und einige Rückmeldungen von Nutzenden des Frameworks zeigten Aktualisierungsbedarfe sowohl in der Struktur bzw. Anordnung der Themen als auch der Themen selbst.

Im Folgenden werden zunächst die Feedbacksammlung und die zugehörige Aktualisierung der vorwiegend inhaltlichen Dimension des Frameworks dokumentiert, bevor in Kapitel 3 die strukturelle Aktualisierung mit der Ergänzung von „Key skills“ und in Kapitel 4 die Erweiterung um Levelbeschreibungen und Beispiele vorgestellt werden. Ergänzt wird die Arbeit am Framework durch eine auf Interviews basierende Industry Needs Analysis, für die die in Kapitel 5 vorgestellten Competence Types zusammengestellt wurden. Der Ausblick schaut auf die künftige Verwendung des Frameworks in verschiedenen Projekten, insbesondere als Grundlage für ein europäisches Zertifizierungsschema.

2. Feedbacksammlung, inhaltliche Aktualisierung

2.1. Feedback zu Version 1.0

Das Framework wird als ein lebendes Dokument vorgestellt, zu dem jederzeit Rückmeldungen gegeben werden können, um so zur nächsten Version beizutragen. Im Anschluss an die Veröffentlichung der Version 1.0 sind wertvolle Rückmeldungen, Vorschläge und Kommentare eingegangen.

Besonders hilfreich war das Feedback einer Gruppe aus einem Quantenforschungszentrum, die viele Änderungen und Umstrukturierungen für die Bereiche 5 (im Vorschlag „Quantum Algorithms and Software“) und 7 (im Vorschlag „Quantum Communication and Cryptography“) angeregt hat, sowie einige Vorschläge für den ersten Bereich der Grundlagen gemacht, etwa eine neue Unterdomäne für die Grundlagen der Informatik vorgeschlagen.

In einer zusätzlichen Anmerkung erklärt der Kontakt:

I'm receiving a lot of feedback from computer scientists that the framework is heavily focused around experimental physics (how to build a quantum computer). The small part on actual usage (software stack, applications of the QC) looks like a good start, but also has it's weakness as it seems to be based heavily on classical courses (like Nielsen and Chuang's book), which after 20 years of rapid developments are considered heavily outdated in our field. [...]

*I think the 'software/application' part should get a lot of relative attention: it seems reasonable to me that, in a healthy ecosystem, many more people should be **users** of the computer compared to the number of people employed to **build** the device. Looking at our educational goals, and the number of people we aim to educate in the next couple of years, I think this difference should also be apparent. That's why we'd really like to see a clear structure in the software-aspects of the framework, that sits closely to what we expect from future software developers and end-users.*

Dies lieferte den Ausgangspunkt für die Umstrukturierung der jeweiligen Bereiche und weist auch auf die Notwendigkeit des Unterbereichs „Computers and Software“ (3.5 in Version 2.0) und der Aufmerksamkeit für die High-Level-Quantenprogrammierung hin. Für den Bereich der Kommunikation hat ein anderes Unternehmen ebenfalls viele konkrete Vorschläge für Ergänzungen gemacht. Zudem wurde die Verschiebung der grundlegenden Kommunikations-Hardware in einen allgemeinen Hardwarebereich (Bereich 4) – also nicht mehr nur Hardware für Computer und Sensoren – vorgeschlagen.

Ein Kommentar bezog sich auf den Bereich der Quantensensorik und schlug vor, die allgemeinen Grundlagen für diesen Bereich zu ergänzen, um z. B. die fundamentalen Grenzen der Quantensensorik aufzugreifen. Eine andere Person machte auf Fähigkeiten aufmerksam, die in dem von der Physik dominierten QT-Bereich oft unterschätzt werden, z.B. Software-Architekturen, Qubit-Kontrolle und Systemintegration. In anderen Kommentaren wurde diskutiert, ob der Teilbereich 1.3, „Qubit dynamics“, geeignete bezeichnet und passend eingeordnet ist. Es wurden zahlreiche konkrete Ergänzungen oder Verschiebungen vorgeschlagen und auch auf unterrepräsentierte As-

pekte wie Quantum Machine Learning und chemische Simulationen hingewiesen. Darüber hinaus war die Bedeutung der Verbindungslinien unklar und führte zu Irritationen.

2.2. Weitere Überarbeitungsgrundlagen

Während der Sitzungen der QTedu Working Groups im März 2022 wurde in Online-Umfragen schnelles Feedback zum Framework und den Qualification Profiles gesammelt. Die Details sind im QTedu CSA Projekt Ergebnis D3.3 „Report outlining community consensus on Competence Framework on Quantum Technology – Lessons learned, recommendations for further research, and a roadmap for future development“ dokumentiert [9].

Die Ergebnisse lassen sich folgendermaßen zusammenfassen: Etwa ein Jahr nach der Veröffentlichung des Frameworks wussten zwei von drei Community-Mitgliedern von dessen Existenz. Viele von ihnen haben es bereits genutzt, z. B. zur Planung und Strukturierung in verschiedenen Projekten und Anträgen, oder planen, es in Zukunft zu nutzen. Bei der Bewertung des Gesamteindrucks des Frameworks überwiegend eindeutig die guten Eindrücke. Kritisiert wurde, dass das Framework Version 1.0 hauptsächlich inhaltsbasiert ist, während für die Entwicklung/Anpassung oder Abbildung von Bildungsaktivitäten die Kompetenzen wichtiger seien.

Diese Rückmeldungen und weitere Eindrücke, z. B. aus den Interviews zu den Qualification Profiles, waren die Hauptquellen für die Überarbeitung des Frameworks. Hinzu kamen eigene Erfahrungen aus zwei weiteren Jahren Arbeit im Bereich der QT Didaktik einschließlich eines einführenden Lehrbuchs zur QT für Ingenieure bzw. allgemein für Personen ohne starken Physik-Hintergrund [10], sowie die Sichtung verschiedener Bildungsmaterialien.

2.3. Feedback im Überarbeitungsprozess

Ein Entwurf für das aktualisierte Framework wurde zunächst innerhalb eines kleinen QUCATS-Expertenteams weiter diskutiert und bearbeitet. Zusätzlich wurden einzelne Externe zu konkreten Fragen bzw. Framework-Bereichen konsultiert und ein größeres QUCATS-Team einbezogen. Schließlich wurde ein letzter Entwurf an ausgewählte Kontakte und Interessierte aus der QTedu Community, die dieses Interesse bei den oben genannten Working Group Meetings bekundet hatten, für Feedback versendet. Damit wurden rund 50 Personen um Feedback gebeten und fünf schriftliche Rückmeldungen erhalten, die in die neue Framework-Version eingearbeitet wurden.

Darüber hinaus wurden die QTedu-Community und andere Interessierte, insbesondere alle diejenigen, die den Quantum Flagship Newsletter erhalten, zu zwei Online Diskussionstreffen im März 2023 eingeladen. Bei diesen zweistündigen Treffen wurden die Änderungen und Ergänzungen des Framework-Entwurfs vorgestellt, bevor die Teilnehmenden um ihre Ein-

schätzungen und Anregungen gebeten wurden. Dieser Input wurde auf einem digitalen Whiteboard gesammelt, auf dem auch der Entwurf zusammengestellt und gezeigt wurde. Die Feedbackanfrage bezog sich explizit nicht nur auf Ergänzungen, sondern auch auf Umsortierungen und Umformulierungen, sowie Möglichkeiten zur Kürzung des Frameworks und der Frage nach Unklarheiten. Hieran beteiligten sich 17 Personen, gaben Feedback und diskutierten, wie das gegebene Feedback in das Framework eingearbeitet werden kann. Dies führte zu mehreren Ergänzungen oder Änderungen einzelner Begriffe sowie zu einigen Verschiebungen im Framework.

Wenngleich die in Kapitel 4 thematisierten Levelbeschreibungen sowie die ebenfalls neue ergänzten „Key skills“ bei den Meetings und der Feedbackanfrage eingeschlossen waren, kam zu diesen nahezu keine Rückmeldung. Ihre Evaluation und Überarbeitung werden ein wichtiger Aspekt der nächsten Version des Frameworks, die für 2024 vorgesehen ist.

3. Strukturelle Änderungen und Ergänzung der Key skills

Durch die Arbeit an Beschreibungen der Proficiency Levels und Beispiele für einzelne (Teil-)Bereiche des Frameworks haben sich Bedarfe zur Umstrukturierung ergeben. Beispielsweise haben die Anwendungsbereiche 5, 6 und 7 eine klarere Struktur bekommen, beginnend mit den Grundlagen und mit eigenen Unterbereichen für die Anwendungsfelder. Die bisherigen „Practical and soft skills“ wurden stark überarbeitet, praktische Fähigkeiten in die zugehörigen Bereiche eingeordnet und ggf. über die neuen „Key skills“ verdeutlicht. Der Bereich 8 wurde zu „Valorisation“ (Wertschöpfung), s. Abb. 1. In ihm finden sich neue Unterbereiche zur Industrielandschaft, dem eigenen Business, dem Einfluss sowie Verantwortung und Bewusstsein, in dem auch „Education and Training“ verortet ist.

Auch die Grobstruktur mit den drei Blöcken wurde überarbeitet. Der Grundlagen-Block aus den Berei-

chen 1 und 2 bleibt bestehen, aber die Grenze der anderen beiden Blöcke ist verschoben. Statt die „Practical and Soft skills“ abzugrenzen, ist die neue Grenze an der Supply Chain orientiert. Die eine Seite formen die Bereiche 3 und 4, die „Core device technologies“ mit den Technischen Grundlagen und Komponenten, die andere Seite „QT systems and applications“ umfasst die drei Säulen der QT, Computing (Bereich 5), Sensorik (6) und Kommunikation/Netzwerke (7) sowie den oben diskutierten Bereich 8 „Valorisation“.

Eine neue Seite in Version 2.0 verdeutlicht diese Struktur, auch mit einer Darstellung der Supply Chain. Für jeden Block wird hier eine Beschreibung geliefert, die verdeutlicht, welche Themen und Fertigkeiten in welchen Block gehören. Dies wird durch die „Key skills“ unterstützt. Sie geben mit einem Schlagwort und einer kurzen Beschreibung an, welche Fertigkeiten in den drei Blöcken verortet sind und bereichern so die acht themenorientierten Bereiche des Frameworks.

Diese Blöcke sind durch Pfeile mit der Beschriftung „Background“ und „From component to application“ versehen. Sie zeigen die Abhängigkeiten der Blöcke und ersetzen die einzelnen Verbindungslinien der Bereiche, die sich in Version 1.0 als schwer verständlich zeigten.

Mehr Details zu diesen Änderungen finden sich in [11], ebenso wie weitere Hintergründe zu den Levelbeschreibungen im folgenden Kapitel.

4. Beschreibungen der Proficiency Levels

In der alten Framework-Version wurden für die Proficiency Level lediglich die Bezeichnungen A1 bis C2 (wie im Sprachenlernen) sowie jeweils ein Schlagwort (aus DigCompEdu) angegeben. Zur Formulierung von Beschreibungen der Level gibt es verschiedene Ansätze. Wie in [11] dokumentiert, basieren die QT Levelbeschreibungen auf denen aus dem European Qualification Framework (EQF) [12] mit Fokussierung auf die beiden Aspekte „Knowledge“ (Wissen) und „Skills“ (die Fähigkeit etwas zu tun).

Diese Beschreibungen werden durch Hinweise ergänzt, wie das entsprechende Level erreicht werden kann. Über das EQF sind die Level B2, C1 und C2 mit Bachelor, Master und Promotion verknüpft, sodass diese als eine Möglichkeit zum Erreichen des Levels genannt werden. Alternativen wie Projektarbeit im Bereich von Forschung und Entwicklung werden ebenfalls aufgeführt, um zu verdeutlichen, dass der akademische Weg nicht die einzige Möglichkeit ist, diese hohen Level zu erreichen. Für das erste Level lautet diese lange Beschreibung mit all den genannten Komponenten:

A1 Awareness (*up to a few hours of instruction or self-study*)

K: Basic idea (phenomena-oriented) of related concepts and functionalities, know basic vocabulary, overview of possibilities, challenges and limitations.



Abb. 1: Der neue Bereich 8 aus [8].

S: Ability to reproduce solutions for small problems, operate a device or run an algorithm after instruction.

Neben jeder dieser langen Levelbeschreibungen wird auch ein Beispiel bereitgestellt, um die Übertragung der allgemeinen Levelbeschreibungen auf (Teil-)Bereiche des Frameworks zu illustrieren. Dort heißt es etwa:

A1 Awareness *in concepts and foundations* (1)

K: Basic idea (phenomena-oriented) of the fundamental quantum concepts and vocabulary such as superposition and entanglement, challenges in measurement and through decoherence, and basic mathematical notation of quantum states.

S: Ability to explain the basic idea of a QT and its potential.

Zusätzlich zu der langen Fassung und dem Beispiel wird auch eine Kurzfassung der Levelbeschreibungen bereitgestellt, sodass die langen Fassungen und Beispiele zum „Erlernen“ des Levelsystems dienen, während die Kurzfassungen dann in der Nutzung einfach und schnell verwendet werden können. Das oben beispielhaft genannte Level wird dort kurz folgendermaßen beschrieben:

A1 Awareness (*a few hours*)

Basic idea, overview of possibilities and limitations, reproduce solutions, operate a device or run an algorithm.

Die Kurzfassungen für alle sechs Level zeigt Abb. 2.

5. Competence Types

Ein weiterer Ansatz aus dem QUCATS Projekt sind die Competence Types. Diese sind nicht Teil der Version 2.0 des Competence Frameworks sondern werden im Laufe des Jahres 2023 erprobt. Für eine Industry Needs Analysis für QUCATS werden in Interviews die (künftig erwarteten) Bedarfe der Industrie an Fachkräften erhoben. Zur Strukturierung der verschiedenen Rollen, die dabei auftreten, werden die Competence Types als Gesprächsgrundlage in den Interviews verwendet. Sie gliedern die Rollen im Zusammenhang mit QT in drei Typen:

- A1** **Awareness** (*a few hours*)
Basic idea, overview of possibilities and limitations, reproduce solutions, operate a device or run an algorithm.
- B1** **Adaptation** (*few weeks course*)
Specialised knowledge in a subdomain, awareness of its boundaries, explain complex functionalities, adapt approaches for concrete settings.
- C1** **Specialisation** (*longer research project*)
Highly specialised knowledge, critical awareness of interconnections, new solutions and methods, combine and integrate approaches.

- a) Build, develop: Komponenten oder Anwendungen (Geräte oder Programme) bauen, erstellen oder (weiter-)entwickeln.
- b) Use, adapt: Fertige Anwendungen nutzen oder anpassen, verschiedene Anwendungen zusammenführen um neue Anwendungsfälle zu erschließen.
- c) Overview, communicate: Die Grundidee, Möglichkeiten und Grenzen kennen, verschiedene Anwendungen und Anwendungsfälle vergleichen und passend zusammen bringen.

Diese drei Typen dienen als erste Orientierung und können als Anfang und Ende der Supply Chain, sowie dem „dazwischen“ angesehen werden. Insbesondere der Typ „dazwischen“ ist für viele von großem Interesse, ermöglicht er doch erst eine produktive Zusammenarbeit.

Für jeden Typen sind in Abb. 3 drei Level formuliert. In den Interviews werden sie durch Beispiele ergänzt, in denen konkrete Technologien oder Anwendungen betrachtet werden. So dient dieses Schema als Gesprächsgrundlage: Die Teilnehmenden sollen die für ihr Unternehmen relevanten Typen und Level identifizieren, es gemäß des Beispiels für ihre Situation ausformulieren und die Rahmenbedingungen zum Erreichen entsprechender Fachkräfte angeben. Hier wird beispielsweise ermittelt, wo Bedarfe an Studiengängen, Fortbildungen oder Selbstlernmaterialien bestehen und wie diese aussehen sollten.

In den ersten Interviews wurde das Schema der Competence Types gut angenommen, Ergänzungen oder fehlende Rollen bisher nicht aufgebracht, wenngleich teilweise ein Mix aus zwei Typen bzw. eine Ergänzung um den Overview-Typen thematisiert wurde. Weitere Interviews, die entsprechende Anpassung der Typen und ggf. Zusammenführung mit dem Competence Framework stehen aus.

6. Ausblick: Zertifizierungsschema

Durch die Kombination der inhaltsorientierten Framework-Bereiche mit den Proficiency Levels lassen sich Bildungsaktivitäten aber auch persönliche Qualifizierungen oder Stellenanforderungen abbilden und vergleichen. Wie gut dies in der Praxis funktioniert und welche Anpassungen und Überarbeitungen nötig werden, muss sich noch zeigen. Rückmeldungen sind jederzeit herzlich willkommen.

- A2** **Exploration** (*a few days*)
Knowledge of fundamentals or landscape of approaches, describe functionalities, read and interpret an algorithm or a description.
- B2** **Expertise** (*short research project*)
Advanced knowledge, critical perspectives, assessment of consequences, adapt or develop solutions for real-world use cases, identify possible use cases.
- C2** **Innovation** (*long-year experience with R&D*)
Most advanced knowledge, interconnections, develop innovative solutions, evaluate and assess, extend and redefine professional practice.

Abb. 2: Kurzfassung der Proficiency Level Beschreibungen aus [8].

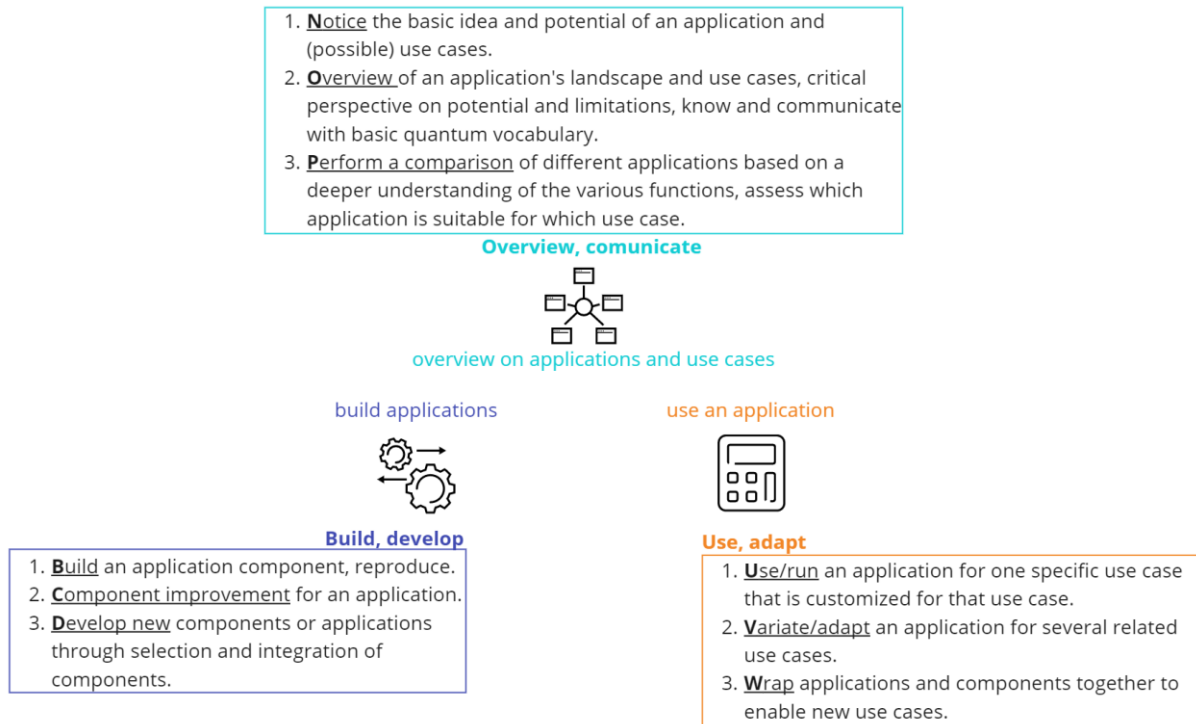


Abb. 3: Competence Types, Entwurf von März 2023.

Zum Einsatz kommt das Framework unter Anderem in zwei EU Projekten, DigiQ [13] und QTIndu [14], deren Fokus auf der Entwicklung und Bereitstellung von Master-Programmen und Industrie-Training liegt. Zudem wird es im Rahmen von QUCATS im European Quantum Readiness Center (EQRC) verwendet. Das EQRC ist die virtuelle Institution zum Vorantreiben der Gesellschaft und Fachkräftebildung im QT Bereich [15]. Das Framework bietet dabei die Grundlage zur Standardisierung, als gemeinsame Sprache und als Rahmen zur Einordnung.


Der Standardisierungsaspekt wird in QUCATS auch in Hinblick auf Fort- und Weiterbildungen verfolgt. Mit einem Zertifizierungsschema sollen die zahlreichen Lehrgänge und Programme, die aktuell von verschiedenen Anbietern entwickelt und angeboten werden, vergleichbar gemacht werden. So soll am Ende eines solchen Kurses nicht nur ein Zertifikat oder eine Bescheinigung mit einem mehr oder weniger nichtsagenden Titel stehen, sondern über das europäische Schema des Quantum Flagship eine internationale Referenz geboten und so Vergleichbarkeit und die Möglichkeit zur Anerkennung verschiedener Abschlüsse gegeben werden.

7. Literatur

- [1] F. Greinert, R. Müller, P. Bitzenbauer, M. S. Ubben, und K.-A. Weber, „Future quantum workforce: Competences, requirements and forecasts“, 2023, erscheint in Phys. Rev. Phys. Educ. Res. doi: [10.48550/arXiv.2208.08249](https://doi.org/10.48550/arXiv.2208.08249).
- [2] European Commission, „Quantum Flagship Coordination Action and Support: QUCATS Project“, cordis.europa.eu/project/id/101070193 (Stand 5/2023).
- [3] QTedu CSA, qtedu.eu/ (Stand 5/2023).
- [4] F. Greinert und R. Müller, „Competence framework for quantum technologies: methodology and version history“. Publications Office of the European Union, 2021, doi: [10.2759/130432](https://doi.org/10.2759/130432).
- [5] C. Redecker und Y. Punie, „European framework for the digital competence of educators: DigCompEdu“. Publications Office of the European Union, 2017. <https://data.europa.eu/doi/10.2760/159770> (Stand 4/2023)
- [6] Council of Europe, Hrsg., Common European framework of reference for languages: learning, teaching, assessment - companion volume. Strasbourg: Council of Europe Publishing, 2020.
- [7] F. Greinert und R. Müller, „Qualification Profiles for Quantum Technologies“, Zenodo, 2022, doi: [10.5281/zenodo.6834686](https://doi.org/10.5281/zenodo.6834686).
- [8] F. Greinert und R. Müller, „European Competence Framework for Quantum Technologies“, Zenodo, 2023, doi: [10.5281/zenodo.7827254](https://doi.org/10.5281/zenodo.7827254).
- [9] CORDIS und European Commission, „Coordination and Support Action for Quantum Technology Education (QTedu, Horizon 2020): Results“, 2022. <https://cordis.europa.eu/project/id/951787/results> (Stand 5/2023).
- [10] R. Müller und F. Greinert, „Quantentechnologien: Für Ingenieure“, De Gruyter Oldenbourg, 2023. doi: [10.1515/9783110717211](https://doi.org/10.1515/9783110717211).

- [11] F. Greinert, R. Müller, S. Goorney, J. Sherson, und M. Ubben, „Towards a Quantum Ready Workforce: the updated European Competence Framework for Quantum Technologies“. 2023, eingereicht.
- [12] European Commission, Hrsg., The European Qualifications Framework: supporting learning, work and cross-border mobility: 10th anniversary, 1st edition. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2018. doi: [10.2767/750617](https://doi.org/10.2767/750617).
- [13] J. Sherson und S. Goorney, „DigiQ“, Digitally Enhanced Quantum Technology Master, digiq.eu/ (Stand 5/2023).
- [14] Quantum Flagship, „QTIndu: Making European Industry Quantum-Ready“, Quantum Technology Courses for Industry, qt.eu/news/2023/2023-01-18_qtindu-making-european-industry-quantum-ready (Stand 5/2023).
- [15] J. Sherson und S. Goorney, „European Quantum Readiness Center“, quantumready.eu/#/ (Stand 5/2023).

Förderung

This *work* is part of a project that has received funding from the *European Union's Horizon Europe research and innovation programme* under grant agreement No 101070193. 

This publication reflects only the views of the authors, the European Commission is not responsible for any use that may be made of the information it contains.

Modulare Low-Cost Experimente zur Wellen- und Quantenoptik

Nils Haverkamp, Alexander Pusch, Stefan Heusler

Institut für Didaktik der Physik, Universität Münster, 48149 Münster
nils.haverkamp@uni-muenster.de

Kurzfassung

In der Physikunterricht der Sekundarstufe II zeichnet sich ein Mangel an Experimenten ab, die von Lernenden durchgeführt werden können. In diesem Beitrag wird günstiges modulares Experimentiermaterial zur Wellen- und Quantenoptik vorgestellt, das nach didaktischen Kriterien für den Einsatz als Schülerexperiment entwickelt wurde. Mit dem Material lassen sich das Michelson Interferometer, das Mach-Zehnder Interferometer sowie ein Modell des Quantenradierers aufbauen und weitere Experimente zu Polarisierung durchführen.

Im Beitrag werden neben den Experimenten auch Arbeitsmaterialien vorgestellt, die zu den Experimenten erstellt wurden, und erste Tests des Materials und der Arbeitsmaterialien im Schulkontext beschrieben. Außerdem werden weitere Schritte zur Verbreitung, Implementation und Beforschung skizziert.

1. Einleitung

Experimente nehmen eine zentrale Rolle im Physikunterricht ein. In der Sekundarstufe I können viele der zentralen Experimente von den Schülerinnen und Schülern oder zumindest in Form von Demoexperimenten von den Lehrkräften durchgeführt werden. In der Sekundarstufe II sind aber viele der Experimente zu kompliziert, zu gefährlich oder einfach zu teuer, um als Schülerexperiment durchgeführt zu werden.

Typische Experimente, die aufgrund des Preises in Form von Animation, Simulationen oder Demoexperimenten durchgeführt werden, sich aber eigentlich auch als Schülerexperiment anbieten, sind Interferometer. Besonders das Michelson Interferometer ist in den meisten Kernlehrplänen verpflichtend enthalten und lässt sich gut in verschiedenen Themenbereichen integrieren. Es kostet aber bei Lehrmittelherstellern normalerweise mehrere Tausend Euro und ist außerdem in der verfügbaren Form aufwendig zu justieren.

In diesem Beitrag wird ein modulares System vorgestellt, mit dem sich mehrere Experimente, unter anderem das Michelson Interferometer, umsetzen lassen. Das System basiert auf 3D-Druck und kann dadurch auch günstig selbst hergestellt werden.

2. Modulares System und Designkriterien

Als Basis für das Experimentiermaterial dient eine gedruckte Basisplatte, in der Magnetkugeln eingelassen sind. Die optischen Komponenten werden in würfelförmigen Modulen befestigt. Diese werden an der Unterseite mit Schrauben zusammengehalten, die sich auf die Magnetkugeln setzen lassen.

Bei der Entwicklung der Experimente und des Begleitmaterials wurden verschiedene Designkriterien umgesetzt, die sich aus der Multimediatheorie ableiten lassen [1].

Diese Designkriterien werden nachfolgende kurz beschrieben:

2.1. Signalisierungsprinzip

Zur Umsetzung des Signalisierungsprinzips wurde mit einem Farbkonzept gearbeitet, das die Funktion einzelner Bestandteile signalisiert (Abb. 1). Dazu sind die einzelnen Würfel oben in Bronze und unten in Gold gehalten. So ist direkt erkennbar, auf welcher Seite des Würfels die Schrauben sind, die auf der Grundplatte halten.

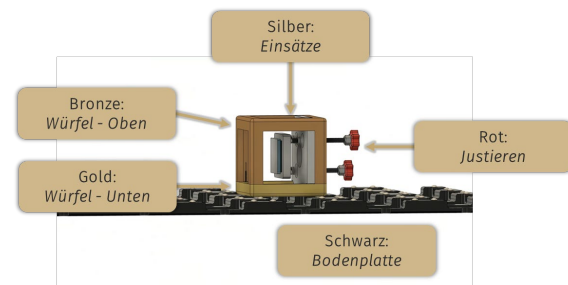


Abb.1: Farbsystem am Beispiel des Spiegelwürfels

Die individuellen Halterungen für die unterschiedlichen optischen Komponenten sind in Silber bzw. Grau gehalten und müssen für das Experimentieren nicht angefasst werden. Als Kontrast dazu sind diejenigen Komponenten, an denen justiert wird, rot markiert. Dies gilt beispielweise für die Schrauben, mit denen die Spiegel und die Laserdiode in zwei Achsen justiert werden können.

Dieses Farbsystem ist auch in den Anleitungen wiederzufinden, so dass die Abbildungen aus der Anleitung sich leicht in das Experiment übersetzen lassen.

2.2. Kohärenzprinzip

Zur Umsetzung des Kohärenzprinzips wurden die Komponenten beim Design soweit möglich auf die nötigen Details reduziert, um die Funktion der Bauteile in den Vordergrund zu stellen und direkt deutlich zu machen.

Außerdem wurden die Komponenten so gestaltet, dass nur eine Funktion in jedem Würfel umgesetzt ist. Dies dient neben der Umsetzung des Kohärenzprinzips auch einer stärkeren Modularität.

2.3. Segmentierungsprinzip

Die Umsetzung des Segmentierungsprinzips wird erst durch die Modularität des Aufbaus möglich. Das modulare System ermöglicht es, dass bei der Justage des Experiments zunächst nur einzelne Module auf das Gitter gesetzt und justiert werden. Dies wird in der Anleitung genutzt, um so bei der Justage die Einstellmöglichkeiten auf weniger Parameter zu reduzieren, die sich wesentlich leichter kontrollieren lassen.

3. Mögliche Experimente

Durch das modulare System lassen sich mehrere Experimente umsetzen, die für den Einsatz im Physikunterricht interessant sind. Dabei kann jeweils ein Teil der Module aus anderen Experimenten weiterverwendet werden.

Einige dieser Experimente werden nachfolgend vorgestellt:

3.1. Michelson Interferometer

Wie bereits in der Einleitung angedeutet, kann unter anderem ein Michelson Interferometer aufgebaut werden (Abb. 2). Verwendet werden eine Laserdiode, eine Linse, ein bedampfter Spiegel als Strahlteiler und zwei Vorderflächenspiegel. Alle optischen Komponenten sind günstig und bei deutschen Anbietern verfügbar.

Die Laserdiode wird einen separaten Batteriekasten angeschlossen, der mit einem beleuchteten Schalter deutlich zeigt, wenn die Spannungsversorgung aktiv ist. Das Interferenzmuster wird auf einem Schirm abgebildet.

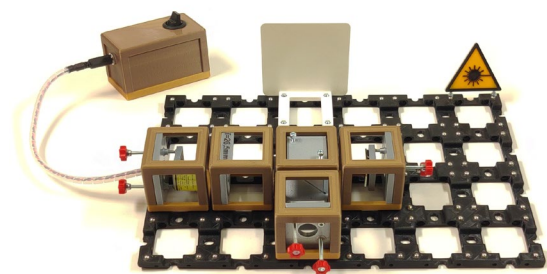


Abb.2: Michelson Interferometer

Ein beispielhaftes Interferenzmuster, das mit dem Michelson Interferometer erzeugt wurde, ist auf Abb.3 zu erkennen. Eingezeichnet ist dabei der Gangunterschied. Dieser ist jeweils ein Vielfaches einer ganzen Wellenlänge und unterscheidet sich für jeden Ring nach außen um genau eine Wellenlänge von dem nächstinneren Ring. Der Gangunterschied muss aber für den Fall des Michelson Interferometers - anders als beim Doppelspalt - nicht im Zentrum bei genau Null liegen.

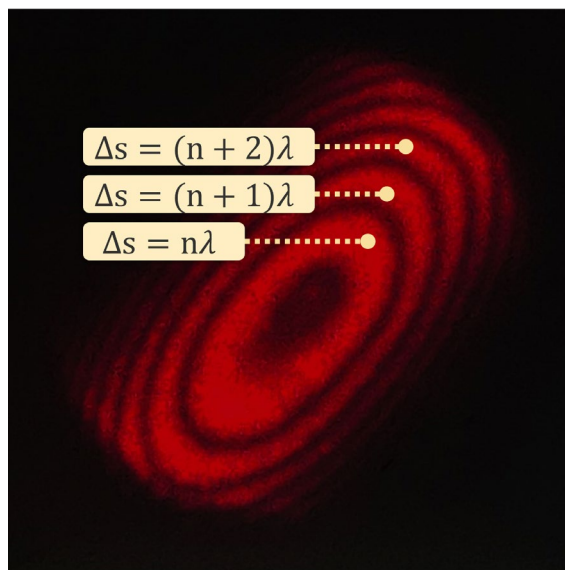


Abb.3: Interferenzmuster

3.2. Messen mit dem Michelson Interferometer

Es ist auch möglich mit dem Michelson Interferometer Messungen durchzuführen. Dazu wird einer der beiden Spiegel auf einem Piezoelement befestigt. Dieses dehnt sich aus oder zieht sich zusammen, wenn eine Spannung angelegt wird.

Die Bewegung des Spiegels lässt sich durch ein „Wandern“ der Ringe im Interferenzmuster nach Innen beobachten. Durch Zählen der Ring lässt sich dann bestimmen, um welche Strecke das Piezoelement den Spiegel verschoben hat.

3.3. Mach-Zehnder-Interferometer

Für das Mach-Zehnder-Interferometer können die Laserdiode, die Linse, der Strahlteiler und der Schirm weiterverwendet werden. Die beiden Spiegel müssen durch Spiegel ersetzt werden, die im 45°-Winkel befestigt sind. Außerdem müssen ein zweiter Strahlteiler sowie ein zweiter Schirm ergänzt werden. Der fertige Aufbau ist auf Abbildung 4 zu sehen.

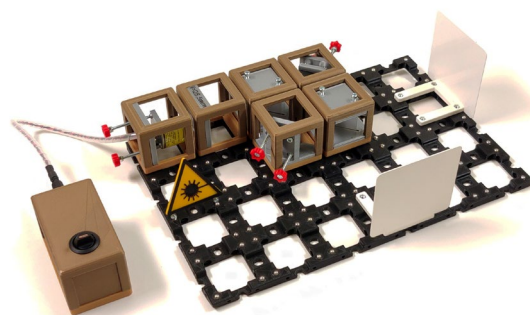


Abb.4: Mach-Zehnder-Interferometer

Im Gegensatz zum Michelson Interferometer sind beim Mach-Zehnder Interferometer beide Interferenzmuster gut sichtbar. Beim Michelson Interferometer entsteht eines der Interferenzmuster an der Position der Laserdiode und ist deshalb nicht sichtbar. Die beiden sichtbaren Interferenzmuster erlauben

einige spannende Beobachtungen, die beispielsweise in (Haverkamp et al., eingereicht) dargestellt sind.

3.4. Experimente zur Polarisation

Im Experimentiermaterial sind auch drehbare Polarisationsfilter enthalten. Diese ermöglichen es, verschiedene Experimente zum Thema Polarisation durchzuführen.

3.4.1. Polarisation der Laserdiode

Indem ein Polarisationsfilter einfach hinter einer Laserdiode positioniert und gedreht wird, lassen sich erste qualitative Informationen über die Polarisation der Laserdiode erlangen. Die verwendeten Laserdioden haben einen starken linear polarisierten Anteil und einen leichten nicht polarisierten Anteil.

3.4.2. Gesetz von Malus

Mit einer Kombination von zwei Polarisationsfiltern können Experimente zur Bestimmung des Gesetzes von Malus durchgeführt werden. Dazu wird der erste Polarisationsfilter hinter einer Lichtquelle (Laserdiode oder LED) auf eine feste Polarisation eingestellt. Der zweite Polarisationsfilter wird dahinter positioniert und langsam gedreht.

Weil aktuell noch kein Lichtsensor im Material integriert ist, lassen sich noch keine quantitativen Experimente durchführen. Ein entsprechendes Modul befindet sich zur Zeit in Entwicklung.

3.4.3. Polarisation Drehen mit Polarisationsfiltern

Zwei Polarisationsfilter hintereinander, die um 90° gegeneinander verdreht sind, transmittieren i.A. kein Licht mehr. Wird aber ein dritter Polarisationsfilter zwischen diesen beiden Polarisationsfiltern positioniert, wird wieder ein Anteil des Lichts transmittiert, der sich aus dem Gesetz von Malus zu

$$I = I_0(\cos^2(45^\circ))^2 = 0,25I_0$$

ergibt. Die Polarisation des transmittierten Lichts ist um 90° gegen die Polarisation des einfallenden Lichts gedreht. Der transmittierte Anteil kann durch den Einsatz weiterer Polarisationsfilter vergrößert werden und ergibt sich allgemein für einen Gesamtdrehwinkel α bei n Polfiltern, die jeweils um α/n zueinander verdreht sind, zu

$$I = I_0(\cos^2(\alpha/n))^n.$$

3.5. Modell des Quantenradierers

Das Mach-Zehnder-Interferometer lässt sich durch Ergänzung einiger Polfilter zu einem Modell für den Quantenradierer erweitern (Abb.5).

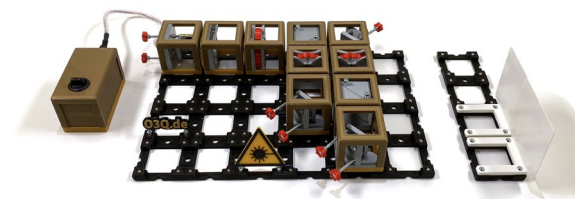


Abb.5: Modell des Quantenradierers

An dem Modell lässt sich die typische Beobachtung machen, dass kein Interferenzmuster mehr sichtbar ist, wenn in beiden Teilstrahlen Polfilter positioniert werden, die um 90° gegeneinander verdreht sind. Außerdem kann auch gezeigt werden, dass die Interferenzmuster wieder sichtbar werden, wenn Polfilter, die um 45° gegen die Filter beider Teilstrahlen gedreht sind, hinter den Ausgängen des Interferometers positioniert werden. Eine detaillierte Beschreibung dieser Phänomene ist beispielsweise in [2] zu finden.

4. Arbeitsmaterial

Das Arbeitsmaterial zu den Experimenten unterstützt bei der Justage und der Durchführung der Experimente. Kern des Arbeitsmaterials sind Abbildungen, die sich genau wie das Experimentiermaterial modular anordnen lassen, um beliebige Versuchsaufbauten zu erzeugen (Abb. 6). Auf diese Weise können Lehrende Arbeitsmaterial flexibel selbst für die eigenen Zwecke erstellen und anpassen. Beispielhafte Arbeitsblätter wurden bereits mit dem Workbookeditor Wunderbooks erstellt [3] und sind unter auf der Website des Projektes verfügbar [4].

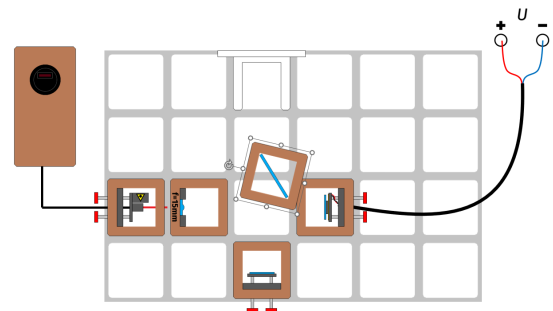


Abb.6: Modular angeordnete Abbildung.

Für die Abbildungen wurde wie in Abschnitt 2 beschrieben mit dem Signalisierungsprinzip gearbeitet.

5. Implementation der Materialien

Auf dem Weg zur Implementation der Materialien im Unterricht gilt es verschiedene Schritte zu bewältigen. Hierbei orientieren wir uns an dem Schema zur Implementation nach Sumfleth[5].

5.1. Analyse der Ausgangslage

Die Ausgangslage charakterisiert den eigentlichen Bedarf an Innovation. In diesem Fall ergibt sich der Bedarf aus dem Mangel an didaktisch und preislich geeigneten Experimenten für den Einsatz in der Oberstufe. Ein wichtiger Rahmen ist außerdem durch die in den Bildungsstandards und den Kernlehrplänen formulierten experimentellen Kompetenzen und fachlichen Inhalte gegeben.

5.2. Test im Schulkontext

Der Test im Schulkontext dient zur Verifikation, dass die Entwicklungen einen Mehrwert für die Schule haben können. Für das Michelson-Interferometer wurde ein solcher Test bereits durchgeführt. Dazu wurde in sechs Physikkursen eine jeweils 1,5-Stündige Unterrichtseinheit durchgeführt, in der die Schülerinnen

und Schüler in Kleingruppen mit dem Michelson-Interferometer experimentierten. Dabei füllten Sie das zugehörige Arbeitsmaterial aus. Anschließend wurden einige der Gruppen interviewt.

In die Auswertung wurden die ausgefüllten Arbeitsmaterialien und die Interviews einbezogen.

Bei der Auswertung ergab sich, dass alle Schülergruppen in der Lage waren, das Michelson Interferometer zu justieren und ein Interferenzmuster zu erzeugen. Ein großer Anteil der Gruppen konnten im zeitlichen Rahmen auch die Verschiebung des Interferenzmusters mit Hilfe des Piezoelements sichtbar machen. Schwierigkeiten hatten die Lernenden primär mit der zugehörigen Theorie. Die meisten SchülerInnen haben das Michelson-Interferometer erst in der Doppelstunde kennengelernt und konnten in den Arbeitsmaterialien grundlegende Aufgaben zur Funktion bearbeiten. Fehler traten dann häufiger bei den Rechnungen im Kontext der Messung mit dem Piezoelement auf. Hier liegt nahe, dass eine Sicherungsphase und ein längerer zeitlicher Rahmen für diese Schwierigkeiten verringern könnten.

5.3. Weitere Schritte auf dem Weg zu Implementation

Zur Implementation sind noch wichtige weitere Schritte zu gehen. Zunächst müssen auch zu den übrigen Experimenten Arbeitsmaterialien erstellt werden. Außerdem müssen die Experimente auch im Unterricht erprobt werden.

Darüber hinaus muss die Verfügbarkeit der Experimente gewährleistet werden. Theoretisch ist diese durch die Möglichkeit gegeben das Material selbst nachzubauen. Hier fehlen aber vielen Lehrkräften das Werkzeug (insb. ein 3D-Drucker) sowie die technischen Fertigkeiten (Löten, 3D-Drucker bedienen). Aus diesem Grund sind aktuell weitere Varianten in Planung. Dazu sollen einerseits Workshops angeboten werden, in denen die gedruckten Materialien bereits zu Verfügung gestellt werden und in denen die Lehrkräfte Unterstützung beim Bau erhalten. So können gleichzeitig nebenbei technische Kompetenzen erlernt werden. Außerdem wird das Material bereits in von einer Schülerfirma produziert (Link). Die jährliche Stückzahlen sind hier allerdings durch die Rahmenbedingungen stark begrenzt, so dass es sinnvoll ist sowohl die Möglichkeit zum Selbstbau als auch die Workshops zusätzlich anzubieten.

Neben der Verfügbarkeit der Experimente ist es außerdem wichtig, auch das nötige Fachwissen weiterzugeben. Aus diesem Grund ist es wichtig Infomaterialien zum Material bereitzustellen und Fortbildungen anzubieten.

6. Ausblick

Mit dem Experimentiermaterial, das in diesem Artikel vorgestellt wurde, lassen sich wichtige Phänomene der Wellen- und Quantenoptik veranschaulichen und gleichzeitig experimentelle Kompetenzen fördern. In einem ersten Test konnte gezeigt werden,

dass das Material für den Einsatz als Schülerexperiment geeignet ist.

Weil das modulare System sich für optische Experimente anbietet liegt es nahe, noch weitere Module zu integrieren. So wird beispielsweise ein Lichtsensor in Zukunft weitere quantitative Experimente ermöglichen.

Darüber hinaus ist eine weitere Erforschung der Implementation notwendig. Neben der Erprobung weitere Experimente im Unterrichtskontext sollen dazu auch Fortbildungen für Lehrkräfte entwickelt und beforscht werden. In diesem Kontext ist es dann auch interessant, welche technischen Kompetenzen für den Nachbau Lehrkräfte mitbringen.

7. Literatur

- [1] Mayer, R. E. & Fiorella, L. (2022). The Cambridge Handbook of Multimedia Learning (Cambridge Handbooks in Psychology) (3. Aufl.). Cambridge: Cambridge University Press.
- [2] Haverkamp, Nils; Pusch, Alexander; Heusler, Stefan (angenommen): Low-Cost Schülerexperimente zur Wellenoptik - ein modulares 3D-gedrucktes Experimentierset. In: MNU-Journal
- [3] Heusler, Stefan: Wunderbooks – WWU Münster. <https://www.wunderbooks.de/> (Stand: 4/2023)
- [4] Heusler, Stefan: Open³ Quantum. <https://o3q.de/> (Stand: 4/2023)
- [5] Sumfleth, E. (2017): Diagnose – Intervention – Implementation im Spannungsfeld zwischen fachdidaktischer Forschung und unterrichtlicher Praxis. In: Maurer, Christian: Implementation fachdidaktischer Innovation im Spiegel von Forschung und Praxis. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik Jahrestagung in Zürich Regensburg: Universität Regensburg 2017, 827 S. - (Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik; 37), S. 5-18
Url: http://schule.eiseler.net/richtlinie_gfs.pdf (Stand: 4/2023)

Hinweis auf Förderung durch das BMBF

Das Projekt Open³ Quantum wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen der Maßnahme „Quantum aktiv – intuitive Outreachkonzepte für die Quantentechnologien“ gefördert.

Quantenphysik in Klasse 9 - Ergebnisse einer Akzeptanzbefragung für ein Spin-First-Unterrichtskonzept

Carsten Albert^{*+}, Gesche Pospiech⁺

* Leibniz-Institut für Festkörper- und Werkstoffforschung Dresden

+ Technische Universität Dresden, Professur für Didaktik der Physik

c.albert@ifw-dresden.de, gesche.pospiech@tu-dresden.de

Kurzfassung

Quantenphysik gilt als eines der herausforderndsten Themen bei der Vermittlung von Physik und ist gleichzeitig von herausragender Bedeutung bei künftigen technologischen Entwicklungen. Mit Blick auf den wachsenden Stellenwert der Quantenphysik innerhalb der schulischen Bildung wurde im Rahmen eines Design-Based-Research-Projektes ein Lehrkonzept entwickelt, das einen qualitativen und anknüpfungsfähigen Zugang zur Quantenphysik bereits in Klassenstufe 9 ermöglichen soll. Die Lerninhalte bauen dabei auf dem Elektronenspin als exemplarisches Zweizustandssystem auf.

Mit dem Ziel einer ersten formativen Evaluierung wurden Akzeptanzbefragungen durchgeführt, um die Vermittlungsstrategie zu überprüfen und vor einer ersten Erprobung mit Schulklassen anzupassen. Die Interviews konnten zeigen, dass mit dem Ansatz die intendierten Inhalte überwiegend erfolgreich vermittelt werden können und dass ein weiterer Einsatz des Konzeptes im Rahmen von Feldstudien legitim erscheint. Außerdem gaben sie Hinweise und Impulse für erste Anpassungen am Konzept.

1. Motivation und Zielstellung des Projektes

1.1. Quantentechnologien als curricularer Zugang zur Quantenphysik

Die Quantentheorie gilt häufig als die erfolgreichste Theorie überhaupt. Innerhalb der Physik ist sie von tragender Bedeutung – sie hat unser Verständnis von fundamentalen physikalischen Prinzipien nachhaltig geprägt und ist wesentliche Grundlage für ein breites Anwendungsspektrum in Technik und Wissenschaft. Während bereits heute beispielsweise unsere gesamte Halbleitertechnik auf Anwendung der Quantenphysik in Festkörpern beruht, birgt die Manipulation von Quantenzuständen einzelner Quantenobjekte enormes Potential für die Technologien der Zukunft. So basieren etwa Quantencomputer auf der Manipulation von Quantenzuständen durch Quantengatter.

Solche modernen Quantentechnologien nutzen häufig die gezielte Manipulation quantenphysikalischer Zweizustandssysteme, s. g. „Qubits“. Bei Zweizustandssystemen handelt es sich allgemein um Systeme mit einer physikalischen Eigenschaft, die nur zwei mögliche Werte annehmen kann – während andere Eigenschaften als unverändert angesehen werden (Dür & Heusler, 2016). Das Lehrbuchbeispiel für ein quantenphysikalisches Zweizustandssystem ist der Spin eines Spin-1/2-Teilchens.

Doch nicht nur bei den technischen Anwendungen bieten Qubits enormes Potential. Auch im curricularen Sinne scheinen Zweizustandssysteme als grundlegende Elemente der Quanteninformatik gut geeignet zu sein, einen Zugang zu elementaren Konzepten der Quantenphysik zu bieten. Sie erlauben u. a. eine klare Begriffsbildung und sind dabei einfacher als komplexe traditionelle Quantensysteme wie Atome oder Festkörper (Müller, 2016). Bereits an solchen einfachen Systemen können wesentliche Konzepte der Quantenphysik erarbeitet werden (Dür & Heusler, 2014).

Der Einstieg in die Quantenphysik bzw. die Erarbeitung zentraler Prinzipien anhand eines Modell-Qubits („Spin-First-Ansatz“) ist insbesondere im schulischen Bereich noch relativ unerforscht. Im Bereich der Hochschullehre gibt es hier allerdings bereits erste positive Erfahrungen (Sadaghiani & Munteanu, 2015).

1.2. Quantenphysik in der Schule

Hinsichtlich der tragenden Rolle innerhalb der Physik und der Bandbreite aktueller und künftiger Technologien kann die Quantenphysik als wichtiger Bereich physikalischer Allgemeinbildung in der Schule angesehen werden (Schöne & Pospiech, 2014). Wenngleich Deutschland eine verhältnismäßig lange Tradition zur Quantenphysik in der Schule hat (Stadermann et al., 2019), wird das Thema dennoch nach wie

vor praktisch ausschließlich in der Oberstufe behandelt. Das geschieht zudem häufig noch über einen quasi-historischen Zugang, der aus fachdidaktischer Sicht heute eher kritisch gesehen wird (Stadermann et al., 2019). Aktuelle Entwicklungen der Fachdidaktik orientieren sich dagegen an Quantentechnologien (Müller & Wilhelm, 2021), und damit auch an grundlegenden Konzepten wie Indeterminismus, Nicht-Lokalität oder Superposition. Ergänzend dazu fokussieren sich auch die jüngsten Beschlüsse der KMK zu den Bildungsstandards in der gymnasialen Oberstufe auf diese nichtklassischen Aspekte (Ständige Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland, 2020). Somit werden beispielsweise Zugänge flankiert, die auf den von Küblbeck und Müller (2007) formulierten Wesenszügen der Quantenphysik beruhen.

Es gibt bisher kaum fachdidaktisch fundiert entwickelte und evaluierte Lehrkonzepte für einen qualitativen Zugang zu moderner Quantenphysik in der Mittelstufe – insbesondere nicht für eine besonders frühe Einführung in das Thema in Klasse 9. In Hinblick auf die Lernvoraussetzungen überrascht das zwar nicht. Jedoch wirken solche Konzepte im Sinne der physikalischen Allgemeinbildung äußerst wünschenswert – insbesondere in Anbetracht der Tatsache, dass die meisten Schülerinnen und Schüler Physik vor Eintritt in die Oberstufe abwählen (Heise, 2014) und die Physik der Mittelstufe im Wesentlichen die Themen des 18. und 19. Jahrhunderts präsentiert (Hertel & Grossmann, 2016). Elemente der Quanteninformatik bieten auch in diesem Licht die Chance, grundlegende nichtklassische Konzepte der Quantenphysik bereits frühzeitig kontextorientiert und qualitativ zu vermitteln.

1.3. Studienziel und DBR-Paradigma

Aus dem geschilderten Stand ergab sich das Ziel, ein fachdidaktisch gut begründetes und auf die Zielgruppe angepasstes Lehrkonzept für einen qualitativen und phänomenbasierten Einstieg in die Quantenphysik für die Mittelstufe zu entwickeln. Konkret adressiert der Kurs Schülerinnen und Schüler der Klassenstufe 9, und damit eine besonders junge und auf diesem Gebiet unerforschte Zielgruppe.

Das Vorgehen bei der Entwicklung des Konzeptes ist entsprechend explorativ und kann nur Hand in Hand mit einer ständig begleitenden Evaluierung erfolgreich sein. Das Studiendesign entspricht damit einem Design-Based-Research-Paradigma: unter der Zielstellung der Entwicklung einer nachhaltigen Innovation für die Unterrichtspraxis wird ein Lehrkonzept zur Quantenphysik für Klasse 9 mithilfe eines multiperspektiven Ansatzes entwickelt und evaluiert. Dabei werden verschiedene Schritte der formativen Evaluierung und des Konzept-Re-Designs durchlaufen, die schlussendlich in einer summativen Evaluierung münden.

2. Einblick in das Lehrkonzept

Mittlerweile ist die Quantenphysik auch im Bereich der Fachdidaktik ein relativ gut erforschtes Feld (Bitzenbauer, 2021). Es existieren zahlreiche Lehrkonzepte sowie Studien zu Lernschwierigkeiten. Solche empirischen Befunde existieren jedoch nicht für die hier adressierte Zielgruppe. Der Entwicklung des Kurses liegt daher die Arbeitshypothese zugrunde, dass die bekannten Hindernisse sowie potentielle Ansätze in Grenzen auch z. T. von der Oberstufe auf die adressierte Zielgruppe übertragen werden können.

2.1. Design-Prinzipien

Ausgehend von den bekannten fachdidaktischen Befunden zur Lehre in der Quantenphysik sowie der Zielgruppe basiert das Unterrichtskonzept auf den folgenden Design-Prinzipien:

- Aufbau auf quantenphysikalischen Zweizustandssystemen (Qubits)
- vollständiger Verzicht auf das Konzept von Wellen
- klare Begriffsbildung und Sprachsensibilität
- Phänomen- und Konzeptorientierung
- Erarbeitung von Phänomen entlang klar definierter Wesenszüge
- Abgrenzung und Zusammenhang zwischen moderner und klassischer Physik herausarbeiten
- Gamification zum Einstieg in die Thematik

Diese Prinzipien werden im Rahmen der folgenden unterrichtspraktischen Eckpunkte angewendet:

- Schulart: Gymnasium
- Klassenstufe: 9
- Ansatz: Zugang mittels Elektronenspin

2.2. Aufbau des Vermittlungskonzeptes

Der kapitelweise Aufbau des Konzeptes ist in Abbildung 1 dargestellt.

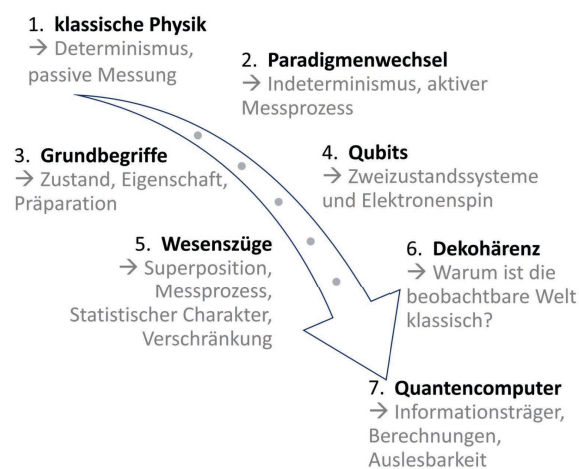


Abb. 1: Sachstruktur des Vermittlungskonzeptes.

Das Konzept ist grundlegend sachstrukturiert und dabei gleichzeitig kontextorientiert. Im Verlauf des Konzeptes werden Aspekte erarbeitet, um zum Schluss durch deren Vernetzung die grundlegende Funktionsweise eines Quantencomputers verstehen zu können.

Die Dauer des Konzeptes ist mit etwa sieben bis acht Doppelstunden angesetzt.

Dabei werden zu Beginn nach einem Überblick zu den Teilgebieten der Physik ganz grundlegende übergeordnete Prinzipien der klassischen Physik und der Quantenphysik erarbeitet (z. B. Determinismus vs. Indeterminismus).

Zur motivationalen Unterstützung wird hier im Sinne eines aktivierenden Einstieges der Einsatz des digitalen Serious Games „Katze Q“ eingebettet (Gamification). Damit werden vornehmlich affektive Lernziele adressiert und aktuelle medienpädagogische Ansätze aufgegriffen (Ferrzi-Valero et al., 2020; Kalogiannakis, 2021).

Anschließend wird, aufbauend auf Grundbegriffen, in das Konzept von Zweizustandssystemen eingeführt (Elektronenspin als Qubit auf Grundlage des Stern-Gerlach-Experimentes).

Zentraler Bestandteil ist die Erarbeitung von Wesenszügen der Quantenphysik. Diese orientieren sich an den Wesenszügen von Küblbeck und Müller (2007), wurden allerdings mit Hinblick auf Design-Prinzipien, Zielgruppe und Kontextorientierung z. T. abgeändert oder ergänzt. Die diskutierten Wesenszüge sind in Abbildung 2 dargestellt.

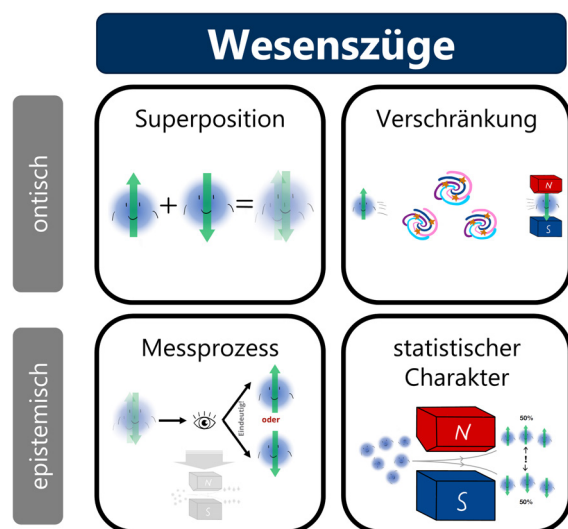


Abb. 2: Wesenszüge der Quantenphysik im Unterrichtskonzept.

Es folgt im Sinne einer offenen Diskussion zum Zusammenhang von Quantenphysik und klassischer Physik ein Kapitel zur Dekohärenztheorie. Dieses Vorgehen verfolgt auch das Ziel einer Entmystifizierung der Quantenphysik.

Schlussendlich werden alle erarbeiteten Aspekte gebündelt, um das grundlegende physikalische Arbeitsprinzip eines Quantencomputers (Informationsträger, Berechnungen, Auslesbarkeit) zu erarbeiten.

3. Einordnung der Akzeptanzbefragungen in den forschungsmethodischen Rahmen

Wie bei DBR-Studien üblich, ist der methodische Verlauf des Forschungsprojektes gerade auch aufgrund seines explorativen Charakters nicht linear, sondern zyklisch.

Zur Realisierung und Umsetzung des auf Grundlage der Design-Prinzipien entworfenen Unterrichtskonzeptes wurden folgende Materialien entwickelt:

- Lehrtext
- Arbeitsheft mit Lösungsheft
- Arbeitsblätter
- didaktischer Leitfaden
- HTML-Simulation (ergänzt nach der Akzeptanzbefragung)
- exemplarische Stoffverteilung/Planung (auf Grundlage des Pilotunterrichtes)

Um das Konzept und den Vermittlungsansatz einer grundlegenden ersten empirischen Erprobung zu unterziehen und basierend darauf anpassen zu können, wurden in einem ersten Schritt der formativen Evaluierung Akzeptanzbefragungen durchgeführt. Diese Form der Interviews dient u. a. dem Aufdecken von Verständnisschwierigkeiten und der Nachzeichnung von initiierten Lernverläufen.

Nach einer Überarbeitung des Materials begann eine zweite Phase zur formativen Evaluierung, in der das Konzept vom Studienautor sowie einem studentischen Mitarbeiter im zweiten Schulhalbjahr 2022/23 in insgesamt sechs Schulklassen oder Ferienkursen unterrichtet wird. Nach jeder Unterrichtsphase wird das Material auf Grundlage der Erfahrungen und gewonnenen Daten (durch Lerntagebücher, Lehrtagebücher, Reflexionen und Feedback von Lehrkräften und Lernenden, Interviewaussagen) weiter angepasst.

Parallel zu diesem Pilotunterricht werden Erhebungsinstrumente entwickelt: neben einem Interviewleitfaden insbesondere ein geschlossener Fragebogen zum erworbenen deklarativen Wissen sowie ein ebenfalls geschlossener Vorstellungsfragebogen. Diese werden im Zuge des Pilotunterrichtes strukturiert entwickelt, validiert und auf ihre psychometrische Eignung hin untersucht.

Die Hauptstudie findet mit dem Ziel einer summativen Evaluierung unter Beteiligung externer Lehrkräfte im Schuljahr 2023/24 statt.

Im Folgenden wird auf die Durchführung und Auswertung der ersten Phase der formativen Evaluierung, den Akzeptanzbefragungen, näher eingegangen.

4. Zielstellung und Forschungsfragen zur formativen Evaluierung

Die erste formative Evaluierung des Vermittlungsansatzes bzw. der Design-Prinzipien unterlag fünf wesentlichen Zielen:

- Überprüfung der inhaltlichen Vermittlungsstrategie der Unterrichtskonzeption
- Beschreibung von Schwierigkeiten im Zusammenhang mit der Unterrichtskonzeption
- Einschätzung der Unterrichtskonzeption aus Sicht der Lernenden
- Erfassung von Vorwissen sowie Vorwissensquellen
- Ableitung von sinnvollen Veränderungen am Unterrichtskonzept vor der ersten Feld-Pilotierung

Aus diesen Zielen ergaben sich die folgenden Forschungsfragen (FF) zur Vermittlungsstrategie:

- FF1: Inwiefern konnten die angestrebten fachlichen Inhalte vermittelt werden?
- FF2: Mit welchen Lernschwierigkeiten ist bei der Durchführung des Konzeptes zu rechnen?
- FF3: Wie schätzen die Lernenden das Vorgehen bei der Vermittlung insgesamt ein?
- FF4: Verfügen die Lernenden über relevantes Vorwissen für das Unterrichtskonzept?

Vor einem Einsatz des Unterrichtskonzeptes im regulären Schulunterricht erscheint es sinnvoll und notwendig, diese Fragen im Rahmen einer Laborstudie zu untersuchen und damit bei positiven Ergebnissen eine Feldstudie zu legitimieren.

5. Einsatz der Akzeptanzbefragungen

5.1. Methodik

In Hinblick auf die Zielstellung und Forschungsfragen wurde sich für die Durchführung von s. g. „Akzeptanzbefragungen“ (engl. „Teaching Experiments“) entschieden. Dabei handelt sich um ein, gerade auch zur Entwicklung von Unterrichtskonzepten, übliches Vorgehen zur formativen Evaluierung (Bitzenbauer, 2020).

Akzeptanzbefragungen sind leitfadenbasierte (teilstrukturierte) Interviews, denen eine zyklische Folge von Interventions- und Befragungsphasen zugrunde liegt (Bitzenbauer, 2020). Die Methode geht auf Jung (1992) zurück und wurde von Wiesner und Wodzinski (1996) weiterentwickelt.

Zur inhaltlichen Strukturierung der Befragung wurden nach Top-Down-Prinzip insgesamt sieben fachlich zentrale Bausteine der Vermittlungsstrategie herausgearbeitet (siehe Tabelle 1). Sie spiegeln im Wesentlichen die Sachstruktur des Konzeptes wider und werden in Anlehnung an Bitzenbauer (2020) im Folgenden als „Key-Ideas“ bezeichnet.

Der Ablauf der Befragung, orientiert an Wiesner und Wodzinski (1996) und adaptiert nach Bitzenbauer (2020) und Burde (2018), gestaltet sich wie folgt (siehe auch Abbildung 3):

- Informationsangebot:
Der Interviewer gibt mündlich eine Erklärung.
- Befragung nach Akzeptanz:
Der/Die Befragte wird aufgefordert, die Erklärung zu bewerten.
- Paraphrasierung:
Der/Die Befragte wird aufgefordert, die Erklärung mit eigenen Worten wiederzugeben.
- Anwendung/Transfer:
Der/Die Befragte wird aufgefordert, die Erklärung auf ein konkretes Beispiel anzuwenden.

Diese vier Schritte wurden linear für jede Key-Idea durchlaufen.

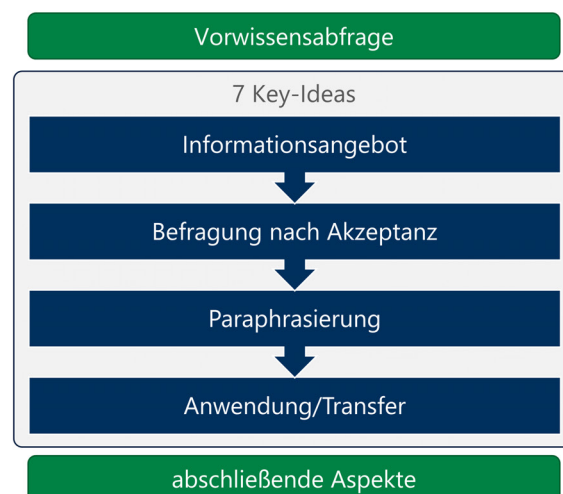


Abb. 3: Ablauf der Befragung.

Zur besseren Strukturierung und Nachvollziehbarkeit wurde das Interview mithilfe von Leitfragen gegliedert, denen die in Tabelle 1 dargestellten Key-Ideas zugeordnet waren. Die Informationsangebote wurden entlang des Lehrtextes entwickelt, die Anwendungs-/Transferaufgaben wurden dem entwickelten Arbeitsheft entnommen.

Tab. 1: Leitfragen und Key-Ideas.

Leitfrage	Key-Idea
Was macht die klassische Physik aus und was ist Quantenphysik?	Determinismus vs. Indeterminismus
Wie kann man Quantenphysik am einfachsten beschreiben?	Elektronenspin als Zweizustandssystem
Was macht die Quantenphysik aus? Wesenszüge der Quantenphysik	Superposition und Messprozess
	statistischer Charakter
	Verschränkung
Warum erscheint uns die Welt klassisch?	Dekohärenz
Was ist ein Quantencomputer?	Grundidee des Quantencomputers

5.2. Ablauf und Setting

5.2.1. Ablauf

Der Ablauf der Akzeptanzbefragungen gliederte sich (linear) wie folgt:

- Vorbereitung der Interviews
- Durchführung der Interviews
- Transkription der Interviews
- strukturierte Bewertung der Interviews (deduktiv) durch zwei unabhängige Rater
- weitere Exploration der Transkripte (deduktiv-induktiv)

5.2.2. Durchführung

Die Akzeptanzbefragungen fanden im Zeitraum Oktober 2022 bis November 2022 im Leibniz-Institut für Festkörper- und Werkstoffforschung Dresden statt. Insgesamt nahmen elf Schülerinnen und Schüler an den Interviews teil (sechs weiblich, fünf männlich).

Zehn Schülerinnen und Schüler besuchten die 9. Klasse an sächsischen Gymnasien, ein Schüler besuchte die 9. Klasse einer sächsischen Realschule.

Für einen Überblick über das Sampling wurden die letzten beiden (Halb-)Jahresnoten in Physik erhoben ($m = 2.09$, $SD = 0.7$, $\min = 1$, $\max = 3$). Die Interviewdauer betrug im Schnitt etwa zwei Stunden und alle Interviews wurden ohne längere Unterbrechung durchgeführt. Eine der Schülerinnen war stumm, sodass sie ihre Aussagen schriftlich, aber in Echtzeit gab.

Dem Interview lag ein Interviewleitfaden sowie eine begleitend-strukturierende Bildschirm-Präsentation mit Informationsangebot und Aufgaben zugrunde.

5.2.3. Transkription

Die Interviews wurden als Audiodatei aufgezeichnet und anschließend transkribiert und anonymisiert. Die inhaltlich-semantische Transkription geschah auf Grundlage eines Transkriptionsleitfadens, die Regelgrundlage orientierte sich dabei an Dresing und Pehl (2018) und Burde (2018). Die Anonymisierungsregeln orientierten sich an Meyermann und Porzelt (2014).

5.2.4. Auswertung

Die Interviews wurden anschließend auf Grundlage eines zuvor entwickelten Kodierleitfadens zunächst entsprechend einer strukturierten skalierenden Inhaltsanalyse nach Mayring (2010) deduktiv kodiert.

Das dabei verwendete Kategoriensystem war, wie bei Akzeptanzbefragungen üblich, ordinal-skaliert und die entsprechende Kodierung der Schülerantworten erfolgte auf einer dreistufigen Skala für jede der drei Befragungsphasen. Tabelle 2 zeigt eine Kurzübersicht über die Kategorien.

Tab. 2: Kategoriensystem (ordinal-skaliert).

Befragung nach Akzeptanz		
Stufe	Stufenname	kodierter Wert
1	vollständige Akzeptanz	0
2	eingeschränkte Akzeptanz	0.5
3	keine Akzeptanz	1

Paraphrasierung		
Stufe	Stufenname	kodierter Wert
1	gelungene Paraphrasierung	0
2	befriedigende Paraphrasierung	0.5
3	mangelhafte Paraphrasierung	1

Anwendungs-/Transferaufgabe		
Stufe	Stufenname	kodierter Wert
1	gelungene Lösung	0
2	befriedigende Lösung	0.5
3	mangelhafte Lösung	1

Diese Auswertung fand innerhalb von zwei Bewertungsrunden durch zwei unabhängige Rater (Studientutor und studentischer Mitarbeiter) statt. Nach der ersten Runde wurden Leitlinien für den Umgang mit Grenzfällen im Kodierleitfaden festgelegt (Mayring, 2010).

Nach der strukturierten Phase der numerischen Kategorisierung der Schülerantworten fand eine weitere Exploration des Materials statt, etwa nach Vorwissen, Hinweisen auf weitere Lernschwierigkeiten oder zur Identifikation von Verbesserungspotential in den Lehrmaterialien. Das Gesamtverfahren ist damit deduktiv-induktiv.

6. Auswertung

6.1. Ergebnisse

Eine Key-Idea wird innerhalb eines Schrittes der Befragungsstruktur (Akzeptanz, Paraphrasierung, Anwendungs-/Transferaufgabe) in Anlehnung an Bitzenbauer (2020) als überwiegend akzeptiert bzw. gelungen bezeichnet, wenn das durchschnittliche Befragungsergebnis dieser Key-Idea < 0.5 ist. In diesem Fall wird es als grundsätzlich legitim angesehen, die Key-Idea im Rahmen einer Pilotierung in der intendierten und ggf. angepassten Weise im Unterricht zu erforschen. Größere Mittelwerte oder die Häufung gelber bzw. roter Felder innerhalb einer Key-Idea-Spalte sprechen jedoch dafür, die Elementarisierung grundlegend zu hinterfragen und entsprechend des Design-Based-Research-Paradigmas bzgl. herausgearbeiteter Schwierigkeiten anzupassen.

Die finalen Ergebnisse der Kodierung für jede der drei Befragungsphasen sind in Tabelle 3 dargestellt. Dabei sind für jeden Befragungsschritt ebenfalls die jeweiligen Zeilen- und Spaltenmittelwerte sowie jeweils ein linear gewichteter Interrater-Koeffizient (Cohen's Kappa κ) angegeben. Die Gesamtdurchschnittswerte pro Key-Idea sind in Tabelle 4 zusammengefasst. Ein Streudiagramm zum Zusammenhang des Gesamtbefragungsergebnisses je Befragung zur jeweiligen Physiknote ist in Abbildung 4 dargestellt.

Tab. 3: Ergebnisse der einzelnen Befragungsschritte.

Interviewnummer	Key-Idea 1: (In-)Determinismus	Key-Idea 2: Elektronenspin als ZZS	Key-Idea 3: Superposition/Messprozess	Key-Idea 4: statistischer Charakter	Key-Idea 5: Verschränkung	Key-Idea 6: Dekohärenz	Key-Idea 7: Quantencomputer	
Befragung nach Akzeptanz								
$\kappa_{\text{Akzeptanz}} = 0.92$ (95% – CI: [0.82; 1.00])								
01	0	0	0	0	0	0	0	0.00
02	0	0	0	0	0	0	0	0.00
03	0	0	0.5	0	0.5	0	1	0.29
04	0	0	0	0	0	0	0	0.00
05	0	0.5	0	0	0	1	0.5	0.29
06	0	0.5	0.5	0	0.5	0.5	0.5	0.36
07	0	0	0	0	0	0	0	0.00
08	0	0	0	0	0	0	0	0.00
09	0	0	0	0	0	0	0.5	0.07
10	0	0	0	0	0	0.5	0	0.07
11	0	0	0	0	0.5	0	0	0.07
	0.00	0.09	0.09	0.00	0.14	0.18	0.23	
Paraphrasierung								
$\kappa_{\text{Paraphrasierung}} = 0.70$ (95% – CI: [0.56; 0.84])								
01	0	0	0	0	0	0	0.5	0.07
02	0	0	0.5	0.5	0	0	0	0.14
03	0	0.5	0	0	0.5	1	1	0.43
04	0	0	0	0.5	0	0	0	0.07
05	0	0.5	0	0	0	0.5	0.5	0.21
06	0	0	0	0	0	0	0	0.00
07	0	0	0	0	0	0.5	0	0.07
08	0	0	0.5	0	0	0	0.5	0.14
09	0	0.5	0	0	1	0	0	0.21
10	0	0.5	1	0.5	0.5	1	1	0.64
11	0	0.5	0	0	0	0	0	0.07
	0.00	0.23	0.18	0.14	0.18	0.32	0.27	
Anwendungs-/Transferaufgabe								
$\kappa_{\text{Anwendung}} = 0.72$ (95% – CI: [0.55; 0.88])								
01	0	0	0	0	0	0.5	0	0.07
02	0.5	0	0	0	0	0.5	0	0.14
03	0	0	0	0	0	0.5	0.5	0.14
04	0	0	0	0	0	0	0.5	0.07
05	0.5	0	0	0	0	1	0	0.21
06	0	0	0	0	0	0	0.5	0.07
07	0	0	0.5	0	0	0.5	0	0.14
08	0	0	0.5	0	0	0	0	0.07
09	0	0	0	0	0	0.5	1	0.21
10	0	0	0.5	0	0.5	0.5	0.5	0.29
11	0	0	0	0	0	1	0	0.14
	0.09	0.00	0.14	0.00	0.05	0.45	0.27	
Legende								
0 = gelungen 0.5 = befriedigend 1 = mangelhaft								

Tab. 4: Gesamtdarstellung nach Key-Ideas.

Schwerpunkt	Mittelwert
Key-Idea 1 Determinismus vs. Indeterminismus	0.03
Key-Idea 2 Elektronenspin als Zweizustandssystem	0.11
Key-Idea 3 Superposition und Messprozess	0.14
Key-Idea 4 statistischer Charakter	0.05
Key-Idea 5 Verschränkung	0.12
Key-Idea 6 Dekohärenz	0.32
Key-Idea 7 Grundidee eines Quantencomputers	0.26

Streudiagramm

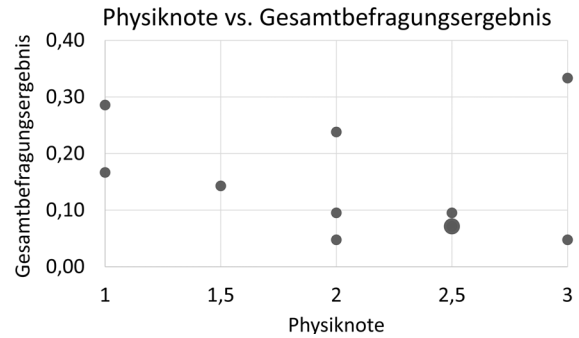


Abb. 4: Physiknote vs. Gesamtbefragungsergebnis.

6.2. Beantwortung der Forschungsfragen

6.2.1. FF 1: Inhaltlicher Vermittlungserfolg

Inwiefern konnten die angestrebten fachlichen Inhalte vermittelt werden?

Insgesamt kann festgehalten werden: Alle Key-Ideas lieferten im Schnitt uneingeschränkt gute bis befriedigende Vermittlungserfolge, gerade auch in Hinblick auf die Akzeptanz der vorgetragenen Erklärungen und Zugangsweisen. Insbesondere hinsichtlich der Paraphrasierungs- und Anwendungs-/Transferleistungen konnten vor allem für frühe Kapitel inkl. der Wesenszüge sehr zufriedenstellende Vermittlungsergebnisse festgestellt werden. Potentielle Schwierigkeiten in der Vermittlung liegen offenbar v. a. bei späteren Themen (Dekohärenz und Funktionsweise eines Quantencomputers), bei denen zuvor gelernte Konzepte und Phänomene vernetzt werden müssen und bei denen bei manchen der Befragten auch Ermüdungseffekte eine Rolle spielten.

Insgesamt kann festgehalten werden, dass die Inhalte im Schnitt weitgehend erfolgreich vermittelt werden konnten und die prinzipielle Zugangsweise grundsätzlich in Hinblick auf kognitive Lernziele geeignet scheint. Es liegt dabei innerhalb der befragten Gruppe keine Evidenz für einen Zusammenhang zwischen Lernerfolg (gemessen an einem Gesamtmittelwert aus allen Befragungsschritten) und Zeugnisnoten in Physik vor.

6.2.2. FF 2: Lernschwierigkeiten

Mit welchen Lernschwierigkeiten ist bei der Durchführung des Konzeptes zu rechnen?

Beim Vergleich von Paraphrasierungsleistungen mit den Anwendungs-/Transferleistungen lässt sich feststellen, dass für Lernende das Sprechen über Quantenphysik oft eine wesentliche Schwierigkeit darzustellen scheint. Es zeigt sich, dass Konzepte häufig zumindest in ihren Grundzügen verstanden wurden, was sich in einer akzeptablen Transferleistung zeigt – allerdings konnten manche der Befragten dennoch nicht adäquat und v. a. auch nicht unter Nutzung von Fachsprache über diese Phänomene sprechen. Zwar müssen diese Ergebnisse im Rahmen der Interviewsituation und einer entsprechend sehr komprimierten

Interventionsphase gesehen werden, dennoch erscheint ein sprachsensibler Unterricht in diesem Licht umso wichtiger.

Eine kleinere und vereinzelt weitere Lernschwierigkeit stellt das Voraussetzen mathematischer Fachsprache im Bereich der Wachstumsvorgänge (exponentielles Wachstum) dar – nicht aber die Vorkenntnisse im Bereich der Stochastik/Statistik.

Außerdem wurde im Rahmen der Anwendungsaufgabe zum Thema „Dekohärenz“ deutlich, dass das Vorhandensein von Superpositionszuständen von einigen Befragten auf die Kenntnis bzw. Unkenntnis eines Beobachters über den Zustand eines Objektes zurückgeführt wurde. Superposition wurde in diesem Sinne im Rahmen intuitiv geprägter Argumentationsmuster also z. T. als subjektives und beobachterabhängiges Phänomen betrachtet, was zumindest im betrachteten Fall gleicher Messbasen fachlich unsauber ist.

Dieses Ergebnis ist in Hinblick auf Alltagserfahrungen nicht überraschend, unterstreicht aber nochmal die Notwendigkeit einer intensiven Diskussion dieses zentralen und zugleich kontra-intuitiven Phänomens.

Abschließend lässt sich sehr positiv festhalten, dass anders als bei vielen v. a. traditionellen Lehrkonzepten zur Quantenphysik weitere mechanistische und klassische Denkweisen bzw. ein Vermischen von klassischer Physik mit Quantenphysik kein beobachtetes Problem darstellten. Das genutzte Vorgehen (Sachstruktur ohne Wellenbegriff, Sprachsensibilität, explizite Diskussion von klassischer Physik und Quantenphysik, etc.) könnte damit geeignet zu sein, solche „traditionellen“ Probleme bei der Vermittlung von Quantenphysik in großen Teilen zu überwinden.

6.2.3. FF 3: Sicht der Lernenden

Wie schätzen die Lernenden das Vorgehen bei der Vermittlung insgesamt ein?

Die Lernenden schätzen das Vermittlungskonzept ganz überwiegend als positiv und gelungen ein. Sie gaben alle ein grundsätzliches Verständnis des Wesens der Quantenphysik an – wenngleich in Teilen mit kleineren Einschränkungen bzw. Wünschen. Der wesentliche Verbesserungsvorschlag der Befragten ist der Wunsch nach mehr Zeit für die Inhalte – ein sicher auch methodenbedingtes Phänomen, das v. a. der Interviewsituation geschuldet sein dürfte. Über einen längeren Zeitraum gestreckt können sich viele Befragte das Thema als Teil des Schulunterrichtes gut vorstellen.

Einschränkungen inhaltlicher Natur gab es im Wesentlichen beim Quantencomputer und der Dekohärenz als die „am herausforderndsten“ Themen.

Als hilfreich empfanden die Befragten u. a. die verwendeten einheitlichen Darstellungen, die Gliederung sowie verwendete Vereinfachungen.

Die Befragten fanden das Thema weitgehend „spannend“, „cool“ und „interessant“ (das sind die Formulierungen der Befragten).

6.2.4. FF 4: Vorwissen

Verfügen die Lernenden über relevantes Vorwissen für das Unterrichtskonzept?

Die Lernenden verfügen i. d. R. nicht über relevantes Vorwissen für die Unterrichtskonzeption. Oft ist der Begriff Quantenphysik selbst bekannt, und in Teilen vereinzelte Phänomene oder Anwendungen. Allerdings handelt es sich hier fast uneingeschränkt um bedeutungsleere Begriffe oder unreflektiertes Begriffswissen ohne inhaltliche Vernetzung. Für das Unterrichtskonzept ist also insgesamt kein konzeptuelles Vorwissen zu erwarten, allenfalls populärwissenschaftlich geprägtes Begriffswissen (z. B. Schrödingers Katze), das aufgegriffen werden kann.

6.3. Gesamteinschätzung

Insgesamt legitimieren die Ergebnisse der Akzeptanzbefragung eindeutig eine Erprobung des Konzeptes im Unterricht. Ein qualitatives und phänomenbasiertes Verständnis quantenphysikalischer Prinzipien bzw. Phänomene an Zweizustandssystemen und eine Vernetzung im Kontext des Quantencomputers scheint grundsätzlich entsprechend des vorgeschlagenen Vorgehens möglich zu sein.

Einschränkend muss jedoch beachtet werden, dass eine qualitative Befragung mit elf Teilnehmenden nur erste vorsichtige Tendenzen aufzeigen kann. Außerdem ist das relativ schwache Ergebnis im Anwendungsschritt bei der Key-Idea Dekohärenz im Wesentlichen durch inadäquate Vorstellungen zur Superposition zu erklären. In dieser Hinsicht sollte kritisch hinterfragt werden, ob die Anwendungsaufgabe zur Dekohärenz geeignet war, um den Lernerfolg für genau diese Key-Idea in ausreichendem Maße zu erheben.

Im Rahmen der Auswertung der Befragungen konnten dennoch Lernverläufe nachgezeichnet und potentielle Lernhürden hierdurch identifiziert werden. Z. T. gaben die Befragten auch von sich aus Hinweise für Veränderungen, die ihnen das Verständnis der Inhalte erleichtern könnten.

7. Ausblick

Auf Grundlage der Befragungsergebnisse wurden diverse Implikationen für Veränderungen am Unterrichtskonzept im Sinne eines Design-Based-Research-Zyklus abgeleitet, etwa kleinere strukturelle Verlaufsänderungen, eine Aufteilung des Kapitels zum Quantencomputer sowie die Integration von Aufgaben zur Übung von Fach- bzw. Unterrichtssprache. Zudem wurde festgestellt, dass das im Interview passiv zu den Wesenszügen erworbene Wissen wie erwartet eher träge ist, und die Anwendung im Bereich des Quantencomputing daher Probleme bereitet hatte. Darum wurde als Ersatz für nicht realisierbare

Realexperimente eine HTML-Simulation entwickelt, anhand der die Wesenszüge sowie das Thema Dekohärenz selbstständig exploriert und erarbeitet werden können - um träges Wissen damit potentiell zu minimieren.

Derzeit erfolgt eine weitere formative Evaluierung im regulären schulpraktischen Rahmen. Unter anderem auf Grundlage von Lehr- und Lerntagebüchern, praktischen Unterrichtserfahrungen, Lehrkräfteeinschätzungen, Reflexionen von Lernenden sowie auch Ergebnissen von Interviews für die Entwicklung der Erhebungsinstrumente wird das Konzept kontinuierlich angepasst und ausgeschärft. In Kombination und enger Verzahnung hierzu werden in wechselseitiger Beeinflussung auch die Erhebungsinstrumente für die Hauptstudie entwickelt.

Viele der Anpassungen, die auf Grundlage der Akzeptanzbefragungen vorgenommen wurden, erwiesen sich bisher als vorteilhaft. Im Rahmen des Pilotunterrichts in Kombination mit den abgeleiteten Veränderungen konnten manche Schwierigkeiten der Akzeptanzbefragungen, etwa das verhältnismäßig schwache Abschneiden der Dekohärenz im Akzeptanz- und Lernerfolg, in diesem Umfang nicht mehr beobachtet werden.

Die summative Evaluierung soll dann im Schuljahr 2023/24 mit einer vorläufig finalen Version des Unterrichtskonzeptes stattfinden.

8. Literatur

- Bitzenbauer, P. (2020). *Quantenoptik an Schulen. Studie im Mixed-Methods Design zur Evaluation des Erlanger Unterrichtskonzepts zur Quantenoptik*. Logos Verlag.
- Bitzenbauer, P. (2021). Effect of an introductory quantum physics course using experiments with heralded photons on preuniversity students' conceptions about quantum physics. *Phys. Rev. Phys. Educ. Res.*, 17 (2). DOI: 10.1103/PhysRevPhysEduRes.17.020103.
- Burde, J.-P. (2018). *Konzeption und Evaluation eines Unterrichtskonzepts zu einfachen Stromkreisen auf Basis des Elektronengasmodells*. (Dissertation, Logos Verlag Berlin).
- Dresing, T. & Pehl, T. (2018). *Praxisbuch Interview, Transkription & Analyse. Anleitungen und Regelsysteme für qualitativ Forschende* (8. Aufl.). Eigenverlag. Abgerufen von <https://www.audiotranskription.de/downloads/#praxisbuch>
- Dür, W. & Heusler, S. (2014). Visualization of the Invisible: The Qubit as Key to Quantum Physics. *The Physics Teacher*, 52 (8), S. 489–492. DOI: 10.1119/1.4897588.
- Dür, W. & Heusler, S. (2016). The Qubit as Key to Quantum Physics Part II: Physical Realizations and Applications. *The Physics Teacher*, 54 (3), S. 156–159. DOI: 10.1119/1.4942137.
- Ferriz-Valero, A.; Østerlie, O.; García Martínez, S. & García-Jaén, M. (2020). Gamification in Physical Education: Evaluation of Impact on Motivation and Academic Performance within Higher Education. In: *International journal of environmental research and public health* 17 (12). DOI: 10.3390/ijerph17124465.
- Heise, H. (2014). *DPG-Studie zur Unterrichtsversorgung im Fach Physik und zum Wahlverhalten der Schülerinnen und Schüler im Hinblick auf das Fach Physik*. Deutsche Physikalische Gesellschaft, Bad Honnef.
- Hertel, I. & Grossmann, S. (2016). *Physik in der Schule*. Deutsche Physikalische Gesellschaft e.V.
- Jung, W. (1992). Probing acceptance: A technique for investigating learning difficulties. In Duit, R. (Hrsg.), *Research in physics learning. Theoretical issues and empirical studies* (S. 278-295). Inst. für die Pädagogik der Naturwissenschaften an der Universität Kiel.
- Kalogiannakis, M.; Papadakis, S. & Zourmpakis, A.-I. (2021). Gamification in Science Education. A Systematic Review of the Literature. In: *Education Sciences* 11 (1), S. 22. DOI: 10.3390/educsci11010022.
- Küblbeck, J. & Müller, R. (2007). *Die Wesenszüge der Quantenphysik. Modelle, Bilder, Experimente* (3., unveränd. Aufl.). Aulis-Verl.
- Mayring, P. (2010). *Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken* (11., aktual. und überarb. Aufl.). Beltz (Pädagogik).
- Meyermann, A. & Porzelt, M. (2014). *Hinweise zur Anonymisierung qualitativer Daten. Version 1.1*. Leibniz-Institut für Bildungsforschung und Bildungsinformation.
- Müller, R. (2016). Quanteninformation. Ein neues Paradigma für den Quantenphysik-Unterricht? *Praxis der Naturwissenschaften - Physik in der Schule*, 65 (1), S. 4.
- Müller, R. & Wilhelm, T. (2021). Unterrichtskonzeptionen zur Quantenphysik. In: Thomas Wilhelm, Horst Schecker und Martin Hopf (Hg.): *Unterrichtskonzeptionen für den Physikunterricht: Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 335–368.
- Sadaghiani, H. R. & Munteanu, J. (2015). *Spin First instructional approach to teaching quantum mechanics in sophomore level modern physics courses*. Physics Education Research Conference, College Park, S. 287–290.

Schöne, M., & Pospiech, G. (2014). Die Verbesserung der Lehramtsausbildung im Bereich Quantenphysik. *PhyDid B - Didaktik Der Physik - Beiträge Zur DPG-Frühjahrstagung*. Abgerufen von <https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phydid-b/article/view/560>

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. *Phys. Rev. Phys. Educ. Res.*, 15 (1), S. 10130. DOI: 10.1103/PhysRevPhysEducRes.15.010130.

Ständige Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland & Humboldt-Universität zu Berlin (2020). *Bildungsstandards im Fach Physik für die Allgemeine Hochschulreife*. Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 18.06.2020. 1. Auflage. Köln: Carl Link Verlag.

Wiesner, H. & Wodzinski, R. (1996). Akzeptanzbefragungen als Methode zur Untersuchung von Lernschwierigkeiten und Lernverläufen. In Duit, R. & von Rhöneck, C. (Hrsg.): *Lernen in den Naturwissenschaften* (S. 250–274).

Quantenphysik zum Anfassen – Von Papierstreifen zu Reißverschlüssen

Franziska Greinert*, Malte S. Ubben*

*Technische Universität Braunschweig, Institut für Fachdidaktik der Naturwissenschaften
f.greinert@tu-braunschweig.de

Kurzfassung

Quantenphysikalische Modellierungen sind fachlich komplex und oft unanschaulich. Dieser Artikel stellt einige Ansätze vor, wie quantenphysikalische Ideen dennoch mittels haptischer Modelle dargestellt werden können. Dazu werden Modelle aus dem 3D-Drucker, Modelle aus Papierstreifen und Modelle aus Stoff gegenübergestellt. Neu ist insbesondere die Verwendung von Reißverschlüssen statt Papierstreifen, sodass ein einfaches „Aufschneiden“ und „Zusammenkleben“ möglich wird. Die Modelle sind dabei vor allem mit dem Ziel entwickelt worden, unter Verwendung von wenig mathematischem Grundwissen topologische Ideen zu transportieren und zu visualisieren.

1. Einleitung

Um den wachsenden gesellschaftlichen Anforderungen der quantenphysikalischen Bildung gerecht zu werden, ist es notwendig, geeignete Repräsentationen für quantenphysikalische Phänomene zu finden, mit denen das Verständnis des Themengebietes gefördert wird. Eine große Problematik hierbei ist allerdings, dass viele Ideen, Prozesse und Phänomene der Quantenphysik aus physikalischen Gründen nicht einfach im dreidimensionalen Raum visualisiert werden können. Es ist daher eine große Herausforderung, Lernenden Repräsentationen an die Hand zu geben, von denen ausgehend sie die komplexen quantenphysikalischen Phänomene verstehen können und die möglichst wenige inadäquaten Vorstellungen fördern (Ubben, 2020).

Eine der größten Problematiken während Lernprozessen ist, dass Repräsentationen - wie etwa Visualisierungen - häufig von Lernenden als „gestalttreu“ empfunden werden. In solchen Situationen wird den Repräsentationen zu viel Realitätsgehalt zugeschrieben, sodass Lernende durch das Festhalten an den Bildern daran gehindert werden, die zugrunde liegenden Ideen zu abstrahieren (Ubben & Bitzenbauer, 2022; Ubben, 2020).

Aufgrund dieser Problematik ist ein Ansatz, Abstraktion durch Repräsentationen, die gut an die mathematischen Beschreibungen der Quantenphysik anknüpfbar sind, zu verwenden (Schecker et al., 2019). Die in diesem Artikel vorgestellten Modelle orientieren sich dabei an mathematischen topologischen Beschreibungen, welche unter anderem von Heusler und Ubben (2019a) vorgeschlagen wurden.

2. Haptische Modelle

Aus mathematischer Sicht können Quantenzustände topologisch im Hilbertraum dargestellt werden. Eine mögliche Art der Visualisierung ist dabei die Nutzung von Streifen, die Objekte sowohl im 3D-Raum mittels möbiusartigen Bändern und im Hilbertraum mittels Knoten repräsentieren können und dabei nicht stark an mathematischer Aussagekraft einbüßen (vgl. Heusler & Ubben, 2019a). Zum Beispiel können auf diese Art und Weise Spinzustände dargestellt werden.

2.1. Topologie und Papierstreifenmodell

Zu Beginn sei der Zustand $j = 1/2$ betrachtet. Dieser Spinzustand kann als Möbiusband von 2π Länge mit einer einzigen Windung im R^3 dargestellt werden. Betrachtet man jedoch die zugehörige Darstellung im Hilbertraum, so muss das Band auf die Länge von 4π erweitert werden. Dies geschieht bildlich gesprochen so, dass man das Möbiusband längsseitig durchschneidet. Die nun erhaltene Struktur ist ein Band mit nicht einer sondern vier Windungen.

Ausgehend von diesem Prinzip können nun verschiedene topologische Zustände im Hilbertraum visualisiert werden, indem die Zuordnung des Spins $j = n/2$ zu Möbiusbändern im R^3 mit n Verdrehungen verwendet wird. Erneut kann nun durch einen Längsschnitt eine topologische Struktur im Hilbertraum aufgedeckt werden (siehe Abbildung 1). Es ist festzustellen, dass Spinzustände mit ganzzahligem j , also bosonische Zustände, zwei verknottete Kopien ihrer selbst erstellen, wohingegen halbzahlige j zu einer einfachen Knotenstruktur werden.

In der Praxis lassen sich Papierstreifen aber sehr schwierig nach dem Auseinanderschneiden wieder zusammenführen, besonders bei höheren Spinzahlen wie $j = 5/2$. Um dieses Problem zu lösen, können Reißverschlüsse verwendet werden.

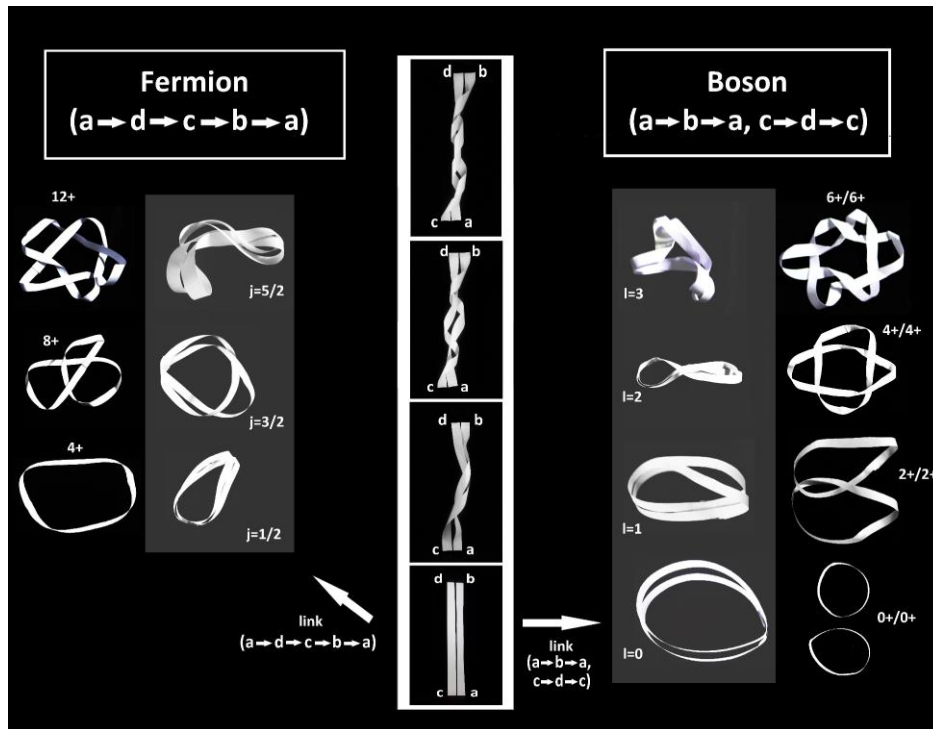


Abb. 1: Topologische Repräsentationen von Spinzuständen: Bosonische Zustände verdoppeln sich (rechts) und fermionische Zustände zeigen eine einzige Knotenstruktur (links) (aus Heusler & Ubben, 2019a).

2.2. Reißverschlüsse statt Papierstreifen

Mit Reißverschlüssen wird das „Aufschneiden“ bzw. „Aufreißen“ der gewundenen Bänder deutlich vereinfacht und auch ein wieder zusammenfügen der aufgetrennten Bänder ist vergleichsweise einfach möglich.

Für den einfachen Streifen werden neben dem Reißverschluss etwas Klettband und Textilkleber benötigt. Empfehlenswert ist die Verwendung zweier modellgleicher aber verschiedenfarbiger Reißverschlüsse, die zu zwei zweifarbigem Reißverschlüssen neu kombiniert werden kann. Die Modellgleichheit ist wichtig damit die beiden Teile der verschiedenfarbigen Reißverschlüsse zusammen passen und als ein zweifarbigem Reißverschluss verwendet werden können.

An den Enden des Reißverschlusses ist jeweils beidseitig ein Klettverschluss-Stück zu befestigen, wobei an einem Ende des Reißverschlusses die vier Stücke mit Kletthaken befestigt werden, während am anderen Ende die vier Fleece-Gegenstücke aufgeklebt werden (siehe Abbildung 2). Selbstklebendes Klettband hält erfahrungsgemäß nicht lange, da sich der Kleber schnell wieder löst; die Klettstücke können alternativ angenäht werden.

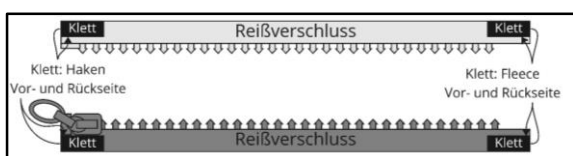


Abb. 2: Einfacher Streifen: an die Enden des zweifarbigem Reißverschlusses werden Klettbandstücke geklebt.

Mit einem solchen Reißverschluss lassen sich die Spinzustände wie in Abbildung 1 haptisch repräsentieren. Exemplarisch zeigt Abbildung 3 die Zustände $j = 1/2$ und $j = 3/2$ (linke Seite, von unten nach oben) sowie $l = 1$ und $l = 3$ (rechte Seite, von unten nach oben), die auch in Abbildung 1 analog dargestellt werden.



Abb. 3: Topologische Repräsentationen ausgewählter Spinzustände mit zweifarbigem Reißverschluss.

2.3. Erweiterung: Doppelter Streifen

Der einfache Streifen aus einem Reißverschluss lässt sich durch einen zweiten Reißverschluss erweitern. Dieser doppelte Streifen ermöglicht dann ein beidseitiges Zusammenführen der Längsseiten, sodass ohne Windung eine Art Schlauch bzw. ein Torus entsteht. Auch hier ist die Verwendung zweier verschiedenfarbiger, modellgleicher Reißverschlüsse für die bessere Sichtbarkeit empfehlenswert.

Zwischen die beiden gleichfarbigen Reißverschlusssteile wird jeweils ein Stoffstreifen in der passenden Farbe genäht. An den Enden dieses Streifens werden wie zuvor die Klettstücke geklebt (siehe Abbildung 4). Abbildung 5 zeigt die beiden Arten, links zwei einfache Streifen und rechts der doppelte Streifen, bei denen jeweils zwei modellgleiche Reißverschlüsse in weiß und schwarz zu zweifarbigem Reißverschlüssen kombiniert wurden.

Durch den doppelten Streifen ist nun nicht nur das Aufreißen und so der Übergang aus 2π nach 4π möglich, sondern auch ein weiteres Zusammenführen der Längsseiten. Anschaulich lässt sich so ein Möbiusband aus dem Doppelstreifen, bei dem einer der Reißverschlüsse geschlossen ist, zu einer Kleinschen Flasche wandeln (Siehe Abbildung 6). Dabei kann der

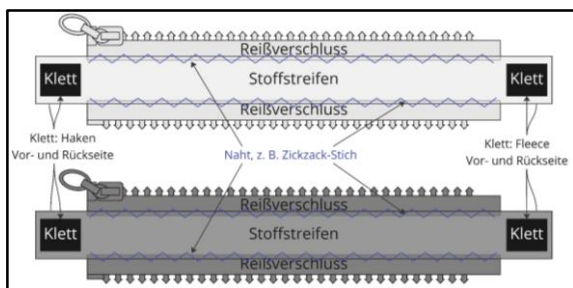


Abb. 4: Doppelter Streifen: Stoffstreifen zwischen den Reißverschlusssteilen und Kletthaken an den Enden.



Abb. 5: Zwei einfache und ein doppelter Streifen aus jeweils zwei modellgleichen Reißverschlüssen in weiß und schwarz.

zweite Reißverschluss entsprechend der topologischen Struktur der Kleinschen Flasche nicht vollständig geschlossen werden. Ein kleines Zusatz-Klettstück am Ende dieses Reißverschlusses hält dieses zusammen und sodass die typische Form erkennbar wird.



Abb. 6: Doppelter Streifen als Möbiusband (oben), das durch Schließen des zweiten Reißverschlusses zur Kleinschen Flasche wird.

2.4. 3D-Druck

Eine Visualisierung von komplexeren Wellenfunktionen kann mittels 3D-gedruckter Kugelflächenfunktionen geschehen (vgl. Ubben & Heusler, 2018, Ubben, 2022). Dazu werden die Knotenlinien der Kugelflächenfunktionen als rote Flächen innerhalb eines bestimmten Radius dargestellt (siehe Abbildung 7).

Es ist auch möglich, auf diese Weise Spinwellenfunktionen zu visualisieren. Allerdings ist z. B. bei Spin $S = 1/2$ keine Knotenfläche zu sehen, sondern nur eine Knotensäule. Eine Verbindung dieser Repräsentation eines Spins mit einem Möbiusband kann dann leicht erfolgen, indem die Knotensäule mit dem Twist im Möbiusband identifiziert wird. Es ist also auch möglich, die Papier- und Reißverschlussmodelle mit den Kugelflächenfunktionen in Verbindung zu bringen.

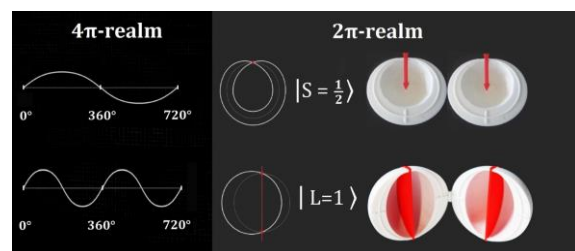


Abb. 7: Wellenfunktionen als Kugelflächenfunktionen mit Knotenlinien und zugehörigem 3D-Druck-Modell (Ubben 2022, S.83).

3. Ausblick: Weitere Anwendungen

Die hier vorgestellten Reißverschlussmodelle könnten ebenfalls für andere topologische Darstellungen in der Quantenphysik genutzt werden. Unter anderem wurde die Repräsentation mittels Papierstreifen bereits auf Verschränkung (Heusler & Ubben, 2019b, 2022, Heusler et al., 2021) und Color Confinement (Heusler et al., 2021) erweitert. Auch in diesen Fällen ist durch die Reißverschlüsse eine einfachere Handhabung der Modelle gegeben. Vor allem im Color Confinement, wo in Teilen drei Streifen zur Repräsentation genutzt werden, bietet sich eine Nutzung von Reißverschlüssen an.

Auch andere verwandte mathematische Beschreibungen, wie zum Beispiel das Erzeugen einer Kleinschen Flasche aus einem Möbiusband können mit den vorgestellten Reißverschlussmodellen erfolgen. Eine Implementation in einer topologisch und/oder quantenphysikalisch orientierten Lehrveranstaltung der Modelle kann zukünftig mehr Aufschluss darüber geben, wie geeignet die hier vorgestellten haptischen Repräsentationen für das Unterstützen beim Aufbau quantenphysikalischen Wissens sind.

4. Literatur

- Heusler, S.; Ubben, M. (2019a). A Haptic Model for the Quantum Phase of Fermions and Bosons in Hilbert Space Based on Knot Theory. In: *Symmetry*, 11(3), 426.
- Heusler, S.; Ubben, M. (2019b). A Haptic Model of Entanglement, Gauge Symmetries and Minimal Interaction Based on Knot Theory. In: *Symmetry*, 11(11), 1399.
- Heusler, S.; Schlummer, P.; Ubben, M. (2021). The Topological Origin of Quantum Randomness. In: *Symmetry*, 13(4).
- Ubben, M.; Heusler, S. (2018). Modeling Spin. In: *European Journal of Physics*, 39(6).
- Ubben, M. (2020). *Typisierung des Verständnisses mentaler Modelle am Beispiel der Quantenphysik*. Berlin: Logos.
- Ubben, M.; Bitzenbauer, P. (2022). Two Cognitive Dimensions of Students' Mental Models in Science: Fidelity of Gestalt and Functional Fidelity. In: *Education Sciences*, 12 (3), 163.

Dank

Wir bedanken uns bei Prof. Stefan Heusler für die spannenden konstruktiven Gespräche und produktive Denkanstöße.

Prüfungsformen im Physikstudium

- Aktuelle Hochschulpraxis bildungswissenschaftlich eingeordnet -

Amr El Miniawy², Annemarie Sich¹, Clara Kofler⁴, Lisa Lehmann³, Maher Valentino Chikho¹, Manuel Längle⁴, Sebastian Meures¹, Morris Weimerskirch⁴, Sophie Penger¹, Stefan Brackertz¹

¹Universität zu Köln, Fachschaft Physik, ²Humboldt-Universität zu Berlin, Fachschaft Physik, ³Technische Universität Dresden, Fachschaft Physik, ⁴Universität Wien, Studierendenvertretung Physik

studienreformforum@zapf.in

Kurzfassung

In der Physik herrscht ein status quo dominiert von einzelnen, bekannten Prüfungsformaten. In der Schuldidaktik erfolgte schon vor einigen Jahrzehnten die systematische didaktische Aufarbeitung der Prüfungslandschaft. In diesem Vortrag, bzw. in dem Originalposter, aus dem der Vortrag entsprang, wurden Kategorien aus eben jener Analyse, Vernetztes Denken, Prüfungsangst, Trennung von Lern- und Prüfsituation, Verbesserungsschleifen und Produktorientierung herangezogen und auf den Universitätsfall, spezifisch die Physik, angewandt. Hierfür wurden sowohl typische Prüfungsmodi als Beispiele genommen, als auch neuere Formate, die aus Beiträgen des Studierendenforums stammen, eingeordnet.

1. Einleitung

Das Studienreform-Forum setzt sich seit 2018 mit folgender Frage auseinander: Wenn wir Studienreform machen – lokal an unseren jeweiligen Universitäten – was ist unsere wissenschaftliche Grundlage? Seit dem damaligen Anfang des Projektes hat sich viel getan in der hochschuldidaktischen Landschaft in Sachen konkreter Forschung. Seitdem wurde im Rahmen des Forums auch Einiges über diese Entwicklungen gesammelt und in Workshops [5], [7] auf den DPG Didaktik Tagungen 2021 und 2022 präsentiert.

In der bisherigen Arbeit stellte das Studienreform-Forum fest, dass ein systematisches Zurückgreifen auf Prinzipien und Erkenntnisse der Didaktik eher selten ist. Anders: zwar wird „aus dem Gefühl heraus“ sehr viel auch sehr gute Didaktik betrieben, doch Diskussion anhand didaktischer Theorien sind nicht gängig, auch wenn diese reichlich zugänglich sind. Dabei bleiben Erkenntnisse, z.B. der Schuldidaktik, in ihrem Potential für die Hochschullehre in der Physik unausgeschöpft. Eine konkrete Anwendung solcher Prinzipien auf die Prüfungslandschaft der Physik wurde für den Vortrag auf der DPG Frühjahrstagung 2023, dessen Dokumentation dieser Beitrag ist, durchgeführt.

Als Einstieg werden die Begriffe der Schuldidaktik, die auf die Hochschulphysik angewandt werden sollen, für die folgende Diskussion herausgearbeitet und in den Prüfungskontext eingeordnet.

2. Schlüsselbegriffe

Ob gewollt oder nicht prägen Prüfungen das Lernen und die Kultur und umgekehrt nehmen sie Bezug auf das Gelernte bzw. den Lernprozess. Ausgangspunkt dieses Artikels wie der Beiträge zum Studienreform-

forum insgesamt ist es nicht, die perfekte Prüfung zu entwickeln, die völlig gerecht, fälschungssicher o.ä. ist. Ziel ist es vielmehr, die Schnittstelle zwischen Lernen und Prüfung in den Blick zu nehmen, um bessere Lernvoraussetzungen zu schaffen. Diesem Interesse sind die hier gewählten Kategorien geschuldet.

2.1. Prüfungsangst

Der Begriff der Prüfungsangst dient aufgrund seiner Familiarität als sinnvollster Anfang. Der Modus der Übertragung in den Universitätskontext ist offensichtlich, doch eine Analyse davon, was Prüfungsangst ist, d.h. was sie ausmacht und wann sie eintritt, scheint in der Kommunikationskultur der Universität nicht viel Raum einzunehmen.

Eine Möglichkeit, die Ursachen von Prüfungsangst zu verstehen, ist die Control-Value-Theory [1]. Diese Theorie geht davon aus, dass der Auslöser der Prüfungsangst weniger die konkrete Leistungssituation ist, sondern wie diese subjektiv bewertet wird:

- Der Leistungssituation wird ein hoher Wert beigemessen (z.B. weil sie über die Möglichkeit der weiteren akademischen Laufbahn entscheidet).
- Der Erfolg in der Leistungssituation ist unsicher (z.B. aufgrund einer wahrgenommenen hohen Schwierigkeit oder vergangener Misserfolge).
- Es ist unklar, ob der Misserfolg aus eigener Kraft abgewendet werden kann (z.B. weil die Vorbereitungszeit knapp ist oder die Anforderungen unklar sind)

Das bedeutet im Allgemeinen, eine Prüfungsangst kommt einerseits daher, dass man eine (negative) Bewertung der Kontrollierbarkeit des Prüfungsergebnisses hat, und andererseits daher, dass man ihr anhand eines größeren kulturellen, familiären, oder

persönlichen Kontextes einen hohen Wert beimisst. Dabei ist nicht nur die aktuelle Prüfungssituation von Bedeutung für die Entwicklung der Prüfungsangst, sondern auch generalisierte Überzeugungen, etwa darüber, wie wichtig akademischer Erfolg im Allgemeinen ist, oder wie gut man darin ist „sich auf den Hosenboden zu setzen und zu Lernen“ [2].

2.2. Trennung von Lern- und Prüfsituation

Prüfungs- und Lernsituationen legen strukturell unterschiedliche Schwerpunkte und Verhaltensweisen nahe (vergl. [12]):

- Das Präsentieren von Gekanntem steht dem Adressieren von Schwierigkeiten gegenüber.
- Das breitere Abfragen vom Stoff in einer Prüfung schließt i.d.R. das Vertiefen von interessanteren Einzelfällen aus.
- Dieser Vertiefungsprozess ist am besten geleitet von Neugier. Diese koexistiert nur schwer mit einer auftretenden Prüfungsangst.
- Wo eine Prüfungsleistung eine Einzelleistung darstellt, in der man sich der prüfenden Instanz gegenüber zu behaupten oder sich gegenüber anderen Studierenden hervor zu tun hat, ist eine Lernsituation geprägt durch eine kooperative Atmosphäre: sowohl unter den Studierenden als auch zwischen Studierende und Lehrpersonen.

Selbst wenn alle Beteiligten das zu vermeiden versuchen, führt die Vermischung von Lern- und Prüfungssituation fast immer zur Dominanz der Prüfungssituation. Der damit verbundene Stress sabotiert dann das Lernen: „Der Lichtpunkt des Aufmerksamkeitsscheinwerfers wird kleiner – genauso wie der Fokus dessen, was er sich ins Bewusstsein rufen kann. Es geschieht eine Verstellung im Denken von weit nach eng. ‚Weit denken‘ heißt, dass uns zu einer Fragestellung noch viele damit verknüpfte Gedanken kommen. Wer ‚eng‘ denkt, dem fällt nur eine Sache ein. Sonst nichts.“ [3]

Der Erfahrung nach sind die Konsequenz oft verklemmte Situationen, in denen auf Lernen und Weiterdenken gerichtete Fragen immer auch als Prüfungsfragen wahrgenommen werden und als solche sehr anfällig dafür sind, überfordernd zu sein und zu Angst zu führen. In der Konsequenz versuchen Lernende Fragen aus dem Weg zu gehen und sich möglichst gut zu verstecken. Die Kehrseite davon kann auch Schaumschlägerei sein; über Schwierigkeiten wird jedenfalls nicht gesprochen. Lernen und Prüfen sollten daher in strikt voneinander getrennten Situationen stattfinden und z.B. auch durch Raumwechsel explizit kulturell getrennt werden.

2.3. Vernetztes Denken

Nach Aebli [4] sollten zu lernende Begriffe schrittweise erklärt und entwickelt werden, da Wissen immer als Geflecht von Beziehungen in unserem Geist entsteht. Die Vorstellung erinnert an eine Spinne, die ein Netz aus einem durchgehenden Faden spinnt. Der Lehrprozess an sich ist linear (der Faden), aber

das zu erreichende Wissen ist ein Geflecht (das Netz). Es ist also nötig, Teilbegriffe festzuhalten, um zu ihnen zurückzukehren und dann mit einer neuen Perspektive einen neuen Abschnitt des Netzes zu weben.

Für die Lehrenden bedeutet dies, dass sie zum einen das gesamte Netz gegenwärtig haben müssen, aber auch, dass sie erkennen müssen, wann Teilbegriffe bei den Lernenden nicht (mehr) vorhanden sind und noch ergänzt (oder wiederholt) werden müssen, um voranzuschreiten.

Prüfungsformate, die dem angemessen sind, können weder in der simplen Faktenabfrage oder formelhaften Anwendung bestehen, noch müssen sie Transfer bedeuten. Vielmehr entsprechen dem Aufgaben, die auf die Klarheit der Begriffe zielen.

2.4. Verbesserungsschleifen

Offensichtlich ist Feedback zum Lernfortschritt für Studierende wichtig [5]. Die Frage, welche Art von Feedback hilfreich ist, ist aber oft nicht so einfach und/oder das Feedback wird nicht ausreichend berücksichtigt. Wenn anhand des Feedbacks eine Überarbeitung erfolgt, hat dies strukturelle Vorteile:

- Lernen funktioniert durch Selbsttätigkeit. Durch die Überarbeitung wird sichergestellt, dass das Feedback nicht nur eventuell bei der nächsten Aufgabe einbezogen wird, sondern auf jeden Fall durchgearbeitet wird.
- Es wird sichergestellt, dass Studierende und Lehrende nicht aneinander vorbei kommunizieren: Lehrende bekommen mit, worauf es beim Feedback ankommt; Studierende bekommen mit, ob sie das Feedback richtig verstanden haben.
- Jede Verbesserungsschleife kostet Zeit. Wenn dies durch eine geringere Zahl an Aufgaben kompensiert wird, finden Wiederholungen genau da statt, wo sie notwendig sind, und es wird weniger über Unklarheiten hinweg gegangen, ohne insgesamt langatmig auf alle Details einzugehen.

Überarbeitungsschleifen können Prüfungsangst reduzieren, weil sie den Studierenden mehr Kontrolle über die Qualität des Endergebnisses geben. Sie erschweren das Abschreiben, sind aber mit einer Betonung auf Grund von Fehlerzahlen inkompatibel.

2.5. Produktorientierung

Dem hohen Aufwand bei der Erstellung von Produkten als Teil des Lernprozesses stehen zahlreiche prinzipielle Vorteile gegenüber:

- Erhöhte Selbstwirksamkeitserfahrung: Werden die Produkte tatsächlich verwendet, tritt neben intrinsischer Motivation durch das Thema, Interesse am eigenen Lernfortschritt und extrinsischer Motivation eine weitere Motivationsdimension¹

¹ Dies kann auch ein Beitrag sein, um die von Markard [8] kritisierte Dichotomie „extrinsisch versus intrinsisch“ aufzubrechen. Nach Markard versperrt diese Gegenüberstellung nicht nur den Blick, weil sich der Mensch nicht darauf reduzieren lässt, sich

hinzu: Mit der eigenen Arbeit (nicht erst in Zukunft) eine nützliche Rolle zu spielen.

- Das Gelernte wird selbständig (um-)strukturiert und damit im Sinne des Vernetzten Denkens durchgearbeitet
- (Zwischen-)Produkte erleichtern die Bezugnahme in Lerngruppen untereinander, sodass insbesondere bei Gruppenarbeiten Peer-Feedback mit daraus folgenden Überarbeitungsschleifen auf natürliche Art entsteht. Viele Schwierigkeiten werden so bereits ohne Lehrende und ohne Prüfungssituation bearbeitet.

Produktorientierung entfaltet ihr Potenzial besonders, wenn sie mit Verbesserungsschleifen einher geht, zumal Produkte, die noch Fehler haben, wenig nutzbar sind. Sie hat dann auch das Potenzial zur Trennung von Lern- und Prüfsituation, die dennoch unmittelbar aufeinander bezogen sind. [6]

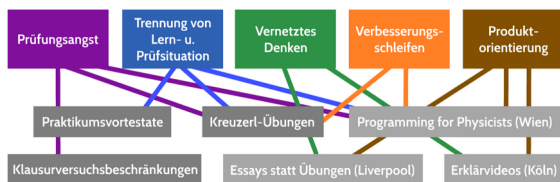


Abb. 1: Das Beziehungsnetzwerk zwischen einigen in diesem Artikel erwähnten Anwendungsbeispielen (unten) und der didaktischen Kategorien (oben).

3. Anwendung der Begriffe

In diesem Abschnitt werden exemplarisch einige weit verbreitete Prüfungsformate und die im Rahmen des Studienreformforums gesammelten Prüfungsformate angesichts der vorgestellten Kategorien didaktisch eingeordnet.

3.1. Praktikumsantestate

Die häufig vorgefundene Doppelfunktion des „Antestats“ einerseits abzu prüfen, ob Studierende ausreichend vorbereitet sind, und andererseits physikalische Fragen im wissenschaftlichen Gespräch wirklich zu klären, hat sich als prinzipielle Schwierigkeit herausgestellt. Die Trennung von Lern- und Prüfsituation ist genau nicht gegeben, wenn Studierende zeitgleich erstmalig den Versuchsaufbau haptisch erfassen, und im Detail versuchen zu verstehen, worauf es im Experiment ankommt und der Anspruch im Raum steht, präsentieren zu müssen, dass und wie gut man vorbereitet ist. Der Normalfall ist, dass Praktikum seine Funktion als wissenschaftliches Kolloquium und Herantasten an den Versuch kaum erfüllen kann und die Prüfungssituation auch dann dominiert, wenn die Betreuer*innen dies zu verhindern versuchen.

entweder grundlos, rein aus Geschmack für etwas zu interessieren oder wie ein Esel mit extrinsischer Motivation gelockt zu werden. Vielmehr werde mit dieser Gegenüberstellung auch das Ziel verfolgt, dass es außer dem nichts geben dürfe.

Allein schon eine explizite Aufteilung des Antestats in eine Prüfungs- und eine Kolloquiumsphase kann absehbar erhebliche Verbesserungen bringen, auch wenn fraglich ist, ob jedes Experiment mit einer Kontroll- bzw. Prüfungssituation verbunden sein muss. Hier gibt es auch deutlich weitreichendere und ebenfalls erfolgversprechende Reformvorschläge.

3.2. Klausurversuchsbeschränkungen

Ein zentraler Punkt in der Argumentation gegen die Verwendung von Klausurversuchsbeschränkungen [7] ist, dass diese Prüfungsängste hervorbringen können. Die Wertung der Wichtigkeit der Prüfung bzgl. sehr handfester Gründe wie „ich könnte zwangsexmatrikuliert werden“ wird dadurch erheblich gesteigert. Sie kann auch dahingehend an Gewicht gewinnen, dass Studierende eine Wertung der Anzahl „erlaubter“ Versuche erwägen, mit dem Gedanken „wenn nur drei Versuche vorgesehen sind, dann ist ein Fehlversuch schon ein Indiz dafür, dass ich sehr schlecht bin“.

Die Klausurzulassungsbeschränkungen wurden für die meisten Module in Köln zum WiSe 15/16 aufgehoben. Die Erfahrungen nach 7 Semestern sind ermutigend:

- Studiendauer sowie Durchfall- und Studienabbruchquoten haben sich nicht erkennbar geändert.
- Tendenziell gehen Studierende inhaltlichen Fragen bei ihrer Studienplanung und der Wahl ihrer Bachelor-Arbeit genauer nach. Zunehmend werden auch Veranstaltungen über das Pflichtpensum hinaus besucht, etwa Kolloquien.
- Prüfungsversuche werden weniger aufgeschoben.
- Mehr Studierende mit Berufserfahrung, über den zweiten Bildungsweg erworbenem Abitur und mit Kind, berichteten auf Nachfrage, dass die geringen Restriktionen ein Kriterium für die Wahl ihres Studienortes war.

Weitere Infos, Argumente und Erfahrungen zum Thema finden sich auf der zugehörigen Themenseite des Studienreformforums. [13]

3.3. Kreuzerübungen

Diese Übungspraxis ist sowohl in Teilen Österreichs als auch in Deutschland an einigen Standorten gängig als Alternative zur sonst verbreiteten Abgabe und Korrektur der Aufgaben. Studierende bekommen jede Woche eine Liste von Aufgaben, die sie für die Übungseinheit vorbereiten sollen. Es ist notwendig mehr als 50 % der Aufgaben zu „kreuzen“, also als „bearbeitet“ anzugeben, um die Übung zu bestehen. In der Übung wird zu jedem Beispiel zufällig eine Person an die Tafel gerufen, die dieses Beispiel gekreuzt hat, welche dann, oft ohne Notizen, vorrechnen muss. Bei unzureichender Leistung werden Kreuze aberkannt. Die Übung stellt sozusagen eine permanente Prüfungssituation dar. Dadurch stellen Studierende oft keine Fragen, sollte ihre Lösung von der präsentierten abweichen, da sie sich

nicht bloßstellen möchten, das Beispiel gekreuzt und nicht verstanden zu haben. Umgekehrt wollen sie auch nicht die Studierenden, die vorn stehen, durch Fragen in die Bedrouille bringen. Die Trennung von Lern- und Prüfsituation ist eindeutig nicht gegeben, obwohl es wohl niemanden gibt, der sich nicht lebendigere Übungen und echte Auseinandersetzungen mit Schwierigkeiten in den Übungen wünschen würde.

3.4. „Education Zen“

Bei diesem über mehrere Semester erfolgreich in Berlin erprobten Format [15] wurden Beispielaufgaben (ca. 200 Stück) im Videoformat vorgerechnet. Es fanden Übungen in Präsenz statt, in denen neue Übungsaufgaben individuell durchgerechnet wurden. Die korrigierten Übungen konnten beliebig oft neu eingereicht werden bis 80% der Punktzahl, und damit die Klausurzulassung, erreicht waren. Besonders war zudem, dass die Übungsleitenden die Abgaben direkt in der Übung korrigierten und zudem ein peer-Korrektur-Verfahren zum Einsatz kam. So wurden systematisch Gesprächsanlässe und damit Feedback-Schleifen geschaffen. Durch die Möglichkeit, immer wieder abzugeben, wird die Prüfungsangst reduziert, weil die Studierenden (bei ausreichendem Engagement) den Erfolg beliebig steigern können. Das Projekt erzielte eine erhebliche Verbesserung des Notendurchschnittes und viel Zustimmung bei Studierenden.

3.5. Essays statt Übungen

In Liverpool spielt in einigen Physikkursen das Schreiben von Essays eine wichtige Rolle [14], was man in Deutschland aus den Geisteswissenschaften kennt, nicht aber aus den Naturwissenschaften. In den Essays geht es darum, einer (oft selbst ausgesuchten) Frage mit wenigen Grundkenntnissen nachzugehen. Dabei ist es oft auch notwendig, schon in frühen Semestern Paper zu lesen. Im Gegensatz dazu erfordern die klassischen Übungsaufgaben in der Regel wenig Recherche, sondern sollen mit Hilfe des in der Vorlesung erworbenen Wissens selbstständig gelöst werden. Beim Schreiben der Essays steht die eigenständige Restrukturierung viel mehr im Mittelpunkt als bei Übungsaufgaben. Der Ansatz stellt damit vernetztes Denken in den Mittelpunkt der Prüfung. Am Ende steht sogar als Produkt eben ein selbst gefertigtes Essay. Das Produkt hat dabei aber noch eine andere Funktion: Mit seiner Erarbeitung geht ein entscheidender Lernprozess einher, dementsprechend viel Zeit ist auch dafür eingeplant; gleichzeitig ist das Essay Bewertungsgrundlage. Die prinzipielle Inkompatibilität zwischen Lern- und Prüfungssituation wird hier aber teilweise durch das Produkt vermittelt (und spielt dann beim Abgabestress wieder eine Rolle).

3.6. Projekt-orientiertes Programmieren

Programmieren (und Computerphysik) sind die Teile des Physikstudiums, die sich offensichtlich anbieten, um eine projektorientierte Prüfungsform in typischer

Form zu etablieren. Der Beitrag „Projektarbeiten als Modulprüfung in der Computerphysik“ [18] dokumentiert, wie dies in Köln mit gutem Erfolg geschehen ist.

Ein bisschen weniger naheliegend ist die in Wien erprobte Variante [17], die gleichzeitig mit Produktorientierung einen möglichst weitreichenden Verzicht auf Restriktionen und eine fast perfekte Trennung von Prüfungs- und Lernsituation realisiert hat: Der Hauptfokus der Lehrveranstaltung Programming for Physicists (P4P) liegt darauf, die Studierenden zu befähigen, selbstständig programmieren zu können. Dafür werden Übungsbeispiele zur Verfügung gestellt, welche automatisiert getestet und beliebig oft abgegeben werden können. Übungsleiter:innen dienen als Coaches während des Semesters, um Konzepte neu zu erklären und bei den Beispielen zu unterstützen. Die Prüfung am Ende besteht darin, dass Studierende in ausreichend Zeit (24 h) ein einfaches Programm selbstständig schreiben. Zur Vorbereitung gab es ein Gruppenprojekt am Ende des Semesters, das inhaltlich wie personell vom Prüfungsprojekt getrennt war.

3.7. Erklärvideos

Ähnlich wie beim Schreiben von Essays ist hier die Prüfungsleistung ein Produkt, nämlich ein Video, auf dem Studierende Übungsaufgaben aus dem jeweiligen Semester (teils in abgewandelter Form) erklären. Ein ursprünglich beim in Köln entwickelten und erprobten Konzept [6] nicht all zu sehr in den Blick genommener Nebeneffekt ist, dass die Studierenden beim Erstellen der Videos natürlich auch etwas lernen. Überraschenderweise hat dieses Format dazu geführt, dass die Prüfungssituation die Lernsituation verdrängt hat, sondern die ursprünglich als reines Prüfungsformat geplanten Erklärvideo-Projekte haben auf Grund ihrer engen Ankopplung an Vorlesung und Übung und in den vorher schon eingespielten Studierendengruppen die Diskutierbarkeit und auch den Perfektionismus der Studierenden so sehr angeregt, dass immer wieder neue Iterationen auf Grund des Feedbacks unter den Studierenden (das gar nicht eingeplant war) stattgefunden haben.

3.8. Quizzes

In verschiedenen Veranstaltungen wurden Multiple-Choice Kurzfragen, über deren Ergebnisse die Studierenden im Sinne von formativen Prüfungen, teils anonym, abgestimmt haben, mit großem Erfolg erprobt. Fehler: Verweis nicht gefunden Teils in Übungen, teils in Fragestunden dienten sie dazu,

- zur aktiven Mitarbeit anzuregen und
- Studierenden wie Lehrenden jenseits einer Prüfungssituation unmittelbar und in kürzester Zeit Feedback zu geben.

Dabei stellte sich heraus, dass ihre eigentliche Stärke aber darin besteht, explizit zur Wissensvernetzung beizutragen:

- Sie sind hilfreich, um zwischen Big Picture und konkreter Rechnung hinein und heraus zu zoomen.
- Sie eignen sich zur Verbindung des aktuellen Veranstaltungsthemas mit anderen Veranstaltungskapiteln bzw. früher von den Studierenden belegten Veranstaltungen. Sie dienen so auch der Wiederholung aus anderer Perspektive und erleichtern Studierenden, die Teile der Veranstaltung nicht (richtig) mitbekommen haben, den Wiedereinstieg.
- Sie eignen sich somit auch als ein Einstieg in die Besprechung von Übungsaufgaben, wenn manche die Aufgabe bearbeitet haben und andere nicht und/oder die Studierenden unterschiedliche Voraussetzungen aus der Schule oder früheren Semestern mitbringen.

4. Bildungsphilosophischer Hintergrund

Bei den bisherigen Einordnungen in Kapitel 3 stand die Frage im Mittelpunkt: „Warum funktioniert eine Konzeption (schlecht/gut)? Wie gelingt es, dass Prüfungen den Lernprozess nicht gefährden? Was sind erfolgversprechende Ansatzpunkte für eine Verbesserung des Lernerfolgs?“

Teilweise suggerieren sie, dass es einen Konsens darüber gäbe, was überhaupt ein Erfolg ist, was Lern- und Prüfungsinhalte sind und ob und wofür es eigentlich Prüfungen geben sollte.

Diesen Konsens gibt es nicht, wie auch zahlreiche andere Beiträge des Studienreformforums zeigen. Wer Prüfungsformate (weiter-)entwickelt muss sich zu diesen Fragen aber auch verhalten (und hat auch typischerweise eine Position dazu). Deshalb sollen im Folgenden ein paar unverzichtbare Eckpunkte zur Verortung in dieser Diskussion aufgezeigt werden.

4.1. Kritik an Prüfungen unabhängig von ihrer konkreten Gestaltung

Die Diskussion von Prüfungsformaten nimmt vorweg, dass Prüfungen jedenfalls gewünscht oder zumindest notwendig wären. Dies ist aber durchaus in Frage zu stellen.

Exemplarisch für die Kritik in der Tradierung der Kritischen Theorie:

- „Die Notengebung ist die formale Repräsentanz des Verwertungsstandpunktes des Kapitals im Bildungswesen.“
- Die „in das Notenwesen eingebaute Konkurrenz wiederum legt faktisch die Negation von Sachinteresse nahe [...]. Favorisiert werden dagegen abstrakte Fähigkeiten des Blendens, des Nachdem-Munde-Redens, der gemäßigten Kritik, der vorwegnehmenden Eingemeindung des Inhaltlichen in das Erwünschte.“
- „Die Benotung schafft in der konkurrenziellen Vereinzelung gleichzeitig die Normierung der so Vereinzelten, in bürgerlicher Form Individualisierten.“ [8]

4.2. Koordinatensystem der Orientierungen

Oftmals wird suggeriert, die Debatte wäre vor allem zwischen Output-Orientierung, bei der die Lehrperson am Lernerfolg interessiert sei, und „Nürnberger-Trichter“ zu verorten. Dies hat vor allem die Funktion, Kritik an Output-Orientierung als altertümlich und ignorant zu diffamieren.

Als triftigere Orientierung in der Debatte schlagen wir ein (mindestens) zweidimensionales Koordinatensystem mit nicht ganz orthogonalen Achsen wie in Abbildung 2 gezeigt vor.

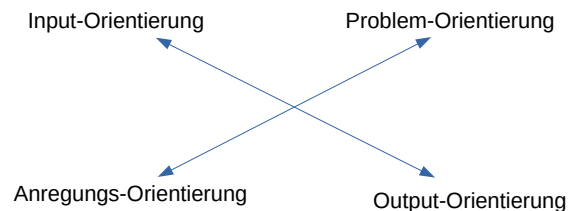


Abb. 2: Koordinatensystem der bildungspolitischen Orientierungen

4.2.1. Input- vs. Outputorientierung

Bei der Inputorientierung denkt man an den „Nürnberger Trichter“; kulturell vom Preußischen Militarismus inspirierter Unterricht, bei dem die Lehrenden die Studierenden mit zu lernenden Inhalten überschütten und ansonsten sich selbst überlassen. Dahingegen übernehmen bei der Outputorientierung Lehrende Verantwortung dafür, dass Studierende systematisch auf die zuvor definierten Lernziele vorbereitet werden und diese auch erreichen. Als verbreitete Methode gilt das Constructive Alignment, bei dem zuerst die Lernziele festgelegt werden, anschließend die Prüfungsmethode an diese angepasst wird und dann in der Lehrveranstaltung auf diese Prüfung vorbereitet wird.

Die aktuell in Abgrenzung zur Inputorientierung propagierte Outputorientierung lässt sich auch nach Krautz kritisieren. Denn sie arbeitet sich an einem Bild des Bildungssystems ab, das seit mehr als 200 Jahren überholt ist und das es in der Praxis seit mindestens 50 Jahren nicht mehr gibt. Dies hat vor allem die Funktion, die Errungenschaften sowohl der auf den klassischen Humanismus gegründeten Bildungsreformen als auch der 68er Bewegung ungeschehen zu machen. Mit der Output-Orientierung werde eine auf Instrumentalisierbarkeit statt Mündigkeit gerichtete Bildungsreform propagiert.

4.2.2. Anregungs- versus Problemorientierung

Ausgehend von der Erkenntnis, dass Bildung immer ergebnisoffene Selbstbildung sein kann, sieht die klassische Bildungstheorie die Aufgabe der Lehrenden darin, die Studierenden zu ergebnisoffenen Lernprozessen herauszufordern. Geeignet dafür seien besonders zivilisatorische und kulturelle Errungenschaften und „Objektivierungen“, die „Möglichkeiten und Aufgaben“ humaner Existenz erschließen. Entscheidend ist hier auch, dass individuelle In-

teressen nicht als solche im Raum stehen bleiben, sondern mit der Aufgabe einhergehen, die eigene Begeisterung anderen zugänglich zu machen, die sich auch auf das einlassen sollten, wozu sie zunächst keinen Bezug haben. Dies mache die Anregungsorientierung aus. Sie lässt sich steigern lassen hin zur Problemorientierung steigern: In der Tradition kritischer Theorie stehen diese Strömungen ergänzend zur Anregungsorientierung. Hier findet die Auseinandersetzung mit (epochaltypischen Schlüssel-)Problemen, deren Lösung für die humane Fortexistenz aller Menschen, Lehrender wie Lernender, entscheidend ist.

Die Berliner Didaktik greift aber auch hier mit Kritik ein: Das Menschenbild, wie es sowohl die klassische Bildungstheorie als auch die Strömungen der Kritischen Pädagogik entwerfen, sei unrealistisch optimistisch. Weder hat die Mehrheit der Bevölkerung das Potenzial, noch das Ziel, zu autonomen und/oder gesellschaftlich relevanten Subjekten zu werden. Jede Bildungstheorie, die darauf abzielt, sei elitär. Ziel müsse stattdessen sein, allen Menschen ein möglichst unbeschwertes Leben im Bestehenden zu ermöglichen. Dies werde z.B. durch gute Vorbereitung auf einen späteren guten Job gewährleistet, der einen hohen Stundenlohn und damit viel Freizeit für persönliche Entfaltung ermögliche.

4.3. Kompetenzorientierung

Entscheidendes Merkmal des Kompetenzbegriffs ist, dass er die Trennung zwischen den älteren Begriffen Qualifikation und Motivation aufhebt: Kompetenzen sind „die bei Individuen verfügbaren oder durch sie erlernten kognitiven Fähigkeiten und Fertigkeiten, um bestimmte Probleme zu lösen, sowie die damit verbundenen motivationalen, volitionalen und sozialen Bereitschaften und Fähigkeiten, um die Problemlösungen in variablen Situationen erfolgreich und verantwortungsvoll nutzen zu können.“ [9] Im Gegensatz zu Qualifikation und Motivation sind Kompetenzen empirisch direkt(er) zugänglich. Der Begriff findet allerdings an mindestens zwei Punkten Kritik:

- Wenn es um Entwicklung von Menschen gehe, sei die Unterscheidung zwischen Qualifikation und Motivation entscheidend, wenn es um Employability gehe, nicht. Diese Unterscheidung nicht vorzunehmen, laufe auf eine Bildungstheorie hinaus, die sich an Employability und nicht an der Entwicklung der Menschen orientiere.
- Wollen und Können in einen Topf zu werfen, lasse Widerspruch, Verweigerung und Kritik an Anforderungen wie mangelnden Lernerfolg erscheinen. Umgekehrt werde das willfähige Abarbeiten vorgesetzter Probleme – seien sie im gesellschaftlichen Interesse, im eigenen oder dem der Arbeitgeber:innen – goutiert und damit Instrumentalisierbarkeit eingeübt: Der „als kompetent Geprüfte soll später einmal ebenso Babynah-

rung produzieren können wie Landminen“. [10] [11]

5. Bisher nicht publizierte Beiträge zu alternativen Prüfungsformaten

5.1. Projektarbeiten als Modulprüfung in der Computerphysik

Ein Beitrag von Maher Valentino Chikho und Sebastian Meures:

Physiker*innen beschäftigen sich nicht nur mit dem Schubsen von Formeln und Lösen von Integralen oder mit dem Bauen von Apparaturen. Vor allem in der Theorie beschäftigen sich Physiker*innen auch mit Simulationen, welche eigenhändig konzipiert und programmiert werden. Ebenso erfordern Apparaturen in der heutigen Experimentalphysik eigens geschriebene Programme. In der heutigen Physik kommt ein weiterer Punkt hinzu, der über das klassische Programmieren hinaus geht: Methoden des Data-Science eröffnen in vielen Bereichen der Physik ganz neue Zugänge. An der Universität zu Köln lernt man dementsprechend nicht nur das reine Programmieren, sondern bringt es in einen Zusammenhang mit der Physik. Um dies zu ermöglichen, findet die Veranstaltung Computerphysik anders als an vielen anderen Unis auch erst im fortgeschrittenen Ba-Studium statt.

Es werden in den Übungen Aufgaben bearbeitet, die einen Bezug zur Physik haben. Diese werden mit Hilfe aus der Vorlesung bekannter Algorithmen, z.B. zum Lösen von Differentialgleichungen oder Eigenwertproblemen, bearbeitet. In den Sommersemestern 2021/22 wurde dabei ein Pilotversuch durchgeführt, bei dem es statt einer Klausur eine Projektarbeit gab, die in einem Zeitraum von zwei Wochen bearbeitet und danach abgegeben und bewertet wurde. Dies sollte dazu dienen, sowohl die Programmierkompetenzen abzuprüfen als auch das durch die Vorlesung erlangte theoretische Wissen. Gleichzeitig ist eine Projektarbeit natürlich mehr als nur eine Prüfung.

5.1.1. Das Modul

An der Universität zu Köln wird im Bachelorcurriculum vorgeschrieben, dass Studierende den Kurs Computerphysik zu absolvieren haben. Das Modul ist keine Voraussetzung für andere Module und besitzt auch selbst keine Voraussetzungen. Der Kurs ist für das vierte Semester angesetzt, wodurch sicher gestellt werden soll, dass die Studierenden grundlegende mathematische Methoden vor allem in der Linearen Algebra beherrschen. Der Kurs ist so konzipiert, dass Menschen ohne Programmierkenntnisse diesen absolvieren können. Das Modul setzt sich aus einer Vorlesung, einem Programmiertutorial und einer begleitenden Übung mit wöchentlichen Abgaben zusammen, die auch zulassungsrelevant sind. Am Ende wurde das Modul zuvor mit einer Klausur und während des Pilotprojekts mit einer Projektarbeit abgeschlossen, die auch benotet wurde.

Die Veranstaltung unmittelbar vor dem Start dieses Pilotprojektes fand Corona-bedingt online statt und ist vollständig öffentlich dokumentiert.

5.1.1.1. Vorlesung

In der Vorlesung werden zum einen numerische Methoden zum Lösen von mathematischen Problemen, u.a. numerisches Lösen von Differenzialgleichungen, Matrixrechnung, also allgemeiner das Kennenlernen von diversen wichtigen und nützlichen Algorithmen, thematisiert. Oft wird dabei Bezug zur Physik genommen. Zum anderen erhält man einen Einblick in die Kontexte um das Programmieren. Gemeint sei so viel wie: Wie funktioniert ein Computer? Wie kann man Runtime verkürzen und wieso ist das sinnvoll? Was bedeutet Zufall in einem numerischen Sinne?

5.1.1.2. Tutorial

Neben Vorlesung und Übung gibt es ein „Programmirtutorial“, wo die Studierenden das Programmieren von Grund auf erklärt bekommen. Anfangs wird ihnen erklärt, welche Programmiersprache benutzt wird. In Köln wird die Sprache „Julia“ verwendet, da diese effizient für Berechnungen und Data-Science ist; außerdem hat sie starke Ähnlichkeiten zu Python, was in der Wissenschaft sehr verbreitet ist. Im Tutorial 0 wird den Studierenden gezeigt, wie man auf einem Endgerät Julia installiert. Dies wird als positiv empfunden, da man davon ausgeht, dass Menschen sich noch nie mit dem Programmieren auseinandergesetzt haben. Weiter geht es dann mit den Grundlagen wie dem Definieren von Variablen und Arrays oder einfachen Rechnungen. Darauf folgt das Programmieren von Funktionen, Einlesen und Plotten von Datensätzen und das Implementieren von einfacheren Algorithmen. Die verwendeten Beispiele sind hierbei oft nah an möglichen Anwendungsbereichen als Physiker*in.

5.1.1.3. Übungen

In den Übungen soll dann dieses Wissen durch Programmieraufgaben erprobt werden. Hier werden die numerischen Methoden, die in der Vorlesung behandelt wurden, in einen praktischen Kontext eingebettet. Die Übungen wurden den Studierenden in einem Jupyter-Notebook bereitgestellt. Die Studierenden müssen dann die Aufgaben mit der Programmiersprache Julia lösen. In den ersten Übungsaufgaben wird ein Großteil des Codes schon gegeben, den es dann zu verstehen und ergänzen gilt. Der Anteil der Algorithmen, der bereits durch die Aufgabenstellung gegeben ist, nimmt dann über das Semester hin ab, bis in den letzten Übungen eigentlich gar kein Code mehr gegeben ist. Die Übungen sollten in Gruppen mit bis zu drei Studierenden bearbeitet und abgegeben werden. Es wird auch eine Plattform zur Verfügung gestellt, mit der die Gruppenmitglieder gleichzeitig am gleichen Programm arbeiten können. Es gibt eine Klausurzulassung, für die die Studierenden 50% der Punkte aus allen Übungsaufgaben erreichen müssen. Falls einzelne Studierende kein Endgerät

besitzen, gibt es hierfür auch verschiedene Lösungen, wie diese das Modul absolvieren können.

5.1.2. Klausuren

In der Modulabschlussprüfung bekommen Studierende üblicherweise eine Klausur, in der Vorlesungswissen abgefragt wird. „Welcher Algorithmus macht was?“, „Welcher Algorithmus lohnt sich hier mehr?“ oder: „Vervollständigen Sie den folgenden Code.“ Wenn man sich nun sowohl das Prüfungsformat als auch den Inhalt der Vorlesung anschaut, könnte man sagen, dass man eine Diskrepanz zwischen dem, was geprüft werden soll, und der Prüfung erkennt: Die Übungen erzeugen im Laufe des Semesters eine Selbständigkeit in der Arbeit als Programmierer*in. Hier wird also vor allem das Wissen aus der Vorlesung und nur kaum bis gar nicht die Kompetenzen aus Übung und Programmirtutorial abgeprüft.

5.1.3. Pilotversuch Projektarbeit

In den Sommersemestern 2021 und 2022 wurde als Alternative zu einer „normalen“ Klausur eine Projektarbeit ausprobiert. Das Projekt beinhaltete eine Aufgabe im Kontext eines physikalischen Problems, bei der die Problemstellung vollständig gegeben war. Dieses Problem sollte man mit einer numerischen Methode, welche man in der Vorlesung gelernt hat, lösen. Des Weiteren musste man über das Projekt ein Video machen. Darin erklärt man die Problemstellung und das Ergebnis in einer Power-Point-Präsentation. Es waren zwei Wochen für das Projekt inklusive Video-Erstellung vorgesehen, also waren Fleiß und verfügbare Zeit wichtige Faktoren. Der lange Prüfungszeitraum minimiert Stressfaktoren wie Zeitdruck. Gleichzeitig steigt der Anspruch an sich selbst.

Im Anschluss wurde dann ein Test geschrieben, welcher kurz das Vorlesungswissen abfragt. Der Test bestand aus offenen Fragen, welche ein Rundumschlag aus den theoretischen Methoden der Vorlesung waren. Für den Test war eine Stunde vorgesehen. Die Abschlussnote bestand dann zu 75% aus dem Projekt und zu 25% aus dem Test, wobei zum Bestehen beide Teile mit mindestens 4,0 abgeschlossen werden mussten. Eine nicht-bestandene „normale“ Klausur kann unbegrenzt häufig wiederholt werden; im Pilotprojekt konnten auch einzelne Teile der Prüfung, also Projekt oder Test, wiederholt werden.

5.1.3.1. Kompetenzabfragen in der Projektarbeit

In dieser Prüfungsform wird geprüft, wie gut die Studierenden eigenständig einfache Programmieraufgaben bewältigen können, mit dem Zusatz, das Programmiererte auch erklären zu können. Die Prüfungen hatten damit einen starken Anwendungsfokus und bestehen, abgesehen von dem Test-Anteil, ausschließlich aus Problemlösung. Weiterhin fördert das abzugebende Video Kommunikation von Ergebnissen auf einem wissenschaftlichen Niveau. Somit wird nach der Fähigkeit selektiert, ob Studierende selbstständig ein Programm schreiben und präsentie-

ren können, das einfache Probleme löst oder bearbeitet. Vortäuschen von Wissen ist bei diesem Prüfungsformat schwer möglich, da es um tatsächliche Problemlösekompetenz geht, zusätzlich mit dem Vorstellen des Gelernten. Programmieren erfordert immer kreative Problemlösung und kann nicht einfache Reproduktion sein. Die Problemstellungen waren teilweise sehr eng gefasst, was die Kreativität bei der Problemlösung etwas eingeschränkt hat. Somit wurde durch die Projektarbeit als Prüfungsform deutlich mehr Fokus auf die Kompetenz des Programmierens gelegt. Dies erfolgte in einem Rahmen (2 Wochen Bearbeitungszeit), der deutlich näher an der alltäglichen Arbeitsweise in der Physik ist als eine künstlich erzeugte Stresssituation, wie es in einer Klausur der Fall ist.

5.1.3.2. Empfinden der Studierenden

Die Studierenden empfanden den Programmiererteil der Prüfung als fair, angemessen und auch als Bestätigung selbstständig programmieren zu können. Viele Studierende hatten dabei auch Spaß, ein Programm zu schreiben und sich ins Alltagsleben einer*s Programmierenden zu begeben. Es gab starke Unterschiede in der Schwierigkeit der (zufällig zugewiesenen) Projekte, was dazu führte, dass beim ersten Durchlauf sich die Studierenden im Nachhinein unfair behandelt fühlten. Außerdem war, sich selbst zu filmen, für viele Studierende ein Angstfaktor. Viele Studierende fanden den Test-Anteil unangemessen anspruchsvoll, vor allem im Verhältnis zur Ankündigung vorher, wo anderes kommuniziert wurde. Kommuniziert wurde gegen Anfang, dass es ein Multiple-Choice-Test sein soll, doch überrascht wurden die Studierende von einem 12-Fragen-Test mit offenen Fragen. Im zweiten Durchlauf wurden alle Aspekte des Projektes stark verbessert, zum einen die Kommunikation und Organisation, zum anderen die Projekte und die Berücksichtigung der Klausurphase. Auch die Kommunikation in Bezug auf den Test wurde verbessert. Der gesamte Prüfungsaufwand durch die Projektarbeiten wurde in beiden Durchläufen als deutlich zu hoch wahrgenommen, da eine einzelne Klausur durch Projekt mit Präsentationsvideo und einen Test ersetzt wurde, was in Summe als deutlich mehr Aufwand wahrgenommen wurde. Dies war im zweiten Durchgang allerdings erheblich besser, da in den letzten zwei Semesterwochen keine Übungen mehr bearbeitet werden mussten und keine Vorlesungen stattfanden, um Zeit für die Projektarbeit zu schaffen.

Diese Eindrücke stammen aus verschiedenen Gesprächen von Fachschaftsmitgliedern mit Studierenden, die das Modul belegt haben, und auch aus persönlichen Meinungen von Fachschaftler*innen, die gemeinsam mit dem Dozenten Matteo Rizzi immer wieder ausgewertet und mit den standardmäßig stattfindenden Evaluationen, die aber leider nur bedingt Aussagen zu spezifischen Fragen zulassen, abgeglichen wurden.

5.1.4. Fazit

Stellt man nun Klausur und Projektarbeit gegenüber, besteht der Hauptunterschied darin, welche Kompetenzen in den zwei verschiedenen Prüfungsformaten abgefragt werden. Während die Klausur nur das Wissen der Vorlesung abprüft, prüft das Projekt die Fähigkeit selbstständig zu programmieren. Da dies einer der essentiellen Bestandteile des Moduls ist, sollte es auch seinen Platz in der Modulprüfung finden. Weitergehend ist anzumerken, dass die Kompetenz Inhalte oder Ergebnisse wissenschaftlich zu präsentieren positiv ist, vor allem da diese Kompetenz in Köln nur selten bis gar nicht vor dem Bachelorkolloquium geübt wird.

Außerdem bietet die Projektarbeit eine gute Abwechslung zu dem sonst sehr klausurenlastigen Bachelorstudium. Der Vorteil der Projektarbeit, die Prüfungsangst zu reduzieren, wurde allerdings leider dadurch relativiert, dass zusätzlich noch ein Test stattgefunden hat, wenn auch mit deutlich geringerer Bedeutung als die übliche Klausur. Zusätzlich wurde der Gesamtarbeitsaufwand im Vergleich zu einer herkömmlichen Klausur auch im zweiten Durchlauf von den Studierenden als zu hoch empfunden. Leider wird eine Weiterentwicklung derzeit dadurch erschwert, dass das Kölner Justizariat einfordert, dass jede Prüfungsordnung die Prüfungsform eindeutig festlegen muss.

5.2. Übungen und Projektarbeit ohne Druck und Fristen – Erfahrungen aus der Veranstaltung „Programming for Physicists“ an der Uni Wien

Ein Beitrag von Clara Kofler, Morris Weimerskirch und Manuel Längle:

Jede*r Studierende kennt es - Berge von Aufgaben, Zittern vor Präsentationen, Stress der droht, einen zu begraben. Dieser Härte-test ist so fest in unserem System verankert, dass man ihn leicht als Voraussetzung für Lernerfolg sehen kann: „No pain, no gain“. Aber es muss doch möglich sein, eine Lehrveranstaltung so zu gestalten, dass weder der Lernerfolg noch das psychische Wohlbefinden der Studierenden beeinträchtigt wird.

Hier stellen wir das System einer Programmierübung des Physikstudiums vor, bei der wir sowohl auf Deadlines während des Semesters, als auch auf Präsentationen der Studierenden verzichten, und gezielt versuchen, ein angenehmes Lernklima zu schaffen. Evaluationsdaten zeigen hauptsächlich positive Rückmeldungen im Bezug auf die oben genannten Punkte, jedoch führt das gewählte interaktive Übungskonzept auch zu Problemen, wie etwa zu langen Wartezeiten bei der Beantwortung von Studierendenfragen während der Übungseinheiten.

5.2.1. Einleitung

Programmieren ist einerseits Mittel zum Zweck: Datenaufnahme, -aufbereitung, -manipulation und -visualisierung setzen allesamt Programmierkenntnisse im breiteren Sinn voraus. Andererseits haben moder-

ne Programmierkonzepte einen formativen Charakter: „Separation of concerns“ bildet den Unterschied zwischen der experimentellen Datenerfassung und der physikalischen Interpretation plastisch nach. Eine Dokumentation des Prozesses mittels Versionskontrollsystem (VCS) ist auch für eine gewissenhaft durchgeführte Forschung hilfreich. „Test Driven Development“ – Hypothese, Antithese und überprüfbare Synthese sind als Begriffe auch prägend für den (Natur-) Wissenschaftsprozess an sich.

Die Einführung ins Programmieren sollte unserer Meinung nach nicht als theoretisches Konzept erfolgen. Gerade hier ist learning-by-doing beziehungsweise learning-by-repeatedly-failing ein wichtiger, wenn nicht sogar der wichtigste Aspekt des Lernprozesses. Wo es bei anderen Lehrveranstaltungen Sinn haben kann, die Theorie klar von den Anwendungen zu trennen – die Vorlesung von der Übung – sind andere Herangehensweisen für Programmierkurse eventuell sinnvoller. Hier wollen wir auf den Lehrveranstaltungsmodus des Moduls „Programming for Physicists“ (P4P), das im dritten Semester des Physikstudiums an der Universität Wien vorgesehen ist und das Ziel hat, den Studierenden die Grundlagen des Programmierens beizubringen, eingehen.

5.2.2. Aufbau der Lehrveranstaltung

Der Kurs wird seit 2019 als Vorlesung mit prüfungs-immanenter Übung angeboten, die Leistungskontrolle erfolgt über eine Modulprüfung, welche beide Bereiche abdeckt.

Die Vorlesung setzt hierbei auf Demonstrationen und Beispiele, wobei die Studierenden explizit aufgefordert sind, den Beispielen am Gerät zu folgen. Der gesamte Vorlesungsstoff und die Übungsaufgaben sind auf einer eigenen Website einsehbar. Ein Screenshot dieser ist in Abb. 3 zu sehen.

Auch wenn die Veröffentlichung der Übungen dem Themenzeitplan der Vorlesung folgt, wird auf Abgabetermine bis Ende des Semesters verzichtet. Dies soll allen Studierenden eine individuelle Aufgabenteilung und eigenes Arbeitstempo ermöglichen.

Die Übungseinheiten bieten Raum für die Studierenden, um gemeinsam an ihren Lösungen zu arbeiten und den Lehrenden Fragen zu stellen. Die Lehrenden agieren hier als Coaches, die den Studierenden helfen sollen, ihre Probleme zu lösen, anstatt sie auf Basis selbiger schlechter zu beurteilen.

Zusätzlich gibt es ein wöchentliches Tutorium, das von zwei Studierenden begleitet wird. Auch dieses ist ungewöhnlich gestaltet, da, anstatt genauer auf die Übungen einzugehen, Konzepte aus der Lehrveranstaltung erneut anhand von Beispielen erklärt und zusätzliche, ähnliche jedoch kürzere Aufgaben samt Lösungen zur Verfügung gestellt werden.

p4p documentation » Numerical Python

Table of Contents

- Numerical Python
 - numpy arrays
 - Attributes
 - arange
 - linspace
 - zeros and ones, eye
 - Mathematical functions and constants
 - Matrix operations
 - Statistical analysis
 - Random numbers and sorting
 - Indexing, slicing and iterating
 - Stacking
 - Questions for arrays
 - File input and output

Previous topic

Object-oriented programming

Next topic

Scientific Python

This Page

Show Source

Quick search

Go

Numerical Python

Numerical Python ([NumPy](#)) is the fundamental package for scientific computing with Python. It provides, for example:

- An N-dimensional array object
- Tools for integrating C/C++ and FORTRAN code
- Linear algebra methods
- Fourier transforms
- Random number capabilities

When you have NumPy installed in your environment (`pip install numpy`), you can import it similar to modules from the standard library. Note that as a convention, NumPy is imported as `np`.

```
>>> import numpy as np
```

numpy arrays

The numpy array class is `ndarray`. These are multidimensional objects that usually contain numbers. Note that unlike lists, numpy arrays can only contain one data type. They are indexed by a tuple of non-negative integers (0, 1, ...). Dimensions in numpy are called *axis*. For example, a 3-component vector has one axis, and a length of three

```
>>> import numpy as np
>>> v = np.array([2.5, 4.1, 2.0])
>>> len(v)
3
```

A two-dimensional array is created as a list of lists.

```
>>> import numpy as np
>>> m = np.array([[ 2.5, 4.1, 2.0 ],\
...               [ 1.0, 0.2, 3.5]])
>>> m
array([[2.5, 4.1, 2. ],
       [1. , 0.2, 3.5]])
```

This array has two axes; the first one has a length of 2 and the second one 3.

Abb. 3: Ein Screenshot der P4P Kurswebsite, auf der alle Vorlesungsunterlagen und Übungsaufgaben gesammelt sind.

Als Programmiersprache wurde Python3 gewählt, eine „all rounder“ Sprache, die sehr weit verbreitet und beliebt ist.

Jedoch hebt sich dieser Kurs vor allem durch die Wahl der Programmierumgebung von anderen ab. Anstatt sich ausschließlich auf das Erlernen von Python zu konzentrieren, ist das Ziel, auch Fähigkeiten im Umgang mit „open source“ Werkzeugen zu erlernen, die im akademischen Rahmen viel verwendet werden. So wird während des gesamten Kurses im Linux Terminal („Windows Subsystem for Linux“ für Windows User) gearbeitet, die Übungen werden auf einen Server geladen und können über das „version control system git“ heruntergeladen werden.

Auf ihren eigenen Rechnern im Terminal bearbeiten Studierende die Dateien mit dem Texteditor „neovim“ und pushen ihre Lösungen über „git“ wieder auf den Server. Unter einem „push“ wird in „git“ das Hochladen auf den Server verstanden. Zusätzlich wird die Jupyter Konsole in „neovim“ verwendet, um den Code zu testen und sich mit einzelnen Funktionen auseinanderzusetzen. Studierenden wird die Programmierumgebungen freigestellt, jedoch wird hier nur bedingter Support garantiert.

5.2.3. Übungsmodus im Detail

Die Übungsaufgaben sind spielerisch aufgebaut. Jede Aufgabe besteht aus mehreren Levels, die unterschiedliche Anweisungen beinhalten. Nach Bearbeitung der Aufgaben eines Levels, beispielsweise dem Implementieren einer bestimmten Funktion, werden die Änderungen über „git“ registriert und auf den Server gepusht, woraufhin mit dem nächsten Level weitergemacht wird. Meist gibt es vorgefertigte Dateien mit einer vorgegebenen Programmstruktur, die mit dem entsprechenden Code vervollständigt werden muss, und eine Reihe von Testdateien, um die Programme zu überprüfen.

Bei jedem neuen „push“ auf den Server werden ebendiese Tests mittels „pytest“ für eine automatische Evaluation auf Serverseite verwendet und den Studierenden der aktuelle Status mitgeteilt.

Es gibt keine Beschränkung für die Anzahl der hochgeladenen Lösungen, am Semesterende wird die aktuellste beurteilt.

Im letzten Drittel des Kurses finden sich die Studierenden in Kleingruppen zusammen und implementieren von Grund auf gemeinsam ein von den Übungsleiter*innen entworfenes Softwareprojekt. Diese Projekte können von Datenanalyse über Simulationen von Massesystemen bis hin zu einfachen Spielen und Animationen viele unterschiedliche Anwendungen von Programmen beinhalten.

Anders als die Übungen werden diese Projekte von Hand kontrolliert und nicht über vorprogrammierte Tests.

Während der Umsetzung der Projekte stehen die Studierenden in Kontakt mit den Lehrenden, die die Projekte entworfen haben. Wir haben durchaus posi-

tive Rückmeldungen von Studierenden bekommen, die das Projekt abgeschlossen haben, und zufrieden sowie stolz auf das Geleistete waren.

5.2.4. Rückmeldung der Studierenden

Gegen Ende des Kurses wurde eine anonyme Lehrveranstaltungsevaluation durchgeführt. Die Rückmeldungen zur Vorlesung waren vorrangig positiv in den vorgegebenen Fragen, jedoch gaben mehr als 40 % von insgesamt 72 Studierenden an, dass die Lehrveranstaltung mehr Arbeitsaufwand erforderte, als durch die ECTS angedeutet wurde und dass die Voraussetzungen zu hoch angesetzt waren.

Der Hauptkritikpunkt der Studierenden in der offenen Evaluation war das verwendete Setup. Es wurde bemängelt, dass viel Zeit benötigt wurde, um damit verbundene technische Probleme zu beheben und die Syntax zu erlernen.

Die offenen Antworten bei einer von Seiten der Universität durchgeführten Übungsevaluation waren sehr ausgeglichen, jedoch zeigte sich, dass vor allem das Verzicht auf eine Deadline den Studierenden geholfen hat, sich ihre Zeit besser einzuteilen. Auch das Fehlen des Präsentationsaspekts wurde meist positiv aufgefasst, da es den Stress einer Übung reduziert. Allerdings gab es auch Studierende, die der Meinung waren, dass Präsentationen ihr Verständnis verbessern würden.

Laut Evaluation profitierten die Studierenden am meisten von der Bearbeitung der Übungsaufgaben und dem Gruppenprojekt am Ende des Semesters.

Ein weiterer Punkt, der oft positiv genannt wurde, in diesem wie auch in vergangenen Jahren, war die geförderte Teamarbeit unter den Studierenden, sowohl bei den Gruppenprojekten als auch bei Bearbeitung der Übungsaufgaben, und die entspannte Umgangsform zwischen den Lehrenden und den Studierenden.

Die Studierenden bemängelten an diesem Übungskonzept jedoch, dass es oft lange Wartezeiten gab, bis sie Unterstützung bekamen, vor allem als zu Beginn des Semesters viele Fragen aufgekomen sind.

Aus den Fragen der Evaluation wurden die sechs relevantesten genauer betrachtet: (1) Gesamt gesehen halte ich die Lehrveranstaltung für ...; (2) Die Studierenden werden bei der Erreichung der Lernziele unterstützt; (3) Die Studierenden werden in der Entwicklung ihrer Vortragstechnik unterstützt; (4) Es wird darauf geachtet, dass sich alle Studierenden aktiv an der Lehrveranstaltung beteiligen; (5) Durch die Lehrveranstaltung habe ich ein tieferes Verständnis der grundlegenden Konzepte gewonnen; (6) Die gewählte Durchführungsform (Präsenz / hybrid / digital) funktioniert reibungslos.

Dabei konnten die Studierenden aus fünf Antworten von „sehr gut / trifft zu“ (1) bis „sehr schlecht / trifft nicht zu“ (5) auswählen.

Das Ergebnis dieser Befragung ist in Abb. 4 visualisiert.

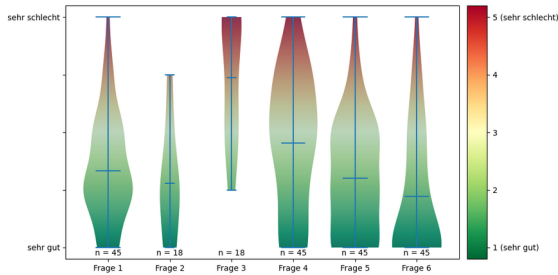


Abb. 4: Violinengrafik der Studierendenbefragung zur Übung, wobei die Mittelwerte mit horizontalen blauen Linien gekennzeichnet sind. Deren Länge ist an die Graphik angepasst und hat keine Aussagekraft. Die Breite der Violinengrafik gibt Aufschluss über die Anzahl der Stimmen für die entsprechende Bewertung. Je tiefer der Schwerpunkt der Violine desto besser die Bewertung der entsprechenden Frage. Die Anzahl abgegebener Stimmen ist mit n angemerkt.

Wie in der Visualisierung ersichtlich, ist die Bewertung der Studierenden in den meisten Punkten positiv. Vor allem die Frage 6, also wie gut die Durchführungsform funktioniert, wurde mit einem Mittelwert von 1.89 und einem Median von 1 als sehr gut bewertet. Sowohl der Erwerb von grundlegendem Verständnis (Frage 5) als auch die Erreichung von Lernzielen (Frage 2) wurde positiv bewertet.

Einzig die Unterstützung bei aktiver Beteiligung der Studierenden an den Übungseinheiten (Frage 4) und die Entwicklung der Vortragstechnik (Frage 3) fielen bei den ausgewählten Fragen mittelmäßig bzw. schlecht aus. Dieses Ergebnis deckt sich auch mit den offenen Fragen (wie zuvor besprochen) und resultiert aus dem Fehlen der Präsentationen in der Übung.

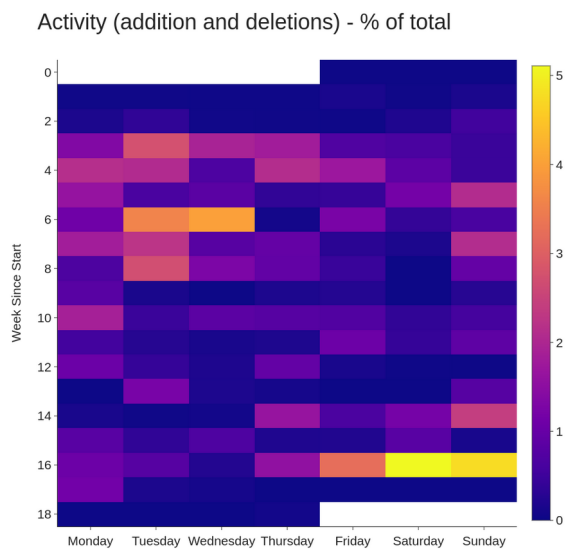


Abb. 5: Aktivität der Studierenden während des Semesters, gemessen an Veränderungen ihrer hochgeladenen Übungslösungen als Anteil der gesamten Änderungen pro Tag in Prozent.

Insgesamt wurde die Lehrveranstaltung mit einem Mittelwert von 2.3 und einem Median von 2 als gut bewertet, was auch durch die Ergebnisse von Frage 1 ersichtlich ist.

In Abb. 5 ist die Übungsaktivität (Änderungen der Studierenden an ihren hochgeladenen Lösungen) des Kurses im Jahr 2020, welcher im selben Modus abgehalten wurde, gezeigt. In der Darstellung sind die Anteile an den Gesamtänderungen an jedem Tag des Semesters in Prozent farblich dargestellt. Die höchste Aktivität wurde dabei kurz vor Ende des Semesters verzeichnet. Dieses Wochenende vor der Deadline machte etwa 10 % der Gesamtaktivität aus. Dennoch sieht man, dass mit Ausnahme der Weihnachtswochen (Woche 9) trotz des Verzichts auf Deadlines während des Semesters relativ kontinuierlich an den Übungen und Projekten gearbeitet wurde.

5.2.5. Prüfungsergebnisse

Die Prüfung am Ende besteht darin, dass Studierende in ausreichend Zeit ein einfaches Programm selbstständig schreiben.

Die Korrelation der Übungsnoten mit den Gesamtnoten des Moduls ist in Abb. 6 dargestellt.

Dabei ist zu Beachten, dass bei einer Beurteilung der Übung mit sehr gut (1) die Prüfungsnote des ersten angebotenen Prüfungsantritts um einen Notengrad verbessert wird, vorausgesetzt die Prüfung wurde positiv abgeschlossen.

Es ist ersichtlich, dass jene Studierende, welche die Übung mit sehr gut bestanden haben, zum Großteil auch das Modul mit guten Noten abgeschlossen haben, wohingegen schlechtere Übungsnoten quasi keine Auswirkung auf die erreichte Modulprüfungsnoten hatten.

Der schlechteste Schnitt von 4.3 wurden bei der Übungsnote 3 verzeichnet. Das könnte daran liegen, dass einige Studierende, die schon Programmiererfahrung haben, die Übungen nicht besuchen, jedoch trotzdem die Prüfung bestehen, wohingegen Studierende, die keine Programmiererfahrung haben, aber die Übungen nicht oft besuchen oder nicht alle Übungsaufgaben bearbeiten, bzw. das Projekt nicht implementieren, die Übung zwar bestehen, jedoch nicht genug Praxis erworben haben, um die Prüfung positiv abzuschließen.

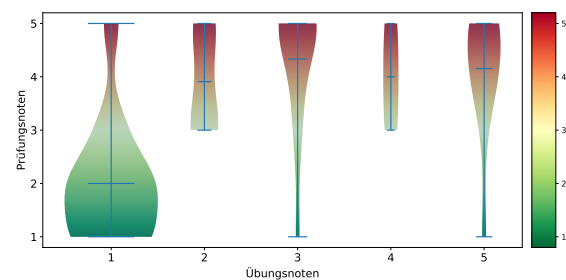


Abb. 6: Übersicht der erreichten Prüfungsnoten im Zusammenhang mit den Übungsnoten des Kurses. Die Mittelwerte sind durch horizontale blaue Linien markiert.

Es ist zu beachten, dass bei vergangenen Jahrgängen mit demselben System die Notenvergabe der Prüfung deutlich besser ausfiel. Etwa 60 % der Studierenden schlossen mit einem sehr gut ab.

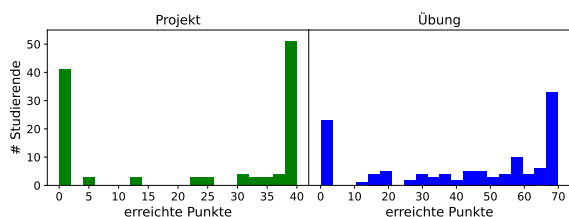


Abb. 7: Histogramm, welches den Erfolg von Studierenden beim Projekt sowie bei den Übungsbeispielen zeigt. Sowohl bei dem Projekt als auch bei der Übung hat der Großteil der Studierenden entweder 0 oder fast alle Punkte erreicht.

5.2.6. Fazit

Alles in allem wurde der Übungsmodus größtenteils positiv aufgefasst. Vorrangig wurde der verminderte Druck durch das Verzicht auf eine Deadline für Übungsabgaben während des Semesters und der angenehme Umgang miteinander als auch die Zusammenarbeit im Zuge von Gruppenarbeiten gelobt.

Die negativen Bewertungen bezogen sich hauptsächlich auf die Wahl der Programmierumgebung und die Menge des Stoffs, jedoch trafen wir auch auf Probleme mit den interaktiven Übungen, da Studierende oft lange auf Beantwortung ihrer Fragen warten mussten.

Obwohl der Kurs noch einige Schwierigkeiten aufweist, ist es uns dennoch gelungen, einen Übungsmodus einzuführen, der das psychische Wohl der Studierenden priorisiert – ein Aspekt der ebenso wichtig ist wie deren Lernerfolg.

6. Literatur

- [1] Pekrun, R.: The Control-Value Theory of Achievement Emotions: Assumptions, Corollaries, and Implications for Educational Research and Practice. *Educ Psychol Rev* 18, 315–341 (2006). <https://doi.org/10.1007/s10648-006-9029-9>
- [2] Krispenz, A.: Reduktion von Prüfungsangst durch das Hinterfragen angsterzeugender Kognitionen. Dissertation Sozialwissenschaften Universität Mannheim (2019) https://www.edu.unibe.ch/e66/e507302/e877348/DissertationAnnKrispenzTheWork_ger.pdf
- [3] Scheuffler, S.: Wenn Stress das Gedächtnis ausschaltet. In: Fokus online (2013) https://www.focus.de/familie/lernen/lernhilfen/blackout-in-der-pruefung-die-besten-strategien-gegen-stress_id_2139310.html4 (Stand 5/2022)
- [4] Aebli, H.: „Grundformen des Lernens“ 10. Auflage 1977 S. 201f
- [5] Brackertz, S., Dahlkemper, M., Drotloff, A., El Miniawy, A., Gehlert, J., Geyer, M.-A., Ivanjek, L., Jeličić, K., Kotakosko, J., Kern-Michler, D., Klein, P., Küchenmann, S., Längle, M., Weimerskirch, M. J., Schielke, P., Susac, A., & Witte, W. (2021). Workshop: Hochschuldidaktische Konsequenzen aus zwei Semestern Krisenlehre. *PhyDid B 2022 – Didaktik Der Physik – Beiträge Zur DPG-Frühjahrstagung* <https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phydid-b/article/view/1176>
- [6] Altland, A., Brackertz, S., Bresges, A., Buchhold, M.: Erklärvideos als Prüfungsleistung: Ein Pilotversuch, Artikel des Studienreform-Forums <https://www.studienreform-forum.de/de/forum-2020/beitraege-2020/2021/05/22/erklaraudios-als-pruefungsleistung-ein-pilotversuch/>
- [7] Brackertz, S., El Miniawy, A., Gehlert, J., Kern-Michler, D., & Längle, M. (2022). Workshop: Konsequenzen aus drei Jahren Studienreformforschung: Ein Beitrag des Studienreform Forums. *PhyDid B - Didaktik Der Physik - Beiträge Zur DPG-Frühjahrstagung* <https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phydid-b/article/view/1309>
- [8] Markard, M.: „Begabung, Motivation, Eignung, Leitung“ In: *Forum Wissenschaft* 1/1998
- [9] Weinert, F. (Hrsg.): *Leistungsmessungen in Schulen*. Weinheim und Basel: Beltz, 2001: 27f.
- [10] Ladenthin, V.: „PISA und Bildung?“ Volker Ladenthin im Interview mit Rolf-Michael Simon. In: *Neue Ruhr Zeitung* 18.11.2007
- [11] Krautz, J.: „Die Kompetenz des homo oeconomicus“ In: *Vierteljahrsschrift für wissenschaftliche Pädagogik*, 86 (2010) 3, S. 332-345
- [12] Weinert, F.: Die fünf Irrtümer der Schulreformer. In: *Psychologie heute*, 26, Heft 7 (1999).
- [13] Webseite des Studienreform-Forums: Themenseite Prüfungsversuchsbeschränkungen <https://studienreform-forum.de/de/themen/pruefungsversuchsbeschränkungen/> (Stand 5/2023)
- [14] Kristkeitz, S.: Übungen versus Essays, Artikel des Studienreform-Forums, <https://studienreform-forum.de/de/forum-2019/beitraege-2019/2019/03/24/uebungen-versus-essays/>
- [15] Schmitt, F.: Education Zen, Artikel des Studienreform-Forums, <https://studienreform-forum.de/de/forum-2020/beitraege-2020/2020/02/08/essay-education-zen/>
- [16] Diehl, S., Hardt, D., Müller, T., Zander, T., Daviet, R., Fatima, M., Brackertz, S.: Using quizzes to discuss and link different perspectives on physics, Artikel des Studienreform-Forums,

- <https://studienreform-forum.de/de/forum-2023/beitrage-2023/2023/03/05/quizzes/>
- [17] Kofler, C., Weimerskirch, M., Längle, M.: Programming 4 Physicists, Artikel des Studienreform-Forums,
<https://studienreform-forum.de/de/forum-2023/beitrage-2023/2023/03/05/bunsmodus-programming-physicists/>
- [18] Chikho, M, Meures, S.: Projektarbeiten als Modulprüfung in der Computerphysik, Artikel des Studienreform-Forums,
<https://studienreform-forum.de/de/forum-2023/beitrage-2023/2023/03/05/projektarbeit-der-computerphysik/>

Danksagungen zum Beitrag „Übungen und Projektarbeit ohne Druck und Fristen“

Beiträge der Autor*innen zur Veranstaltung „Programming for Physicists“: Morris Weimerskirch hat die Übungsbeispiele sowie das didaktische Konzept (mit-)entwickelt und war als technischer Support tätig. Manuel Längle war an der Testung und Weiterentwicklung der Beispiele beteiligt sowie ein Übungsleiter. Clara Kofler war als Tutorin tätig.

Wir möchten uns bei Jani Kotakoski, dem Leiter der Lehrveranstaltung für die Entwicklung des didaktischen Konzepts sowie aller Lehrveranstaltungs-materialen bedanken.

Wir möchten uns bei den Übungsleitern der anderen Gruppen Carsten Speckmann, Wael Joudi, Jacob Madsen und Arixin Bo bedanken. Sie waren an der Testung und Weiterentwicklung der Übungsbeispiele beteiligt. Ohne permanenten Austausch sowie gemeinsame Evaluation der Lehrveranstaltung wäre diese Publikation nicht möglich gewesen.

Besonderer Dank gebührt auch dem technischen Support der Lehrveranstaltung, Maximilian Negedly, der den Großteil der technischen Probleme der Studierenden gelöst hat und es somit dem Rest des Teams erleichtert hat sich auf die Vermittlung des Lehrveranstaltungsinhalts zu konzentrieren.

Wir danken allen zuvor genannten Personen für ihre hilfreichen Kommentare und Anregungen im Bezug auf diese Publikation.

Workshop: Alternative Übungskonzepte - Ein Beitrag des Studienreform-Forums -

Antonia Bauer¹, Stefan Brackertz^{2,3}, Amr El Miniawy⁴, Rochus Klesse⁵, Jana Lasser^{6,7}, Manuel Längle⁸, Lisa Lehmann⁹, Malte Schröder¹⁰, Annemarie Sich², Simon Tautz¹¹

¹Friedrich-Alexander-Universität, Department Physik, ²Universität zu Köln, Fachschaft Physik, ³Universität zu Köln, I. Physikalisches Institut, ⁴Humboldt-Universität zu Berlin, FSI Physik, ⁵Universität zu Köln, Institut für Theoretische Physik, ⁶Technische Universität Graz, Institut für Institute of Interactive Systems and Data Science, ⁷Complexity Science Hub Vienna, ⁸Universität Wien, ⁹Technische Universität Dresden, Fachschaft Physik, ¹⁰Technische Universität Dresden, Chair for Network Dynamics, Center for Advancing Electronics Dresden (cfa-ed) and Institute for Theoretical Physics, ¹¹IPN Kiel

orga@studienreform-forum.de

Kurzfassung

Übungen sind ein wichtiger Bestandteil des Physikstudiums und machen einen großen Teil der Arbeit sowohl der Studierenden als auch der Lehrenden aus (vgl. [1]). Typischerweise gibt es eine gute Betreuungsrelation und dennoch bleiben sie oftmals hinter den Möglichkeiten zurück: Betretenes Schweigen und wenig sinnvolles Anschreiben einer Musterlösung an die Tafel haben wohl alle schon einmal erlebt. Eine systematische Erhebung im Rahmen einer Masterarbeit hat jüngst bestätigt, dass noch immer fast überall wenig kognitiv anregende Formate vorherrschen, bei denen z.B. der große Aufwand, der typischerweise in die Korrektur von Abgaben gesteckt wird, auch tatsächlich produktiv gemacht wird, um Studierende bei ihrem Lernfortschritt zu unterstützen (vergleiche z.B. [2]).

Im Workshop haben wir ausgehend von dieser Erhebung die aktuelle Situation reflektiert sowie alternative Modelle vor- und zur Diskussion gestellt.

1. Der Workshop

Das Studienreform-Forum trägt bereits seit Jahren u.a. konkrete Beispiele für erprobte Studienreform-Konzepte zusammen, um so Erfahrungen zu dokumentieren und dazu anzuregen, an der eigenen Hochschule die Weiterentwicklung von Studiengängen in den Fokus zu rücken. Abgesehen davon, dass es bisher wenig wissenschaftliche Auseinandersetzung mit der Weiterentwicklung von Physikstudiengängen gibt, gibt es dabei die Besonderheit, dass über die Gestaltung der konkreten Lehrveranstaltung hinaus immer auch der Gesamtstudiengang und die (Weiterentwicklung der) Kultur im Fachbereich im Blick behalten werden.

Eine entscheidende Erkenntnis des Studienreform-Forums ist, dass die Physikstudiengänge in Deutschland – wenn sie auch in der Summe ähnlich viele Credit Points in den einzelnen Bereichen der Physik haben mögen – recht unterschiedlich konzipiert sind (vgl. [3]), was angesichts der Diversität der Forschungslandschaft und des Anspruchs von Einheit von Lehre und Forschung auch erstrebenswert ist. Dementsprechend ist das Anliegen nicht, „das perfekte Konzept“ zu finden; vielmehr geht es bei den Studienreform-Beispielen, die das Studienreform-Forum sammelt, vor allem darum, die Gründe herauszuarbeiten, aus denen etwas besonders gut (oder schlecht) funktioniert, um die Ideen einerseits gezielt

weiterentwickeln und andererseits an anderen Standorten (durchaus auch in Veranstaltungsformaten, die auf den ersten Blick ganz anders aussehen) adaptieren zu können.

Nun gibt es inzwischen mehrere große empirische Studien zur Wirksamkeit von aktivierenden Übungsformate, etwa [7] und [34], im Rahmen einer Masterarbeit wurde die Verbreitung von Übungsformaten in den Experimental-Grundveranstaltungen erhoben [4] und das Studienreform-Forum hatte inzwischen eine ganze Reihe Beiträge zusammen getragen mit Formaten, die noch einmal anders funktionieren als das klassische inverted classroom (Literatur vgl. [32]) und das Rechnen von Übungen im Plenum oder in Kleingruppen während der Übungsstunde. Angesichts dessen hat das Studienreform-Forum noch einmal explizit zu Beiträgen zum Thema „Alternative Übungskonzepte“ aufgerufen [5] und in einem Workshop auf der DPG-Frühjahrstagung diese drei Perspektiven miteinander konfrontiert: Vor dem Hintergrund, dass die Ergebnisse der größeren empirischen Studien zu Wirksamkeit bereits in Plenarvorträgen vorgestellt worden waren, wurden die Ergebnisse der angesprochenen Masterarbeit vorgestellt und mit allen Teilnehmer*innen diskutiert, welche Schlüsse aus den Ergebnissen zur Wirksamkeit und zur Verbreitung zu ziehen sind. Die Autor*innen der Beiträge des Studienreform-Forums saßen dabei in-

sofern mit am Tisch, als Mitglieder des Studienreform-Forums, die die Beiträge gut kannten, sich aktiv in die Debatte eingemischt und – als solche explizit gekennzeichnet – die Erfahrungen und Standpunkte, die in den jeweiligen Beiträgen zum Ausdruck kommen, eingebracht haben. Dieser Workshop und die Beiträge des Studienreform-Forums zum Thema, die bisher noch nicht publiziert sind, werden im Folgenden dokumentiert.

2. Status Quo und Studienlage

In vielen Studiengängen in Deutschland ist ein großer Teil der Module aufgeteilt in eine Vorlesung und eine Übung. Dies gilt auch für viele Physiklehrveranstaltungen. Die Übungen machen dabei häufig ca. ein Drittel der gesamten Lehrzeit aus. Für die Physik z.B. von der Konferenz der Fachbereiche Physik (siehe [1],[2]) festgehalten. Damit nehmen Übungen eine wichtige Rolle in der Lehre ein.

Die im Workshop vorgestellte Masterarbeit [4] hat die Einführungsveranstaltungen der Experimentalphysik in Deutschland untersucht. Das Ergebnis ist, dass in ca. 2/3 der Physikstudiengänge in Deutschland als default vorgesehen ist, dass Studierende (meist Rechen-) Aufgaben bekommen und diese innerhalb einer Woche lösen und zur Korrektur abgeben. In der Präsenzübung werden die einzelnen Aufgaben von Studierenden an der Tafel vorgerechnet und der Lösungsweg erklärt. Bei der Arbeit und durch die vom Studienreform-Forum gesammelten Beiträge wird aber auch deutlich, dass es an sehr vielen Unis mit diesem default zahlreiche Pilotversuche gibt, die von diesem default abweichen.

In den Gesprächen, die im Rahmen der Masterarbeit geführt wurden, sind auch die Gründe deutlich geworden, warum das klassische Übungsformat so verbreitet ist:

- a) Studierende sammeln Lernmaterialien; Die Aufgaben und die in der Übung besprochenen Lösungen dienen als Grundlage für die Klausurvorbereitung. Viele Klausuren bestehen auch aus ähnlichen Aufgaben wie die Übungen.
- b) In der Übung können Probleme und unterschiedliche Lösungsansätze, unterstützt durch eine Tutor*in, besprochen werden. Unterschiedliche Lösungsansätze regen zur Diskussion an.
- c) Durch die Übung wird eine Art formatives Feedback ermöglicht. Tutor*innen sehen beim Präsentieren, wo es noch generelle Verständnisschwierigkeiten gibt. In ihren korrigierten Abgaben erhalten die Studierenden ganz persönliches Feedback zu ihren Problemen.

Deutlich geworden ist aber auch, dass die Entscheidung für dieses Format typischerweise noch aus Diplomzeiten stammt. Seinerzeit waren Videomitschnitte, umfangreiche Internetressourcen, professionelle durch die Dozierenden zur Verfügung gestellte Vorlesungsskripten und schnell, teils im Volltext durchsuchbare Bibliotheksbestände – heute fast

überall selbstverständlich – quasi nicht vorhanden. Somit gibt es heute zahlreiche Alternativen für die Studierenden, um Lernmaterial zu sammeln. Grundsätzlicher ist aber ein Wandel der Prüfungsformen: Klausurzulassungen und Klausuren existierten auch im Diplom an den meisten Standorten, nur war ihre Funktion eine andere: Erstens musste nur ein bestimmter Anteil an Klausuren bestanden werden, zweitens waren sie nicht bewertet und hatten auch keine Wiederholbarkeitsbeschränkungen, die in vielen Bachelor-Studiengängen immer noch üblich sind. Die eigentliche Prüfung war eine typischerweise vorlesungsübergreifende mündliche Vordiplomprüfung, die also viel mehr auf qualitatives Verständnis und Vernetzung verschiedener physikalischer Inhalte zielte als die heutigen Klausuren. Dementsprechend spielte das Lösen von Übungsaufgaben, wenn auch auf den ersten Blick sehr ähnlich organisiert, für Studierende und Übungsleiter*innen eine andere Rolle: Sie dienten dem Erarbeiten eines qualitativen, übergreifenden Verständnisses, das heute – zumindest im Rahmen von Prüfungen im Bachelor – gar keine Rolle mehr spielt.

Viele der genannten Vorteile kommen in der heutigen Realität auch wenig zum Tragen. (Den Autor*innen ist unklar, ob das früher anders war.) Häufig fehlt Zeit, sodass Studierende, in dem Bestreben möglichst zu allen Aufgaben Lösungen zu haben, sich nur darauf konzentrieren von der Tafel abzuschreiben. Verstehen und Nachfragen werden auf „später“ verschoben. Damit einher geht auch, dass meistens Studierende die Aufgaben vorstellen, bei denen sie sicher sind die richtige Lösung gefunden zu haben. Dadurch können Fehler nicht als Lernchance genutzt werden. Zudem entsteht bei den Studierenden leicht der einschüchternde Eindruck, alle anderen wären besser als sie selbst.

In diesem Übungsformat sind die Studierenden strukturell nur wenig kognitiv aktiviert und werden nur begrenzt zur Zusammenarbeit angeregt. Zwar ist es in der Regel erwünscht, dass die Aufgaben in Teams gelöst werden, aber in der Präsenzübung ist jeder für sich und die meisten Studierenden sind die meiste Zeit damit beschäftigt, zuzuhören.

„Die wichtigste Voraussetzung für wirkungsvolles und erfolgreiches Lernen ist das Ausmaß der aktiven Lernzeit, das heißt der Zeit, in der sich die einzelnen Schüler mit den zu lernenden Inhalten aktiv, engagiert und konstruktiv auseinander setzen.“[6]

Auch ist das Vorrechnen von Hausaufgaben für Studierende, die diese Aufgaben richtig gelöst haben, oft weitgehend nutzlos und für die, die die Aufgaben gar nicht bearbeitet haben, oft überfordernd, somit also nur für einen mehr oder weniger großen Anteil der Anwesenden überhaupt zugeschnitten. Der Umfang der Übungsaufgaben ist aber häufig so groß, dass fast niemand alle Aufgaben bearbeitet, sei es, weil Studierende die Aufgaben unter sich aufteilen, sei es, weil sie die Menge der Aufgaben überfordert,

sei es, weil Studierende entsprechend ihrer Interessen und/oder Übungsbedürfnisse bewusst eine bestimmte Anzahl an Aufgaben auswählen sollen. Das Ergebnis ist, dass Vorrechen-Übungen von Anfang zu jedem Zeitpunkt einen großen Teil an Studierenden systematisch ausschließen.

Demnach zeigt sich die typische Übung wenig lernförderlich. Die Empirie scheint dies zu belegen. In der Studie „Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand student survey of mechanics test data for introductory physics courses“ zeigte Hake [7] eine Korrelation zwischen Lernerfolg und der Anwendung von Methoden zur Förderung des Interactive Engagements. Dabei gab es kein erprobtes Übungsformat, das – egal wie unausgereift – einen niedrigeren Lernerfolg hatte als die besten herkömmlichen. – Man kann also nicht viel falsch machen, wenn man Aktivierendes ausprobieret.

3. Eckpunkte der Workshop-Diskussion

Ausgangspunkt der Diskussion im Workshop war angesichts dieser empirischen Lage, die recht eindeutig dafür spricht vom Standardformat abweichende Übungsformate einzuführen, die Frage, warum dies dennoch relativ selten geschieht.

3.1. We teach as we were taught?

Oft stellt sich bei Dozierenden die Frage – so die Debatte –, warum man überhaupt ein laufendes Konzept ändern sollte – es habe doch bei ihnen selbst vor vielen, vielen Jahren nach der selben Struktur mit Diskussionen und gemeinsamen Problemlösungen funktioniert. Ein Ergebnis des vom Studienreform-Forum in Dresden 2022 [28] ausgerichteten Kolloquium war, dass dies wenig über die heutige Situation aussage – unabhängig davon, ob das Standardformat vor Jahren tatsächlich besser funktioniert hat oder diese Einschätzung auf den Survivorship-Bias zurück geht: Wie bereits in Abschnitt 2 erwähnt sind die Rahmenbedingungen, unter denen dieses Konzept heute Anwendung findet, in entscheidenden Punkten anders. Dass die aktuellen Rahmenbedingungen der verbreiteten Übungskonzepte heute anders sind als zu deren Entwicklung, sei teils erst im Corona-Lockdown für alle unübersehbar geworden.

3.2. Corona

Zwar gibt es schon länger empirische Erkenntnisse zur Gestaltung von Übungen in MINT-Studiengängen, etwa die Arbeiten von McDermott [15], [34], in den letzten Jahren haben Zahl, Systematik und Wahrnehmung dieser Studien in den letzten Jahren aber erheblich zugenommen. Erstens hat die Online-Lehre in der Corona-Pandemie die Probleme der traditionellen Formate so sehr zugespitzt, dass es einen großen Handlungsdruck gab und „We teach as we were taught“ offensichtlich nicht mehr möglich war. Zweitens haben die Unklarheiten dieser Zeit vielfach dazu geführt, dass Dozierende, die schon länger mit alternativen Formaten geliebäugelt haben, sich getraut haben, diese einmal auszuprobieren – es war

nicht notwendig, sich darüber Gedanken zu machen, ob neue Formate kompatibel mit bestehenden Prüfungsordnungen waren oder gegen Department-weite Vereinbarungen verstoßen. Wenn die Gesamtsituation offenbar schlecht ist und alle ratlos sind, waren die Befürchtungen, wenn etwas schief geht, einen shitstorm abzubekommen, geringer (wenn auch sonst weitgehend unbegründet, wie die Empirie zeigt [33]), zumal Prüfungsversuchsrückstellungen für Studierende in der Regel ausgesetzt waren. Nicht zuletzt haben mehrere Hochschulen die Pandemie zum Anlass genommen, kollegiale Gesprächsformate zur Aufrechterhaltung / Weiterentwicklung der Lehre zu etablieren.

Hier sei angemerkt, dass dies natürlich kein allgemeines Plädoyer dafür ist, Regelungen in Prüfungsordnungen auszusetzen. Zudem ist es so, dass eine positive hochschuldidaktische Wendung der insgesamt katastrophalen Lage in dieser Zeit auch nur an sehr wenigen Standorten, voran getrieben durch unglaubliches Engagement einzelner Studierender und Dozierender und nur in Ansätzen, gelungen ist (vergleiche [10]). Dennoch sind viele auch im Rahmen des Workshops diskutierte Beiträge auch in diesem Zusammenhang entstanden und vielerorts wurde festgestellt, dass alle nur gewinnen, wenn auf bestimmte, in der Corona-Zeit vielfach ausgesetzte, Restriktionen der Prüfungsordnungen verzichtet wird (vergleiche [10]). Zu nennen wären hier insbesondere Restriktionen bei der An- und Abmeldung von Prüfungen und vor allem zur Wiederholbarkeit von Prüfungen [33].

3.3. Prüfungen, Leistungsdruck und die Kultur im Fachbereich

Insgesamt wurde aus den Erfahrungen der Workshop-Teilnehmer*innen deutlich, dass es sehr von der örtlichen Gesamtsituation abhängt, was notwendig ist, damit Initiativen zur Reform von Übungsformaten auf fruchtbaren Boden fallen:

Spielen Prüfungen eine große Rolle, weil eine teaching-to-the-test-Kultur herrscht, weil die Durchfallquoten hoch sind, weil Klausurversuche oder die Studiendauer beschränkt sind etc., funktionierten vor allem Formate, die Studierenden das Gefühl vermittelten, sie gut und gezielt auf die Prüfungen vorzubereiten. Was das sei, hänge natürlich sehr von den Prüfungen ab und sei z.B. für mündliche Prüfungen etwas ganz anderes als für Klausuren und wieder etwas anderes für Projekt-orientierte Prüfungsformate.

Herrscht insgesamt ein hoher Leistungsdruck und werden in vielen Veranstaltungen regelmäßige Abgaben erzwungen, gebe es schlechte Voraussetzungen für Formate, die nicht direkt kontrollierbare Mitarbeit erfordern, etwa das Durcharbeiten von Material beim inverted classroom. Teilweise sei auch eine Restriktionen-Hochrüstungsspirale zu beobachten: Funktioniere die Mitarbeit der Studierenden nicht wie erhofft und werde dies nicht kollektiv im Fachbereich reflektiert, sei oft der erste Reflex, mit

Anwesenheitspflichten, strengen Klausurzulassungen, Zwischentests etc. eine höhere Beteiligung zu erzwingen, was aber typischerweise zulasten der Parallelveranstaltungen gehe, in denen wiederum ähnlich reagiert werde. Dies berge die Gefahr, dass die Übung von Kontroll- und Prüfungsatmosphäre geprägt werde, der auf Studierendenseite mit einer Haltung begegnet werde, die gleichzeitig von „Versteckspiel und Schaumschlägerei“ geprägt sei. Dies sei „Erziehung in die falsche Richtung“, führe dazu, dass Probleme nicht zielgerichtet adressiert werden könnten, und zudem würden Kontrollmaßnahmen zum Teil auch wertvolle Zeit verbrauchen. Pilotversuche und/oder liberalere Regelungen, mit denen es an anderen Standorten gute Erfahrungen gebe, hätten dann erschwerte Bedingungen. Darüber hinaus führe dies oft zu erheblichen mental-health Schwierigkeiten bei Studierenden und zum Studienabbruch insbesondere von Studierenden, die z.B. parallel arbeiten müssten und in einem Teilzeitstudium keine Alternative sehen.

Herrsche eine Kultur des Abschreibens und wenig gelebte Fehlerkultur, funktionierten Formate wie wenig strukturierte Fragestunden, bei denen es darauf ankomme, offen über Unverstandenes zu sprechen, oft nicht auf Anhieb. Umgekehrt brächten Formate, die systematisch darauf orientierten, dass Studierende zu echter Zusammenarbeit angeleitet würden, vor allem dann einen Fortschritt, wenn es üblich sei, dass Aufgaben lediglich zur Verkürzung der täglichen To-do-Listen auf verschiedene Studierende verteilt werden, die die Aufgaben dann letztlich allein bearbeiten.

Konkret wurden die praktischen Schwierigkeiten mit zwei alternativen Übungsformaten diskutiert, die relativ weit verbreitet, gut dokumentiert und – soweit untersucht – grundsätzlich positiv evaluiert sind. Inverted classroom [32] und das Rechnen von Präsenzaufgaben.

3.3.1. Herausforderungen bei Inverted Classroom

Dieser Abschnitt umfasst nicht nur die Debatten aus dem Workshop bei der DPG-Tagung, sondern wurde ergänzt um Punkte aus Input und Diskussion bei der Veranstaltung des Studienreformforums in Dresden mit Lana Ivanjek [28].

Eine Erfahrung ist, dass in Fachbereichen, in denen die Studierenden gewohnt sind, in Veranstaltungen vor allem zuzuhören, einige Zeit notwendig ist, bis in der Präsenzphase tatsächlich eine aktive Mitarbeit zu Stande kommt. Gerade, wenn Studierende erstmals in höheren Semestern aktiveren Veranstaltungsformaten in Kontakt kommen, müssen sie sich mitunter mehrere Semester daran gewöhnen. Außer den Studierenden brauchen aber auch die Lehrkräfte Zeit, um sich auf ihre neue Rolle einzulassen (vom Instruktor zum Trainer). Vor allem sei es wichtig, sich bei Fehlschlägen nicht entmutigen zu lassen, so Lana Ivanjek.

Dieser Prozess lässt sich allerdings gezielt unterstützen. Lana Ivanjek stellte als wichtigsten Punkt dafür die Erarbeitung eines tatsächlich aktivierenden Konzepts für die Unterrichtszeit heraus. Es gibt viele Quellen für Aktivitäten in dieser Phase.¹ Mit Quizzen gibt es zudem ein sehr einfaches und bewährtes aktivierendes Veranstaltungselement, das in fast allen Veranstaltungsformaten verwendet werden kann, sei es für einen 5-minütigen, aktivierenden Start in eine Diskussions- oder Partner*innen-Arbeitsphase, sei es zur Gestaltung der Gesamtsitzung, siehe [20].

Das zweite große Problem, mit dem sich Lehrende konfrontiert sehen, die einen Versuch des Flipped Classroom wagen, ist, dass die Vorbereitungsmaterialien nicht ausreichend vorab bearbeitet werden. Viel hängt hier vom Zusammenspiel zwischen Material und Gestaltung der Präsenzphase ab: Bringt die Vorbereitung den Studierenden keine für sie offensichtlichen Vorteile für die Teilhabe an der Diskussion, so wird sie nicht gemacht. Umgekehrt scheitert aber auch eine Präsenzphase, die alle Studierenden in die Passivität drängt, die die Materialien nicht (richtig) vorbereitet haben. Außerdem sehr wichtig und häufig vernachlässigt sei zudem, dass den Studierenden vermittelt werde, wie sie mit den Vorbereitungsmaterialien arbeiten können und warum deren Bearbeitung so wichtig ist. Die Materialien sollten nicht zu umfangreich sein (Videos bspw. Nicht länger als 5 bis 10 min) und wöchentlich den gleichen Zeitaufwand beanspruchen. Im Beitrag „Double Inverted Classroom“ unten wird zudem ein Ansatz vorgestellt, der ausgehend von dem Problem, dass Studierende das Material beim Inverted Classroom nicht ausreichend bearbeiten oder diese Bearbeitung aufschieben, das Konzept des Inverted Classroom strukturell abändert.

3.3.2. Herausforderungen bei Präsenzaufgaben

Nicht nur Dozierende sind mitunter schwer davon zu überzeugen, dass es eine gute Idee ist, die Übungen nicht vornehmlich mit dem Vorrechnen der Hausaufgaben zu verbringen. Oft forderten Studierende, so die Erfahrung, explizit ein, dass alle Aufgaben vollständig vorgerechnet werden. Dies führe beispielsweise häufiger zu Hektik und Zeitstress in Übungen, wenn versucht werde, die Hausaufgabenbesprechung zugunsten der Bearbeitung von Präsenzaufgaben zu reduzieren. Grund dafür sei die Angst, ansonsten später keine (ausreichende) Grundlage zu haben, um Versäumtes aufzuholen.

Der Beitrag „Von der Vorlesung zur Aufgabenlösung: In der Übung gemeinsam ans Werk“ setzt sich mit diesem Problem systematischer auseinander und das erfolgreich erprobte Modell, das in dem Beitrag vorgestellt wird, adressiert dieses Problem explizit.

¹ Eine große Sammlung, die zudem viele Verweise auf weitere Beispiele und Sammlungen umfasst findet sich auf [31].

3.4. Pilotprojekte und Umsetzungsdetails

Um mehr aktive Lehre einzubauen, muss ein gesamtes Modul nicht vollständig reformiert werden, teilweise reicht es schon aus, die Übungen zu einem Ort aktiven Lernens zu machen. Das ist die Herangehensweise der University of Washington, die genau dieses Modell erstellt und wissenschaftlich begleitet haben [15].

Auch, so die Diskussion im Workshop, sei es weder notwendig, noch wünschenswert, dass alle Dozierenden eines Moduls gleich verfahren. So Sorge eine Vielfalt an Formaten nicht nur dafür, dass alle Lern-typen unter den Studierenden einmal in den Genuss eines ihnen besonders liegenden Formates kommen, sondern ist anregend und fördere die Denkflexibilität. Probleme, die dadurch entstünden, dass in verschiedenen Veranstaltungen unterschiedlich enge Regeln herrschten (vergleiche Abschnitt 3.3), ließen sich auch nicht durch Modul-einheitliche Regelungen lösen, weil es ja auf eine Abstimmung zwischen den Veranstaltungen ankomme, die die Studierenden gleichzeitig bzw. nacheinander belegen. Auch sei es bei vielen Übungsformaten entscheidend, dass sie zu den Dozierenden passten bzw. nicht allzu einheitlich festgelegt seien, sodass sie sich passend adaptieren ließen.

Tatsächlich gab es mit Pilotprojekten in einzelnen Veranstaltungen unter den Workshop-Teilnehmer*innen sehr gute Erfahrungen: Es sei viel einfacher, davon zu überzeugen, etwas Neues als Pilotprojekt auszuprobieren statt als neuen Standard. Und Untersuchungen wie die bereits erwähnte von Hake [7] geben gute Argumente dafür, dass damit jedenfalls kein großer Schaden angerichtet werden kann und es umgekehrt viel zu gewinnen gibt. Entscheidend sei aber, dass die dabei gemachten Erfahrungen, vor Ort auch geteilt würden und gemeinsam daraus gelernt würde, damit nicht nach kurzer Zeit wieder alles im Sande verlaufe.

Unter Kolleg*innen im Gespräch zu bleiben, sei auch deshalb wichtig, weil das Gelingen sowohl herkömmlicher als auch alternativer Formate oft durch auf den ersten Blick unscheinbare Details erheblich gefördert werde. Diskutiert wurde das an vier Beispielen:

- Ob die Überschrift eines ansonsten gleichen Aufgabenzettels „Nachbereitungsaufgaben“ oder „Vorbereitungsaufgaben“, „Übungsaufgaben“ oder „Denkaufgaben“ steht, ob von „Hausaufgaben“, „Foyeraufgaben“ oder „Mensaaufgaben“ die Rede ist, gibt gerade bei Studienanfänger*innen ganz unterschiedliche Impulse für Bearbeitungszeitpunkt, Herangehensweise und Art der Zusammenarbeit.
- Inzwischen weit verbreitete Musterlösungen werden wie auch die Korrekturen von Übungszetteln zu sehr unterschiedlichen Zeitpunkten herausgegeben. Offensichtlich schafft eine Aus-/Rückgabe von beidem vor der Übungsstunde verbunden

mit der Ansage „Legt vor der Übungsstunde beides nebeneinander, überlegt euch Fragen und besprochen werden dann in der Übungsstunden nur die Fragen“ in der Übungsstunde Zeit für Präsenzaufgaben (vergleiche Abschnitt 3.3.2) ohne das Bedürfnis der Studierenden nach Vollständigkeit der Besprechung zu ignorieren.

- Das herkömmliche Vorrechnen wird viel erfreulicher, schreiben Übungsleiter*innen vor der Übungsstunde Studierende an, ob sie nicht eine bestimmte Aufgabe vorrechnen und dabei besonderen Schwerpunkt auf XY legen wollen. Es erleichtert den Studierenden die Entscheidung „ja“ zu sagen, ermöglicht, dass sie sich vorher sortieren, sodass die Präsentation für alle hilfreicher wird und verhindert zudem das kulturell erdrückende Schweigen nach der Frage "Wer möchte die nächste Aufgabe vorrechnen?", das jeder Übung die Dynamik nimmt. Helfen kann auch: „Wir machen jetzt 5 Minuten Kaffeepause. Währenddessen könnt ihr ja mal überlegen, ob ihr euch vorstellen könnt, die nächste Aufgabe vorzuführen; besonders spannend an der Aufgabe ist übrigens XY.“
- Problemlos auch in einem herkömmlichen Format ausprobieren lässt sich die Ansage: „Vorrechnen von Aufgabe 3. Wer sitzen bleibt, wird von mir zur Aufgabe befragt, die Tafel ist der save space.“ Das Ergebnis ist Berichten zufolge bei verschiedenen Studierendengruppen völlig verschieden, aber immer aktivierend und erfreulich. Und falls nicht, kann man es ja bei Aufgabe 4 wieder anders machen.

4. Einordnung der alternativen Übungsformate

Fast alle hier vorgestellten Übungsformate bilden zusammen mit einer Vorlesung eine Gesamtveranstaltung. Dabei lässt sich die Funktion der Übungen je nach Konzeption der Gesamtveranstaltung zwischen drei Polen verorten, die sich vielleicht auch als verschiedene Strategien verstehen lassen, im Sinne Aebli [11] „das Geflecht von Beziehungen, das den Begriffsinhalt konstituiert,“ aufzubauen:

- a) Typischerweise werden in Experimentalphysik-Vorlesungen rund um Phänomene bereits in der Vorlesung gut verstandene Inseln des Wissens aufgebaut und der Übung kommt die Funktion zu, den Bezug zwischen diesen Inseln heraus zu arbeiten.
- b) In der Vorlesung wird eine Landkarte des entsprechenden Gebietes der Physik entwickelt. Die Aufgabe der Übung ist es, sich tatsächlich entlang der Wege der Landkarte durch das Themenfeld zu arbeiten, um es so lebendig zu machen und das Wandern zu trainieren. Dies findet sich oft in der Theoretischen Physik.
- c) In der Vorlesung wird sich entlang eines roten Fadens oft mit detaillierten Beispielrechnungen und Beweisen durch das Themenfeld gearbeitet.

Die Übung hat dann vor allem die Funktion, herauszuarbeiten, dass der rote Faden, der für die meisten Studierenden zunächst einfach nur ein wirres Knäuel zu bilden scheint, auch wenn sie jeden einzelnen Schritt verstehen und mitgehen, in Wirklichkeit ein strukturiertes Netz ist. Dies findet sich vor allem in Mathe-, aber manchmal auch in Theorievorlesungen.

Eine Gemeinsamkeit der meisten Beiträge ist, dass sie herausarbeiten, dass die Lehrveranstaltungen immer wieder klar und explizit benennen müssen, wo innerhalb des Themenbereiches man sich gerade befindet und welcher der drei genannten Punkte gerade vornehmlich (mit einer Aufgabe / einer Diskussion) verfolgt wird. Dies trägt bereits erheblich dazu bei, dass die Wichtigkeit der Aufgaben verstanden wird, dass Studierende sich bewusst entscheiden können, wo sie einen Schwerpunkt legen wollen und dass die oft wenig didaktisch geschulten Übungsleiter*innen reflektiert vorgehen.

Nicht nur, aber ganz besonders bei wenig geschulten Übungsleiter*innen ist Interaktion zwischen Studierenden und Übungsleiter*innen, aber auch zwischen den verschiedenen an der Gestaltung einer Veranstaltung Beteiligten (vergleiche Doku alter Workshop) nicht nur aktivierend für die Studierenden, sondern auch wesentlich, um den Übungsleiter*innen zu ermöglichen, eine gute Übung zu halten. Es scheint eine hohe kulturbildende Bedeutung zu haben, dies explizit zu betonen, und führt teils dazu, dass Studierende Übungsaufgaben mit einer anderen Haltung bearbeiten, als wenn dies vor allem als „Zulassung zur Klausur“ geframed ist. Je nach konkreter Situation kann dies eher informell (Kaffeepause in der Mitte einer Veranstaltung; regelmäßiger gemeinsamer Mensabesuch des Veranstaltungsteams) oder methodisch strukturiert stattfinden (hier gibt es einen großen Fundus an Methoden in den verschiedenen Beiträgen, aber auch aus ganz anderen Kontexten, z.B. talking feedback, siehe [23]). In jedem Fall muss dafür aber Zeit eingeplant werden.

In vielen Beiträgen wird zudem deutlich, dass oft darüber nachgedacht wird, wie Studierende weniger abgehängt werden können, was gut ist. Zu wenig in den Blick genommen wird aber, wie Studierenden, die aus irgendeinem Grund raus sind, wieder einsteigen können. Eine Veranstaltungskonzeption, die dieser Herausforderung nicht ausreichend Rechnung trägt, muss angesichts empirischer Befunde [7], dass MINT-Studierende in den ersten Semestern im Schnitt 30% des Veranstaltungsstoffes verstehen, auch dann scheitern, wenn sie so gut ist, dass die Studierenden 40% des Veranstaltungsstoffes auf Anhieb mitnehmen. Dabei ist zu betrachten, dass viele Gründe, aus denen Studierende „rauskommen“ können, gar nicht unbedingt in der Hand einer Universität liegen, sondern z.B. darauf zurück gehen, dass Studierende auf Grund ihrer sozialen Lage neben dem Studium arbeiten müssen [14]. Insbesondere wenn die Gesamtkonzeption der Veranstaltung in

Richtung des dritten obigen Pols tendiert, ist es eine der wichtigsten Aufgaben der Übung, systematisch Wiedereinstiegsunkte zu schaffen.

Angesichts der unterschiedlichen Ausgangssituationen an verschiedenen Standorten (vergleiche Abschnitt 3.3) sind die verschiedenen im Folgenden vorgestellten alternativen Übungsformate von verschiedenen Ausgangsfragen her entwickelt:

- Wie kann aus der Gestaltung, Besprechung und Korrektur der Übungsaufgaben der größte Lerneffekt geschaffen werden?
- Wie gelingt es, das meiste aus der wertvollen Zeit mit Übungsleiter:innen zu machen?
- Zwischen den Veranstaltungen wird über Physik geredet. Wie können die Veranstaltungen genutzt werden, um diesen Prozess sinnvoll in die Wege zu leiten?

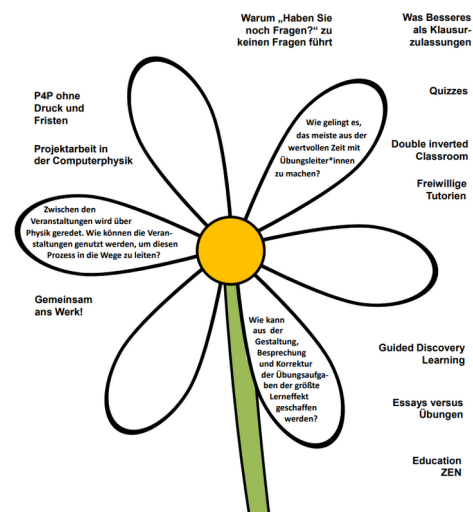


Abb.1: Die vorgestellten alternativen Übungsformate sind von verschiedenen Ausgangsfragen her entwickelt.

4.1. Wie kann aus der Gestaltung, Besprechung und Korrektur der Übungsaufgaben der größte Lerneffekt geschaffen werden?

Die Beiträge, die diese Fragestellung in den Blick nehmen, betonen, dass Aufgabenstellungen und Übungsstruktur auf Eigenverantwortung und freie Zeiteinteilung der Studierenden gerichtet sein sollten und gleichzeitig klar definierte Anforderungen und Einordnungen bieten müssen.

So arbeitet der Beitrag „Guided Discovery Learning“ [17] heraus, wie die Aufgabenblätter das Entdecken theoretischer Erkenntnisse „erzwingen“ können, ohne dass die Studierenden große Recherchearbeit leisten zu müssen. Dadurch könnten sowohl komplett neue mathematisch-physikalische-Konzepte angerissen werden, als auch die eigenständige Vertiefung begleitet werden.

Umgekehrt wird beim im angelsächsischen Bereich verbreiteten Essay-schreiben, das im Beitrag „Übungen versus Essays“ [18] vorgestellt wird, das selbständige Recherchieren und das Herausarbeiten ei-

nes Gesamtüberblicks zu einer spezifischen Frage gerade durch die Studierenden geleistet. Neben dem Erlernen des Handwerkszeugs spielt das Präsentieren von selbst-erlerntem und selbst-erforschtem Grundlagenwissen mithilfe schlüssiger Erklärungen unter Einhalten eines Roten Fadens eine große Rolle. Eine Kernherausforderung dabei ist, entlang einer Fragestellung eine solide wissenschaftliche Argumentation aufzubauen, ohne das gesamte Fachgebiet im Detail durchdringen zu haben; durch das Übungsformat sollen Studierende systematisch lernen, sich wissenschaftlich zu orientieren ohne den oftmals von der Schule mitgebrachten Vollständigkeitsanspruch.

Das Lehrkonzept „EducationZen“ [19] sieht eine beliebige Zahl von Neueinreichungen von Übungsaufgaben vor, wobei am Ende aber eine sehr hohe Punktzahl erreicht werden muss; ähnlich wie oft bei Praktikumsauswertungen müssen die Übungsaufgaben korrigiert werden, bis sie wirklich vollständig und richtig sind. Ziel dabei ist, dass aus Fehlern wirklich gelernt und wirklich mit Feedback gearbeitet wird. Dabei erfolgen die Zwischenkorrekturen weitgehend peer-to-peer mit Hilfe von Musterlösungen, sodass Studierende aus anderer Perspektive lernen. Hierbei müssen Rechenwege klar nachvollzogen werden können und sich intensiv mit der Musterlösung auseinandergesetzt werden. Dadurch werden die Übungen zu einem Ort des aktiven Diskurses und Rechnens und es wird nahegelegt, verschiedene Teile der Vorlesung aufeinander zu beziehen, wenn verschiedene Studierende zusammenarbeiten, die gerade mit Übungen zu verschiedenen Teilen der Vorlesung beschäftigt sind. Zusätzlich dazu kann Peer marking Fehler aufzeigen, die anderen Studierenden passieren können.

4.2. Wie gelingt es, das meiste aus der wertvollen Zeit mit Übungsleiter*innen zu machen?

In den meisten Beiträgen, die von dieser Fragestellung ausgehen, stehen die Übungsaufgaben als solche und deren Bearbeitung nicht im Mittelpunkt, nehmen aber typischerweise dennoch eine wichtige Rolle zur Vorbereitung der Präsenzphase, die den eigentlichen Kern der Veranstaltung bildet, ein. In gewisser Weise stellt die Vorlesung dabei den roten Faden dar, die durch ein Mini-inverted classroom im Übungsbetrieb ergänzt wird.

Durch interaktive/kommunikative Aufgaben kann dabei die Zusammenarbeit der Studierenden in vielen Formaten angeregt werden. Ein einfaches und nicht nur in Übungen erfolgreich erprobtes Veranstaltungselement dafür sind „Quizzes“ [20], wie z.B. auch die Peer-Instruction Methode von Eric Mazur [16] zeigt. Sie machen Widersprüche und unterschiedliche Kenntnisstände im Raum unmittelbar sichtbar, auch wenn nicht alle Studierenden zu Worte kommen und zeigen damit Studierenden wie Dozierende innerhalb kürzester Zeit auf, wo und dass Gesprächsbedarf besteht. Sie eignen sich dabei auch

als Ausgangspunkt, um Übungen in heterogenen Gruppen (z.B. verschiedene Voraussetzungen aus dem Bachelor in Masterveranstaltungen, Aufgaben gerechnet oder nicht) für alle fruchtbar zu gestalten. Werden die Fragen geschickt erstellt, sodass sie wunde Punkte von „nicht wirklich verstandenem, aber gut eintrainiertem“ treffen, können aus den Gesprächen notwendige Aha-Momente (nachgeholt)/geschaffen werden.

Das „Double Inverted Classroom“ [21] reduziert die Rolle der Vorlesung weiter und stellt den roten Faden der Veranstaltung durch die Übungsblätter und deren Besprechung her, die eine umfangreiche Einordnung der Aufgaben vornehmen. Vorlesungsvideos gibt es dabei nicht mehr wochenweise portioniert; vielmehr dienen Vorlesungsmitschnitte früherer Semester als eine von vielen Ressourcen, die bei der Bearbeitung der Aufgaben genutzt werden können.

Durch das Abschaffen von Klausurzulassungsbeschränkungen und eine strikte Trennung von Lern- und Prüfungssituationen die Übungszeit panik- und stressfrei gestalten und eine Kultur etablieren, in der offen über Fehler und Schwierigkeiten gesprochen wird – diesem Ziel gehen die Beiträge „Was Besseres als Klausurzulassungen“ [23] und „Warum ‚Haben Sie noch Fragen?‘ zu keinen Fragen führt“ [22] nach.

Anders als der Name vielleicht suggeriert geht es im Beitrag „Wie ein freiwilliges Tutorium die Durchfallquote reduziert“ [24] um ein freiwilliges teaching-to-the-test Nachhilfe-Angebot. Vielmehr ist die Kernidee, das, was in der Kernveranstaltung vermittelt wird, durch vielfältige Bezüge, ein buntes Potpourri aus verschiedenen Methoden, Lernorten und Inhalten, die durchaus über den Veranstaltungsstoff hinaus gehen, zu kontextualisieren und lebendig zu machen. Entscheidender Punkt dabei ist, dass die Studierenden in die Themenwahl und Veranstaltungsgestaltung mit einbezogen werden. Es widerlegt dabei Annahmen, dass vor allem eine gezielte 1:1-Vorbereitung auf das, was in der Prüfung passiert, zu einer Verbesserung der Prüfungsleistungen führe, oder der zusätzliche Arbeitsaufwand so hoch würde, dass Studierende sich nicht freiwillig darauf einließen.

4.3. Zwischen den Veranstaltungen wird über Physik geredet. Wie können die Veranstaltungen genutzt werden, um diesen Prozess sinnvoll in die Wege zu leiten?

Dass Studierende Übungsaufgaben nicht (eigenständig) bearbeiten, dass Vorlesungen nicht nachbereitet werden, liegt oft nicht daran, dass Studierende nicht genug Zeit ins Studium investieren, sondern dass sie schlicht nicht wissen, wie sie produktiv mit dem nach der Schule für sie neuen Format Vorlesung, mit Übungsaufgaben, die ein Knobeln oder eigenständige Recherche erfordern usw., umgehen sollen. Viele haben zudem keine produktive Erfahrung damit gemacht, in Gruppen zu arbeiten und das Bild der Phy-

sik in der Öffentlichkeit ist nicht vorwiegend, dass man Physik versteht, indem man drüber redet. Wenn Studierende dennoch nicht aufgeben, liegt es vielleicht daran, dass sie zufällig eine erfolgversprechende Herangehensweise als erstes ausprobieren. Vor allem aber liegt es daran, dass sie Ratschläge und vor allem Zuspruch bei ersten Misserfolgen von älteren Studierenden und aus der Verwandtschaft bekommen und finanziell so abgesichert sind, dass sie das Gefühl haben, es sich leisten zu können, den Dingen auch dann auf den Grund zu gehen, wenn sie erstmal mit Misserfolgen konfrontiert sind. Dies zu ändern ist also offensichtlich entscheidend um die soziale Selektivität des Studiums [29], [14] zu reduzieren und zudem für alle Beteiligten erfreulich.

Verbreitet ist, dies mit kleinteiligeren, weniger offenen Lehrformaten und Verschulung zu adressieren. Davon abgesehen, dass der Bolognaprozess, der dieses Ziel zumindest auch beansprucht hat, nicht zu einer Reduktion des Problems geführt hat, wird damit zwar – falls dieser Ansatz funktionieren sollte – eventuell eine Stoffvermittlung sichergestellt und die Zahl der Studienabbrüche reduziert, gleichzeitig wird aber auch der Anspruch, dass Studierende den Umgang mit offeneren Fragestellungen und eine eigenständige bewusste Gestaltung von Studium und Leben lernen, weitgehend aufgegeben.

Mehrere Beiträge des Studienreform-Forums dokumentieren, dass es auch anders geht: Seien es freiwillige Tutorien, die spezifische und wichtige Kompetenzen fördern – beschrieben im Beitrag „Wie ein freiwilliges Tutorium die Durchfallquote reduziert“ [24], oder Projektarbeiten in der Computerphysik ohne enge Deadlines; wird den Studierenden Freiraum in der inhaltlichen und zeitlichen Gestaltung gelassen, ohne ihnen unvorbereitet und teils vereinzelt abzuverlangen klarzukommen, können Lernprozesse erfolgreich und ohne den sonst verbreiteten Frust (am Studienbeginn) [30] stattfinden.

Die Beiträge „Projektarbeiten als Modulprüfung in der Computerphysik“ [26] und „Übungen und Projektarbeit ohne Druck und Fristen“ [25] zeigen, wie Produktorientierung dazu beitragen kann. Geschickt eingesetzte Diskussionsformate, vorbereitbar durch offene Fragen auf Aufgabenzetteln, führen dabei zum schrittweisen Erlernen einer Diskussions- und gemeinschaftlichen Arbeitskultur.

Im Übungsmodell des Beitrags „Von der Vorlesung zur Aufgabenlösung: In der Übung gemeinsam ans Werk!“ [27] werden dagegen konventionelle Aufgabenformate genutzt, die eine konventionelle Vorlesung begleiten. Entscheidend ist aber, dass der Anfang, sowohl der Nachbereitung der Vorlesung als auch des Bearbeitens der Übungsaufgaben unter Anleitung gemeinsam geschieht und systematisch darauf gesetzt wird, dass Studierende den Wiedereinstieg finden, anstatt sich zurückzunehmen, wenn sie das Gefühl haben, hinterher zu sein.

5. Bisher nicht publizierte Beiträge zu alternativen Übungsformaten

5.1. Double Inverted Classroom – Übungen statt Vorlesungen als roter Faden durch die Veranstaltung

Ein Beitrag von Stefan Brackertz

Die Kölner Master-Veranstaltung Molecular Physics II ist eine sehr Mathematik-lastige Experimentalphysik-Veranstaltung, die sich mit einem Nischenthema befasst, das meistens vor allem von Theoretischen Chemiker*innen bearbeitet wird. Um dabei die Expertise des Wuppertaler Kollegen Per Jensen, Experten auf diesem Gebiet, einzubinden, wurde schon länger mit Inverted Classroom-Elementen experimentiert. Angeregt durch die Fachbereichsdebatten zur Umstellung auf Online-Lehre im April 2020 wurde schrittweise eine eigene Variante von Inverted Classroom entwickelt. Dabei entsteht der Rote Faden der Veranstaltung nicht mehr durch das von den Studierenden vorzubereitende Material, vielmehr wird die Veranstaltung zu einer Schnitzeljagd durch Online-Vorlesungen, alte Mitschriften aus Bachelor-Vorlesungen, die Bibliothek usw.

Per Jensen hat nicht nur Standard-Lehrbücher zum Thema Molekülsymmetrien geschrieben (z.B. [8], [9]), sondern angefangen seine Vorlesung zum Thema inklusive Folien und Übungsaufgaben bereits in hoher Qualität über seine Webseite der Allgemeinheit zur Verfügung zu stellen, als noch nicht überall über Open Science gesprochen wurde.² Die Kölner Molekülphysik hat zudem bei diesem Thema und besonders auch zu floppy molecules, bei denen Symmetrien teils der einzige Zugang sind, eng zusammengearbeitet. Vor diesem Hintergrund haben immer wieder einzelne Kapitel der Veranstaltung Molecular Physics II quasi als Inverted Classroom aufbauend auf der Wuppertaler Online-Vorlesung stattgefunden.

Eine Erfahrung dabei war, dass nur sehr wenige Studierende sich die Vorlesungsvideos tatsächlich zur Vorbereitung ansehen. Zu den Gründen dafür zählen sicherlich u.a.

- Die Studierenden waren (damals) Inverted Classroom wenig gewohnt waren.
- Der Leistungsdruck in der Veranstaltung ist gering (nicht allzu aufwändige Übungsaufgaben, deren Abgabe nicht verpflichtend ist, keine Anwesenheitspflicht, keine Prüfungszulassung, flexibel terminierbare mündliche Prüfung); gleichzeitig belegen die Studierenden typischerweise parallel Veranstaltungen mit verpflichtenden Abgaben und festem Klausurtermin am Ende des Semesters.

² Nach seinem unerwarteten Tod 2022 hat die Universität Wuppertal leider die Webseite von Per Jensen inklusive aller Open-Science-Ressourcen darauf innerhalb kürzester Zeit vom Netz genommen und plant auch nicht, diese Ressourcen der Allgemeinheit wieder zur Verfügung zu stellen.

- Ein recht dichtes Curriculum, das nur wenige Studierende in Regelstudienzeit absolvieren, wobei gleichzeitig relativ viele Studierende auf Visa angewiesen sind, deren Verlängerung über die Regelstudienzeit hinaus bürokratische Hürden, wenn nicht mehr bedeutet, und die oft auch Schwierigkeiten haben ihr Studium zu finanzieren, weil sie in Deutschland keine Arbeitserlaubnis haben.
- Die Wuppertaler Materialien sind für Chemie-Studierende gestaltet und legen daher in der Ausführlichkeit der Erläuterungen manchmal Schwerpunkte, die nicht 1:1 für Physik-Masterstudierende passen.

Begegnet wurde dieser Schwierigkeit recht erfolgreich dadurch, dass die Übungsleiter bei Bedarf Zusatztermine angeboten haben, um bei Kaffee und Kuchen die Vorlesungsvideos im Rudel zu gucken, wobei auch immer wieder einmal angehalten, drüber geredet, vor oder zurück gespult wurde etc.

5.1.1. Herausforderung Corona

Einerseits machte die Schließung der Unis zu Beginn des Sommersemesters das Rudelgucken unmöglich, andererseits reagierte die Physik-Fachgruppe erfreulich proaktiv auf die Unischließung, indem eine Reihe von Arbeitsgruppen aus Dozierenden und Studierenden gebildet wurden, an denen sich sehr viele Dozierende und Studierende beteiligt haben und die sich teils mehrmals pro Woche mehrere Stunden (online) getroffen haben, um für die gesamte Fachgruppe Wege zu entwickeln, um unter den gegebenen Bedingungen eine halbwegs erfreuliche Lehre zu gestalten.[10] Diese Wege wurden in zahlreichen Treffen der gesamten Fachgruppe vorgestellt und in einem Fachgruppen-internen Wiki dokumentiert. Erfreulicherweise ging es dabei nicht nur um technische Aspekte, sondern auch um didaktische. Exemplarisch findet sich die Seite dieses Wikis zu den didaktischen Herausforderungen der Online-Lehre und Lösungsstrategien im Supplementary Material dieses Beitrages. Gleichzeitig wurde von Anfang an in den Blick genommen, wie durch Teststrategien, technische Gebäudeausstattung, Lehre unter freiem Himmel etc. möglichst zügig wieder ein Präsenzbetrieb ermöglicht werden konnte.

5.1.2. Schnitzeljagd

Nachdem das Semester mit den Wuppertaler Online-Videos und abgewandelten Wuppertaler Übungsaufgaben, die in ausführlichen ZOOM-Sitzungen besprochen wurden, gestartet hatte, wurden in Rücksprache mit den Studierenden verschiedene Ideen aus den Arbeitsgruppen der Fachgruppe ausprobiert. Relativ schnell hat sich dabei im beschriebenen Setting mit nur einer Übungsgruppe aus rund 15 Studierenden, von denen die meisten etwa jeden zweiten Veranstaltungstermin wahrgenommen haben, folgendes Modell als passend erwiesen:

- Nicht mehr die Vorlesungsvideos, sondern die zu bearbeitenden Übungszettel leiten durch die Veranstaltung. Dazu ist jedes Übungsblatt einem Thema gewidmet, das in den verschiedenen Aufgaben des Übungsblattes von verschiedenen Seiten her aufgerollt wird. Dabei gibt es immer so viele Übungsaufgaben, dass die Studierenden eine Auswahl haben, welche Aspekte sie interessant finden. Das Thema des Übungsblattes wie die einzelnen Aufgaben sind dabei knapp eingeordnet, wobei meistens drei Aspekte berücksichtigt sind: Was ist die Relevanz des Themas im Gesamtkontext der Veranstaltung? Welche technischen Aspekte lassen sich daran erarbeiten und üben? Welche wissenschaftshistorische Rolle spielt das Thema / die Herangehensweise / das Phänomen / der Versuch?
- Alle Aufgaben waren mit Hinweisen dazu versehen, wie sich die Studierenden die zur Lösung notwendigen Kenntnisse erarbeiten konnten. Dabei spielten die Wuppertaler Vorlesungsvideos bzw. die Folien dazu die Hauptrolle, eingebunden wurde aber auch Literatur, Kenntnisse der Studierenden aus anderen Veranstaltungen, die Kommiliton*innen etc. Im Laufe der Zeit ist die Veranstaltung dabei immer weniger der Reihenfolge der Vorlesungsvideos gefolgt
- Im Sinne der Idee des sog. Just-in-Time Teachings hat sich der Veranstaltungs-Rhythmus dabei immer weiter verdichtet: Die Studierenden haben die Aufgaben wöchentlich in Gruppen am Nachmittag vor der Übung per Mail geschickt und bis zum nächsten Morgen um 8 Uhr korrigiert und mit individuellen Lerntipps zurückbekommen. In den Rückgabe-Mails wurden sie auch je nach Abgabe individuell gefragt, ob sie bestimmte Teile ihrer Lösung vorstellen wollen. Dadurch hatten sie bis zur Übung am Mittag nicht nur Zeit, sich ihre Korrekturen anzusehen, sondern auch zu überlegen, ob und wie sie etwas vorstellen wollen. Erst angesichts des Verlaufs der Übung wurde dann das nächste Übungsblatt gestaltet und noch am selben Tag veröffentlicht. (Um dies zu ermöglichen wurde teils auf „Schönheit“ verzichtet und Aufgaben wild aus den Wuppertaler Materialien, Büchern usw. zusammenkopiert, um eigene Aufgaben ergänzt, ausgedruckt, handschriftlich verändert, wieder eingescannt usw., was in den Evaluationen teils als „Collage“ bezeichnet wurde.)
- Die sich auf einen wöchentlichen Rhythmus einpendelnden Übungen, die oft deutlich länger als die vorgesehenen 90 Minuten dauerten und immer mitgeschnitten wurden, wurden durch zwei ganztägige Workshops ergänzt, die an Samstagen inklusive gemeinsamer Mittagspause unter freiem Himmel stattfanden.

5.1.3. Didaktische Überlegungen

Aebli schreibt: „Begriffe bilden wir (...), indem wir das Geflecht von Beziehungen, das den Begriffsinhalt konstituiert, aufbauen. (...) Der Lehrer hat in seinem Geiste das Netz der aufzubauenden Beziehungen gegenwärtig. (...) In jedem Falle nehmen wir nun aber das Netz der aufzubauenden Beziehungen an einem Zipfel auf und entfalten es schrittweise.“ [11]

5.1.3.1. Zum Veranstaltungsgefüge

Bei der nachträglichen Einordnung dessen, was sich über das Semester herauskristallisiert hat, ergibt sich: Mit jedem Übungsblatt wurde das Netz an einem anderen Zipfel aufgenommen. Dabei haben die einzelnen Aufgaben jeweils Fäden am betreffenden Zipfel gesponnen, sodass in der Besprechung jedes Übungszettels ein Teilnetz entstanden ist.

Dabei wurden aber nicht nur Fäden innerhalb des Teilnetzes gesponnen, sondern auch Fäden ausgeworfen sowohl zu anderen Zipfeln (ob sie in der Veranstaltung schon besprochen waren oder nicht) des Netzes als auch zu anderen Veranstaltungen (ob sie alle Studierenden belegt hatten oder nicht). Typischerweise wurden dabei Zipfel aufgenommen, die in der Nähe bereits behandelter Zipfel lagen. Daran wurde in der Übung dann aktiv angeknüpft. Dadurch, dass sich immer auch auf Ba-Grundkenntnisse zur Quantenmechanik bezogen wurde, gab es immer ausgeworfene Fäden, die bei allen Beteiligten direkt an etwas anknüpfen konnten, obwohl viele Studierende nicht jede Woche an den Übungen teilgenommen oder etwas abgegeben haben und sicherlich zwischendurch auch mal Studierende verloren gegangen waren, die aber so wieder neu einsteigen konnten. Bei dieser Anknüpfung leisteten Quizaufgaben wie in [20] diskutiert sehr hilfreich.

In den Workshops wurde dann eine Landkarte des jeweils bis dahin aufgebaute Netzes erarbeitet.

5.1.3.2. Zu den Aufgaben

- Die klassischen Rechenaufgaben, die sich z.B. auch viel im Wuppertaler Material finden, lassen sich oft mit den Anleitungen in den Wuppertaler-Videos Kochrezept-artig lösen und sind auf diese Art für Physik-Masterstudierende oft trivial. Deshalb wurde ihre Anzahl im Verhältnis zu früheren Durchläufen ein wenig reduziert. Dafür wurden sie in bereits angedeuteter Weise in einen größeren Kontext eingebunden. So haben die Studierenden sie einerseits kurz durchrechnen und ein erstes Erfolgserlebnis erreichen können. Sie mussten in der Übung auch meist nicht, oder nur kurz diskutiert werden.
- Damit es nicht beim Abarbeiten von solchen Rezepten bleibt, wurden diese Aufgaben ergänzt durch Fragen, die genau auf die Stellen der Vorlesung zielen, an denen für Chemiker*innen Selbstverständliches nur kurz gestreift wird, an denen die Mathematik nicht allzu formal sauber

oder mit impliziten Annahmen aufgeschrieben ist. Z.B.: „In Minute 5 von Video 8 findet sich Halbsatz ‚XY‘. Schreibt dies so auf, wie ihr es in einer Analysis-Übung tun würdet.“ „Warum hat die Wellenfunktion SU(2)-Symmetrie, die angeblich aus der Rotationssymmetrie des Raumes folgt? Rotationssymmetrie ist doch SO(3), oder nicht?“ „Auf Folie 6 von Vorlesung 2 kommt die Variable K vor, auf Folie 3 von Vorlesung 12 auch. Ist das das Gleiche?“

- Dabei sind immer auch Aufgaben dabei, die eine Vernetzung zwischen verschiedenen Teilen der Vorlesung herstellen, vor allem aber auch mit dem bei einem Studiengang mit rund 40% internationalen Studierenden sehr heterogenen Vorwissen aus dem Bachelor, z.B. „Schlagt in euren Ba-Notizen das Ehrenfest-Theorem nach. Kann man die Formel von Folie X prinzipiell auch damit herleiten?“ „Warum kann man diese Schrödingergleichung nicht einfach lösen? Welche Ansätze kennt ihr aus dem bisherigen Studium, um Physikalische Probleme anzugehen, die nicht / nur schwer analytisch gelöst werden können. Welche sind hier anwendbar, welche nicht?“

Die Erfahrung mit diesen Aufgaben ist, dass die Studierenden diese Aufgaben fast immer mit der richtigen Formel beantworten, aber fast immer drunter schreiben, dass sie das leider schon damals nicht verstanden haben und sie es frustrierend finden, das vor Augen geführt zu bekommen. Dennoch ist das Nachlesen und Stutzen sehr hilfreich für die Besprechung, die sich dann leicht mit den bereits angesprochenen Multiple-Choice-Quizfragen beginnen lässt und die die Studierenden in den Evaluationen durchweg als besonders wertvoll einschätzen. Auf diese Weise wurde auch immer versucht, eine Brücke zwischen dem eher Chemie-orientierten Zugang der Wuppertaler Vorlesung, dem Physik-orientierten Vorwissen der Studierenden und einer Herausbildung der Grundbegriffe und -ideen der Darstellungstheorie, die zwar die Sprache der „reinen Mathematik“, die die Studierenden in ihren ersten Unisemestern irgendwann einmal gelernt haben, verwendet, inhaltlich für die Studierenden aber komplett neu ist.

- Um den erwähnten Gesamtkontext herzustellen, wurden immer wieder vereinfachte hypothetische oder historische Forschungsprozesse nachempfunden, z.B.: „19XX kannte man die Geometrie des Wassers noch nicht. Es gab dazu zwei Hypothesen, nämlich S und P. Die Entscheidung darüber, welche stimmt, war von grundsätzlicher Bedeutung, weil... 19YY Auf diesem Übungsblatt wollen wir exemplarisch durcharbeiten, wie sich diese Frage mit Hilfe der 19YY neuen Messung eines Spektrums beantworten lässt...“

Hierbei wurden auch immer wieder Aufgaben zur Literaturrecherche und zum Umgang mit

Messdaten eingebaut, die manche Studierenden aber konsequent nicht bearbeitet haben („Ich habe es in altertümlich gedruckten Tabellen zu wühlen.“). Gerade auch in Lockdown-Zeiten gab es aber z.B. auch (beliebtere) Aufgaben wie: „Findet eine*n Studierende*n mit Ba-Arbeit in Festkörperphysik, eine*n mit Ba-Arbeit in Theoretischer Physik und eine*n mit Ba-Arbeit in Kernphysik und befragt sie und Wikipedia, was ein Quasi-Teilchen ist. Kristallisiert das Gemeinsame der Antworten heraus. Was davon findet sich im Vorlesungsvideo 3?“

Wie viele Studierende Übungsaufgaben abgegeben haben und wie viele Aufgaben dann jeweils wie gut bearbeitet wurden, hat sehr geschwankt. Fast alle Studierende sind über das Semester dran geblieben, haben aber in etwa 50% der Wochen die Aufgaben nicht angesehen. Wenn die Studierenden abgegeben haben, haben sie meist alle Aufgaben angesehen und etwa 50% davon bearbeitet, wobei die Bearbeitungen selten vollständig waren. Die Gesamtkonzeption, dass jede Übung als Ganze einem Zipfel des Netzes gewidmet war und z.B. Quizfragen, die erst nach der Korrektur der Übungen erstellt wurden und zum Zipfel gepasst haben, die Besprechungen eröffnet haben, hat es ermöglicht, sich in der Übung dem Thema der Übung von einer Seite zu nähern, die einerseits für alle neu war und andererseits ermöglicht hat, dass die, die Aufgaben bearbeitet hatten, sich damit einbringen konnten.

Sehr bewährt haben sich Quizfragen, die sich ableiten aus Abgaben, die nicht falsch, aber auch nicht wirklich richtig sind: Fortgeschrittene Physikstudierende haben typischerweise ein gutes Gefühl und genug assoziativen Background, um zu wissen, was man schreiben muss, damit etwas nicht falsch ist (oder zumindest in einer Klausur keinen Punktabzug gibt). Gleichzeitig liest man als Übungsleiter mit ein bisschen Erfahrung zwischen den Zeilen fast immer dennoch raus, wo eigentlich etwas unverstanden ist, sei es, dass im Lösungsweg an entscheidender Stelle ein Zwischenschritt fehlt, aber es dennoch richtig weiter geht, weil die Sprache schwammig wird oder nicht mehr sagt, was physikalisch ist, sondern nur noch beschreibt, wie Formeln umgestellt werden, weil Formeln ohne klar definierten Bezug assoziativ nebeneinander stehen. Solche Fundstücke haben sich als hervorragender Ausgangspunkt herausgestellt: Eine Quizaufgabe, die auf den Punkt in solch eine Unklarheit reingrätscht, nutzt erfahrungsgemäß allen Studierenden, räumt oft mit jahrelangen Unklarheiten auf und sorgt damit für viele befriedigende nachgeholt Aha-Effekte. Im Rahmen einer solchen Diskussion lassen sich die ursprünglichen Aufgaben auf dem Übungszettel dann oft in einem Nebensatz klären, zumal alle oben erwähnten Aufgabenarten sich – den richtigen Ansatz vorausgesetzt – immer in maximal 5 Zeilen lösen ließen.

5.1.4. Wie weiter?

Sowohl die Evaluation durch die Fakultät als auch eine immer wieder zwischendurch durchgeführte DIY-Evaluation³ waren positiv und die Prüfungen mit erfreulichem Ergebnis, vor allem aber sind kaum Studierende abgesprungen und relativ viele sind danach der Molekülphysik auf irgendeine Weise treu geblieben. Auch als 2021 Präsenzveranstaltungen dieser Größe problemlos wieder möglich waren, wurde dieses System erfolgreich beibehalten. In 2022 war der Anteil der Molekülsymmetrie erheblich geringer. Auf Wunsch der Studierenden waren zahlreiche Exkurse in die Molekülphysik I-Veranstaltung eingebaut worden, weshalb Stoff, der in den Vorjahren dort behandelt worden war, in die Molekülphysik II gerutscht ist. Dieser Stoff wurde herkömmlich mit Tafelvorlesung und davon abgeleiteten Übungsaufgaben behandelt. Umgekehrt wurden die im Folgenden noch näher erläuterten didaktischen Überlegungen hinter der Gestaltung der Übungsaufgaben, das Just-in-Time Teaching und die Gestaltung der einzelnen Übungen 2022 in der gesamten Molekülphysik so gehandhabt wie hier beschrieben.

Wenn nicht nur die Kontaktzeit zur Diskussion statt für Input genutzt wird, sondern zusätzlich der Rote Faden nicht aus dem Input, sondern aus den Aufgaben kommt, ist eine verknüpfende Aufgabenbesprechung einerseits wichtig und andererseits mit ein paar einfachen Tricks wie dem erwähnten Einsatz der Quizzes auch relativ leicht zu realisieren. Eine Dynamik, wie sie die erwähnte dichte just-in-time-Gestaltung mit sich bringt, ist dabei sehr hilfreich. Dabei stellt sich die Frage, ob dies auch bei größeren Veranstaltungen mit mehreren Übungsgruppen zu realisieren ist bzw. was man real verliert, wenn die Rahmenbedingungen diese Dynamik nicht erlauben.

5.2. Guided Discovery Learning

Ein Beitrag von Malte Schröder, Jana Lasser und Lisa Lehmann

Vorlesungen stehen im Zentrum von klassischen Lehrveranstaltungen. Dabei ist das Entdecken und Selbstrechnen gerade auch beim Lernen von theoretischer Physik wichtig und sehr gut möglich. Wie

³ Der Übungsleiter hat in einem geteilten Online-Textdokument z.B. 2 Fragen gestellt und Antwortmöglichkeiten darunter geschrieben. Die Studierenden konnten über einen geteilten Link anonym sowohl weitere Antwortmöglichkeiten als auch weitere Fragen ergänzen und über die Antwortmöglichkeiten abstimmen, indem sie z.B. ein „+1“ dahinter geschrieben haben. Darüber hinaus konnten die Studierenden die Fragen, die Antwortmöglichkeiten und auch das Abstimmungsverhalten der anderen Studierenden kommentieren. Typischerweise haben die Studierenden mehr und triftigere Fragen gestellt als die vom Übungsleiter als Start vorgegebenen und sich alle zu sämtlichen Antwortmöglichkeiten verhalten. Die Diskussionen, die sich innerhalb kürzester Zeit im Pad ergeben haben, waren immer wertschätzend, oft amüsant und sehr hilfreich für die weitere Veranstaltungsgestaltung.

verschiedene Aufgabentypen aktives Lernen ermöglichen können – ein Plädoyer für Übungen, aber weniger üben.

Im Studium dreht sich alles um die Vorlesungen – zumindest in der Wahrnehmung vieler Studierender und gerade auch weil oft nur diese Art des Mathematik- und (theoretische) Physik-Lernens aus der Schule bekannt ist. Diese Vorstellung wird durch unseren alltäglichen Sprachgebrauch und auch durch die Kommunikation über die Lehrveranstaltungen oft weiter verstärkt. Die Übungen und ‚Hausaufgaben‘, die es im Rahmen der meisten Lehrveranstaltungen ebenfalls gibt, werden dann eher als Beiwerk empfunden, in dem das Gelernte nur nochmal (wie der Name schon sagt) geübt wird. Neue Konzepte und Ideen werden also zuerst in der Vorlesung erklärt und im Anschluss in den Übungsaufgaben wiederholt. Dadurch passiert das Lernen von neuen Konzepten und Methoden in diesem klassischen Modell von Vorlesungen und Übungen implizit passiv in der Vorlesung. Dieses Bild des universitären Lernens entbindet damit zumindest teilweise auch die Studierenden von der Verantwortung für ihr Lernen, denn es impliziert, dass man alles Wichtige mitbekommt, wenn man nur in der Vorlesung ist und zuhört.

Dabei ist das aktive Lernen und Anwenden der Konzepte und Methoden ein zentraler – wenn nicht sogar der zentrale – Bestandteil des Lernens. Übungen und Übungsaufgaben, um in der Vorlesung erlernte Konzepte und Methoden anzuwenden, zu üben und zu wiederholen, sind und bleiben dabei unersetzlich, um die komplexen Zusammenhänge und Methoden zu verinnerlichen. Übungen bieten aber zusätzliche Möglichkeiten, das Selbststudium und die Vorbereitung als aktives Lernen in den Mittelpunkt der Lehrveranstaltung zu stellen. Solche Ansätze sind in anderen Fällen, insbesondere zum Beispiel beim Programmieren, bereits üblich. Oft werden dabei nur die grundlegenden Konzepte erklärt und die Lernenden können und müssen diese dann eigenständig und ohne explizite Vorgaben zur Lösung von (in vielen Fällen eigenen) Programmieraufgaben anwenden. Das kann so weit gehen, dass neue Inhalte asynchron in Form von Videos oder anderen Vorlesungsunterlagen von den Studierenden in Eigenregie erlernt und geübt werden, und die Präsenzzeit in der Vorlesung dafür genutzt wird, Fragen und über den eigentlichen „Stoff“ hinausgehende Inhalte zu diskutieren (flipped classroom).

Auch in das Physikstudium findet diese Art des Lernens Einzug. Gerade in weiterführenden Vertiefungsvorlesungen können die nötigen Grundlagen meist als bekannt vorausgesetzt werden und die Studierenden bringen oft eine größere intrinsische Motivation mit, da sie sich die Themen der Lehrveranstaltungen selber aussuchen. Das selbstständige Entdecken und Erforschen komplexer Zusammenhänge in speziellen Themengebieten bereitet dabei zusätzlich gut auf zukünftige eigene wissenschaftliche Ar-

beiten, zum Beispiel im Rahmen von Abschlussarbeiten, vor. Je weiter fortgeschritten die Studierenden sind, desto einfacher kann dieser Ansatz auch mit wenig Anleitung erfolgreich sein (unassisted discovery).

Grundsätzlich eignen sich Übungsaufgaben, die das aktive Lernen und Entdecken fördern, aber auch für Grundvorlesungen, wobei hier eine entsprechend enge Begleitung notwendig ist (assisted/guided discovery). Dabei unterscheiden wir im Folgenden grob zwischen drei verschiedenen Arten von Aufgaben:

- Klassische Übungsaufgaben ermöglichen das Anwenden und Wiederholen bereits erlernter Konzepte.
- Vorbereitungsaufgaben können neue Konzepte ganz oder teilweise in der Übung einführen, bevor diese in der Vorlesung besprochen werden. Dabei führen sie im Sinne von Guided Discovery Learning in kleinen Schritten durch einfache Beispiele oder Anwendungen, die die Konzepte illustrieren und schließlich verallgemeinern.
- Vertiefungsaufgaben folgen einer ähnlichen Idee wie Vorbereitungsaufgaben, folgen aber nach dem Erlernen der Konzepte, um die Bedeutung und Implikationen der erlernten Konzepte zu vertiefen. Dazu können Vertiefungsaufgaben anhand von Beispielen und Anwendungen unter anderem spezielle Details der Konzepte aufgreifen oder weiterführende verwandte Konzepte einführen.

Die Integration entsprechender Aufgaben in die Lehrveranstaltungen können die Studierenden auch in der theoretischen Physik dazu anleiten, Konzepte oder Fragestellungen selber zu entdecken und aktiv über deren Bedeutung nachzudenken. Im Idealfall können die Studierenden dabei Fragestellungen und Konzepte in den Vorbereitungsaufgaben selbst aktiv erarbeiten, mit den anschließend in der Vorlesung vorgestellten Konzepten und Methoden direkt eine Anwendung verbinden, und diese schließlich in der folgenden Übung anwenden und vertiefen.

Eine große Herausforderung dieser Art des Lernens ist es, die Studierenden über die ganze Lehrveranstaltung hinweg mitzunehmen. Insbesondere in der Mathematik und (theoretischen) Physik mit vielen aufeinander aufbauenden Konzepten ist ein gutes Verständnis der theoretischen und mathematischen Grundlagen für ein erfolgreiches aktives Entdecken notwendig. Diese Art der Übungen setzt daher auch die kontinuierliche Mitarbeit durch die Studierenden voraus, was in manchen Fällen als zusätzlicher Arbeitsaufwand empfunden werden kann, aber oft das kurzfristige Lernen vor der Prüfung vereinfacht. Funktioniert dies, kann diese Art der Aufgaben und des eigenen Entdeckens Zusammenhänge zwischen unterschiedlichen Konzepten aufzeigen und das tiefergehende Verständnis und die Motivation zur kontinuierlichen Mitarbeit weiter fördern. Fehlen dazu aber die Grundlagen oder machen die Übungen zu

große Sprünge, kann dies auch schnell in Frustration bei den Studierenden umschlagen und damit gerade zum gegensätzlichen Ergebnis führen. Diese Übungen können und sollen die Vorlesungen als Aufbereitung der Lerninhalte also nicht ersetzen, sondern nur begleiten und im Idealfall vereinfachen und verkürzen.

Insbesondere muss viel mehr als bei anderen Lernformen darauf geachtet werden, Studierende nicht zu verlieren. Daher ist für Lehrende ein kontinuierliches Feedback wichtig, um zu verfolgen wie gut die Studierenden die jeweiligen Aufgaben (eigenständig) bearbeiten können oder wo es besonders große Verständnisprobleme gab. Insbesondere reicht es nicht, nur die Evaluierung der gesamten Lehrveranstaltung am Ende des Semesters zu nutzen. Kontinuierliches Feedback kann zum Beispiel in Form von anonymen Umfragen oder kurzen Multiple-Choice-Aufgaben im Rahmen der Vorlesung erfolgen, um neben der Selbsteinschätzung der Studierenden auch Informationen über den tatsächlichen Kenntnisstand zu erhalten. Passieren solche Überprüfungen kontinuierlich im Verlauf des Semesters, können Lehrende auf eventuell entstandene Verständnislücken reagieren und den Inhalt der nächsten Vorlesungen und/oder Übungen entsprechend anpassen.

Aus dem gleichen Grund stellt diese Art von Übungen, insbesondere bei der Nutzung als Vorbereitungsaufgaben, auch sehr hohe Ansprüche an die Aufgabenstellungen. Die Aufgaben müssen so gestaltet sein, dass das zentrale Konzept deutlich wird und die Fragestellung nicht zu offen bleibt, zum Beispiel durch präzise Fragen, bevor die Konzepte verallgemeinert werden. Bei längeren Aufgaben sollte außerdem darauf geachtet werden, hinreichend kleine Schritte zu machen und am besten Zwischenergebnisse anzugeben, damit die Studierenden einen Leitfaden haben und nicht zu große Lücken entstehen. Andererseits dürfen die Aufgaben eine Herleitung oder Lösung nicht wie in einem Buch im Detail beschreiben, sodass keine oder nur triviale Schritte von Seiten der Studierenden notwendig sind. Dabei kann das Verstehen von Formeln und Zusammenhängen, die zwar nicht explizit besprochen wurden, deren Grundlagen aber bekannt sind, durchaus ein wichtiger Aspekt der Aufgaben sein. Insbesondere bei Vorbereitungsaufgaben muss aber auf eine entsprechend genaue Aufgabenstellung geachtet werden, die die Studierenden dabei unterstützt, und immer die Möglichkeit gegeben sein, dass die Studierenden Fragen stellen können, damit sie bei den Aufgaben nicht stecken bleiben. Vorbereitungsaufgaben eignen sich daher auch sehr gut als Präsenzaufgaben zur gemeinsamen Bearbeitung in den Übungen. Dadurch können das Ziel und die zentralen Konzepte der Aufgaben durch die Übungsleiter explizit herausgestellt und Probleme oder Unklarheiten in der Aufgabenstellung oder den betrachteten Konzepten direkt besprochen werden.

Aber auch zum Erkunden neuer Konzepte oder Anwendungen in Vertiefungsaufgaben ist es wichtig, dass die Aufgabenstellung ausreichend viel, aber nicht alles erklärt und dennoch die wichtigen Zwischenschritte zur Kontrolle mitliefert. Die Problemstellung und die betrachtete Anwendung und die sich daraus ergebenden Fragen müssen klar beschrieben und motiviert sein. Dabei sollte deutlich zwischen den zentralen Konzepten, die untersucht werden sollen, speziellen Aspekten der betrachteten Anwendung und möglicherweise interessantem Hintergrundwissen unterschieden werden. Dies ist insbesondere auch für die Lösungen der Aufgabe wichtig. Die Erstellung der Aufgabenstellungen ist dadurch meist aufwändiger und die Aufgaben und Lösungen auch oft um ein Vielfaches länger als einfache Übungsaufgaben, sodass diese Aufgaben und auch lange Lösungen mit vielen weiterführenden Informationen anfangs oft abschreckend wirken können.

Eine klare Kommunikation der Ziele und des Schwierigkeitsgrads der Aufgaben, zum Beispiel eine deutliche Kennzeichnung der Aufgaben, ist wichtig, um Studierenden eine sinnvolle Priorisierung zu ermöglichen. Eine Herausforderung liegt dabei in oft großen Unterschieden zwischen (einfachen) Vorbereitungsaufgaben und (schwierigen) Vertiefungsaufgaben. Insbesondere sollte für die Studierenden klar werden, welche Aufgaben grundlegende Aspekte behandeln und künftige Lerninhalte vorbereiten und welche Aufgaben fortgeschrittene Konzepte erkunden, die für die Kerninhalte der Lehrveranstaltung nicht direkt relevant sind. Um besonders engagierte Studierende nicht zu langweilen, und gleichzeitig weniger engagierte Studierende nicht zu verlieren, kann zum Beispiel mit optionalen (Vertiefungs-)Aufgaben mit unterschiedlichem Schwierigkeitsgrad gearbeitet werden, die mit (einer kleinen Anzahl von) Bonuspunkten für die Klausur belohnt werden können.

Vorbereitungs- und Vertiefungsaufgaben können dabei zusätzlich sehr gut durch ein Angebot diverser Lehrmaterialien unterstützt werden. Um den Arbeitsaufwand auf Seiten der Lehrenden zu begrenzen und gleichzeitig die Diversität der angebotenen Lehrmaterialien zu erhöhen, kann es dabei sinnvoll sein, existierende Lehrmaterialien, die über Bücher oder Skripte hinausgehen, einzusetzen. Vielfach gibt es hervorragende Vorlesungsmitschnitte anderer Bildungseinrichtungen, Podcasts und Blogposts, die die Themen aus anderen Blickwinkeln beleuchten. Diese eignen sich einerseits als alternative Angebote, um Konzepte aus Vorbereitungsaufgaben kennenzulernen, andererseits als weiterführende Materialien zu speziellen Anwendungen in Vertiefungsaufgaben. Beim Einsatz solcher Lehrmaterialien kommt den Lehrenden dabei vor allem die wichtige Rolle der Kurator:innen des vorhandenen Materials zu: Im Überfluss an verfügbaren Angeboten ist es gerade für Studierende oft schwierig, gute und relevante Inhalte herauszufiltern. Hier können Lehrende gezielt

Angebote kuratieren und mit den von den Lehrenden selbst erstellten Materialien in Bezug setzen, um den Studierenden die Navigation durch das Angebot zu erleichtern.

Vorbereitungsaufgaben lassen sich dabei für ganz grundlegende mathematische Methoden mit Vorlesung und anschließender Übung integrieren, zum Beispiel für die Dirac-Delta-Distribution: Sobald Grenzwerte, Integration und Taylorentwicklung bekannt sind, wird in einer Vorbereitungsaufgabe die Funktion (oder eine äquivalente Funktionenfolge) und der Grenzwert der Funktion und verschiedener Integrale untersucht. In der folgenden Vorlesung wird die Dirac-Delta-Distribution eingeführt, deren Eigenschaften grundsätzlich bereits aus der Vorbereitungsaufgabe bekannt sind. Im Anschluss kann in Übungsaufgaben das Rechnen mit der Delta-Distribution geübt und deren Bedeutung, zum Beispiel als Massendichte einer Punktmasse, in einer einfachen Vertiefungsaufgabe diskutiert werden. Dabei ist allerdings eine gute Abstimmung von Vorlesungen und Übungen wichtig, damit die Aufgaben und Konzepte in der richtigen Reihenfolge bearbeitet und besprochen werden.

Aber auch für fortgeschrittenere Themen der theoretischen Physik ist dieser Ansatz durchaus geeignet. Gute Beispiele für Vertiefungsaufgaben aus dem Bereich der statistischen Physik finden sich zum Beispiel im Buch ‚Statistical Mechanics‘ von James Sethna. Die einzelnen, relativ kurzen Kapitel führen dabei die zentralen Grundlagen ein, grundlegende Konzepte und weiterführende Details oder Anwendungen sind dabei meist gut voneinander getrennt. Die meisten Aufgabenstellungen, begleitet von oft relativ langen Erklärungen, zeigen schließlich Anwendungen auf und erkunden die vielen tiefergehenden, subtilen Details und weiterführenden Konzepte. Aufgrund der oben genannten Herausforderungen ist das Buch dadurch aber nur bedingt als isoliertes Selbst-Lern-Buch für den Einstieg in das Thema geeignet, sondern setzt die Aufbereitung und begleitende Interaktion mit Lehrenden und die Möglichkeit für aktives Fragenstellen durch die Studierenden voraus.

Guided discovery learning in Übungen zur theoretischen Physik umzusetzen ist sicherlich keine einfache Aufgabe. Die Themen werden oft als sehr schwierig empfunden und Studierende wollen oft „einfach nur bestehen“. Gerade deshalb bietet die theoretische Physik aber auch viel Potential, Studierende aktiver in das Lernen einzubinden und Neugier zu wecken. Wir möchten mit unserem Beitrag Lehrende dazu ermuntern, neue Formate wie die beschriebenen Übungen auszuprobieren und Studierende mehr einzubinden. Studierende möchten wir dazu einladen, sich auf die Formate einzulassen und sich mit Fragen und Feedback einzubringen. Denn nur durch ein Miteinander von Lehrenden und Lernenden können wir weg von Lehr- und hin zu Lernveranstaltungen kommen, in denen das Lernen im Mit-

telpunkt steht, mit mehr Fokus auf die Übungen, aber weniger „üben“.

5.3. Von der Vorlesung zur Aufgabenlösung: In der Übung gemeinsam ans Werk!

Ein Beitrag von Annemarie Sich, Stefan Brackertz und Rochus Klesse

Angeregt durch eine hochschuldidaktische Schulung wurde seit 2018 in einigen Veranstaltungen die Gestaltung der Übungen komplett abgeändert. Die bisher dominante Besprechung der von den Studierenden abgegebenen Übungen wurde fast komplett gestrichen; stattdessen werden die Übungen nun durch eine kurze Diskussion des Vorlesungsstoffes an Hand exemplarischer Fragen eingeleitet, der Hauptteil der Übungszeit wird dafür verwendet, gemeinsam die neuen Übungsaufgaben zu beginnen. Es hat sich herausgestellt, dass diese Konzeption auch über mehrere Semester hinweg und in verschiedenen Veranstaltungen zu einer hohen Beteiligung der Studierenden trotz reduzierter Restriktionen führt und sich die Klausurergebnisse verbessern.

Bereits seit einigen Jahren gibt es in der Fachgruppe Physik an der Universität zu Köln eine mehr oder weniger systematische Debatte darüber, wie der Übungsbetrieb fruchtbarer und gleichzeitig weniger restriktiv gestaltet werden kann.[12] Ein Ergebnis dieser Debatte ist, dass regelmäßig 2-tägige freiwillige Fortbildungen für Übungsleiter*innen angeboten werden, in denen Grundlagen kognitiver Aktivierung und kooperativen Lernens vermittelt werden. Diese Fortbildungen stoßen auch deshalb auf hohe Akzeptanz, weil durch den Referenten, Prof. Dr. Karl Friedrich Siburg von der Mathematik-Fakultät der TU Dortmund, eine große Nähe zum Setting des Übungsbetriebs im Physikstudium sichergestellt war.

Mehr aus der Betreuungsrelation in den Übungen machen!

Eine Grundthese dieser Fortbildungen ist: Der klassische Übungsbetrieb, bei dem mehr oder weniger gut erläuterte Musterlösungen an die Tafel geschrieben und meist nur Vorzeichenfehler diskutiert werden, ist angesichts der meist hervorragenden Betreuungsrelation in den Physikübungen vor allem ein Trauerspiel nicht genutzter Möglichkeiten: Die Zeit, die wirklich darauf verwendet werde, aus Fehlern zu lernen oder offene Fragen der Studierenden zu diskutieren, ist minimal; 80% dessen, was in einer klassischen Übung geschieht, lasse sich besser und mit geringerem Gesamtaufwand für alle Beteiligten durch die Herausgabe von Musterlösungen erledigen. Die Erkenntnis, die allen Mathe- und Physikstudierenden im ersten Semester mit auf den Weg gegeben werde, dass man nämlich Mathe und Physik nur lerne, indem man drüber rede (\neq vortrage), werde in diesem Format völlig ignoriert. Hinzu komme: Was auch immer man davon halte, dass Studierende in Übungen eine gewisse Punktzahl erreichen müssten: Fakt sei, dass viele Studierende in Übungen Angst

hätten, über ihre Abgaben zu reden, sei es, weil sie sie platt abgeschrieben haben oder sich an einer Gruppenabgabe nicht beteiligt haben, sei es, weil sie eine Lösung mehr assoziativ geraten als solide hergeleitet haben, sei es, weil sie denken, ausreichend engagierte Studierende müssten sich ihre Fragen mit Büchern selbst beantworten können; in jedem Fall sei das Ergebnis oft eine unerträgliche Kultur des Schweigens, die es zu durchbrechen gelte.

Immer wieder diskutiert wird, wie es gelingt, in den Übungen Raum für Fragen zu schaffen, die über den konkreten Lösungsweg der Aufgaben hinaus gehen und wie die Übungen insgesamt diskursiver werden können. Die naheliegende Antwort, die auch in vielen Varianten erprobt ist: Die Herausgabe von Musterlösungen ermöglicht die Besprechung der Aufgaben auf das zu reduzieren, was durch die Musterlösungen noch nicht geklärt ist, und die Gestaltung der Übungen durch Präsenzaufgaben.

5.3.1.1. Schlechtes Gewissen und Fear of Missing out

Die Schwierigkeit dabei ist vor allem eine „fear of missing out“ bei Studierenden: Anders als im Physikunterricht der Schule ist es an der Uni für die Mehrheit der Studierenden fast unmöglich, den gesamten Veranstaltungsstoff beim ersten Hören einer Veranstaltung zu verstehen. Dass, je nach Vorlesungskonzept, schon 30% gar nicht so schlecht sind, ist eine Erfahrung, die gerade Studienanfänger*innen erst einmal machen müssen (und typischerweise nicht glauben). Dies bringt allerdings erhebliche Verunsicherungen mit sich: Habe ich die entscheidenden 30% verstanden? Wie kann ich mich halbwegs sicher im Stoff bewegen, wenn darin immer Löcher sind? Kann ich meinen Ergebnissen vertrauen, sie sogar selbstbewusst an der Tafel vorstellen? Die Verunsicherung ist gerade bei Studienanfänger*innen auch deshalb so groß, weil in Schule und Gesellschaft typischerweise ein Bild von Physik vermittelt wird, in dem Annäherungsprozesse, assoziatives Arbeiten usw. nicht vorkommen, sondern lediglich analytisches, überwiegend deduktives Vorgehen, bei dem jeder Schritt zu 100% abgesichert ist; gleichzeitig ist solch ein Bild natürlich umso dringender zu überwinden, je mehr auf eine Einheit von Lehre und Forschung Wert gelegt wird, denn Forschung kann ja nie mit vollständiger Sicherheit und Klarheit beginnen. Das damit und hohem Leistungsdruck verbundene Gefühl, dauernd hinterher zu hinken, führt oft dazu, dass Studierende teils panisch einfordern, dass alle Lösungen von Aufgaben im Detail vorgerechnet werden – nicht um sie während der Übung zu verstehen, sondern um sie abschreiben zu können und sicher zu gehen, dass sie „später, wenn man endlich Zeit hat, sich alles genau anzusehen und aufzuholen“, als Material zur Verfügung stehen. (Ähnliche Tendenzen gibt es bei Videomitschnitten von Veranstaltungen.) Vor diesem Hintergrund entlasten aus Studierendensicht verläss-

liche und ausreichend vollständige Musterlösungen ungemein und ermöglichen oft überhaupt erst eine andere Gestaltung der Übungen, selbst wenn sie am Ende doch niemand liest (was aber typischerweise spätestens bei der Klausurvorbereitung geschieht).

Während sich Musterlösungen in der Kölner Physik inzwischen zu weiten Teilen etabliert haben, gibt es bei Präsenzaufgaben trotz vieler Versuche auch viel Hadern: Dadurch, dass oft ungeklärt ist, wie sie im Verhältnis zu den Hausaufgaben stehen und der Bedarf bei allen Seiten oft groß ist, auch bei der Existenz von Musterlösungen über die vergangenen Hausaufgaben zu sprechen, steht beides oft zeitlich in Konkurrenz zueinander und geschieht in großer Hektik.

5.3.2. Modell

Hier setzt das in diesem Beitrag vorgestellte Modell an: Anstatt zulasten der Hausaufgabenbesprechung Raum für Präsenzaufgaben zu schaffen, wird beides in ein produktives Verhältnis zueinander gestellt. Die Grundidee ist dabei, dass die Aufgaben nicht nach ihrer Lösung und Abgabe in der Übung besprochen werden, sondern vorher als Auftakt zu ihrer Bearbeitung. Dabei wird die Trennung zwischen Präsenz- und Hausaufgaben aufgegeben; gleichzeitig werden Musterlösungen und auch die Möglichkeit, über dann noch offene Fragen im Nachhinein zu sprechen, sichergestellt. Ein wichtiger weiterer Aspekt ist, dass Studierende bei diesem Modell systematisch angeleitet werden, wie sie Hausaufgaben produktiv bearbeiten und Gruppenarbeit, mit der viele schlechte Erfahrungen aus der Schule haben, gelingen kann:

- Wöchentliche Übungsserien im üblichen Umfang einer Bachelor-Physik-Vorlesung. Zur Zulassung zur Klausur ist im Semestermittel eine Mindestpunktzahl zu erreichen, allerdings ist diese Hürde deutlich niedriger, als sonst im Studiengang üblich (z.B. 20% statt 50% Zulassungshürde), sodass dies eher eine Mitmach- als eine Leistungsanforderung ist. Dadurch ist für die Studierenden auch klar, dass die Zulassung nicht zum Bestehen reicht, dass man sich also nicht für den Rest des Semesters zurücklehnen kann, sobald man genug Punkte für die Zulassung erreicht hat, wozu gerade leistungsstärkere Studierende sonst oft tendieren.
- Es gibt keine Unterscheidung in Präsenz- und Hausaufgaben, allerdings beginnt jeder Übungszettel mit einigen (nicht bepunkteten) Diskussionsfragen, die auf ein vertieftes Herausschärfen zentraler Begriffe bzw. Ideen der Vorlesung zielen, die für die weiteren Aufgaben des Übungszettels relevant sind. Die neuen Übungsaufgaben werden i.d.R. 2 Tage vor der Übung zur Verfügung gestellt, sodass Studierende bereits einen Blick hineinwerfen können, ohne dass dies bei der Gestaltung der Übungen vorausgesetzt würde.

- In den wöchentlichen Übungsgruppen (ca. 15 Teilnehmer*innen) keine Präsentation von Lösungen, weder von Tutor*innen noch von Studierenden, stattdessen
- Kurze Besprechung der Diskussionsaufgaben im Plenum (vorgesehen: 15 min, in der Praxis variiert dies aber sehr stark, siehe unten),
- Beginn der Bearbeitung der Übungsaufgaben in Lerngruppen von bis zu drei Studierenden. Wesentlich dabei ist individuelle und bereitwillige Anleitung und Hilfestellung durch die/den Tutor*in.
- Die Übungsaufgaben werden in der 90-minütigen Übungsstunde nur zu einem geringen Teil bearbeitet. (In Evaluationen gaben die Studierenden an, im Schnitt noch etwa 5 Stunden pro Woche für die Lösung der Aufgaben aufzuwenden.) Die begonnenen Lösungen werden von den einzelnen Gruppen gemeinschaftlich zu Ende geführt, aufgeschrieben und zur Korrektur abgegeben.
- Korrekturen und Lösungshinweise (nicht unbedingt Musterlösungen, eher Hinweise wie sie auch die Tutor*innen erhalten, manchmal aber auch detaillierte Lösungen) werden nach der Abgabe den Studierenden so zeitig zur Verfügung gestellt, dass die Studierenden sie sich vor der nächsten Übung ansehen können. Ausschließlich auf konkrete Nachfrage gibt die/der Tutor*in zusätzliche Erläuterungen zu den Lösungshinweisen. Dies geschieht z.B. am Ende der Übung (in den letzten 10 min), während eigentlich die neuen Aufgaben bearbeitet werden bzw. im Anschluss an die eigentliche Übung, oft aber auch per Mail.
- Das gesamte in die Veranstaltung involvierte Team trifft sich wöchentlich. Dabei berichten die Übungsleiter*innen aus den Übungen, sodass dies im weiteren Verlauf der Gestaltung von Vorlesung und Übungsserien berücksichtigt werden kann. Außerdem gibt es oft kurze Erläuterungen, was Knackpunkte an den neuen Aufgaben sind, was man daran lernen kann und wie sie in den Kontext der Vorlesung passen.

Mit kleineren Änderungen findet dieses Modell auch in Theorie-Master-Veranstaltungen Anwendung.

5.3.3. Erfahrungen

Seit 2018 wurde dieses Modell in allen von Rochus Klesse verantworteten Veranstaltungen [13] (Ausnahme: Vorkurs) und einigen Veranstaltungen anderer Kollegen angewandt. Dabei handelt es sich um Vorlesungen zur Theoretischen Physik und von der Theoretischen Physik verantwortete Mathematik-Vorlesungen vom Ba-Erstsemester-Veranstaltungen bis zu Master-Spezialvorlesungen, für Hauptfach- und Nebenfach-Studierende. Auch nach mehreren Iterationen und in verschiedenen Personenkonstellationen hat sich das Modell bewährt. (Bei früheren

Experimenten mit z.B. Bonuspunkten hatte es den Effekt gegeben, dass die ersten Semester recht überzeugend waren, sich über die Zeit aber unerwünschte Effekte einschlichen.)

Über die angestrebten Effekte hinaus hat sich gezeigt, dass das gemeinsame Anfangen der Aufgaben auch dazu führt, dass die Studierenden systematischer Arbeitsgruppen bilden, in diesen Gruppen tatsächlich zusammenarbeiten und weniger dazu tendieren, Lösungen von anderen Studierenden oder aus der Literatur abzuschreiben. Die Erfahrungen im Detail:

5.3.3.1. Hard facts

- Die Teilnahme an den Übungen war durchweg sehr gut, obwohl es keine Anwesenheitspflicht oder Ähnliches gab. Dabei ist anzumerken, dass es keine Musterlösungen / -antworten zu den Diskussionsfragen gab.
- Die meisten Studierenden haben sehr regelmäßig und auch tatsächlich in Gruppen abgegeben. Nach dem üblichen Schwund in den ersten beiden Vorlesungswochen, der darauf zurückgeht, dass Studierende am Anfang des Semesters erstmal sondieren, was sie wirklich belegen wollen, sind nur wenige Studierende über das Semester verloren gegangen. Allerdings kam es je nach Veranstaltung systematisch vor, dass eine nicht zu vernachlässigende Zahl von Studierende jede Woche nur einen Bruchteil der Aufgaben auf dem Übungszettel bearbeitet haben, diese Aufgaben aber typischerweise recht gut. Dadurch gab es immer wieder auch Studierende, die die niedrige Zulassungshürde nur knapp genommen haben.
- Die Klausurergebnisse sind im Vergleich zu vorherigen Semestern, in denen die Übungen vor allem in einer Besprechung der Hausaufgaben bestanden, wesentlich besser geworden. Bei diesem Standardmodell gab es immer einen gewissen Anteil von Studierenden, die trotz klar erreichter Klausurzulassung in der Klausur so gut wie gar nichts hinbekommen haben, was darauf hindeutet, dass diese Studierenden die Zulassung nicht durch eigenständige Lösung der Übungsaufgaben erreicht haben oder zumindest sehr wenig aus den Übungen mitgenommen haben. Dieses Phänomen gibt es mit dem neuen Modell fast gar nicht mehr. Dagegen hat sich am Rest der Ergebnisverteilung relativ wenig geändert.

Angesichts dieser Beobachtungen und Gesprächen mit einigen Studierenden und Übungsleiter*innen liegt die Vermutung nahe, dass es gelungen ist, dass kaum Studierende verloren gehen bzw. dass die Gestaltung der Übungen es ermöglicht, dass Studierende, die den Anschluss verloren haben, die Chance haben, wieder einzusteigen und diese Chance auch nutzen.

Da sich abgesehen vom Wegfall der sehr schwachen Klausurergebnisse an der Verteilung der Klausurergebnisse nicht viel geändert hat, obwohl einige Gruppen immer nur einen kleinen Teil der Übungsaufgaben bearbeiten, würden wir zudem eine weitere These wagen: Kann es sein, dass der teils geringe Bearbeitungsgrad der Übungszettel im Prinzip sichtbar macht, wie viel die Studierenden in diesem Modell wie im herkömmlichen tatsächlich eigenständig bearbeiten? Oder andersrum: Kommt der höhere Bearbeitungsgrad der Hausaufgaben, den es bei manchen Studierendengruppen im herkömmlichen Modell gibt, daher, dass Studierende Aufgaben nicht gemeinsam bearbeiten sondern sich aufteilen, wer in einer Gruppe, welche Aufgaben bearbeitet, dann alleine oft überfordert sind und die Aufgaben in Wirklichkeit von anderen Studierenden oder aus der Literatur abgeschrieben? Oder sind die, die nur einen kleinen Teil der wöchentlichen Aufgaben bearbeiten, die, die im herkömmlichen Modell verloren gehen?

5.3.3.2. Lernkultur und das Problem des Anfangens

Einvernehmlich berichten Studierende wie Übungsleiter*innen, dass das gemeinsame Anfangen der Übungsaufgaben über die konkrete Hilfestellung, die die Übungsleiter*innen dabei leisten, hinaus eine große Bedeutung hat:

- Die Studierenden bilden tatsächlich Arbeitsgruppen und diskutieren die Aufgaben, anstatt wie sonst häufig einfach nur die Aufgaben untereinander aufzuteilen und dann faktisch allein zu bearbeiten. Dabei bleiben auch schüchterne Studierende, die sonst teilweise Schwierigkeiten haben, Arbeitsgruppen zu finden, nicht allein. Wenn auch viel seltener, springen auch im beschriebenen Modell vor allem in den ersten zwei Semesterwochen, in denen viele Studierende noch an ihrem Semester-Stundenplan basteln, Studierende ab. Insbesondere wenn die Übungsleiter*innen darauf ein Auge haben, finden die verbliebenen Studierenden aber nun anders als sonst zwanglos neue Gruppen. Auch wenn Gruppen nicht (mehr) gut miteinander klarkommen (was auch Physik-fremde Gründe wie zerbrochene Beziehungen oder neue Arbeitszeiten im Nebenjob haben kann), klappt die Neubildung von Arbeitsgruppen quasi automatisch.
- Nicht nur wenn Studierende eine Aufgabe alleine bearbeiten, haben sie oft Schwierigkeiten einen Lösungsansatz zu finden und geben zu schnell auf, den Ansatz selbst zu finden. Wird in der Übung der Anfang gemeinsam gemacht, gibt es die Erfahrung, dass und wie man es tatsächlich selbst schaffen kann. Dies ist nicht nur ermutigend, sondern verringert auch die Wahrscheinlichkeit, dass Studierende bei der weiteren Bearbeitung der Aufgaben in das Muster aus Arbeitsteilung statt Zusammenarbeit und Recherchieren

oder Abschreiben des Ansatzes statt Selbstversuchen zurückfallen. Einschränkend muss angemerkt werden, dass die meisten Gruppen z.B. nur 2 von 5 Aufgaben in der Übung beginnen und dann bei den übrigen Aufgaben mitunter doch die klassische Arbeitsteilung geschieht und/oder die Hürden des Anfangens bestehen bleiben. Nur wenig Studierenden gelingt es, in der Übungszeit alle Aufgaben daraufhin zu screenen, wo es Schwierigkeiten geben könnte, und diese alle zu klären.

- Gerade bei hoher Arbeitsbelastung neigen Studierende dazu, Aufgaben erst kurz vor der Abgabe zu beginnen. Besonders bei Aufgaben, die Kreativität erfordern (etwa Beweise, die keinem festen Schema folgen) oder reifen müssen, um beispielsweise eine Idee auf den Punkt zu bringen, ist dies auch dann ein Problem und führt zu Stress, wenn der späte Beginn bezogen auf die reine Bearbeitungszeit noch ausreicht. Anders im hier besprochenen Modell: Ist der Anfang gemeinsam frühzeitig gemacht, können die Aufgaben auch dann im Kopf reifen und sich sortieren, wenn die Studierenden sie erst auf den letzten Drücker fertig machen.
- Ein Grund, warum Studierende die Bearbeitung von Aufgaben oft vor sich her schieben, ist, dass sie den Eindruck haben, hinterher zu hinken und erst noch Stoff aufholen müssten. Dies führt dann wiederum dazu, dass der aufzuarbeitende Berg immer größer wird und Studierende letztlich verloren gehen. Die Erfahrung mit dem vorgestellten Modell ist, dass es Studierenden den Wiedereinstieg, gerade auch wenn sie einen großen Berg und ein schlechtes Gewissen vor sich her schieben, ungemein erleichtert: Bei den Diskussionsfragen fällt allen Beteiligten typischerweise sehr schnell auf, welche der für die anstehenden Aufgaben notwendigen Grundlagen fehlen oder nur halb richtig verstanden wurden. Das hat einerseits den Effekt, dass die Studierenden merken, dass sie nicht die einzigen sind, die etwas noch nicht oder vielleicht auch falsch verstanden haben – oder aber auch, dass sie gut dabei sind –, und die Übungsleiter*innen können sehr gezielt mit Exkursen diese Lücken stopfen, bevor es dann tatsächlich gut vorbereitet an die Bearbeitung der Aufgaben geht. So ist denn auch die Erfahrung, dass diese Diskussionsphase abhängig von der Gruppe, aber auch vom aktuellen Vorlesungsthema sehr unterschiedlich lange (10-60 Minuten) dauern kann. Diese Situation kommt insbesondere auch sehr heterogenen Gruppen zugute. So wurde das Modell mehrfach in einer zweiseimestrigen Vorlesungsreihe zur Theoretischen Physik angewandt, die sich an Physik-Lehramts-Studierende, Studierende des Bachelorstudiengangs Geophysik&Meteorologie sowie Mathe-studierende mit Physik-Nebenfach richtet. Diese Studierenden haben auch dann,

wenn sie im Prinzip alle das für die Vorlesung nötige mathematische Handwerkszeug gelernt haben, doch sehr unterschiedliche Voraussetzungen im Umgang mit abstrakteren mathematischen Strukturen wie etwa Hilberträumen. In den Diskussionsphasen ist es dabei oft gelungen, dass die Studierenden voneinander gelernt haben, was bei meist qualitativen Diskussionen über kurze Fragen erheblich besser funktioniert als beim Vorrechnen einer längeren Lösung – allein schon, weil bei einem echten Wortwechsel in einem ganz anderen Maße aufeinander Bezug genommen werden muss. Dabei profitieren nicht nur die Studierenden, die weniger erfahren im Umgang mit den mathematischen Grundlagen sind, sondern auch die, denen direkt klar ist, wie ein mathematisches Objekt gehandhabt werden muss, weil es auch für die eine Herausforderung ist, spontan, nachvollziehbar und kurz zu formulieren, was sie da eigentlich tun.

Die Hürden mitzureden sind dabei auch deshalb niedriger, weil es weder in der Diskussion noch beim Beginn der neuen Aufgaben eine Rolle spielt, ob man die letzten Lösungen abgeschrieben hat und niemand ein schlechtes Gewissen hat, sich irgendwas vor der Übung nicht angeschaut zu haben. So betonen sowohl Studierende als auch Übungsleiter*innen die angenehme und aktive Gesprächsatmosphäre, die sich ausnahmslos spätestens nach den ersten Wochen eingestellt hat, die Studierende wie Übungsleiter*innen typischerweise brauchen, um sich an das meist für sie ungewohnte System zu gewöhnen.

Zudem lernen Studierende in der Diskussionsphase nebenbei die Nachbereitung von Vorlesungen.

Besonders durch die individuelle Unterstützung in der Aufgaben-Bearbeitungsphase bekommen Übungsleiter*innen nicht nur sehr gut mit, wo die Studierenden stehen, was sie können und wo sie Lücken haben; vielmehr bekommen sie anders als beim Korrigieren von Abgaben auch mit, wie die Studierenden denken und wie sich daran anknüpfen lässt. Letzteres können erfahrungsgemäß wenig didaktisch geschulte, fortgeschrittene Studierende sonst häufiger nicht treffend intuitiv einschätzen. Auch wenn die Übungsleiter*innen alle berichten, dass dies viel anstrengender und herausfordernder ist als eine übliche Übung, weil man ständig on-point etwas aus diesem Feedback machen muss, wird dies als sehr motivierend empfunden. Die sehr konsequent wöchentlich stattfindenden Teambesprechungen werden dabei als sehr hilfreich empfunden.

5.3.3.3. Und was ist mit den Korrekturen?

Die Nachbesprechung der abgegebenen Übungsaufgaben, die im klassischen Übungsbetrieb mehr oder weniger die gesamte Zeit einnimmt, kommt in diesem Modell gar nicht (explizit) vor. Kann das gut gehen? Und falls ja: Ist dann all die Arbeit im klassischen Übungsbetrieb komplett überflüssig?

Unsere Erfahrung ist: Das, was den klassischen Übungsbetrieb ausmacht, kommt implizit sehr wohl auch im hier vorgestellten Modell vor:

Wenn Studierenden wirklich Bedarf sehen, über bestimmte Knackpunkte zu sprechen, wird das – genau auf den Bedarf der jeweiligen Studierenden abgestimmt – in individuellen Gesprächen in der Arbeitsphase geklärt. Tatsächlich geschieht dies aber nur selten, weil die meisten Studierenden bei einer hilfreichen Korrektur und im Zweifel unter Hinzuziehung der Musterlösung angesichts von Zeitdruck unter dem Semester von sich aus nicht allzu oft größeren Gesprächsbedarf sehen.

Typischerweise bauen alle Übungsleiter*innen Erläuterungen, die sie angesichts der Korrekturen und der Team-Besprechungen für sinnvoll erachten, aber von sich aus in die Besprechung der Diskussionsfragen ein. Der Fokus ist dabei dann aber weniger: „Wie muss man es machen, wenn das in der Klausur dran kommt?“ Sondern viel mehr: „Hier taucht etwas auf, was euch vorher schonmal Schwierigkeiten bereitet hat, und zwar...“ Dadurch, dass diese Besprechung unmittelbar für die Studierenden nützlich ist, beschäftigen sie sich dann viel eher tatsächlich damit, anstatt sich lediglich Notizen für die Klausurvorbereitung am Ende des Semesters zu machen.

Manche Übungsleiter*innen triggern auch bewusst, dass Studierende die Fragen zu den aktuellen Aufgaben haben, nochmal in alte Aufgaben schauen, indem sie – was die Aufgaben oft hergeben – Fragen beantworten wie: „Schaut nochmal in Aufgabe 3 von vorletzter Woche und überlegt, wie ihr das auf diese Aufgabe übertragen könnt.“

5.3.4. Weiterentwicklungspotenzial

- Wie Studierende dabei unterstützt werden können, das Screening der Aufgaben auf zu stellende Fragen hin zu lernen, anstatt sich direkt in eine Aufgabe so sehr zu vertiefen, dass sie in der Übung auf die anderen gar keinen Blick mehr werfen können, ist eine offene Frage, der sich die Autor*innen weiter widmen wollen.
- Viele, aber nicht alle Übungsleiter*innen haben von sich aus ein Auge auf die Gruppenbildung der Studierenden. In den Teambesprechungen könnte expliziter angesprochen werden, dass dies hilfreich ist.
- Ebenfalls könnte in den Teambesprechungen angesprochen werden, dass es sich als hilfreich herausgestellt hat, wenn die Übungsleiter*innen bewusst an geeigneter Stelle dazu anregen, nochmals in alte Übungsaufgaben zu schauen.

5.3.5. Fazit

Die Ausgangsfrage beim klassischen Übungskonzept ist: „Welche Aufgabe ist am besten dafür geeignet, den Vorlesungsstoff zu vertiefen und wie muss sie besprochen werden, damit die Studierenden aus ihren Fehlern für die Klausur lernen?“ Demgegenüber ist die Ausgangsfragestellung, die in den Fort-

bildungen für Übungsleiter*innen am Anfang der Überlegungen steht: „Wie gelingt es, das meiste aus der wertvollen Zeit mit Übungsleiter*in zu machen?“

Beides steht sich bei ersten Gehversuchen in Richtung Reform des Übungsbetriebs auf Grund der begrenzten Übungszeit oft ungewollt entgegen. Gerade in Master-Spezialveranstaltungen, in denen das Erlernen des Handwerkzeugs oft weniger im Mittelpunkt steht und traditionell das Rechnen von Hausübungen eine geringere Rolle spielt, wurde auf diese Schwierigkeit in den vergangenen Semestern teilweise reagiert, in dem die Hausaufgaben so überarbeitet wurden, dass sie weniger eine eigenständige Rolle spielen. Stattdessen wurde – ausgehend von der Frage „Wie gelingt es, das meiste aus der wertvollen Zeit mit Übungsleiter*in zu machen?“ überlegt, welche Vorarbeit kann zu Hause dafür geleistet werden, dass dies besonders gut klappt. Dafür wurden oft bei klassischer Vorlesung, Elemente von inverted-classroom-Konzeptionen für den Übungsbetrieb übernommen.

In diesem Modell ist die Ausgangsüberlegung eine dritte: „Das Entscheidende im Studium sind nicht die Veranstaltungen, sondern die Zeit dazwischen, in denen die Studierenden anlässlich der zu bearbeitenden Aufgaben miteinander über Physik reden. Wie kann die Zeit in den Veranstaltungen genutzt werden, um diesen Prozess so gut wie möglich auf die Schiene zu setzen?“

Aufgrund der durchweg positiven Erfahrungen aller beteiligten Seiten (Studierende, Tutor*innen, Dozent) wurde das Übungsmodell seit der Einführung 2018 beibehalten.

5.4. Wie ein freiwilliges Tutorium die Durchfallquote reduziert

Ein Beitrag von Antonia Bauer

In diesem Aufsatz geht es um ein freiwilliges Tutorium in der Physikdidaktik, das an der Friedrich Alexander Universität Erlangen-Nürnberg (FAU) im Wintersemester 2022/23 eingeführt wurde, und das, wie die Modulnoten zeigen, bereits zu einem enormen Erfolg wurde.

Zunächst ist es wichtig zu verstehen, unter welchen Bedingungen das Tutorium entstanden ist.

5.4.1. Rahmenbedingungen

Eigentlich war alles anders geplant, als es abgelaufen ist. Ursprünglich sollte ein anderer Dozent die Vorlesung zum ersten Didaktik-Modul „Einführung Fachdidaktik Physik“ im Rahmen seiner Habilitation halten. Dafür wurde auch ein neues Konzept erarbeitet und Geld für studentische Hilfskräfte bei der Studienzuschusskommission beantragt. Doch dann hat er eine Vertretungsprofessur an einer anderen Universität erhalten. Also wurde auch im Wintersemester 2022/23 die erste Hälfte der Physikdidaktik von unserem Erlanger Physikdidaktiker, Herrn Professor Meyn, gehalten. Die Stellen für die studentischen

Hilfskräfte waren aber schon vergeben, somit hatten die Hilfskräfte die Wahl, ob sie mit dem eigentlichen „Chef“ an einer anderen Universität lehren oder an der Heimatuniversität ein eigenes Konzept aufbauen, obwohl es nach Prüfungsordnung gar kein Tutorium gibt. In Erlangen besteht das erste Physikdidaktikmodul aus 5 ECTS mit einer Vorlesung und einem Experimentierteil. Eine Tutorin blieb tatsächlich in Erlangen und hielt dort ein Tutorium. Während der Corona-Semester konnte der praktische Teil des Moduls, die Experimentiertechnik, nicht stattfinden. Stattdessen wurde eine Online-Veranstaltung angeboten, welche die Vorlesungsinhalte vertiefte. Dies war auch der Ausgangspunkt für die neue Form des Tutoriums, dieses Mal wurde es jedoch von einer studentischen Hilfskraft gehalten. Es wurde also nicht ganz bei „Null“ angefangen.

5.4.2. Was ist der Inhalt eines solchen Tutoriums?

Das Tutorium setzt auf verschiedene Bereiche. Zum einen wurden gewisse Themengebiete aus der Vorlesung vertieft, zum anderen aber auch Elemente aus der Schulpraxis angesprochen, die sonst zu kurz kommen oder gar nicht im Studium an der FAU angesprochen werden. Es wurde durch das Tutorium auch regelmäßig ein Zusammenhang zwischen Vorlesung und Schulpraxis hergestellt, was wiederum die Vorlesungsinhalte vertiefte. Die Studierenden konnten aber auch Themenwünsche einbringen und von Anfang an wurde ein Themenplan für das gesamte Semester veröffentlicht, sodass alles erwartbar war. Es wurde auch eine Art „Wunschstunde“ gegen Ende des Semesters eingeplant. Dafür konnten die Studierenden Vorschläge sammeln, die dann zur Abstimmung gestellt wurden. Durch verschiedene Elemente wie der Wunschstunde oder dem Anpassen der Inhalte auf die Gruppe der Studierenden konnte eine konstante Diskussionskultur unter den Studierenden aufgebaut werden. Allgemein wurden die Tutorien auf die Gruppe der Studierenden angepasst. Außerdem gab es eine, oder besser gesagt zwei Klausurvorbereitungsstunden. Die Didaktik 1 Prüfung an der FAU ist eine mündliche Prüfung mit Experimentierteil. Der theoretische Teil wurde im Tutorium geübt, fachliche Fragen zur Klausur beantwortet und Probeklausuren simuliert. Wichtig war über das gesamte Semester hinweg, dass zusammen diskutiert wurde, egal ob vorhandene didaktische Konzepte besprochen oder selbst entwickelt wurden.

5.4.3. Teilnahme

Das ist der nicht so erfreuliche Teil. Etwas mehr als die Hälfte der Teilnehmenden des Didaktik-Moduls hat regelmäßig am Tutorium teilgenommen. Einige haben die Aufgaben zu Hause nachbereitet. Um Terminkonflikte zu vermeiden, wurde bei der Vorlesungsplanung darauf geachtet, dass das Tutorium mit keiner Veranstaltung, die typischerweise von Physikgymnasiallehramtsstudierenden im fünften Semester besucht wird, zeitgleich stattfindet. Doch obwohl das Modul eigentlich im fünften Semester

eingepflegt ist, nahmen nur zwei Studierende auch in diesem Semester daran teil; insgesamt haben 14 Studierende teilgenommen, die im Schnitt jedes zweite Mal da waren.

5.4.4. Ablauf

Zunächst zum Ablauf der einzelnen Tutorien, welcher jederzeit den Studierenden auf der Studienorganisationsplattform der FAU in Form einer Tabelle zugänglich war. Jede Woche wurde ein Übungsblatt für die kommende Woche auf der Studienorganisationsplattform veröffentlicht. Der erste Absatz beschrieb die Vorbereitung auf das Tutorium, also die „Hausaufgabe“. Diese wurde nicht kontrolliert. Meist sollten sich die Studierenden in ein Thema einarbeiten, also Rechercheaufträge oder Bücher, Paper, etc. lesen. Dies sind alle Aufgaben, zu denen man keine Gruppe braucht und zudem klassische Aufgaben zur Einzelarbeit. Es wurde auch sehr darauf geachtet, dass (fast) alle Einzelaufträge zu Hause von den Studierenden auszuführen waren, sodass im Tutorium möglichst viel Zeit zur Diskussion vorhanden war, die Zeit konnte somit also sinnvoll genutzt werden. Allerdings funktionieren Diskussionen nur, wenn eine gewisse Anzahl an Studierenden am Tutorium teilnimmt, was bei gelegentlichen Krankheitsausfällen nicht immer gegeben war.

Der nächste Abschnitt auf dem Übungsblatt war immer eine kleine Motivation, warum das Thema relevant ist, meist eine Begründung aus dem Schulalltag oder zum didaktischen Sinn dahinter. Dadurch erscheint das Tutorium und die Beschäftigung mit dem Thema nicht als sinnlos, es handelt sich hierbei also auch um ein motivationales Element.

Als vorletzter Abschnitt wurden dann die Aufgaben für das entsprechende Tutorium aufgelistet. Dabei wurde auf eine Formulierung mit Operatoren geachtet. Zum einen, damit klar ist, in welchem Umfang und wie die Aufgaben zu bearbeiten sind. Zum anderen, da man nicht von den Studierenden bei der Erstellung von Aufgaben verlangen kann, Operatoren zu verwenden, wenn man es dann selbst auf dem Übungsblatt nicht einhält. Wenn in einem Tutorium mehr als ein Thema behandelt werden sollte, so wurde auf eine klare Strukturierung der Aufgaben geachtet — es gab also dann zwei Abschnitte für Aufgaben. Bei nur einem Thema wurden entsprechend die Aufgaben untereinander aufgelistet. Wichtig war zudem, dass die Aufgaben aufeinander aufbauten; nicht nur innerhalb des Tutoriums, sondern auch tutoriumsübergreifend, sodass von den Studierenden Zusammenhänge hergestellt werden konnten.

Zuletzt gab es immer noch eine Auflistung an möglichen Quellen. Alle Quellen waren den Studierenden über einen VPN aus dem Uninetz als E-Book zugänglich, worauf bei der Auswahl der Quellen geachtet wurde. Zudem wurden mehr Quellen zur Verfügung gestellt als für die Vorbereitung gefordert, sodass den Studierenden bei besonderem Interesse eine Art Literaturliste vorliegt. Auch in Hinsicht auf

die Klausurvorbereitung wurden die weiteren Quellen als hilfreich von den Studierenden bewertet. So wurde vermieden, dass die Studierenden im Internet nach den Texten suchen mussten. Weitere Quellen wurden zudem auf der Studienorganisationsplattform veröffentlicht, wobei auf eine klare Anordnung nach Themen mit Ausklappmenüs geachtet wurde. Dort waren auch die Videos, die im Tutorium verwendet wurden, eingebettet, sodass die Studierenden das Video nicht erst auf verschiedensten Plattformen suchen mussten.

Im Folgenden werden einige Tutorien etwas genauer vorgestellt. Diese dienen lediglich als ein Beispiel und waren zum Teil auf diese explizite Gruppe an Studierenden angepasst.

5.4.4.1. Die Bibliotheksübung

Das erste Tutorium fand in der Bibliothek statt. Nicht nur, weil der erwartete Jahrgang ein Corona-Jahrgang war und somit wahrscheinlich die Physik-Bibliothek noch nicht kannte, sondern auch, um Inspirationen für innovativen Physikunterricht zu sammeln. Dort wurden unter anderem Didaktikbücher durchstöbert sowie Fachzeitschriften auf Englisch und auf Deutsch. Für solche Recherche-Aufgaben braucht es klare Arbeitsaufträge. Zum Beispiel gab es eine Liste an Lehrplanthemen, die in der Uni-Ausbildung zu kurz kommen, aus der Themen fachwissenschaftlich und didaktisch bearbeitet werden sollten. So konnte gleich die Sinnhaftigkeit dieses Tutoriums gewährleistet werden. Auf den Recherchegrundlagen konnte dann in den folgenden Stunden aufgebaut werden. Es wurde in den weiteren Übungen immer wieder als Vorbereitung gefordert, gewisse Kapitel in Büchern zu lesen.

5.4.4.2. Texte schreiben

Ein Format, das sich zunächst etwas komisch anhört. Auf Literaturgrundlage wurden in diesem Tutorium (und auch später noch) Schulbuchtexte adressatengerecht geschrieben und bewertet. Der Hintergrund ist jener, dass diese Fähigkeit im späteren Beruf als Lehrkraft äußerst hilfreich sein kann. Außerdem fehlt den Studierenden regelmäßig das Vokabular schulgerecht einen physikalischen Sachverhalt zu erklären. Bei einer Schreibübung hat die schreibende Person viel mehr Zeit über Formulierungen nachzudenken als beim Sprechen. Es ist vor allem in den folgenden Tutorien aufgefallen, dass die Studierenden nach der Schreibübung auch besser über Physik sprechen konnten. Wichtig ist bei solchen Aufgaben in Tutorien, dass die Studierenden den physikalischen Sachverhalt schon (aus der Fachwissenschaft) kennen.

5.4.4.3. Weitere Themen

Es wurde eingeübt, Aufgaben zu formulieren, es gab aber auch genauso „thematische“ Tutorien. Zu fünf Teilbereichen jeweils eines: Mechanik, Elektrizitätslehre, Optik, Quantenphysik und Thermodynamik. Beispielsweise wurde in der Elektrizitätslehre der

Wunsch von den Studierenden geäußert, über Stromkreismodelle zu sprechen, was in der Planung berücksichtigt wurde. Als anderes Beispiel kann das Mechanik-Tutorium dienen, bei dem ein Beispielunterricht von Studierenden präsentiert werden konnte und sehr dicht am Lehrplan gearbeitet wurde, was positiv aufgefasst wurde.

Gegen Ende der Vorlesungszeit gab es dann noch eine „Wunschstunde“. Das Thema für diese wurde abgestimmt, wobei es explizit um Themen gehen sollte, die zu kurz kamen. Die Themenvorschläge waren eine Mischung aus studentischen Vorschlägen und denen der Tutorin. Das Einbinden der Studierenden kann zu deren Motivation beitragen. Im letzten Tutorium gab es dann noch eine Klausursimulation. Der Tutorin waren die Klausurfragen zu keiner Zeit bekannt. Zu Beginn dieses Tutoriums wurden offene Fragen beantwortet, die im Tutoriumsforum gestellt und beantwortet wurden und erst dann begann die Simulation. Diese machte die mündliche Klausur etwas erwartbarer und die Studierenden hatten noch Zeit, sich gegenseitig zu helfen, auszutauschen und ihre Lücken zu schließen.

Hier muss auch angemerkt werden, dass der Anspruch auf Vollständigkeit zugunsten des studentischen Austauschs aufgegeben wurde, mit erheblichem Erfolg.

5.4.5. Fazit

Abschließend muss man aber auch anmerken, dass das Tutorium einen Mehraufwand für die Studierenden bedeutet. In manchen Tutorien waren nicht genügend Personen für Diskussionen anwesend, wodurch die Bearbeitung der Aufgaben deutlich erschwert wurde. Auch eine unzureichende Vorbereitung auf der Seite der Studierenden ist hinderlich.

Eine Diskussion über Physik unter Studierenden ist heutzutage nicht mehr selbstverständlich, weshalb auch ein gewisser Aufwand betrieben werden muss, dass die Studierenden dies lernen. Die ersten Diskussionen waren noch nicht so sehr gewinnbringend, jedoch sind die Ergebnisse umso fruchtbarer und wertvoller, sobald die nötigen Fähigkeiten antrainiert sind. Dies erinnert an das Nutzungsdefizit aus der Lernpsychologie, nach dem Strategien zwar spontan eingesetzt werden können jedoch noch nicht zum Lernerfolg führen, wenn diese noch nicht ausreichend automatisiert sind. Für diese Automatisierung muss im Rahmen eines solchen Tutoriums gesorgt werden.

Wie im Titel des Textes schon zu lesen ist, konnte mit diesem Diskussionsformat die Durchfallquote in diesem Modul deutlich reduziert werden. Durch praktische und motivationale Aspekte konnte das gesamte Semester über die Tutoriumsgruppe in der gleichen Zusammensetzung gehalten werden und die Studierenden blieben fast immer nach dem Ende des Tutoriums noch da, um zu diskutieren oder zu experimentieren. Nicht nur didaktische sondern auch

fachliche Gesichtspunkte konnten in diesem Tutorium dazugelehrt werden.

Dies war zwar nur eine Art Pilotversuch, ein Tutorium so aufzubauen, aber der Erfolg dessen führt zu einem Versuch dieses Format im kommenden Wintersemester fortzuführen.

6. Literatur

- [1] Handreichung der KFP (2010): Zur Konzeption von Bachelor- und Master-Studiengängen in der Physik
https://www.kfp-physik.de/dokument/KFP_Handreichung_Konzeption-Studiengaenge-Physik-101108.pdf
(Stand: 5/2023)
- [2] Praetorius et al. (2018): Generic dimensions of teaching quality: the German framework of Three Basic Dimensions. In: ZDM Mathematics Education 50, 407–426 (2018).
<https://doi.org/10.1007/s11858-018-0918-4>
- [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/1178/0>
- [4] Tautz, S.: Übungskonzepte der einführenden Kursvorlesung Physik – Ein Vergleich deutscher Standorte, Masterarbeit – noch nicht veröffentlicht –
- [5] Studienreform-Forum (2023): Call for Papers zu alternativen Übungskonzepten
<https://studienreform-forum.de/de/forum-2023/call-papers-2023/>
(Stand 5/2023)
- [6] Weinert, F. (1996): Lerntheorien und Instruktionsmodelle
Aus: Enzyklopädie der Psychologie. Bd. 2. Psychologie des Lernens und der Instruktion, S. 1-48.
- [7] Hake R. (1998): Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. In: American Journal of Physics 66, 64-74
<https://doi.org/10.1119/1.18809>
- [8] Bunker, P., Jensen, P. (2012): Molecular Symmetry and Spectroscopy. E-book edition. NRC Research Press
- [9] Bunker, P., Jensen, P. (2005): Fundamentals of molecular symmetry. Inst. of Physics Publ., Bristol
- [10] Brackertz et al.: Workshop: Hochschuldidaktische Konsequenzen aus zwei Semestern Krisenlehre. In: PhyDid B 2021, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung
<https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phydid-b/article/view/1176>
- [11] Aebli, H. (1977): Grundformen des Lernens; Klett, 10. Auflage, S. 201 ff.

- [12] Geisel-Brinck et al. (2019): „Was Besseres als Klausurzulassungen“. Posterbeitrag zum Studienreformforum, Supplementary Material zu; Brackertz et al.: „Studienreformforum“ In: PhyDid B 2019
<https://www.studienreform-forum.de/de/forum-2019/beitraege-2019/2019/03/13/was-besseres-als-klausurzulassungen/>
- [13] Lehre-Webseite von Rochus Klesse
<https://www.thp.uni-koeln.de/~rk/teaching.html>
(Stand 5/2023)
- [14] Kroher, M. (2021): Die Studierendenbefragung in Deutschland: 22. Sozialerhebung – Die wirtschaftliche und soziale Lage der Studierenden in Deutschland 2021
https://www.bmbf.de/SharedDocs/Publikationen/de/bmbf/4/31790_22_Sozialerhebung_2021.pdf?__blob=publicationFile&v=6
(Stand 05/2023)
- [15] McDermott, L. (2001): Oersted Medal Lecture 2001: „Physics Education Research-The Key to Student Learning“, Am. J. Phys. 69 (11), 1127 (2001).
<http://dx.doi.org/10.1119/1.1389280>
- [16] Mazur, E. (1997): Peer Instruction: A User's Manual, Pp. 253. Prentice Hall, Deutsche Ausgabe, 2017.
<https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-662-54377-1>
(Stand 5/2023)
- [17] Schröder, M. et al. (2023): Guided Discovery Learning, Artikel des Studienreform-Forums,
<https://studienreform-forum.de/de/forum-2023/beitraege-2023/2023/03/04/guided-discovery-learning/>
(Stand 5/2023)
- [18] Kristkeitz, S. (2019): Übungen versus Essays, Artikel des Studienreform-Forums,
<https://studienreform-forum.de/de/forum-2019/beitraege-2019/2019/03/24/uebungen-versus-essays/>
(Stand 5/2023)
- [19] Schmitt, f. (2020): Education Zen, Artikel des Studienreform-Forums,
<https://studienreform-forum.de/de/forum-2020/beitraege-2020/2020/02/08/essay-educationzen/>
(Stand 5/2023)
- [20] Diehl, S. et al. (2023): Using quizzes to discuss and link different perspectives on physics, Artikel des Studienreform-Forums,
<https://studienreform-forum.de/de/forum-2023/beitraege-2023/2023/03/05/quizzes/>
(Stand 5/2023)
- [21] Brackertz, S. (2023): Double Inverted Classroom, Artikel des Studienreform-Forums,
<https://studienreform-forum.de/de/forum-2023/beitraege-2023/2023/03/05/double-inverted-classroom/>
(Stand 5/2023)
- [22] Wagner, S., Längle, M. (2021): Warum haben Sie noch Fragen, Artikel des Studienreform-Forums,
<https://studienreform-forum.de/de/forum-2020/beitraege-2020/2021/06/14/warum-haben-sie-noch-fragen-zu-keinen-fragen-fuehrt/>
(Stand 5/2023)
- [23] Geisel-Brinck, J. (2019): Was besseres als Klausurzulassungen, Artikel des Studienreform-Forums,
<https://studienreform-forum.de/de/forum-2019/beitraege-2019/2019/03/13/was-besseres-als-klausurzulassungen/>
(Stand 5/2023)
- [24] Bauer, A. (2022): Wie ein Freiwilliges Tutorium die Durchfallquote Reduziert, Artikel des Studienreform-Forums,
<https://studienreform-forum.de/de/forum-2023/beitraege-2023/2023/03/04/wie-ein-freiwilliges-tutorium-die-durchfallquote-reduziert/>
(Stand 5/2023)
- [25] Kofler, C. (2023): Programming 4 Physicists, Artikel des Studienreform-Forums,
<https://studienreform-forum.de/de/forum-2023/beitraege-2023/2023/03/05/bunsmodus-programming-physicists/>
(Stand 5/2023)
- [26] Meures, S., Chikho, M (2023): Projektarbeit der Computerphysics
<https://studienreform-forum.de/de/forum-2023/beitraege-2023/2023/03/05/projektarbeit-der-computerphysik/>
(Stand 5/2023)
- [27] Sich, A. et al. (2023): Gemeinsam ans Werk, Artikel des Studienreform-Forums,
<https://studienreform-forum.de/de/forum-2023/beitraege-2023/2023/03/04/gemeinsam-ans-werk/>
(Stand 5/2023)
- [28] Veranstaltungsreihe: Impulse zur Studiengangsentwicklung, Veranstaltungen des Studienreform-forums
<https://studienreform-forum.de/de/forum-2022/vortragsreihe-impulse-zur-studiengangsentwicklung/#Dresden>
(Stand 5/2023)
- [29] Erhebung des Deutschen Studentenwerkes 2013:
<https://www.studentenwerke.de/de/content/mehr-chancengleichheit>
(Stand 5/2023)
- [30] Breckertz et al.: Workshop: Forum Studienreform In: PhyDid B 2020, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung
<https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phydid-b/article/view/996>
(Stand 5/2023)
- [31] Siehe die Webseite von PhysSport
<https://www.physport.org>

(Stand 5/2023)

- [32] Handke, J., Alexander Sperl, A. (Hrsg., 2012):
Das Inverted Classroom Model – Begleitband
zur ersten deutschen ICM-Konferenz
<https://doi.org/10.1515/9783486716641>
(Stand 5/2023)
- [33] Webseite des Studienreform-Forums:
Themenseite Prüfungsversuchsbeschränkungen
[https://studienreform-forum.de/de/themen/
pruefungsversuchsbeschaerankungen/](https://studienreform-forum.de/de/themen/pruefungsversuchsbeschaerankungen/)
(Stand 5/2023)
- [34] Eichler, A. et al. (2013): Design of Tutorial
Activities and Homework Assignments for a
Large-Enrollment Introductory Course in
Control Systems. In: IFAC Proceedings
17/2013, S. 43-48
[https://doi.org/10.3182/20130828-3-UK-
2039.00011](https://doi.org/10.3182/20130828-3-UK-2039.00011)
(Stand 5/2023)

**Danksagungen zum Beitrag „Von der Vorlesung
zur Aufgabenlösung: In der Übung gemeinsam
ans Werk!“**

Wir danken Simon Fischer für die Initiative, dieses
Modell zu entwickeln. Dank gilt auch Philipp Bön-
ninghaus, Dennis Hardt und Daniel Oros dafür, dass
sie mit ihren Erfahrungen als Studenten und
Übungsleiter zu diesem Artikel beigetragen haben.

Auswirkung von Wahlfreiheit beim Experimentieren

Laura Sührig*, Roger Erb*, Holger Horz*, Albert Teichrew*, Mark Ullrich*, Jan Winkelmann⁺

*Goethe-Universität Frankfurt, ⁺ Pädagogische Hochschule Schwäbisch Gmünd
suehrig@physik.uni-frankfurt.de

Kurzfassung

Es ist eine anspruchsvolle Aufgabe, Fachunterricht nicht mehr an einer fiktiven Homogenität der Schüler*innenschaft auszurichten, sondern so zu gestalten, dass er allen Lernenden gerecht wird. Im Physikunterricht ist das Experimentieren ein wesentlicher Zugang, um Wissen oder Arbeitsweisen zu vermitteln. Damit Schüler*innen beim Experimentieren individuelle Lernwege vollziehen und ihren Lernprozess mitgestalten können, haben wir ein Unterrichtskonzept für inklusive Schüler*innenexperimente entwickelt, welches eine Wahl aus experimentellen Zugängen ermöglicht und damit individuellen Voraussetzungen und Interessen gerecht wird. Dieses Konzept wurde in Form einer Unterrichtseinheit an hessischen und thüringischen Schulen verschiedener Schulzweige evaluiert. In der zugehörigen Studie wird die Auswirkung der im Konzept verankerten Wahlfreiheit auf die Schüler*innen untersucht, sowie die Sichtweise der Lehrkräfte auf das Konzept in den Blick genommen. Die Gruppen mit Wahlfreiheit in der Experimentierphase zeigten eine signifikant bessere Entwicklung in der Subskala „Interesse und Vergnügen“ auf, beim „physikalischen Selbstkonzept“ profitierten eher die Gruppen ohne Wahl. Auch die Lehrkräfte bewerten die Unterrichtseinheit mit Wahlmöglichkeiten positiver im Hinblick auf „affektive Merkmale“ und „Differenzierung“.

1. Motivation und Hintergrund

Schüler*innenexperimente sind ein essentielles Element naturwissenschaftlicher Bildung (Committee on High School Science Laboratories: Role and Vision, 2004) und für viele Lehrkräfte ein zentraler Aspekt von Physikunterricht. Sie ermöglichen das Erleben von Phänomenen und das Kennenlernen naturwissenschaftlicher Arbeitsweisen (Kircher et al., 2015). Es verwundert somit nicht, dass ein Großteil der Unterrichtszeit mit Experimentieren verbracht wird (Tesch & Duit, 2004).

Inklusive Schüler*innenexperimente sollten den Anforderungen von Lernenden mit unterschiedlichen Stärken, Schwächen, Interessen und Vorerfahrungen gerecht werden und ihnen die Möglichkeit geben, auf ihrem eigenen Weg zu lernen (Price et al., 2012). Eine Möglichkeit, dies zu erreichen, sind Wahlmöglichkeiten im Unterricht anzubieten: „One of the most powerful and effective ways of centering diversity, equity, and inclusion in our teaching is through student choice. We can let go of the idea that all classroom knowledge rests on teachers' shoulders, and instead consider students as co-creators in their own learning“ (Davis & Anderson, 2021).

In unserem Projekt haben wir daher den Vorschlag entwickelt, in der Experimentierphase verschiedene Zugänge in Form von fünf Experimentierformen anzubieten und die Schüler*innen selbst wählen zu lassen, welche Experimente sie machen wollen.

1.1. Universal Design for Learning

Das Angebot von Wahlmöglichkeiten findet sich sowohl im Kontext von Differenzierung (Krüger & Meyfarth, 2009) als auch im Universal Design für Learning (UDL). Letzteres ist ein etabliertes Framework zur Planung inklusiven Unterrichts. Der aus den USA stammende Ansatz verfolgt das Ziel, Lernumgebungen und Unterricht barrierefrei zu gestalten, sodass ein Zugang für alle Schüler*innen gewährleistet ist (Meyer et al., 2014). Das UDL besteht aus drei Prinzipien:

- a) Biete multiple Möglichkeiten der Förderung von Lernengagement.
- b) Biete multiple Mittel der Repräsentation von Informationen.
- c) Biete multiple Mittel für die Informationsverarbeitung und die Darstellung von Lernergebnissen.

Wir fokussieren in unserem Projekt das zweite Prinzip (b) in der ersten Zeile (siehe Abb. 1). Die Leitlinie dieser Zelle besagt „Biete Wahlmöglichkeiten bei der Perzeption“.

Diese Leitlinie lässt sich in zwei Bestandteile aufschlüsseln. Zum einen benennt sie multiple Mittel der Repräsentation, was bezogen auf das Experimentieren als Bereitstellung unterschiedlicher Experimentierformen übersetzt werden kann. Zum anderen enthält sie das Angebot von Wahlmöglichkeiten, was wir dahingehend interpretieren, dass Lernende aus verschiedenen Experimentierformen auswählen, welche sie bearbeiten möchten.

Biete multiple Mittel der Representation von Informationen.

Erkennungsnetzwerke
Das „WAS“ des Lernens

Biete Wahlmöglichkeiten bei der Perzeption. (1)

- Biete Möglichkeiten an, Informationsdarstellungen anzupassen. (1.1)
- Biete Alternativen für auditive Informationen an. (1.2)
- Biete Alternativen für visuelle Informationen an. (1.3)

Biete Wahlmöglichkeiten für Sprache und Symbole. (2)

- Biete Hilfestellung zur Klärung von Begriffen und Symbolen an. (2.1)
- Biete Hilfestellung zum Erkennen von Syntax und Textaufbau an. (2.2)
- Biete Hilfestellung beim Lesen geschriebener Texte u./o. mathematischer Formeln und Symbolen an. (2.3)
- Biete Möglichkeiten zur Nutzung von Kenntnissen in anderen Sprachen an. (2.4)
- Biete Möglichkeiten der nicht-sprachlichen Illustration von Schlüsselbegriffen an. (2.5)

Biete Wahlmöglichkeiten für das Verständnis. (3)

- Biete Möglichkeiten der Aktivierung oder Erarbeitung von Hintergrundinformationen an. (3.1)
- Biete Hilfen zum Hervorheben wichtiger Informationen, Leitideen oder Beziehungen an. (3.2)
- Biete Hilfen an, die eine systematische Informationsverarbeitung unterstützen. (3.3)
- Biete Hilfen an, die das Behalten und den Transfer unterstützen. (3.4)

Abb.1: Zweites Prinzip des UDL „Biete multiple Mittel der Repräsentation von Informationen“, Übersetzung von Martin Lüneberger.

2. Konzept

Die Umsetzung dieses UDL-Prinzips sieht in unserem Konzept wie folgt aus:

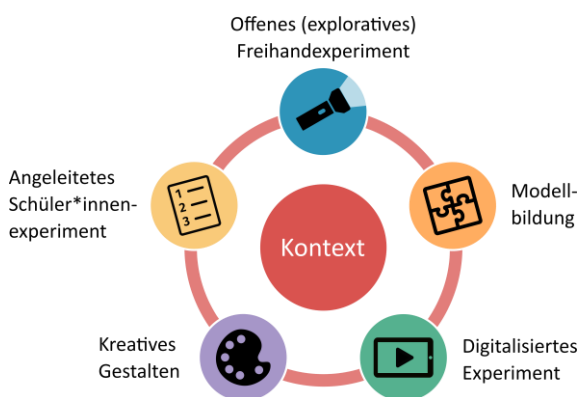


Abb.2: Konzept für die Experimentierphase.

Es werden fünf verschiedene Experimentierformen zu einem Kontext angeboten (siehe Abb. 2). Die Schüler*innen haben eine Wahl aus diesen. Der

Kontext wird Inhalt des jeweiligen Unterrichts, der sich wie ein roter Faden durch alle Phasen zieht.

Die angebotenen Experimentierformen (Überblick in Tab. 1) sollen unterschiedliche Zugänge zu dem Kontext anbieten und enthalten sowohl „klassische“, digitale und spielerische Formen des Experimentierens, die möglichst vielen Interessen und Vorlieben gerecht werden.

Tab. 1: Übersicht über die Experimentierformen.

Experimentierform	Inhalt
Offenes Freihandexperiment	Schüler*innen forschen unter eigener Fragestellung mit bekannten Materialien.
Modellbildung	Schüler*innen arbeiten an einem interaktiven, experimentierfähigen Modell, um bei diesem Variablen zu verändern.
Digitalisiertes Experiment	Schüler*innen arbeiten mit einem interaktiven Experimentiervideo.
Kreatives Gestalten	Schüler*innen basteln und bauen zu Anwendungen des Kontextes.
Angeleitetes Schüler*innen-experiment	Schüler*innen experimentieren nach einer strukturierten Schritt-für-Schritt-Anleitung.

Analogieexperimente wären eine weitere Experimentierform, die bewusst nicht in das Konzept integriert wurde, da es eher auf den Einsatz in der Sekundarstufe I fokussiert. Für einen Einsatz des Konzepts in der Oberstufe ist eine Erweiterung jedoch denkbar.

Das Konzept wurde in Form einer Unterrichtseinheit ausgestaltet, die in der Studie als Intervention eingesetzt wird.

3. Design und Durchführung

3.1. Hypothesen und erhobene Variablen

Die Studie hat zum Ziel, die Auswirkung von Wahlfreiheit auf bestimmte Schüler*innenvariablen zu untersuchen.

In der Literatur lässt sich eine empirisch gesicherte Auswirkung von Wahlfreiheit auf intrinsische Motivation identifizieren (Patall et al., 2008). Laut der Selbstbestimmungstheorie von Deci & Ryan beeinflusst Motivation positiv die Qualität des Lernens (Deci & Ryan, 1993). Qualität des Lernens ist durch eine Veränderung im Fachwissen messbar. Darüber hinaus lässt sich eine Wirkung von Wahlfreiheit auf die Einschätzung der Lehr- und Lernbedingungen vermuten, da eine bessere Passung zwischen Lerngegenstand und Lernendem erreicht wird. Zudem kann sich Wahlfreiheit auf das Selbstkonzept und die Selbstwirksamkeitserwartung beim Experimentieren

auswirken, da sich die Schüler*innen durch Wahlmöglichkeiten befähigt fühlen (Novak, 2016).

3.2. Studiendesign

Um die Wirkung von Wahlfreiheit beim Experimentieren zu evaluieren, werden zwei verschiedene Interventionen in Form von zwei Unterrichtseinheiten in einer Interventionsstudie mit Prä-Post-Design verglichen. Die Unterrichtseinheiten dienen als Beispiel für unser Konzept. Diese Interventionen sind jeweils Unterrichtseinheiten zum Kontext „Unsichtbarkeit“ von sog. Aquakugeln. Sie behandeln das Phänomen, dass Aquakugeln (aus dem Dekorationsbedarf) vermeintlich in Wasser verschwinden (siehe Abb. 3), was physikalisch mit dem Brechungsindex der beiden Stoffe zusammenhängt.



Abb.3: Aquakugeln verschwinden in Wasser. Oberes Foto: vor dem Befüllen, unteres Foto: nachher.

Beide Einheiten beginnen mit einer kurzen Instruktionsphase, die das Vorführen des „Unsichtbarwerdens“ der Aquakugeln sowie eine Hypothesensammlung dazu enthält, und schließen mit einer Plenumphase ab, die die Experimentiererergebnisse mit Rückbezug auf die Hypothesen sammelt.

Die Einheiten unterscheiden sich nur in der Experimentierphase. Die Interventionsgruppe (INT) bekommt die Auswahl von zwei aus fünf Experimenten (siehe Tab. 2), die Vergleichsgruppe (VGL) macht zuerst das Freihandexperiment und danach das angeleitete Experiment. Diese Experimentierformen wurden für die Vergleichsgruppe ausgewählt, da sie die geläufigsten Experimentierformen repräsentieren, die im Regelunterricht am häufigsten vorkommen.

Tab. 2: Experimente der Unterrichtseinheit.

Experimentierform	Experiment
Offenes Freihandexperiment	Untersuchung von Aquakugeln unter selbstgewählter Fragestellung
Modellbildung	Untersuchung eines Geo-Gebra-Modells einer Aquakugel
Digitalisiertes Experiment	Interaktives Experimentiervideo mit durchsichtigem Stab
Kreatives Gestalten	Herstellung von durchsichtigem Schleim
Angeleitetes Schüler*innenexperiment	Verschwindenlassen eines Reagenzglases

Vor der Experimentierphase stellt die durchführende Lehrkraft die Experimente kurz vor, damit die Schüler*innen eine möglichst informierte Entscheidung treffen können. Für die Studie wäre es wünschenswert gewesen, wenn die Schüler*innen bereits im vorherigen Unterricht nach dem Konzept experimentiert hätten und ihnen die fünf Experimentierformen bereits bekannt gewesen wären. Das ist jedoch im Rahmen der Erhebung nicht möglich gewesen.

3.3. Testinstrument

Vor und nach den Unterrichtseinheiten füllten die Schüler*innen einen Fragebogen aus. Der Prätest besteht aus einem Fachwissenstest zur Lichtbrechung (adaptiert nach Weber et al., 2017), einer Skala zur Einschätzung der Lehr- und Lernbedingungen (aus dem SINUS-Transfer-Programm; Seidel, 2003), Skalen zum physikbezogenen Selbstkonzept (adaptiert nach Hoffmann et al., 1998) und zur Selbstwirksamkeitserwartung beim Experimentieren (Körner & Ihringer, 2016). Der Posttest enthält zusätzlich dazu die Kurzsкала intrinsische Motivation (Wilde et al., 2009) und die wahrgenommene Wahlfreiheit (Deci & Ryan, 2003), um festzustellen, ob die Schüler*innen der Interventionsgruppe die angebotene Wahlfreiheit wahrnehmen. Alle Skalen sind mit Ausnahme des Fachwissens (Single-Choice) Likert-skaliert.

3.4. Stichprobe

Für die Studie wurden Lehrkräfte zum einen über eine Fortbildung („Fortbildung zum inklusiven Experimentieren“ von September 2021 bis März 2022), zum anderen durch direkte Rekrutierung gewonnen. Insgesamt haben acht Lehrkräfte (davon vier aus der Fortbildung) mit 31 Klassen an der Studie teilgenommen.

Die Stichprobe besteht aus 518 „matched“ Datensätzen. „Matched“ bedeutet, dass die Schüler*innen sowohl den Prä- als auch den Posttest ausgefüllt haben. Für die weitere Analyse werden nur die gematchten Datensätze betrachtet, da nur bei diesen

Schüler*innen garantiert werden kann, dass sie an der Intervention vollständig teilgenommen haben.

Die Interventions- und Vergleichsgruppe waren von vergleichbarer Größe ($n_{INT} = 279$, $n_{VGL} = 239$).

Die Zuweisung zur Interventions- oder Vergleichsgruppe erfolgte nach dem Zufallsprinzip – es sei denn, die teilnehmenden Lehrkräfte gaben Präferenzen an.

Die Stichprobe unterscheidet sich in Klassenstufe, kognitiver Fähigkeit und Schulform. Zwei der teilnehmenden Klassen waren ausgewiesene Inklusionsklassen. In der Stichprobe sind vier Schulformen von der 6. bis zur 10. Klasse repräsentiert: Gymnasium, Realschule, Hauptschule und Integrierte Gesamtschule (IGS). Die 8. Klassen der Schulformen Gymnasium und Realschule sind in der Stichprobe am meisten vertreten, gefolgt von 7. Klassen Gymnasium und IGS. In der Interventionsgruppe überwiegen Gymnasialklassen, in der Vergleichsgruppe Realschulklassen. Begleitend zu den Schüler*innenfragebögen wurden zwei Skalen eines kognitiven Fähigkeitstest (Heller & Perleth, 2000) eingesetzt, der eine große Bandbreite an Fähigkeiten im Bereich der Wort- und Figurenanalogien in der Stichprobe zeigt.

4. Ergebnisse

4.1. Ergebnisse der Schüler*innenbefragung

Mit einer zweifaktoriellen Varianzanalyse (ANOVA) mit Messwiederholung wurde zunächst überprüft, ob sich die Werte der Gruppen durch die Intervention unterschiedlich verändern. Die Gruppen unterscheiden sich geringfügig in der Entwicklung des „physikbezogenen Selbstkonzepts“ (siehe Tab. 3) – dabei entwickelt sich die Vergleichsgruppe stärker.

Tab. 3: Ergebnisse zweifaktorielle ANOVA mit Messwiederholung.

Variable	p-Wert	Partielles η^2
Fachwissen	.067	.006
Einschätzung der Lehr- und Lernbedingungen	.922	.000
Physikbezogenes Selbstkonzept	.040	.009
Selbstwirksamkeit beim Experimentieren	.287	.002

Um die Skalen „intrinsische Motivation“ und „wahrgenommene Wahlfreiheit“ zu untersuchen, wurde eine einfaktorische ANOVA durchgeführt.

Es zeigt sich ein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen bei der „wahrgenommenen Wahlfreiheit“: Die Interventionsgruppe schneidet signifikant besser ab als die Vergleichsgruppe. Somit scheint die Interventionsgruppe die Wahl, die sie hat, zu erkennen.

Es ist jedoch kein Unterschied zwischen den Gruppen in der allgemeinen intrinsischen Motivation zu sehen. Jedoch zeichnet sich in der Subskala „Interesse / Vergnügen“ ein signifikanter Unterschied ab (siehe Tab. 4): Die Interventionsgruppe mit Wahlmöglichkeit ist interessierter als die Vergleichsgruppe.

Tab. 4: Ergebnisse einfaktorische ANOVA.

Variable	p-Wert	Partielles η^2
Intrinsische Motivation	.094	.005
<i>Interesse / Vergnügen</i>	.001	.023
<i>Wahrgenommene Kompetenz</i>	.667	.000
<i>Druck / Anspannung</i>	.543	.001
Wahrgenommene Wahlfreiheit	.001	.018

4.2. Sichtweise der Lehrkräfte

Nach der Durchführung der Unterrichtseinheit wurden die Lehrkräfte als Follow-up mit einem qualitativen Fragebogen zu den Unterrichtseinheiten befragt.

Sie sollten jeweils den Ablauf der Unterrichtseinheiten (Interventions- und Vergleichs-Unterrichtseinheit) in der jeweiligen Klasse zuerst allgemein und dann im Hinblick auf verschiedene Aspekte einschätzen. Diese Aspekte bauen auf Kategorien auf, die wir in einer Vorstudie gefunden haben (Sührig et al., 2021).

Für die Analyse wurden die Aussagen der jeweiligen Kategorie als positiv, neutral oder negativ geratet. Für jede Kategorie wurde ein Score aus der Differenz zwischen positiven und negativen Aussagen geteilt durch die Gesamtanzahl der Antworten in der jeweiligen Kategorie errechnet.

Die in Tab. 5 dargestellten Ergebnisse basieren auf den von 27 Klassen zurückerhaltenen Bögen; es handelt sich somit um vorläufige Ergebnisse.

Es ist festzustellen, dass sich die Einschätzungen zu den jeweiligen Kategorien zwischen den Gruppen tendenziell ähnlich verhalten – es wurden somit die gleichen Kategorien eher positiv, neutral oder negativ bewertet. Große Unterschiede im Score sind in den Kategorien „affektive Merkmale“ und „Differenzierung“ zu finden, in denen wie erwartet (siehe Abschnitt 1.1 und 3.1) die Interventionsgruppe mehr positive Aussagen als die Vergleichsgruppe aufweist. Weiterhin ist ein äquivalenter Unterschied im Score der Kategorie „Inklusionsaspekte“ festzustellen, welcher jedoch auf die geringe Anzahl an Antworten (drei in der Interventionsgruppe und eine in der Vergleichsgruppe) zurückzuführen ist. Hervorzuheben ist auch, dass beim „Fachwissen“ der Score bei beiden Gruppen zwar ungefähr null ist, aber dieser sich

jeweils fast ausschließlich aus positiven und negativen Aussagen gebildet hat. Diese große Streuung zeigt, dass die Einschätzung zum Fachwissen stark von den individuellen Faktoren der Lehrkräfte und der jeweiligen Unterrichtssituation abhängt.

Tab. 5: Reflexionsscores der Lehrkräftebögen.

Kategorie	INT	VGL
Affektive Merkmale	1,0	0,7
Sicherheit	0,8	0,8
Differenzierung	0,7	0,4
überfachl. Kompetenzen	0,4	0,6
Experimentierkompetenz	0,0	0,2
Unterrichtsqualität	0,0	0,1
Fachwissen	-0,1	0,0
Inklusionsaspekte	-0,3	0,0

5. Diskussion und Ausblick

Wie in 3.1 dargelegt haben wir einen Einfluss von Wahlfreiheit auf die intrinsische Motivation, das Fachwissen, die Einschätzung der Lehr- und Lernbedingungen sowie das Selbstkonzept und die Selbstwirksamkeitserwartung erwartet.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass wir einen statistisch signifikanten Unterschied zwischen der Interventionsgruppe und der Vergleichsgruppe in Bezug auf „Interesse/Vergnügen“ mit kleinem Effekt und „wahrgenommene Wahlfreiheit“ mit kleinem Effekt festgestellt haben.

Das „Fachwissen“ und die „Selbstwirksamkeitserwartung beim Experimentieren“ wurden nicht davon beeinflusst, ob die Lernenden beim Experimentieren eine Wahl bekommen haben oder ob ihnen zwei Experimente vorgegeben wurden.

Beide Einheiten hatten keinen Einfluss auf die „Einschätzung der Lehr- und Lernbedingungen“.

Zudem lässt sich ein leichter Unterschied zwischen den Gruppen im „Selbstkonzept“ zugunsten der Vergleichsgruppe feststellen.

Die Studie weist darauf hin, dass Wahlfreiheit zu einem höheren Interesse beim Experimentieren führt, jedoch keinen Effekt auf den Fachwissenserwerb, die Einschätzung der Lehr-Lernbedingungen und die Selbstwirksamkeitserwartung beim Experimentieren hat. Auch die Lehrkräfte sehen die Interventions-Unterrichtseinheit positiver im Hinblick auf affektive Merkmale und Differenzierung. Um diese ersten Ergebnisse zu untermauern, sind weitere Erhebungen mit anderen Kontexten in der Intervention notwendig. Überraschend ist, dass die Gruppen ohne Wahlfreiheit nach der Unterrichtseinheit ein signifikant besseres physikbezogenes Selbstkonzept als die Gruppen aufweisen, die wählen durften. Ein Erklärungsansatz dafür kann in der Art der Experimente liegen. Die von

der Vergleichsgruppe durchgeführten Experimente stellen nur eine Teilmenge aller verfügbaren Experimente dar. Sie waren im Durchschnitt kognitiv weniger anspruchsvoll und es fehlte auch das kreative Gestalten, welches ein sehr beliebtes Experiment in der Interventionsgruppe war, das aufgrund seines eher spielerischen Ansatzes das Selbstkonzept der Schüler weniger verbessern dürfte.

Weitere Analysen sind erforderlich, um festzustellen, ob andere Faktoren wie Schulstufe, Schultyp, kognitive Fähigkeiten und die Lehrkraft die Ergebnisse beeinflussen haben. Diese Einflüsse prüfen wir in weiteren Regressionsanalysen.

6. Literatur

- Committee on High School Science Laboratories: Role and Vision. (2004). The role of practical work in the teaching and learning of science. In *America's Lab Report*. National Academy of Sciences.
- Davis, D., & Anderson, M. (2021, Juli 8). *Student Choice as a Vehicle for Diversity, Equity, and Inclusion*. ASCD. <https://www.ascd.org/el/articles/student-choice-as-a-vehicle-for-diversity-equity-and-inclusion>
- Deci, E. L., & Ryan, R. M. (1993). Die Selbstbestimmungstheorie der Motivation und ihre Bedeutung für die Pädagogik. In *Zeitschrift für Pädagogik (DIPF | Leibniz-Institut für Bildungsforschung und Bildungsinformation; Bd. 39, Nummer 2, S. 223–238)*. Beltz.
- Deci, E. L., & Ryan, R. M. (2003). *Intrinsic Motivation Inventory*. <https://selfdeterminationtheory.org/intrinsic-motivation-inventory/>
- Heller, K., & Perleth, C. (2000). *Kognitiver Fähigkeitstest für 4. Bis 12. Klassen, Revision (KFT 4-12+R)*. Hogrefe.
- Hoffmann, L., Häussler, P., & Lehrke, M. (1998). *Die IPN-Interessenstudie Physik*. IPN.
- Kircher, E., Girwidz, R., & Häußler, P. (Hrsg.). (2015). *Physikdidaktik: Theorie und Praxis* (3. Auflage). Springer Spektrum.
- Körner, H.-D., & Ihringer, S. (2016). Selbstwirksamkeit beim Experimentieren – Mädchen und Jungen in den Naturwissenschaften. In C. Wiepcke & M. Kampshoff (Hrsg.), *Vielfalt geschlechtergerechten Unterrichts: Ideen und konkrete Umsetzungsbeispiele für die Sekundarstufen* (1. Aufl., S. 106–140). epubli.
- Krüger, D., & Meyfarth, S. (2009). Binnen—Kurzer Zeit—Differenzieren! In *Unterricht Biologie* (Bd. 33, Nummer 347/348, S. 2–10).
- Meyer, A., Rose, D. H., & Gordon, D. (2014). *Universal design for learning: Theory and practice*. CAST Professional Publishing, an imprint of CAST, Inc.

- Novak, K. (2016). *UDL now! A teacher's guide to applying universal design for learning in today's classrooms* (Revised&expanded edition). Cast Professional Publishing.
- Patall, E. A., Cooper, H., & Robinson, J. C. (2008). The effects of choice on intrinsic motivation and related outcomes: A meta-analysis of research findings. *Psychological Bulletin*, *134*(2), 270–300. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.134.2.270>
- Price, J. F., Johnson, M., & Barnett, M. (2012). Universal Design for Learning in the Science Classroom. In T. E. Hall, A. Meyer, & D. H. Rose (Hrsg.), *Universal design for learning in the classroom: Practical applications*. Guilford Press.
- Seidel, T. (Hrsg.). (2003). *Technischer Bericht zur Videostudie „Lehr-Lern-Prozesse im Physikunterricht“*. IPN.
- Sührig, L., Hartig, K., Teichrow, A., Winkelmann, J., Erb, R., Horz, H., & Ullrich, M. (2021). Experimente im inklusiven Physikunterricht: Was sagen Lehrkräfte? In S. Hundertmark, X. Sun, S. Abels, A. Nehring, R. Schildknecht, V. Serebet, & C. Lindmeier (Hrsg.), *Naturwissenschaftsdidaktik und Inklusion. 4. Beiheft zur Zeitschrift „Sonderpädagogische Förderung heute“* (S. 147–160). Beltz Juventa in der Verlagsgruppe Beltz.
- Tesch, M., & Duit, R. (2004). Experimentieren im Physikunterricht—Ergebnisse einer Videostudie. *ZfDN*, *10*, 51–69.
- Weber, J., Winkelmann, J., Erb, R., Wenzel, F., Ullrich, M., & Holger, H. (2017). Ein Fachwissenstest zur geometrischen Optik. In C. Maurer (Hrsg.), *Implementation fachdidaktischer Innovation im Spiegel von Forschung und Praxis* (S. 107). Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Zürich 2016.
- Wilde, M., Bätz, K., Kovaleva, A., & Urhahne, D. (2009). Überprüfung einer Kurzsкала intrinsischer Motivation (KIM). *ZfDN*, *15*.

Förderung

Das Projekt „FINEX“ wird im Rahmen der gemeinsamen „Qualitätsoffensive Lehrerbildung“ von Bund und Ländern aus Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gefördert.

Fachwahl von Studierenden im Zusammenhang mit Fachinteresse und Brain Type

Daniel Laumann*, Julia Welberg*, Susanne Heinicke*

*Institut für Didaktik der Physik, Universität Münster, Wilhelm-Klemm-Str. 10, 48149 Münster
daniel.laumann@uni-muenster.de

Kurzfassung

In Studien mit Lernenden konnte gezeigt werden, dass ein Zusammenhang zwischen dem sogenannten „Brain Type“, ausgedrückt durch die Neigung zum Systematisieren oder Empathisieren, dem Fachinteresse an Physik und der Weiterwahl von Physik in der Oberstufe besteht. Es erscheint somit denkbar, dass sich entsprechende Zusammenhänge auch hinsichtlich der Studienwahl zeigen und sich z.B. vermehrt systematisierend veranlagte Personen für ein Studium der Physik entscheiden. Um dies zu überprüfen, wurden Lehramtsstudierende der Physik sowie Lehramtsstudierende anderer Fächer und Studierende der Physik ohne Lehramtsbezug hinsichtlich ihres Brain Types untersucht und um eine retrospektive Einschätzung ihres Fachinteresses sowie eine Abfrage ihrer Kurswahl in der Oberstufe gebeten. Im Beitrag werden die Ergebnisse dieser Studie vorgestellt, um Erkenntnisse zu gewinnen inwiefern der Brain Type und das Fachinteresse an Physik die Studienfachwahl von Lehramtsstudierenden beeinflussen. Die Befunde weisen in Übereinstimmung mit bestehenden Studien zum Brain Type von Schülerinnen und Schülern auf die Bedeutung der systematisierenden Dimension des Brain Types für Interesse und Wahlverhalten bezogen auf Naturwissenschaften hin.

1. Motivation & Zielsetzung

Die Entwicklung der Studierendenzahlen im Physikstudium zeigt momentan eine deutlich negative Tendenz auf. So weisen die aktuellen Zahlen der Studierendenstatistik der DPG aus dem Jahr 2022 [1] einen Rückgang der Immatrikulationen im Wintersemester 2021/2022 sowie im Sommersemester 2022 für den Fachstudiengang Physik um 32 % sowie in Lehramtsstudiengängen mit Physik als Unterrichtsfach um 33 % gegenüber den Immatrikulationen fünf Jahre zuvor im Wintersemester 2016/2017 sowie im Sommersemester 2017 aus. Obwohl die Autoren die Anzahl der Immatrikulationen u.a. aufgrund von sogenannten „Parkstudierenden“ als nur eingeschränkt aussagekräftig hinsichtlich der Anzahl zu erwartender Abschlüsse in physikbezogenen Studiengängen beurteilen, kann der erhebliche Rückgang dennoch als Indiz dafür angesehen werden, dass die Anzahl entsprechender Abschlüsse in den kommenden zwei bis drei Jahren zurückgehen könnte. Als weiterer Befund ergibt eine Betrachtung der Studierendenstatistik der DPG, dass neue Studierende in Studiengängen der Physik weiterhin vornehmlich männlich sind. So beträgt die Anzahl an Immatrikulationen von Studentinnen im Wintersemester 2021/2022 sowie im Sommersemester 2022 im Fachstudiengang Physik lediglich 36 % sowie in Lehramtsstudiengängen mit Physik als Unterrichtsfach 38 % [1].

Um Ursachen für die sinkenden Anzahl an Immatrikulationen in physikbezogenen Studiengängen sowie die weiterhin ungleiche Partizipation der Geschlechter zu verstehen, ergibt sich die Frage, welche Erkenntnisse fachdidaktischer Forschung Aufschluss über Einflüsse auf das Studienverhalten ergeben.

Empirische Studien zeigen dabei insgesamt, dass affektive Merkmale starken Einfluss auf die Wahl eines

MINT-Studiums besitzen [2,3]. Diese Studien stimmen somit mit gängigen Theorien zum Wahl- und Entscheidungsverhalten, wie der Expectancy-Value Theory oder der Theory of Planned Behavior überein, die den affektiven Merkmalen ebenfalls eine zentrale Bedeutung zuweisen [4]. Die Zusammenhänge affektiver Merkmale zu tatsächlichen Wahlentscheidungen sind dabei jedoch komplex und erscheinen nicht immer intuitiv. So lässt sich beobachten, dass teilweise eine Wahlentscheidung gegen ein MINT-Studium erfolgt, obwohl Studierende gegenüber einem MINT-Studiengang positivere Einstellungen aufweisen als gegenüber dem von ihnen selbst gewählten Studiengang ohne MINT-Bezug [5]. Neben affektiven Merkmalen gelten zudem positive Vorerfahrungen aus der Schule und insbesondere das Erleben „guter Lehrkräfte“ als bedeutsam für die Wahl eines MINT-Studiums [6].

Bisherige Versuche diese Forschungsbefunde zu berücksichtigen und affektive Merkmale einzubeziehen, um Schülerinnen und Schüler für die Wahl eines physikbezogenen Studiengangs zu motivieren, beziehen insbesondere das individuelle Interesse ein und differenzieren dabei häufig nach dem Geschlecht. Weiterführende Forschungserkenntnisse aus Studien, die hinsichtlich des individuellen Interesses nicht nur nach dem Geschlecht unterscheiden, sondern mit dem sogenannten Brain Type von Personen ein alternatives Persönlichkeitsmerkmal identifizieren [7-9], werden dabei in der Entwicklung von Maßnahmen zur Motivation von Schülerinnen und Schüler nicht berücksichtigt. Der Brain Type beschreibt Personen durch deren Tendenz auf zwei verschiedene Art und Weisen „zu denken“, durch eine empathisierende und eine systematisierende Komponente.

Somit ergibt sich für den vorliegenden Beitrag die Beantwortung der folgenden Forschungsfragen als Zielsetzung einer Studie:

- FF1. Welcher Brain Type zeigt sich bei Studierenden in Physik- und Lehramtsstudiengängen?
- FF2. Welche Zusammenhänge zwischen personenbezogenen Merkmalen (Geschlecht, Brain Type) und affektiven Merkmalen (individuelles Fachinteresse) sowie dem Wahlverhalten (Studienwahl) lassen sich identifizieren?

2. Theoretischer Hintergrund

Die Empathizing-Systemizing Theory [10] unterscheidet bei Personen hinsichtlich zweier Dimensionen der Art und Weise zu denken – zusammengefasst als Brain Type bezeichnet. Dabei wird das Empathizing (Empathisieren) als Eigenschaft beschrieben die Gefühle von anderen Personen zu verstehen und deren Verhalten vorherzusagen. Im Gegensatz wird das Systemizing (Systematisieren) als Eigenschaft beschrieben die Umgebung als System zu betrachten und mit logischen Wenn-dann-Aussagen zu beschreiben.

Die Untersuchung der Dimensionen erfolgt häufig mithilfe zweier Langskalen mit je 40 Items – dem sogenannten Empathizing Quotient EQ [11] sowie dem sogenannten Systemizing Quotient SQ [12]. Da diese Langskalen grundsätzlich eine zeitlich sehr aufwendige Erhebung erfordern und zudem aufgrund des Umfangs, aber auch teilweise der Formulierung von Items, für Studien mit Kindern und Jugendlichen ungeeignet erscheinen, stehen auch passend für diese Zielgruppe entwickelte Instrumente (EQ reduziert: 14 Items, SQ reduziert: 10 Items) als Adaption der ursprünglichen Skalen zur Verfügung [13].

Unabhängig von der Wahl der Skala kann pro Person ein standardisierter E -Wert für die Eigenschaft empathisierend zu denken sowie ein standardisierter S -Wert für die Eigenschaft systematisierend zu denken zugeordnet werden [14]. Zudem lassen sich beide Eigenschaften zusammengefasst durch den sogenannten D -Wert beschreiben, der beide Dimensionen des Denkens gemäß dem Zusammenhang $D = (S - E)/2$ ins Verhältnis setzt.

Je nach Ausprägung der standardisierten E - und S -Werte werden Personen nach Baron-Cohen (2002) [10] bestimmten Brain Types zugeordnet und in folgender Weise unterschieden:

- $E \gg S$ bzw. $D \ll 0$: Empathizing Type – Personen tendieren dazu eher empathisierend zu denken.
- $E \ll S$ bzw. $D \gg 0$: Systemizing Type – Personen tendieren dazu eher systematisierend zu denken.
- $E \approx S$ bzw. $D \approx 0$: Balanced Type – Personen weisen keine eindeutige Tendenz zum empathisierenden oder systematisierenden Denken auf.

Die Zuordnung erfolgt auf Grundlage von Grenzen relativ zu einer Normstichprobe, wobei die untersten 35 % dem Empathizing Type und die obersten 35 % dem Systemizing Type zugeordnet werden.

3. Methodik

Die Untersuchung erfolgte im Rahmen einer querschnittlichen Korrelationsstudie, die als Befragung mithilfe eines Fragebogens mit Studierenden der Universität Münster im Zeitraum Oktober 2022 bis Februar 2023 durchgeführt wurde.

3.1. Stichprobe

Die Stichprobe umfasst insgesamt $N = 628$ Studierende, die Bachelor- und Masterstudiengängen Physik ($N = 91$) sowie Lehramtsstudiengängen mit unterschiedlichen Unterrichtsfächern ($N = 537$) zuzuordnen sind. Unter den Lehramtsstudierenden finden sich Studierende ohne MINT-Fach ($N = 230$), mit einem MINT-Fach ($N = 241$) sowie mit zwei oder mehr MINT-Fächern als Unterrichtsfach ($N = 66$). Insgesamt belegen $N = 80$ Lehramtsstudierende Physik als Unterrichtsfach. Die Angabe der für spätere Analysen wichtigen Verteilung der Studierenden auf die Geschlechter pro Studiengang findet sich in Tabelle 1.

Tab.1: Darstellung der Stichprobe mit Angabe der befragten Studierenden pro Studiengang sowie der Verteilung pro Geschlecht (Hinweis: K.A. \triangleq Keine Angabe).

Studiengang (BA, MA)	Geschlecht			
	Ges.	W. (Rel.)	M.	K.A.
Gesamt	628	379 (60 %)	242	7
Physik	91	18 (20 %)	68	5
Lehramt	537	361 (67 %)	174	2
Kein MINT-Fach	230	168 (73 %)	61	1
Ein MINT-Fach	241	163 (68 %)	78	0
Mehr als ein MINT-Fach	66	30 (45 %)	35	1
Physik	80	25 (31 %)	54	1

3.2. Datenerhebung

Die Datenerhebung erfolgte im angegebenen Zeitraum im Rahmen universitärer Lehrveranstaltungen. Zur Beantwortung der Forschungsfragen wurden dabei Daten zu folgenden Variablen erhoben:

- Demographie – Geschlecht, Alter (2 Items, Eigenentwicklung)
- Brain Type – Empathizing, Systemizing (24 Items nach [13])
- Schulische Kurswahl Physik – retrospektiv (1 Item, Eigenentwicklung)
- Individuelles Fachinteresse Physik – retrospektiv (11 Items nach [15])
- Studienwahl – Studiengang, Unterrichtsfach (2 Items, Eigenentwicklung)

4. Ergebnisse & Diskussion

Die Darstellung der Ergebnisse und Diskussion nachfolgend erscheint unterteilt nach den Forschungsfragen 1 und 2.

4.1. Verteilung des Brain Types von Studierenden (Forschungsfrage 1)

Die Verteilung der Studierenden unterschiedlicher Studiengänge auf den Brain Type unterteilt nach Empathizing Type, Balanced Type sowie Systemizing Type findet sich in Abbildung 1. Die Daten zeigen zunächst, dass die erfasste Stichprobe von der für die Zuordnung des Brain Types typischen Verteilung (35 % Empathizing Type, 30 % Balanced Type sowie 35 % Systemizing Type) abweicht und mehr Studierende mit Tendenz zu empathisierendem Denken aufweist. Betrachtet man zunächst die Studierenden der Physik zeigt sich, wie stark hier der Anteil von Studierenden des Systemizing Type dominiert (63 %) und wie klein der Anteil Studierender des Empathizing Type (15 %) ist. Dies erscheint ausgehend von vorherigen Befunden unter Schülerinnen und Schülern so erwartbar, dass insbesondere für Schülerinnen und Schüler des Systemizing Type ein hohes individuelles Fachinteresse an Physik beobachtet wurde [8,9].

Für die Lehramtsstudierenden zeigt sich, durchaus erwartbar, ein überproportional hoher Anteil an Studierenden des Empathizing Type (51 %). Innerhalb der Lehramtsstudierenden nimmt weiterhin der Anteil des Empathizing Type mit der Anzahl von MINT-Fächern als späteren Unterrichtsfächern ab (kein MINT-Fach: 59 % Emp. Type; ein MINT-Fach: 50 % Emp. Type; mehr als ein MINT-Fach: 22 % Emp. Type) und sinkt dabei sogar unter den Anteil der Normstichprobe (35 %). Umgekehrt steigt der Anteil des Systemizing Type mit der Anzahl von MINT-Fächern als späteren Unterrichtsfächern (kein MINT-Fach: 20 % Sys. Type; ein MINT-Fach: 26 % Sys. Type; mehr als ein MINT-Fach: 42 % Sys. Type). Die

jeweiligen Anteile der Lehramtsstudierenden mit Unterrichtsfach Physik für den Empathizing Type (22 %) sowie den Systemizing Type (26 %) entsprechen vom Niveau in etwa den Anteilen der Lehramtsstudierenden mit mehr als einem MINT-Fach. Auch diese Befunde erscheinen vor dem Hintergrund bestehender Studien konsistent [8,9]. Bei der Interpretation der Daten ist jedoch zu berücksichtigen, dass bekannt ist, dass je nach Geschlecht unterschiedliche Anteil des Empathizing Type bzw. Systemizing Type vorliegen, d.h. wenn im Unterschied zu einer Normstichprobe der Anteil an weiblichen und männlichen Personen deutlich unterschiedlich ist, kann dies die Interpretation der Ergebnisse maßgeblich beeinflussen.

Um die ungleichen Anteile der Studierenden pro Studiengang nach Geschlecht zu berücksichtigen, wurden die Ausprägungen der standardisierten Stichprobe pro E -Wert und S -Wert mit den entsprechenden Werten einer Normstichprobe mithilfe von t -Tests für unabhängige Stichproben verglichen [13].

Es zeigt sich in der Analyse, dass für weibliche Studierende die standardisierten E -Werte sowohl für die weiblichen Physikstudierenden ($M = 1.04$, $SD = 0.34$) als auch für die weiblichen Lehramtsstudierenden ($M = 1.12$, $SD = 0.38$) mit Unterrichtsfach Physik sich von den entsprechenden E -Werten einer Normstichprobe ($M = 1.12$, $SD = 0.40$) nicht signifikant unterscheiden (Physik: $t(712) = -0.792$, $p = .428$, $d = 0.19$; Lehramt Physik: $t(719) = -0.054$, $p = .957$, $d = 0.01$). Die S -Werte der weiblichen Studierenden der beiden genannten Studiengänge Physik ($M = 0.53$, $SD = 0.40$) sowie Lehramt Physik ($M = 0.53$, $SD = 0.46$) liegen jedoch signifikant über den S -Werten der Normstichprobe ($M = 0.34$, $SD = 0.36$) mit mittlerer Effektstärke (Physik: $t(712) = 2.288$, $p = .022$, $d = 0.55$; Lehramt Physik: $t(719) = 2.594$, $p = .010$, $d = 0.53$) [16].

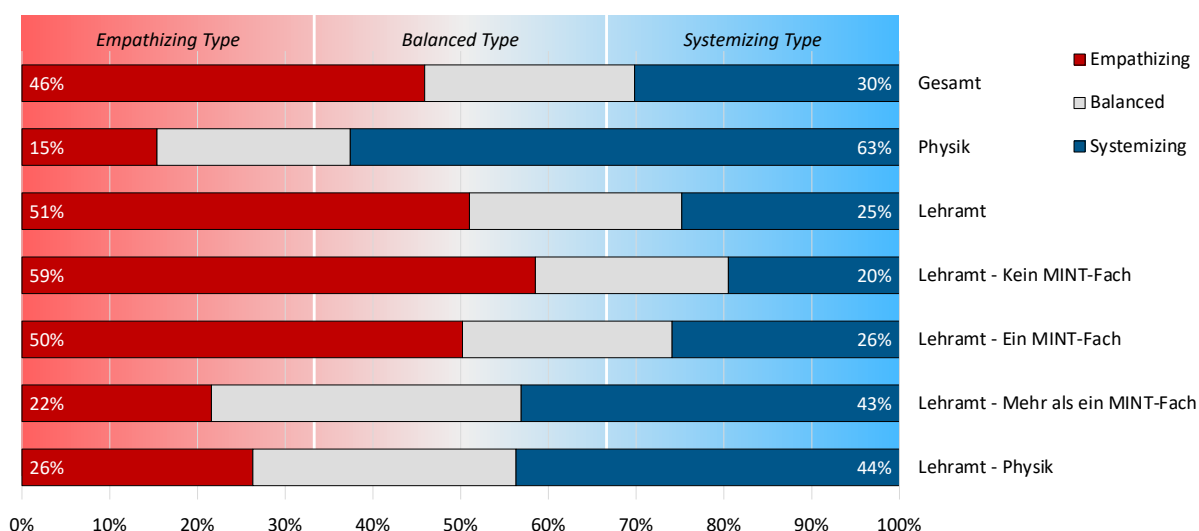


Abb.1: Prozentualer Anteil von Personen unterschiedlicher Brain Types (Empathizing Type, Balanced Type, Systemizing Type) nach Studiengängen (siehe Forschungsfrage 1).

Weiterhin zeigt sich in der Analyse von Mittelwertsunterschieden mithilfe von t -Tests für unabhängige Stichproben, dass sich für männliche Physikstudierende sowohl die standardisierten E -Werte ($M = 0.85$, $SD = 0.43$) als auch die standardisierten S -Werte ($M = 0.51$, $SD = 0.33$) signifikant mit einer kleinen Effektstärke [16] von einer Normstichprobe (E -Werte: $M = 1.00$, $SD = 0.39$, S -Werte: $M = 0.42$, $SD = 0.36$) unterscheiden (E -Werte: $t(750) = -2.591$, $p = .003$, $d = 0.38$; S -Werte: $t(750) = 2.166$, $p = .031$, $d = 0.28$). Für männliche Lehramtsstudierende mit Unterrichtsfach Physik finden sich keine signifikanten Unterschiede in den standardisierten E -Werte und S -Werten zu einer Normstichprobe.

Die Ergebnisse deuten somit an, dass die aus vorhergehenden Studien mit Schülerinnen und Schülern erhaltenen Befunde zum Brain Type [8,9] sowie weiterführend unter Einbezug des Wahlverhaltens [13] auf Grundlage der hier präsentierten Daten konsistent für das Studienwahlverhalten von Physikstudierenden sowie Studierenden in (physikbezogenen) Lehramtsstudiengängen erweitert werden können.

4.2. Zusammenhang zwischen Geschlecht, Brain Type, individuellem Fachinteresse und Studienwahl (Forschungsfrage 2)

Zur Beantwortung von Forschungsfrage 2 soll zudem untersucht werden, inwiefern für Studierende Zusammenhänge zwischen dem Geschlecht, dem Brain Type unter Berücksichtigung der Dimensionen des Empathisierens und des Systemisierens, dem (retrospektiv beurteilten) individuellen Fachinteresse am Schulfach Physik sowie der Studienwahl eines physikbezogenen Studiengangs identifiziert werden können. Diese Zusammenhänge wurden mithilfe eines explorativ manifesten Pfadmodells analysiert. Das Pfadmodell orientiert sich strukturell an dem bereits empirisch geprüften Modell von Zeyer et al. (2012) [8] und erweitert dieses um die Dimension der Studienwahl. Aufgrund der für die Analyse notwendigen Stichprobengröße bezieht sich das Pfadmodell insgesamt auf die Lehramtsstudierenden von denen aufgrund der Datenlage $N = 532$ Personen in die Analyse einbezogen werden konnten, jedoch nicht auf die Physikstudierenden ohne Lehramt.

Die Zusammenhänge, siehe Abbildung 2, bestätigen zunächst die Erwartung, dass die Dimensionen des Systemisierens als Persönlichkeitsmerkmal stärker mit dem individuellen Interesse am Schulfach Physik, hier retrospektiv bestimmt, korreliert ($r = .37$, $p < .001$) als das Geschlecht ($r = -.22$, $p < .001$), jedoch darüber hinaus keine signifikante Korrelation zwischen der Dimension des Empathisierens und dem individuellen Interesse am Schulfach Physik existiert.

Weiterhin zeigen die Daten, dass eine deutliche Korrelation zwischen dem Interesse am Schulfach Physik und der Wahl eines Lehramtsstudiums mit Physik als Unterrichtsfach ($r = .50$, $p < .001$). Dieser Effekt

erscheint mit den Annahmen und Erkenntnissen anderer Studien konsistent.

Der für die Beantwortung der Forschungsfrage aufschlussreichste Zusammenhang findet sich im Vergleich der Zusammenhänge auf die Wahl eines Studiengangs Lehramt mit Physik als Unterrichtsfach zwischen dem Geschlecht und der Tendenz systemisierend zu denken. Hier weisen die Daten aus, dass der indirekte Zusammenhang des Systemisierens auf das Fachinteresse Physik ($r = .37$, $p < .001$) und dann auf die Studienwahl Physik ($r = .50$, $p < .001$) einen stärkeren Zusammenhang darstellt als der direkte Zusammenhang zwischen dem Geschlecht und der Studienwahl Physik ($r = .17$, $p < .001$). Dieser Befund deutet an, dass insbesondere der Brain Type und dort spezifischer die Dimension des systemisierenden Denkens prädiktiv für die Wahl eines Lehramtsstudiums Physik erscheint als das Geschlecht.

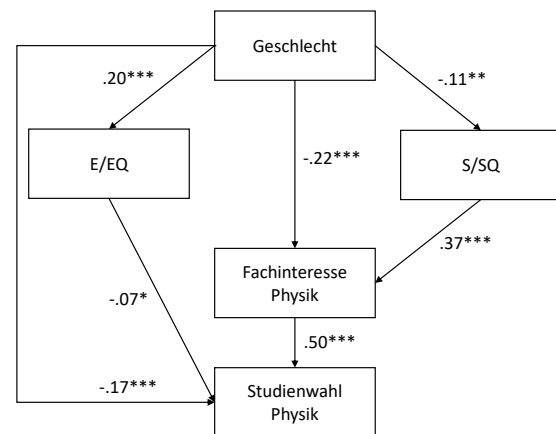


Abb.2: Pfadmodell für Analyse von Zusammenhängen zwischen Geschlecht, Brain Type, Fachinteresse Physik sowie der Studienwahl Physik, $N = 532$ ($\chi^2 = 8.15$, $p = .043$, $\chi^2/df = 2.717$, $CFI = 0.986$, $RMSEA = 0.057$).

5. Fazit & Ausblick

Physikbezogene Studiengänge werden insbesondere von Personen belegt, die dem Systemizing Type als Ausprägung des Brain Types nach Baron-Cohen (2002) [10] zuzuordnen sind. Auch bezogen auf die Frage, inwiefern Unterschiede des Brain Types für einen Lehramtsstudiengang mit bzw. ohne ein MINT-Fach als Unterrichtsfach zu beobachten sind, zeigt sich, dass mit stärkerem Bezug zum MINT-(Lehramts)Studium auch der Anteil des Systemizing Type zunimmt, während der Anteil des Empathizing Type abnimmt.

Bei spezifischer Betrachtung für Studiengänge Physik sowie Lehramt Physik zeigt sich ein signifikant höherer standardisierter S -Wert (systemisierendes Denken) für weibliche Studierende sowie für den Studiengang Physik auch ein signifikant höherer S -Wert für männliche Studierende gegenüber einer Normstichprobe.

Die Bedeutung des systemisierenden Denkens, die gemäß der Daten und in Übereinstimmung mit den aus vorherigen Studien [8,9,13] abgeleiteten

Erwartungen für das Interesse am Schulfach Physik sowie die Wahl eines Lehramtsstudiums Physik erscheint als das Geschlecht, sollte somit bei der Beschreibung und Erklärung von Studienwahlprozessen berücksichtigt werden.

Für zukünftige Studien unter Studierenden erscheint es u.a. von Interesse durch eine Erweiterung der Studierenden im Physikstudium (ohne Lehramt) auch hier Zusammenhänge zwischen Geschlecht, Brain Type, individuellem Fachinteresse und Studienwahl zu prüfen. Zudem sollten neben den hier dargestellten quantitativen Daten auch qualitative Befunde zu Wahlmotiven erhoben und bei der Beschreibung sowie Analyse von Wahlprozessen beim Übergang von der Schule zur Hochschule einbezogen werden.

6. Literatur

- [1] Düchs, G. & Mecke, K. (2022). Ein Fokus auf dem Lehramt. Statistiken zum Physikstudium an den Universitäten in Deutschland 2022. *Physik Journal*, 21(8/9), 74-79.
- [2] Aeschlimann, B., Herzog, W., & Makarova, E. (2016). How to foster students' motivation in mathematics and science classes and promote students' STEM career choice. A study in Swiss high school. *International Journal of Educational Research*, 79, 31-41.
- [3] Van Tuijl, C., & van der Molen, J. H. W. (2016). Study choice and career development in STEM field: an overview and integration of the research. *International Journal of Technology and Design Education*, 26(2), 159-183.
- [4] Regan, E., & DeWitt, J. (2015). Attitudes, interest and factors influencing STEM enrolment behavior – an overview of relevant literature. In E. K. Henriksen, J. Dillon, & J. Ryder (eds.), *Understanding Student Participation and Choice in Science and Technology Education* (pp. 63-88). Dordrecht: Springer.
- [5] Korpershoek, H., Kuyper, H., Bosker, R., & van der Werf, G. (2013). Students leaving the STEM pipeline: an investigation of their attitudes and the influence of significant others on their study choice. *Research Papers in Education*, 28(4), 483-505.
- [6] Elster, D. (2014). First-Year Students' Priorities and Choices in STEM Studies – IRIS Findings from Germany and Austria. *Science Education International*, 25(1), 52-59.
- [7] Zeyer, A., & Wolf, S. (2010). Is There a Relationship between Brain Type, Sex and Motivation to Learn Science? *International Journal of Science Education*, 32(16), 2217-2233.
- [8] Zeyer, A., Bölsterli, K., Brovelli, D., & Odermatt, F. (2012). Brain Type or Sex Differences? A structural equation model of the relation between brain type, sex, and motivation to learn science. *International Journal of Science Education*, 34(5), 779-802.
- [9] Zeyer, A., Çetin-Dindar, A., Zain, A. N. M., Jurisėvič, M., Devetak, I., & Odermatt, F. (2013). Systemizing: A cross-cultural constant for motivation to learn science. *Journal of Research in Science Teaching*, 50(9), 1047-1067.
- [10] Baron-Cohen, S. (2002). The extreme male brain theory of autism. *Trends in Cognitive Sciences*, 6(6), 248-254.
- [11] Baron-Cohen, S., & Wheelwright, S. (2004). The Empathy Quotient: An Investigation of Adults with Asperger Syndrome or High Functioning Autism and Normal Sex Differences. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 34(2), 163-175.
- [12] Baron-Cohen, S., Richler, J., Bisarya, D., Guranathan, N., & Wheelwright, S. (2003). The Systemising Quotient (SQ): An investigation of adults with Asperger syndrome or high functioning autism and normal sex differences. *Philosophical Transactions of the Royal Society, Series B, Special issue on "Autism: Mind and Brain"*, 358(1430), 361-374.
- [13] Welberg, J., Laumann, D., & Heinicke, S. (2022). Empathisierendes oder systematisierendes Denken im Physikunterricht? Testentwicklung für Lernende der Sekundarstufe I. In H. Grötzebauch & S. Heinicke (Hrsg), *PhyDid B – Didaktik der Physik – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung* (S. 235-240). Verfügbar unter <https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phydid-b/article/view/1273/1484> (Stand 5/2023).
- [14] Wheelwright, S., Baron-Cohen, S., Goldenfeld, N., Delaney, J., Fine, D., Smith, R. et al. (2006). Predicting Autism Spectrum Quotient (AQ) from the Systemizing Quotient-Revised (SQ-R) and Empathy Quotient (EQ). *Brain Research*, 1079(1), 47-56.
- [15] Bergmann, A. (2020). Mathematisch-naturwissenschaftliches Fachinteresse durch Profilverricht fördern – Theoriebasierte Evaluation eines Thüringer Schulversuchs in der Sekundarstufe I. Dissertation. Universität Leipzig.
- [16] Cohen, J. (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Publishers.

Identitätsaushandlungen von Schüler*innen zu MINT im Anfangsunterricht

Lisa-Marie Christ*, Olaf Krey*, Frederik Bub⁺, Thorid Rabe⁺

*Universität Augsburg, ⁺Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
lisamarie.christ@physik.uni-augsburg.de

Kurzfassung

Wie positionieren sich Schüler*innen in Bezug auf Naturwissenschaften und wie prägt der Anfangsunterricht das Verhältnis zu Physik und Chemie? Das BMBF-geförderte Forschungsprojekt Ident-MINT untersucht während des Anfangsunterrichts in den Fächern Physik und Chemie über zwei Schuljahre hinweg Identitätsaushandlungen und Zugänge von Schüler*innen zu den Naturwissenschaften. In längsschnittlich angelegten quantitativen und qualitativen Erhebungen wird herausgearbeitet, wie Schüler*innen ihre MINT-Identitäten konstruieren, sich zu Naturwissenschaften positionieren und wie sich einzelne Aspekte von MINT-Identitäten während des Fachunterrichts entwickeln. Ziel ist es, besser zu verstehen, inwiefern die Phase des naturwissenschaftlichen Anfangsunterrichts prägend für die weiteren (naturwissenschaftlichen) Bildungswege ist. In einer ersten Fragebogenerhebung in den sechsten Klassen an fünf Gymnasien in Sachsen-Anhalt wurden dazu unter anderem naturwissenschaftsbezogene Einstellungen, Interessen, Selbstkonzept und Selbstwirksamkeitserwartungen als Indikatoren auf die eigene (MINT-) Identität erhoben.

1. Einleitung

Naturwissenschaftliche Bildungsakteur*innen sehen sich vor der Herausforderung, dass Naturwissenschaften von Schüler*innen einerseits als interessant und relevant angesehen werden, aber gleichzeitig auch als „nichts für mich“ zurückgewiesen werden (Archer et al., 2010, S. 636), so ein zentraler Befund der internationalen Forschung zu Science Education. Aus Identitätsperspektive kann diese Herausforderung als ein Spannungsverhältnis zwischen „doing science“ (positive Wahrnehmung und Freude an Naturwissenschaften und naturwissenschaftlichem Arbeiten) und „being a scientist“ (Vorstellung der eigenen Person als Naturwissenschaftler*in) aufgefasst werden (Archer et al., 2010, S. 621). Neben dem Fokus auf naturwissenschaftliche Kompetenz werden in der PISA-Studie von 2015 auch motivationale Orientierungen, Selbstbilder und Berufserwartungen von Jugendlichen hinsichtlich Naturwissenschaften erfasst. Diese werden als relevante Grundlage angesehen, um sich auch außerhalb von Schule und Unterricht mit Naturwissenschaften zu beschäftigen, diesen aufgeschlossen zu begegnen und naturwissenschaftliche Bildungswege nicht auszuschließen (Schiepe-Tiska et al., 2016, S. 100). Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass Jugendliche in Deutschland den Naturwissenschaften wenig Bedeutung für ihre persönliche Zukunft beimessen und zugleich auch die naturwissenschaftlichen Selbstwirksamkeitserwartungen gering ausgeprägt sind, wobei der Gendergap besonders deutlich ausfällt (Schiepe-Tiska et al., 2016, S. 113f.). Das Bild von Naturwissenschaften und insbesondere das Bild von Physik als männlich geprägte, schwierige und heteronorme Disziplin ist häufig inkompatibel mit dem Selbstbild von Jugendlichen (Kessels et

al., 2006, S. 762f.). Des Weiteren gilt die Pubertät als wichtige Phase der Identitätsarbeit, in welcher Geschlechterrollen bzw. Gender (neu) verhandelt und erprobt werden (Schreiner & Sjøberg, 2007) und Genderidentitäten so mit weiteren Identitäten, beispielsweise einer sich entwickelnden MINT-Identität bzw. verschiedenen MINT-Identitäten in Konflikt treten können (Brickhouse et al., 2000, S. 444). Durch die Interaktion mit anderen Personen, vorwiegend sogenannten „signifikanten Personen“ wie Eltern, Peers und Lehrkräfte, Einflüsse der sozialen und kulturellen Umwelt sowie eine Verengung des Curriculums, nehmen Identitätsaushandlungen häufig erst nach der vierten Klassenstufe problematische Verläufe, z.B. hinsichtlich Bildungsgerechtigkeit, Chancengleichheit und sozialer Gerechtigkeit (Carlone et al., 2014, S. 859). Andererseits werden Ideen darüber „who does science“ von Schüler*innen bereits in einem frühen Alter entwickelt und diese sind stark von den Familien und Schulerfahrungen geprägt (DeWitt & Archer, 2015, S. 2187). Inwiefern auch außerschulische MINT-Erfahrungen zur Positionierung von Schüler*innen bezüglich Naturwissenschaften beitragen und Zugänge zu Naturwissenschaften ermöglichen oder beeinflussen, ist bisher noch uneindeutig (DeWitt et al., 2011; Hazari et al., 2022; Lock et al., 2019).

Diese Erkenntnisse der internationalen Forschung im Bereich Science Education deuten darauf hin, dass die Zugänge zu den Naturwissenschaften und damit einhergehende (naturwissenschaftliche) Bildungswege nicht nur von strukturellen Bedingungen geprägt sind, sondern auch von den Identitätsaushandlungen der Schüler*innen beeinflusst werden: „We need to know how students engage in

science and how this is related to who they are and who they want to be“ (Brickhouse, 2001, S. 286).

Die Identitätsperspektive ermöglicht folglich einen ganzheitlichen Zugang, um besser zu verstehen, wie Schüler*innen den Naturwissenschaften und dem naturwissenschaftlichen Anfangsunterricht (speziell in Physik und Chemie) begegnen.

2. Das Forschungsprojekt IdentMINT

2.1. Annäherung an den Identitätsbegriff

In einer ersten Annäherung wird Identität im Forschungsprojekt IdentMINT als das Bild bzw. die Vorstellungen und das Wissen einer Person von sich selbst verstanden, wobei diese Selbstwahrnehmung prinzipiell nur einen Ausschnitt der Identität einer Person abbilden kann und vorläufig bleibt (Rabe & Krey, 2018). Identität besitzt somit einen prozessoralen Charakter und wird immer wieder neu verhandelt und hergestellt.

Die Identität einer Person, konkret von Schüler*innen im naturwissenschaftlichen Anfangsunterricht, wird in Anlehnung an Hazari et al. (2010) aus den Dimensionen Persönliche Identität, Soziale Identität und MINT-Identität gebildet. Individuelle Aspekte, Eigenschaften und Erfahrungen werden als Teil der Persönlichen Identität angesehen, wohingegen gruppenorientierte Aspekte und gemeinsame Erfahrungen auf die Soziale Identität wirken. Diese Aspekte und Identitätsdimensionen stehen mit kontext- und rollenorientierten Aspekten, Erwartungen und Wahrnehmungen in Verbindung, die Facetten einer MINT-Identität abbilden können (Hazari et al., 2010, S. 982f.). Die Identitätsdimensionen bedingen sich gegenseitig und wechselwirken miteinander.

Zentrale Indikatoren für Ausprägungen von Physik-Identitäten bei Schüler*innen sind bei Hazari et al. (2010, S. 982) „competence“ (Überzeugung physikalische Inhalte zu verstehen), „performance“ (Überzeugung physikalische Aufgabenstellungen erfolgreich bearbeiten zu können), „recognition“ (Anerkennung als physikaffine Person) und „interest“ (Bedürfnis über Physik nachzudenken und Physik zu verstehen).

2.2. Forschungsfragen

Die Gesamtkonzeption des Forschungsprojekts IdentMINT orientiert sich an den folgenden Forschungsfragen:

- Wie konstruieren Schülerinnen und Schüler ihre MINT-Identität(en) im Anfangsunterricht der Fächer Physik und Chemie?
- Wie verändern sich einzelne Aspekte von MINT-Identitäten (speziell: Physik und Chemie) in der Phase des Anfangsunterrichts?
- Wie werden Genderidentitäten und (potentielle) MINT-Identitäten aufeinander bezogen und miteinander verhandelt?

- Welche Strategien für eine Vernetzung einzelner MINT-Fächer im Sinne einer übergreifenden MINT-Perspektive lassen sich aus den beobachteten Identitätsaushandlungen Lernender gemeinsam mit den Akteur*innen der inner- und außerschulischen MINT-Bildung ableiten?

2.3. Überblick über die Projektstruktur

Aus den Forschungsfragen und unter Berücksichtigung des Identitätsbegriffs leiten sich die Struktur und das methodische Vorgehen des Projektes her. Im Sinne eines Mixed-Methods-Zugangs mit Transfer der Befunde in die Praxis ergeben sich die drei Teilprojekte „Quantitative Fragebogenerhebung“ (Teilprojekt 1), „Qualitative Interviewstudie“ (Teilprojekt 2) und der „Theorie-Praxis-Transfer im Rahmen von Workshops“ (Teilprojekt 3).

Der quantitative Zugang fokussiert auf Konstrukte, die als Indikatoren für MINT-Identitäten angesehen werden (vgl. 2.1. und 2.3.2.). Obwohl damit nur Facetten von MINT-Identitäten in den Blick genommen werden können, ermöglicht der Rekurs auf diese Konstrukte die Anschlussfähigkeit an bisherige fachdidaktische Forschung (Rabe & Krey, 2018, S. 205). Die quantitative Fragebogenerhebung wird durch leitfadengestützte Interviews ergänzt. Mit dieser qualitativen methodischen Orientierung wird ein Perspektivwechsel hin zur Subjektebene vollzogen, in der Identitätsarbeit narrativ konzipiert ist und durch Prozesse der Introspektion, der Selbstreflexion und durch soziale Vergleiche rekonstruiert werden kann (Archer & DeWitt, 2015). In Workshops mit Akteur*innen der inner- und außerschulischen MINT-Bildung werden im weiteren Projektverlauf die Ergebnisse der Erhebung vorgestellt, diskutiert und als Grundlage herangezogen, um Handlungsmöglichkeiten für eine identitätssensible Verknüpfung der inner- und außerschulischen MINT-Bildung zu entwickeln. Zudem erhalten die beteiligten Schulen die Möglichkeit Kooperationen mit außerschulischen Lernorten aufzubauen oder bereits bestehende Kooperationen zu verstetigen.

2.3.1. Erhebungsdesign

Das längsschnittliche Erhebungsdesign der Fragebogen- und Interviewstudie greift den prozessoralen Charakter von Identitätsaushandlungen auf. Die Fragebogenerhebungen (FB) werden innerhalb von zwei Schuljahren zu drei Erhebungszeitpunkten (EHZ) an Schulen im Raum Halle (Saale) (SAN) und im Raum Augsburg (BAY) durchgeführt (vgl. Abb.1).

Um den naturwissenschaftlichen Anfangsunterricht in den Fächern Physik und Chemie in den jeweiligen Bundesländern abzubilden, werden in Sachsen-Anhalt die Schüler und Schülerinnen (SuS) in den Jahrgangsstufen sechs und sieben befragt, in Bayern hingegen die Schüler und Schülerinnen (SuS) der Jahrgangsstufen sieben und acht bei naturwissenschaftlicher Zweigwahl bzw. der Jahrgangsstufen acht und neun bei nicht-naturwissenschaftlicher Zweigwahl.

Die gewählte Ausbildungsrichtung bestimmt in Bayern das Einsetzen des Chemieunterrichts in der Jahrgangsstufe acht oder neun.

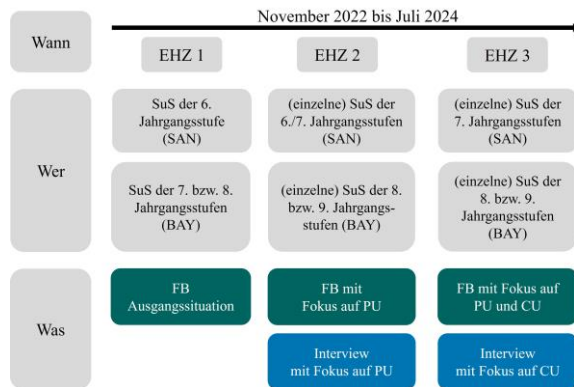


Abb.1: Überblick über das Erhebungsdesign.

Die zwei leitfadengestützten Interviews ergänzen die Fragebogenerhebungen, wobei der Fokus des ersten Interviews auf den Physikunterricht (PU) der Schüler*innen gerichtet ist und das zweite Interview am Ende des Erhebungszeitraums den Chemieunterricht (CU) beleuchtet.

2.3.2. Erhebungsinstrumente

Um die Forschungsfragen zu beantworten, werden den Schüler*innen in den Fragebogenerhebungen Fragen zu schulbezogenen Selbstwirksamkeitserwartungen hinsichtlich der Fächer Physik, Chemie und Biologie gestellt. Die Skalen wurden Jerusalem und Satow (1999) entnommen. Zusätzlich werden die Schüler*innen zu wahrgenommenen Einstellungen von Eltern und Peers bezüglich Naturwissenschaften, außerschulischen naturwissenschaftlichen Aktivitäten (auch mit den Eltern) und zum wahrgenommenen Bild von Personen mit naturwissenschaftlichen Berufen befragt. Des Weiteren werden Fragen zur Wahrnehmung des Physik- bzw. Chemieunterrichts, dem Interesse an Physik/Chemie, positiven Aspekten und Verbesserungswünschen bzgl. des Physik- bzw. Chemieunterrichts, zur Selbsteinschätzung von Leistung und Interesse in den beiden Fächern im sozialen Vergleich mit Mitschüler*innen und zur Wahrnehmung der entsprechenden Fachlehrkraft gestellt. Die Skalen dieser Inhaltsbereiche entstammen der ASPIRES-Studie und wurden teilweise adaptiert (ASPIRES, 2016).

Die leitfadengestützten Interviews mit einzelnen Schülerinnen und Schülern ergänzen die Fragebogenerhebungen auch thematisch und fokussieren auf konkrete Situationen, Interessen und Erlebnisse, die die Schüler*innen mit Physik/Chemie bzw. dem jeweiligen Unterricht verbinden. Welche Gemeinsamkeiten und Unterschiede zu anderen Fächern und zwischen den MINT-Fächern den Schüler*innen auffallen und wie sie jüngeren Schüler*innen erklären würden, was Physik- bzw. Chemieunterricht auszeichnet, ist ebenso Gegenstand der Interviews. Außerdem

können die Schüler*innen ihre Einstellungen und Positionierung zu Naturwissenschaften, naturwissenschaftlichen Aktivitäten und außerschulischen MINT-Angeboten im Gespräch verdeutlichen. Zusätzlich werden die Schüler*innen auch darüber befragt, mit welchen Personen sie sich aus ihrem Umfeld über Naturwissenschaften und den naturwissenschaftlichen Unterricht austauschen und wie sie die Fachlehrkräfte im Unterricht erleben.

3. Einblick in vorläufige Befunde der quantitativen Fragebogenerhebung in Sachsen-Anhalt

Dargestellt werden soll hier eine Auswahl erster vorläufiger Befunde zur schulbezogenen Selbstwirksamkeitserwartung in und zum Interesse an Physik. Die Ergebnisse stützen sich auf Erhebungen in den sechsten Klassen von fünf Gymnasien im Raum Halle (Saale) ($n=258$, davon 52% weiblich). Die Schüler*innen nahmen freiwillig und mit Einverständnis der Erziehungsberechtigten an der Befragung teil.

Die schulbezogenen Selbstwirksamkeitserwartungen (SWE) wurden für die Fächer Physik (SWEPhy) und Biologie (SWEBio) über die Skalen nach Jerusalem und Satow (1999) erhoben (Beispielitem: „Ich kann auch die schwierigen Aufgaben in Physik lösen, wenn ich mich anstreng“; sechsstufige Likert-Skala: trifft gar nicht zu=0... trifft genau zu=5). Die aus jeweils sechs Items bestehenden Skalen weisen eine hohe Reliabilität auf (SWEPhy $\alpha=.873$; SWEBio $\alpha=.865$). Es wurde ein signifikanter Unterschied zwischen den Selbstwirksamkeitserwartungen der männlichen und weiblichen Schüler*innen in Bezug auf Physik mit mittlerer Effektstärke ($p<.001$; $d=0.52$) gefunden. Dieser geschlechterspezifische Unterschied trat bei den Selbstwirksamkeitserwartungen in Bezug auf Biologie nicht auf (vgl. Abb.2).

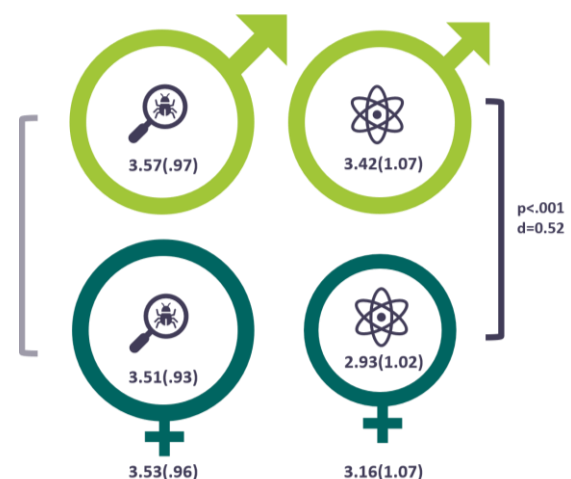


Abb.2: Mittelwerte der berichteten Selbstwirksamkeitserwartungen in Bezug auf Biologie (links) und auf Physik (rechts) unterschieden nach Geschlecht (männlich: oben; weiblich: unten). Sechsstufige Likert-Skala (0=trifft gar nicht zu...5=trifft genau zu).

Auch in Bezug auf das Interesse an Physik zeigen sich signifikante, geschlechtsspezifische Unterschiede (vgl. Abb.3 oben). Zudem wurde analysiert, inwiefern die Beschäftigung mit naturwissenschaftlichen und technischen Themen gemeinsam mit den Eltern mit dem Interesse an Physik zusammenhängt.

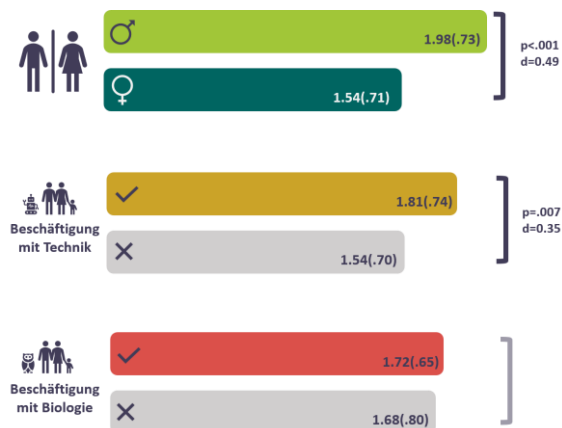


Abb.3: Mittelwerte des Interesses an Physik erhoben mit einer vierstufigen Likert-Skala (0=stimme überhaupt nicht zu...3=stimme völlig zu). Oben: signifikante Unterschiede nach Geschlecht; Mitte: signifikante Unterschiede zwischen Personen, die angeben sich mit den Eltern häufiger mit technischen Themen zu beschäftigen, und denen, die sich nicht mit technischen Themen beschäftigen; Unten: keine signifikanten Unterschiede in Bezug auf die thematische Beschäftigung mit biologischen Themen.

Die häufigste Nennung von Themen, die mit Eltern besprochen werden, sind Technik (58%), Biologie (46%) und Physik (37%). Weniger Nennungen erhielten die Themenbereiche Astronomie (25%) und Chemie (25%), wobei hier immer noch etwa ein Viertel der Befragten angegeben hat, sich öfter gemeinsam mit den Eltern zu diesen Themen auszutauschen. Bei Beschäftigung mit physikalischen, chemischen, astronomischen und technischen Themen konnte ein signifikant höheres Interesse an Physik festgestellt werden (vgl. exemplarisch für Technik in Abb.3 in der Mitte). Nur zwischen Schüler*innen, die sich mit den Eltern häufiger mit biologischen Themen beschäftigen, und denen, die dies nicht tun, konnten keine Unterschiede in Bezug auf das Interesse an Physik festgestellt werden.

4. Ausblick

Im nächsten Schritt werden am Standort Bayern Fragebogendaten zum Erhebungszeitpunkt eins erhoben, sodass das Sample insgesamt vergrößert und auch ein querschnittlicher Vergleich zwischen den Bundesländern ermöglicht wird. Darüber hinaus wird gerade eine qualitative Analyse der offenen Antworten im Fragebogen zu Aspekten des Physikunterrichts durchgeführt. Die in den vorläufigen Befunden ange deuteten Analyseperspektiven sollen im Folgenden vertieft werden und schließlich ergänzt werden durch längsschnittliche Daten sowie qualitative Daten aus den beschriebenen Interviews, um so ein fundiertes

Verständnis der Identitätsarbeit von Schüler*innen im naturwissenschaftlichen Anfangsunterricht zu erhalten.

5. Weitere Informationen

Das Forschungsprojekt „Identitätsaushandlungen zu MINT im Kontext von naturwissenschaftlichem Anfangsunterricht“ (IdentMINT) wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert und ist ein Verbundprojekt der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg und der Universität Augsburg. Die Förderkennzeichen von IdentMINT lauten: 16MF1021A und 16MF1021B.

6. Literatur

- Archer, L., & DeWitt, J. (2015). Science Aspirations and Gender Identity: Lessons from the ASPIRES Project. In E. K. Henriksen, J. Dillon, & J. Ryder (Eds.), *Understanding Student Participation and Choice in Science and Technology Education* (pp. 89-102). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-007-7793-4_6
- Archer, L., DeWitt, J., Osborne, J., Dillon, J., Willis, B., & Wong, B. (2010). “Doing” science versus “being” a scientist: Examining 10/11-year-old schoolchildren’s constructions of science through the lens of identity. *Science Education*, 94(4), 617-639. <https://doi.org/10.1002/sc.20399>
- ASPIRES. (2016). Skalen aus der ASPIRES-Studie (<https://www.ucl.ac.uk/ioe/departments-and-centres/departments/education-practice-and-society/aspires-research>). *Erhalten im Rahmen einer Emailkorrespondenz mit Jennifer DeWitt, King’s College London*. (13.09.2016).
- Brickhouse, N. W. (2001). Embodying science: A feminist perspective on learning. *Journal of Research in Science Teaching*, 38(3), 282-295.
- Brickhouse, N. W., Lowery, P., & Schultz, K. (2000). What Kind of a Girl Does Science? The Construction of School Science Identities. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(5), 441-458. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-2736\(200005\)37:5%3C441::AID-TEA4%3E3.0.CO;2-3](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-2736(200005)37:5%3C441::AID-TEA4%3E3.0.CO;2-3)
- Carlone, H. B., Scott, C. M., & Lowder, C. (2014). Becoming (less) scientific: A longitudinal study of students’ identity work from elementary to middle school science. *Journal of Research in Science Teaching*, 51(7), 836-869. <https://doi.org/10.1002/tea.21150>
- DeWitt, J., & Archer, L. (2015). Who Aspires to a Science Career? A comparison of survey responses from primary and secondary school students. *International Journal of Science Education*, 37(13), 2170-2192. <https://doi.org/10.1080/09500693.2015.1071899>

- DeWitt, J., Archer, L., Osborne, J., Dillon, J., Willis, B., & Wong, B. (2011). High aspirations but low progression: The science aspirations–careers paradox amongst minority ethnic students. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 9(2), 243-271.
<https://doi.org/10.1007/s10763-010-9245-0>
- Hazari, Z., Dou, R., Sonnert, G., & Sadler, P. M. (2022). Examining the relationship between informal science experiences and physics identity: Unrealized possibilities. *Physical Review Physics Education Research*, 18(1), 010107.
<https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.18.010107>
- Hazari, Z., Sonnert, G., Sadler, P. M., & Shanahan, M.-C. (2010). Connecting high school physics experiences, outcome expectations, physics identity, and physics career choice: A gender study. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(8), 978-1003.
<https://doi.org/10.1002/tea.20363>
- Jerusalem, M., & Satow, L. (1999). Schulbezogene Selbstwirksamkeitserwartung (WIRKSCHUL). In R. Schwarzer & M. Jerusalem (Eds.), *Skalen zur Erfassung von Lehrer- und Schülermerkmalen. Dokumentation der psychometrischen Verfahren im Rahmen der Wissenschaftlichen Begleitung des Modellversuchs Selbstwirksame Schulen* (pp. 15-17). o.A.
- Kessels, U., Rau, M., & Hannover, B. (2006). What goes well with physics? Measuring and altering the image of science. *British Journal of Educational Psychology*, 76(4), 761-780.
<https://doi.org/10.1348/000709905X59961>
- Lock, R. M., Hazari, Z., & Potvin, G. (2019). Impact of out-of-class science and engineering activities on physics identity and career intentions. *Physical Review Physics Education Research*, 15(2), 020137.
<https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.15.020137>
- Rabe, T., & Krey, O. (2018). Identitätskonstruktionen von Kindern und Jugendlichen in Bezug auf Physik – Das Identitätskonstrukt als Analyseperspektive für die Physikdidaktik? *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 24(1), 201-216.
<https://doi.org/10.1007/s40573-018-0083-x>
- Schiepe-Tiska, A., Simm, I., & Schmidtner, S. (2016). Motivationale Orientierungen, Selbstbilder und Berufserwartungen in den Naturwissenschaften in PISA 2015. In K. Reiss, C. Sälzer, A. Schiepe-Tiska, E. Klieme, & O. Köller (Eds.), *PISA 2015. Eine Studie zwischen Kontinuität und Innovation* (pp. 99-132). Waxmann.
- Schreiner, C., & Sjøberg, S. (2007). Science education and youth's identity construction-two incompatible projects? In D. Corrigan, J. Dillon, & R. Gunstone (Eds.), *The re-emergence of values in science education* (pp. 231-247). Brill.

Labs on Tour

- MINT-Angebote im Nachmittags- und Freizeitbereich -

Maria Hinkelmann*, Heidrun Heinke*, Tobias Winkens*

*I. Physikalisches Institut IA, RWTH Aachen University
Sommerfeldstraße 14, 52074 Aachen
hinkelmann@physik.rwth-aachen.de

Kurzfassung

Mit dem Projekt Labs on Tour bringt die RWTH Aachen University in Kooperation mit der Städte-Region Aachen MINT-Angebote in den Nachmittags- und Freizeitbereich. Hierfür entstehen möglichst ansprechende und niederschwellige vierwöchige Kurse mit jeweils 90-minütigen Einheiten pro Woche, welche im Regelfall nachmittags in Schulen in der StädteRegion Aachen umgesetzt werden. Der Fokus liegt dabei nicht auf dem fachlichen Wissen, sondern darauf die Schüler:innen für MINT-Themen zu motivieren, ihnen Freude an Naturwissenschaften zu vermitteln und dabei Hemmschwellen und Vorurteile abzubauen. Die inhaltliche Grundlage für die Kurse bilden die vielfältigen Materialien der Schülerlabore der RWTH Aachen. Durchgeführt werden die Kurse in halbjährigen MINT-AGs direkt an den Schulen. Pro Halbjahr werden drei Kurse zu unterschiedlichen MINT-Themen eingesetzt, sodass die Schüler:innen ein vielfältiges und abwechslungsreiches Angebot kennenlernen. Um die Kurse so gut wie möglich auf die Interessen der Schüler:innen abzustimmen, wurde zu verschiedenen Gelegenheiten ein Brainstorming zu den Inhalten und Rahmenbedingungen der Kurse mit Schüler:innen durchgeführt. Im Beitrag werden das Konzept und erste Erfahrungen bei der Umsetzung des sehr gut angelaufenen Projekts erläutert.

1. Motivation

Die Interessen von Schüler:innen können großen Einfluss auf ihren Bildungsweg sowie ihre weitere Zukunft haben. Somit ist es sinnvoll bereits bei der Konzipierung von schulischen und außerschulischen Angeboten auf die verschiedenen Einflussfaktoren auf die Entwicklung von Interesse zu achten (vgl. Krüger et. al., 2014, S. 249). In Untersuchungen kann ein positiver Interessenseffekt sowie eine durch Interesse angeregte höhere Lernleistung nachgewiesen werden (vgl. Krapp, 1992, S. 756 & S. 758). Weiterhin kann Interesse die Auswahl von Lernmöglichkeiten sowie den grundlegenden Einsatz in Lernsituationen beeinflussen. Ist ein Individuum an einem Inhalt interessiert, zeigt es eine höhere Anstrengungs- und Lernbereitschaft und verarbeitet die Lerninhalte auf einer qualitativ hochwertigeren Ebene (vgl. Fischer et al., 2020, S. 16).

Ein Rückgang des Interesses kann im Verlaufe der Sekundarstufe I besonders ausgeprägt im Bereich MINT (Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften, Technik) beobachtet werden (vgl. Krapp, 1992, S. 756 f.). Nach Krapp äußert sich Interesse besonders

darin, dass sich ein Individuum wiederholt und ohne äußere Veranlassung mit einem Interessensgegenstand beschäftigt. Es bildet somit langfristig einen wesentlichen Teil des Selbstkonzepts des Individuums (vgl. ebd., S. 749). Hidi und Renninger (2006) unterteilen die Entwicklung des Interesses in vier aufeinanderfolgende Phasen (siehe Abb. 1). Zunächst muss die Aufmerksamkeit des Individuums beispielsweise durch eine Lernumgebung oder eine andere Person geweckt werden (Phase 1: „triggered situational interest“). Die Abwechslung vom regulären Unterricht sowie soziale Interaktionen sind in dieser Phase von Bedeutung. Dafür können beispielsweise Gruppenarbeiten, Denkspiele oder Arbeit am Computer eingesetzt werden (vgl. Krüger et. al., 2014, S. 253). Wenn das Interesse aufrechterhalten wird, fällt dies in die zweite Phase der Interessensentwicklung („maintained situational interest“). Die Schüler:innen spüren glückliche Gefühle und setzen sich mit dem Inhalt auseinander, sodass eine positive Assoziation mit diesem entsteht (vgl. ebd. S. 253). Die dritte Phase („emerging individual interest“) ist dann erreicht, wenn das Individuum sich wiederholt und ohne äußere Anregung mit dem Inhalt beschäftigt. In

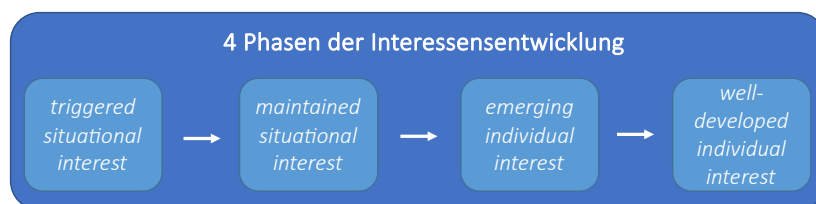


Abb.1: Die vier Phasen der Interessensentwicklung nach Hidi und Renninger, 2006. Quelle: Eigene Abbildung.

dieser Phase verfügt es bereits über eigenes Wissen und erachtet den Interessensgegenstand als persönlich wertvoll (vgl. ebd. S. 253). In der letzten Phase („well-developed individual interest“) ist das Individuum bereit sich trotz Herausforderungen mit dem Inhalt zu beschäftigen und dabei Widrigkeiten in Kauf zu nehmen. Mittlerweile verfügt die Person über ein umfangreiches Wissen und tauscht sich gerne mit anderen aus (vgl. ebd. S. 253 f.).

In Naturwissenschaften kann Interesse im schulischen Kontext in das Fach- und das Sachinteresse eingeteilt werden. Fachinteresse beschreibt das Interesse am ganzen Schulfach, während Sachinteresse sich in drei Kategorien unterteilen lässt (vgl. ebd., S. 249). Die erste Kategorie ist das Interesse an einem naturwissenschaftlichen Themengebiet wie beispielsweise Magnetismus, Verbrennung oder Gesundheit. Die zweite Kategorie beschreibt das Interesse an einem Kontext, in dem ein naturwissenschaftlicher Inhalt eingebettet ist. Beispiele dafür sind Einsatz des Magnetismus in medizinischen Geräten, Verbrennung in Alltagssituationen oder gesunde Ernährung. Die letzte Kategorie beinhaltet das Interesse an einer bestimmten naturwissenschaftlichen Tätigkeit wie die Recherche über die Funktionsweise der Magnetresonanztomographie, die Planung eines Experiments zur Identifikation des Brennstoffs in Kerzen oder die Bestimmung des Nährwerts bestimmter Lebensmittel (vgl. ebd., S. 249). Bezüglich geschlechts- und altersspezifischer Interessensunterschiede ergaben verschiedene Studien, dass jüngere Schüler:innen besonderes Interesse an Astrophysik, Zoologie sowie technischen Themen zeigen (vgl. Baram-Tsabari und Yarden, 2005, zit. nach Krüger et al., 2014, S. 249 f.). In der ROSE-Studie (Schreiner 2006; Schreiner und Sjøberg, 2007, zit. nach Krüger et al., 2014, S. 250) wurde bei Jungen vorrangig Interesse an Gefahren im Umgang mit Naturwissenschaften und Technik festgestellt, während Mädchen sich eher für den menschlichen Körper und Gesundheitsaspekte interessierten.

2. Projektidee

Das Projekt Labs on Tour ist Teil des Verbundvorhabens „MINT-Cluster für die StädteRegion Aachen – MINTplus“, das im Rahmen der BMBF-Fördermaßnahme „Regionale Cluster für MINT-Bildung von Jugendlichen“ im Herbst 2022 gestartet ist. Dessen Ziel ist es durch eine Kooperation der RWTH Aachen University, des Bildungsbüros der StädteRegion Aachen sowie der Vereinigten Unternehmerverbände VUV Aachen MINT-Angebote in den Freizeit- und Nachmittagsbereich von Jugendlichen zwischen 10 und 16 Jahren zu bringen.

Bei Labs on Tour wird das existierende vielfältige Angebot der diversen Schülerlabore der RWTH Aachen gesichtet, mobil gemacht und in Form von vierwöchigen Kursen mit jeweils 90-minütigen Einheiten pro Woche in die Schulen gebracht. Der Fokus soll dabei nicht exklusiv auf dem fachlichen Wissen

liegen, sondern darauf die Schüler:innen für MINT-Themen zu motivieren, ihnen Freude an Naturwissenschaften zu vermitteln und dabei Hemmschwellen abzubauen. Im Sinne des beschriebenen Modells zur Interessenentwicklung (Abb. 1) ist das Projekt damit in den ersten Phasen des Modells verortet.

Durch die Durchführung der Angebote an den Schulen der Teilnehmenden ergeben sich für diese kurze Wege und für die Schulen ein niedriger Aufwand bei der Umsetzung. Damit soll das Angebot nicht nur inhaltlich, sondern auch organisatorisch möglichst niederschwellig gestaltet werden. Die Schulen stellen lediglich die Räumlichkeiten, einen festen Ansprechpartner unter den Lehrkräften (bzw. Referendar:innen) und sorgen für eine Aufsichtsperson während der Kurszeiten. Die Organisation und Durchführung werden durch Mitarbeiter:innen und studentische Hilfskräfte der Universität übernommen.

3. Konzept der Umsetzung in MINT-AGs

Durchgeführt werden die Kurse in dafür ins Leben gerufenen „MINT-AGs“ an den Schulen, in denen mehrere der vierwöchigen Kurse aus unterschiedlichen Themenbereichen aufeinanderfolgend durchgeführt werden. Die Schüler:innen melden sich somit nicht in einer fachspezifischen AG zu einem eingegrenzten Themenspektrum aus dem MINT-Bereich bei einer einzelnen Lehrkraft an. Stattdessen erhalten sie ein breites, niederschwelliges Angebot zu unterschiedlichen MINT-Themen, um sich bei der Beschäftigung mit den diversen Themen auszuprobieren. Je nach Fach wird dieses Angebot von anderen Studierenden durchgeführt. Durch die Kurslaufzeit von vier Wochen ist es den Schüler:innen möglich sich tiefer mit den Themen zu beschäftigen sowie bereits eine Bindung zu den Kursleiter:innen aufzubauen und gleichzeitig innerhalb eines Halbjahres verschiedene Themenbereiche kennenzulernen. Die wechselnden studentischen Betreuer aus verschiedenen Fachbereichen können zusätzlich zur Vermittlung der Kursinhalte auch realistische Einblicke in unterschiedliche Studiengänge und mögliche berufliche Orientierungen geben.

Die teilnehmenden Schüler:innen besuchen die 7. bis 9. Jahrgangsstufe (typischerweise die Jahrgangsstufe 7 und 8) und sind somit sowohl klassenübergreifend als auch jahrgangsstufenübergreifend durchmischte. Die Kurstage werden in Abstimmung mit den Schulen festgelegt.

Da es im Schulalltag immer wieder zu planbaren, aber auch unvorhergesehenen Ausfällen kommen kann, werden bewusst „Pufferwochen“ eingeplant, die frei im Kurszeitraum eingesetzt werden können. Somit wird gewährleistet, dass ein vierwöchiger Kurs in Gänze stattfinden kann und nicht durch Feiertage, Studientage, Klassenfahrten oder Ähnliches einzelne Termine ausfallen müssen. Bei Bedarf werden nicht benötigte Pufferwochen-Termine von der betreuenden Lehrkraft gestaltet. In Abb. 2 wird das Konzept

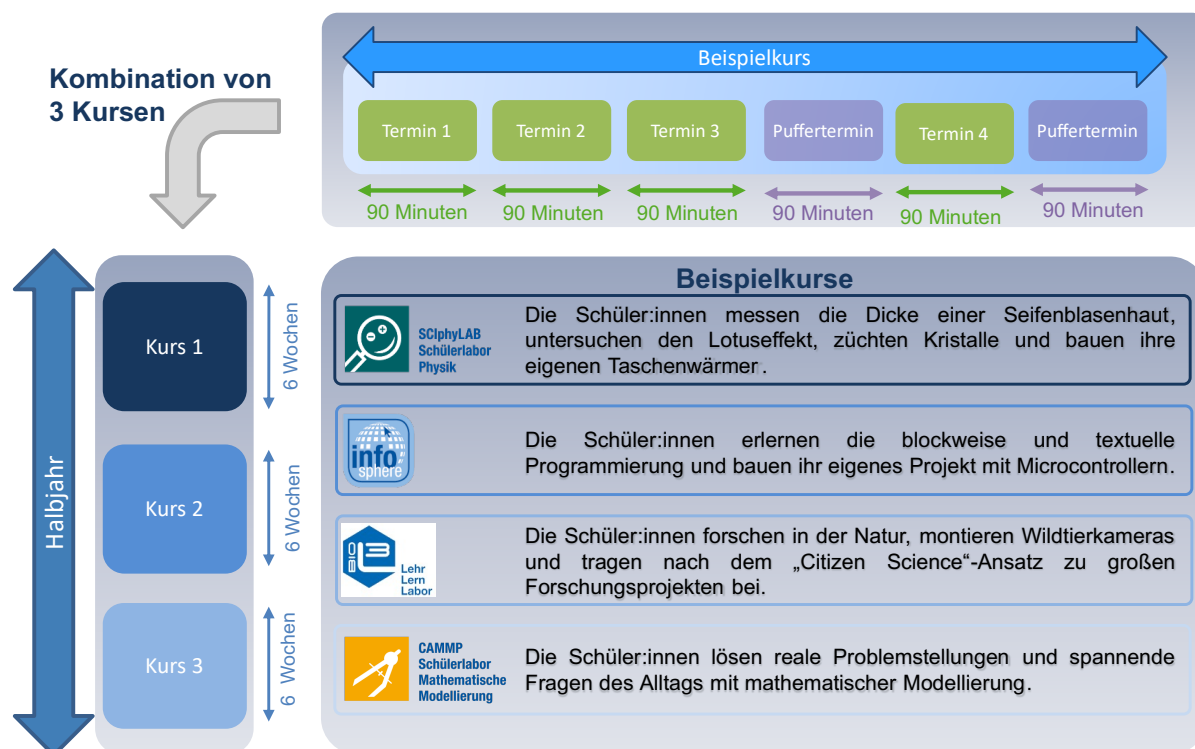


Abb.2: Konzept der MINT-AG und ausgewählte Beispielkurse von Labs on Tour. Die AG enthält pro Halbjahr drei Kurse aus verschiedenen Fachgebieten. Die Kurse bestehen jeweils aus vier Terminen mit 90-minütigen Einheiten und werden in sechswöchigen Slots eingesetzt. Dadurch entstehen pro Kurszeitraum zwei Puffertermine, die beispielsweise Feiertage oder weitere Schulausfälle kompensieren sollen. Quelle: Eigene Abbildung.

der MINT-AG visualisiert sowie eine Auswahl an Beispielkursen vorgestellt.

Jeder Kursblock umfasst demnach sechs Wochen und enthält einen vierwöchigen Kurs mit einem festen Thema. Da ein Schulhalbjahr durchschnittlich aus 20 Wochen besteht und die AGs aus organisatorischen Gründen erst zwei Wochen nach den Ferien beginnen bzw. zwei Wochen vor den Ferien enden, lassen sich somit in einem Schulhalbjahr drei Kurse in jeweils sechswöchigen Slots unterbringen.

4. Inhalt der Kurse

Die Grundlage für die Kurse bilden die bereits entwickelten und erprobten Materialien der Schülerlabore der RWTH Aachen. Diese müssen zunächst gesichtet und gegebenenfalls so angepasst werden, dass sie transportabel sind und in viermal 90 Minuten umgesetzt werden können. Durch dieses Vorgehen ist es möglich schnell ein vielfältiges und gut erprobtes Angebot bereitstellen zu können. Ein kurzer Überblick über die teilnehmenden Partner:innen und die Inhalte der Kurse wird in Kapitel 4.1. gegeben. Dabei bietet das Projekt aber auch den Freiraum, neue Kurse und Themen zu erschließen und dabei besonders auf die Interessen und Wünsche der Schüler:innen einzugehen. Solche Interessen und Wünsche wurden bei mehreren Gelegenheiten in Brainstormings mit Schüler:innen eruiert, wie in Kapitel 4.2. näher erläutert wird.

4.1. Kurse auf Grundlage der Schülerlabormaterialien

Zunächst wurden von verschiedenen Schülerlaboren gut erprobte und leicht in dem beschriebenen Kursformat umzusetzende Inhalte ausgewählt, um so eine erste AG pilotieren zu können. In dem Kurs des Physikschülerlabors SCIphyLAB wurde der Kurs „Einblicke in die Nanowelt“ ausgewählt, bei welchem die Schüler:innen Taschenwärmer basteln, den Lotuseffekt erforschen und experimentell die Dicke einer Seifenblasenhaut bestimmen. Im Informatikschülerlabor InfoSphere werden den Schüler:innen im ersten Termin die Grundlagen der block- und/oder textbasierten Arduino-Programmierung beigebracht. Anschließend können sie drei Wochen lang mit verschiedenen Sensoren in kleinen Gruppen ihre eigenen Projekte planen und umsetzen. Weitere Schülerlabore, die bereits Kurse angeboten haben oder in näherer Zukunft anbieten werden, sind das Schülerlabor der Biologie Bio L³, das Mathematikschülerlabor CAMMP sowie das Schülerlabor RoboScope der Fachrichtung Maschinenbau.

In allen Kursen wird der Fokus auf die Motivation der Schüler:innen für MINT-Themen und nicht auf fachliches Wissen gelegt. Es wird besonders darauf geachtet, dass sich die Gestaltung der AG-Termine von Schulunterricht unterscheidet und alle Aktivitäten möglichst zum Mitmachen und Ausprobieren anregen. Im Idealfall zeigen die Kurse den Teilnehmenden für sie neue Seiten der MINT-Fächer auf.

4.2. Brainstorming mit Schüler:innen

Um bei der Erarbeitung weiterer Kurse möglichst gut auf die Wünsche und Interessen der Schüler:innen eingehen zu können, haben Schüler:innen im Rahmen der Kurse sowie bei einem außerschulischen Angebot für Physikinteressierte in kleinen Gruppen diskutiert, was ein Kurs, der Schüler:innen im Nachmittags- und Freizeitbereich für MINT begeistern soll, bieten muss und welche Themen sie interessieren würden. Zum Schluss sollten sie ein konkretes Thema auswählen und Ideen für einen eigenen Kurs entwickeln. Aus den Ergebnissen des Brainstormings wurde deutlich, dass die Schüler:innen gerne selbstständig und frei arbeiten möchten. Besonders eigene Projekte zu entwickeln und dabei etwas zu erschaffen, was sie mitnehmen und ihren Eltern zeigen können, wurde gewünscht. Thematisch wurden besonders häufig die Themen Programmierung, Robotik und Astrophysik genannt. Diese Themenwünsche passen auch zu den Ergebnissen der Umfragen, die in Kapitel 1 beschrieben werden. Auch die Idee im Rahmen eines Kurses ein Wasserstoffauto zu bauen, wurde mehrfach vorgeschlagen. Weiterhin wurde ein Escape-Game mit physikalischen Inhalten, welches in den Kursen durchgeführt wurde, beim Brainstorming häufig erwähnt und gelobt. Die Schüler:innen wünschen sich weitere derartige Spiele zu anderen Fächern und Themenbereichen.

5. Projektplan

In Abb. 3 sind der Projektplan und die aktuelle Phase des Projekts zu erkennen.

Nach der ersten Sichtung, welche Materialien der Schülerlabore sich eignen, um sie für vierwöchige Kurse in die Schulen zu transportieren, wurden diese in einer MINT-AG an einer ersten Schule pilotiert. Anschließend wurden die Kurse überarbeitet und nach den Osterferien (und damit nur wenige Wochen später) an insgesamt drei Schulen der StädteRegion Aachen eingesetzt. Aufbauend auf den gesammelten

Erfahrungen der Pilotierungsphase wurde der Projektplan weiter ausgeschärft. Tab. 1 kann entnommen werden, wie drei Module über ein Halbjahr an drei verschiedenen Schulen angeboten werden können.

Tab.1: Mögliche Verteilung von drei Modulen an drei verschiedenen Schulen. Quelle: Eigene Abbildung.

	Schule 1	Schule 2	Schule 3
Zeitslot 1	Modul 1	Modul 2	Modul 3
Zeitslot 2	Modul 2	Modul 3	Modul 1
Zeitslot 3	Modul 3	Modul 1	Modul 2

Werden die Materialien verdoppelt oder die Kurse an anderen Tagen an anderen Schulen eingesetzt, ist die Matrix leicht zu vervielfältigen und damit die Zahl der Teilnehmenden zu erhöhen. Alternativ können auch durch Hinzunahme neuer Module weitere Matrizen und somit neue Schulen aufgenommen werden. Durch die Nutzbarkeit beider Optionen ist das Projekt sehr gut zu skalieren.

Tab. 2 zeigt, wie die mittelfristige Entwicklung des Projekts aussehen könnte. Da die Kurse jahrgangsstufenübergreifend (vorzugsweise Jahrgangsstufe 7 und 8) angeboten werden, wäre ein durchgängiges Angebot nur bei Verdoppelung der Module möglich, wenn Teilnehmende in ihrem zweiten Jahr nicht auf bekannte Inhalte stoßen sollen. Durch eine halbjährige Verteilung des Angebots auf Schulen kann die Verdoppelung der Module sowie des Betreuungsaufwands je Schule vermieden werden und gleichzeitig können mehr Schulen aufgenommen werden. Die Schulen können das freie Halbjahr nach eigenen Vorstellungen gestalten. Sie haben damit die Möglichkeit, entweder keine durchgehende AG anzubieten oder ein halbes Jahr der MINT-AG eigenständig zu gestalten. Bei der Entscheidung, welches Halbjahr

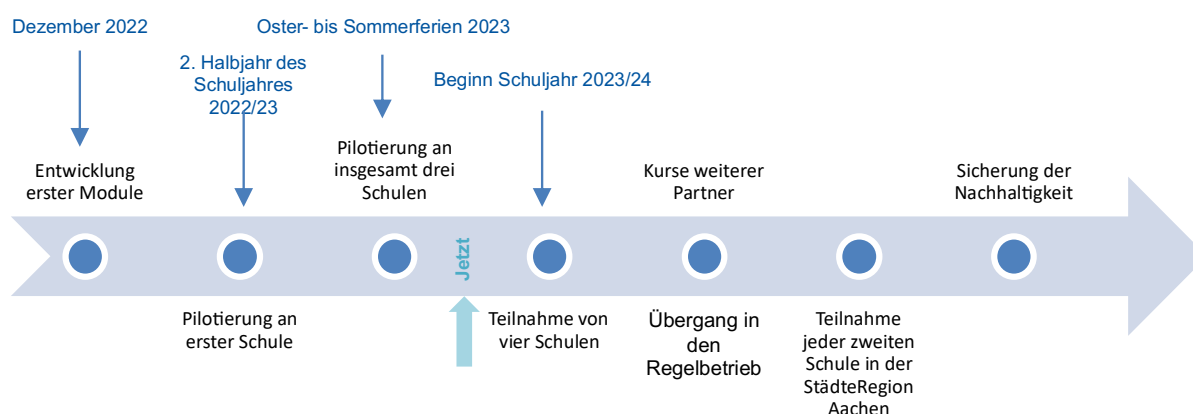


Abb.3: Projektplan von Labs on Tour. Zunächst wurden erste Module aus den bestehenden Materialien der Schülerlabore erstellt, um sie an einer ersten Schule zu pilotieren. Im April 2023 wurden zwei neue Schulen aufgenommen, in denen weitere Kurse getestet wurden. Nach den Sommerferien finden die Kurse in vier Schulen statt. Anschließend soll der Übergang in den Regelbetrieb erfolgen, bei dem jedes Schülerlabor dauerhaft Kurse anbietet, die im Rotationsverfahren an verschiedenen Schulen durchgeführt werden. In Zukunft sollen auch Kurse weiterer Partner in das Angebot aufgenommen werden können. Ziel ist es, das Projekt in jeder zweiten Schule der StädteRegion Aachen anbieten zu können. Dabei wird die Sicherung der Nachhaltigkeit des Projekts von Anfang mitgedacht. Quelle: Eigene Abbildung.

Tab.2: Zeitlicher Ablauf des Projekts. Im Turnus von Schulhalbjahren (HJ) können drei weitere Schulen in das Programm aufgenommen werden, bis sich ein regelmäßiger Rhythmus einstellt, bei dem mit 6 Modulen bereits 12 Schulen adressiert werden können. * Im ersten Halbjahr 2023/24 werden ausnahmsweise vier Schulen am Projekt teilnehmen, bevor ab dem zweiten Halbjahr der Regelbetrieb aufgenommen wird. Quelle: Eigene Abbildung.

	2023/24		2024/25		2025/26	
	1. HJ	2. HJ	1. HJ	2. HJ	1. HJ	2. HJ
3 Schulen	3 Module A*		3 Module B		3 Module A	
3 Schulen		3 Module A		3 Module B		3 Module A
3 Schulen			3 Module A		3 Module B	
3 Schulen				3 Module A		3 Module B

von Labs on Tour gestaltet wird, können die Schulen Präferenzen angeben.

Durch die Umsetzung in Tab. 2 können somit durch zwei Pakete mit je drei Modulen bereits 12 Schulen der StädteRegion Aachen an dem Angebot teilhaben. Da sechs unterschiedliche Module bereits durch die bisher kooperierenden Schülerlabore umgesetzt werden können, stellt Tab. 2 das Minimalziel der kommenden drei Jahre dar. Ergänzend ist es denkbar, dass weitere Schülerlabore und auch andere Anbieter Kurse in dem Projekt anbieten. Für Institute oder Initiativen, die kein eigenes Schülerlabor aufbauen können und keine Räumlichkeiten zur Verfügung haben, bietet Labs on Tour eine unkomplizierte Möglichkeit, trotzdem regelmäßig Jugendlichen attraktive MINT-Angebote zu unterbreiten. Somit kann je nach Anzahl der insgesamt teilnehmenden Anbieter und der finanziellen Rahmenbedingungen des Projekts die Reichweite des Projekts flexibel erweitert werden.

6. Erste Erfahrungen bei der Umsetzung und nächste Schritte

Erste Erfahrungen zeigen, dass das Konzept von Seiten der Schulen, der Schülerlabore, der betreuenden studentischen Hilfskräfte, aber besonders auch von den Schüler:innen sehr gut aufgenommen wird. An der ersten Pilot-Schule meldeten sich nach einer kurzfristigen Bewerbung der MINT-AG 61 interessierte Schüler:innen der Jahrgangsstufen 7 bis 9. Nach einer schnellen Terminierung nahmen an dieser Schule ca. 30 Teilnehmer:innen an den wöchentlichen Kursen teil, wobei etwa die Hälfte Mädchen waren. Auch an weiteren Schulen fanden sich leicht sowohl betreuende Lehrpersonen als auch genügend Schüler:innen für die Kurse. Vereinzelt übersteigt das Interesse an den Schulen die maximale Kapazität der Kurse, sodass überlegt werden muss die AG in zweifacher Ausführung anzubieten. Die Größe der Gruppen ist seitens der Anbieter auf 30 Teilnehmende beschränkt. Einzelne Schulen haben die Gruppengröße allerdings nach Absprache auf 16 limitiert, um dadurch eine angenehmere Atmosphäre zu schaffen.

Zunächst waren die vierwöchigen Kurse in fünfwöchigen Zeitslots über das Halbjahr verteilt, sodass bei

jedem Kurs nur eine Pufferwoche zur Verfügung stand. Es hat sich gezeigt, dass mindestens im zweiten Schulhalbjahr unter diesen Rahmenbedingungen durch viele Feier- und Wandertage, Klassenfahrten und weitere alternative Schultermine die vierwöchigen Kurse im Regelfall nicht vollständig umzusetzen sind. Da die Kurse außerdem aus organisatorischen Gründen nicht unmittelbar nach den Ferien beginnen sollen, wurde die Entscheidung getroffen auf sechswöchige Zeitslots und damit maximal 6 Terminoptionen für die vierwöchigen Kurse zu wechseln.

Von den Schüler:innen wurde positiv rückgemeldet, dass die Mischung der Klassen und Jahrgangsstufen für die Atmosphäre in den Kursen förderlich sei. Aus diesem Grund sollen die Kurse im Regelfall zwei Klassenstufen adressieren, woraus die oben beschriebene Konsequenz der halbjährlichen Angebote resultierte. Die Alternative eines ganzjährigen Angebots im zweijährigen Turnus an den teilnehmenden Schulen wurde als wenig praxistauglich und weniger attraktiv im Sinne einer kontinuierlichen Interessenförderung der Jugendlichen verworfen.

Auch der Kontakt zu den studentischen Hilfskräften der Universität wurde positiv erwähnt. Die Schüler:innen haben in den vierwöchigen Kursen zunehmend auch Fragen zum Studium im Allgemeinen sowie zu unterschiedlichen Studiengängen und Berufen gestellt.

Der letzte Termin in den AGs wird dafür genutzt, einerseits das Halbjahr aus Schülerperspektive zu reflektieren und andererseits den Schüler:innen Informationen zu weiterführenden MINT-Angeboten an der Universität zu vermitteln. Insofern ergänzt das Projekt auch diesbezüglich sehr sinnvoll das bisherige Angebot der Schülerlabore der RWTH Aachen University, weil damit erstmals ein großer Pool von nachweislich an MINT-Angeboten interessierten Jugendlichen gezielt auf weiterführende Angebote aufmerksam gemacht und damit eine systematische Interessenförderung umgesetzt werden kann. Inwiefern es dadurch gelingt, bei Jugendlichen Übergänge in die weiteren Phasen der Interessenentwicklung (hier an MINT-Themen) gemäß Abb. 1 zu initiieren, wird sich im weiteren Projektverlauf erweisen.

Die nächsten Schritte des Projekts werden der Übergang in den Regelbetrieb, der Aufbau einer Website, weitere Schritte der Öffentlichkeitsarbeit sowie die Kooperation mit neuen Anbietern und Schulen sein. Mit dem Übergang zum Regelbetrieb sollen alle Kurse so aufbereitet werden, dass übersichtliche Materialien und Handreichungen entstehen, die es neuen studentischen Hilfskräften ermöglichen sich schnell und einfach in die Kurse einzuarbeiten. Dies ist ein wichtiger Baustein um zu gewährleisten, dass die Ergebnisse des Projekts nachhaltig sind und auch über die Förderzeit hinaus einsetzbar bleiben. Der zweite wichtige Baustein ist die Sicherung einer nachhaltigen Finanzierung über die drei- bis maximal fünfjährige Projektlaufzeit hinaus, wobei hier trotz der sehr frühen Projektphase bereits erste vielversprechende Schritte unternommen wurden.

Mittelfristig soll zusätzlich zu den beschriebenen Kursen an den Schulen ein regelmäßiges Angebot von Aufbaukursen entstehen, die von interessierten und besonders motivierten Schüler:innen im Regelfall nach Abschluss der Kurse (wie beispielsweise in den freien Halbjahren oder in Schulferien) besucht werden können. Diese werden entweder von den Schülerlaboren selbst angeboten oder bei externen Anbietern stattfinden. Im gesamten Projektverlauf wird die Entwicklung des MINT-Interesses der Teilnehmenden an den Kursen (und ggfs. an Aufbaukursen) untersucht.

7. Literatur

- Fischer, Britta; Raven, Hanna; Ohlert, Jeannine (2020): Interesse und Selbstkonzept von Lehramtsstudierenden mit dem Studienfach Sport. In: Zeitschrift für Studium und Lehre in der Sportwissenschaft 3(2), S. 15-22.
- Hidi, Suzanne; Renninger, K. Ann (2006): The four-phase model of interest development. In: Educational Psychologist 41(2), S. 111-127.
- Krapp, Andreas (1992): Interesse, Lernen und Leistung. Neue Forschungsansätze in der Pädagogischen Psychologie. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften 38(5), S. 747-770.
- Krüger, Dirk; Parchmann, Ilka; Schecker, Horst (2014): Methoden in der naturwissenschafts-didaktischen Forschung. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.

Danksagung

Das Projekt wird im Rahmen der BMBF-Ausschreibung zu regionalen MINT-Clustern unter dem Förderkennzeichen 16MCJ2066B gefördert.

Visions for Climate

- Didaktische Konzeption einer interdisziplinären Vortragsreihe zum Klimawandel -

Timo Graffe*, Christopher A. Newton*, Johannes F. Lhotzky*, Klaus Wendt*

* Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Institut für Physik, Staudingerweg 7, 55128 Mainz, timo.graffe@uni-mainz.de

Kurzfassung

Hochschulen haben als Schnittstelle zwischen Lehre, Forschung und Transfer ein großes Potenzial, die Gesellschaft nachhaltiger zu gestalten. Einzelne Fachdisziplinen sind im Hinblick auf die angebotenen Lehrveranstaltungen im Bereich Klimawandel und Nachhaltigkeit inhaltlich stark voneinander getrennt und den Studierenden fehlt eine ganzheitliche Perspektive auf die Thematik. An dieser Stelle setzt „Visions for Climate“ als interdisziplinäre Ringvorlesung der Universität Mainz an. Diese veranschaulicht ausgehend von einer positiven Zukunftsvision Aspekte zu Klimaentwicklung, Klimagerechtigkeit und Nachhaltigkeit aus unterschiedlichen Fachperspektiven und führt diese zusammen. Die 17 UN-Nachhaltigkeitsziele ziehen sich dabei als roter Faden durch die Vorlesungsreihe. Neben der bloßen Wissensvermittlung ist angestrebt, auch Nachhaltigkeitskompetenzen und Selbstwirksamkeit zu fördern. Wie muss eine solche Vorlesung gestaltet sein, damit sie diesen Ansprüchen gerecht wird? Auf didaktischen Grundsätzen wie den "Elf Merkmalen guten Physikunterrichts" nach Merzyn aufbauend, wurde ein didaktisches Konzept erarbeitet, auf dem ein erster Durchgang der Veranstaltung basiert. Im Folgenden werden didaktische Ansätze und Entscheidungen für eine lernwirksame Vorlesungsgestaltung aufgezeigt.

1. Einleitung und Rahmung des Lernformats

Hochschulen und Universitäten stellen einen einflussreichen Teil unseres Bildungssystems dar und können durch die Stellung in der Gesellschaft und der Möglichkeiten der Einflussnahme auf eine Vielzahl an Akteuren als sozialer Kippunkt fungieren. Diese Bildungsorte können damit als relevanter Einfluss auf die sozio-ökologische Transformation hinwirken [1]. Die Einflussmöglichkeiten werden umso deutlicher, wenn vergegenwärtigt wird, dass an Hochschulen Multiplikator:innen in Form von zukünftigen Führungskräfte, Expert:innen und Lehrkräften ausgebildet werden. Um der damit einhergehenden gesellschaftlichen Verantwortung gerecht werden zu können, wird eine interdisziplinäre und holistische Klima- und Nachhaltigkeitsbildung an den Hochschulen unabdingbar. Das Projekt „Zukunftsmodul“ versucht dafür einen ersten wichtigen Beitrag an der Johannes Gutenberg-Universität Mainz zu leisten [2]. Das Zukunftsmodul besteht dabei aus zwei Lernangeboten: der interdisziplinären Vorlesungsreihe „Visions for Climate“ und dem Projektseminar „Climate Lab“. Die Vorlesungsreihe adressiert dabei alle Studierenden der Universität und wird in über 30 Studiengängen im Wahlpflichtbereich mit ECTS-Punkten anerkannt (siehe Abb. 1). Zudem wurde die Vorlesungsreihe auch für außeruniversitäre Interessierte durch die Umsetzung eines Livestreams geöffnet. Im Wintersemester 2022/23 fand ein erster Durchlauf der Veranstaltung statt; ein weiterer Durchlauf ist für das Wintersemester 2023/24 geplant. Beim ersten

Durchlauf meldeten sich über 900 Studierende, quer über alle Studiengänge der Universität Mainz verteilt, und über 700 externe Zuhörende an. Zu diesen zählten unter anderem Lehrkräfte, Mitarbeitende der Universität, Personen im Ruhestand, aber auch Schüler:innen und Studierende anderer Hochschulen.

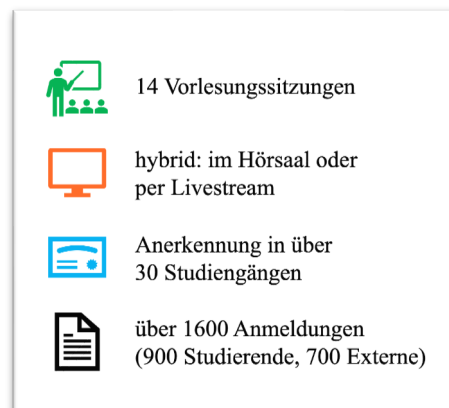


Abb.1: Wichtige Fakten zur Vorlesungsreihe

Die Vorlesungsreihe umfasst dabei 14 Vorlesungstermine, die aus Gründen der besseren und vereinfachten Partizipation hybrid angeboten wurden. Zum einen vor Ort in einem Hörsaal mit 1000 Sitzplätzen zum anderen per Livestream. Die Videos im Livestream wurden im Nachgang zur Verfügung gestellt, sodass diese auch On-Demand geschaut werden können. Zusammengerechnet können bisher, über alle Vorlesungsvideos kumuliert, 17 000 digitale

Aufrufe über die Plattform YouTube gezählt werden (26.05.2023).

2. Zielsetzung der Vorlesungsreihe

Ausgehend von einer Kompetenzorientierung wurden für die Vorlesungsreihe folgende Ziele festgelegt (siehe Abb. 2), welche die Studierenden dabei unterstützen sollen, selbst eine nachhaltige Zukunft gestalten zu können. Dabei wurde sich an den Teilkompetenzen für Bildung für nachhaltige Entwicklung von Education 21 orientiert [3].

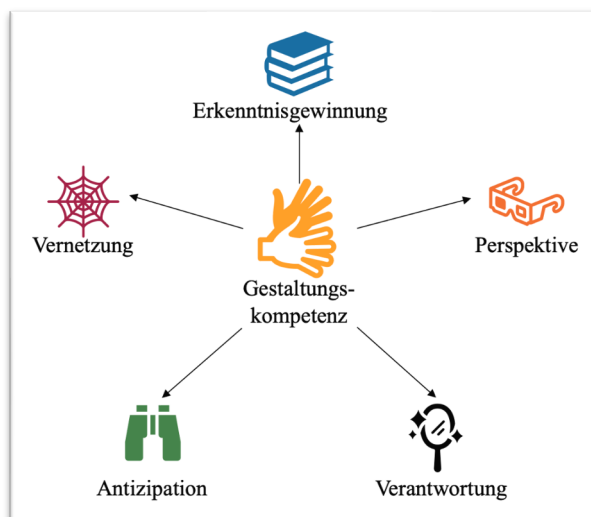


Abb.2: Kompetenzziele der Vorlesungsreihe (Abb. nach [3])

Die Vorlesungsreihe hat zum Ziel den Teilnehmenden ein interdisziplinäres Wissen über die Klimakrise zu vermitteln. Interdisziplinär bedeutet, dass die Teilnehmenden unterschiedliche Perspektiven auf die Klimakrise aufgezeigt bekommen und sich in diesem Feld kompetent bewegen können. Dazu zählen Erkenntnisse aus natur-, sozial- und kulturwissenschaftlichen Fachdisziplinen. Dabei ist es wichtig, dass das breite, erworbene Wissen über Folgen und Handlungsmöglichkeiten von den Teilnehmenden miteinander vernetzt werden kann und sie so eine ganzheitliche Sichtweise auf den Themenkomplex bekommen. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist das antizipatorische Denken. Die Teilnehmenden sollen lernen unterschiedliche Handlungsmaßnahmen nach ihrer langfristigen Umsetzbarkeit und Effektivität einschätzen zu können. Diese Erkenntnisse können sie als Entscheidungsgrundlage für zukünftige Handlungen nutzen. Zudem ist es das Ziel den Teilnehmenden die Bedeutung des eigenen Handelns bewusst gemacht werden, insbesondere ihr möglicher Einfluss auch auf strukturelle Veränderungen. So sollen sie für sich und die Welt Verantwortung übernehmen und sich dadurch verstärkt als selbst- und handlungswirksam empfinden. Vor allem wird darauf abgezielt, dass sie die Klimakrise und die damit verbundenen Folgen als ganzheitliches, globales Schlüsselproblem der Menschheit wahrnehmen und sich diesem stellen.

Davon ausgehend stellt sich die Frage, wie ein Veranstaltungsformat aussehen sollte, damit es die angesprochenen Erwartungen erfüllt. Im Fall des Zukunftsmoduls wird das Lernformat „Ringvorlesung“ verwendet, deren Chancen und Grenzen nachfolgend genauer diskutiert werden.

3. (Ring-)Vorlesungen: Chancen und Grenzen

Vorlesungen stellen ein traditionelles Lernformat von Hochschule dar. Bei dieser Form des Frontalunterrichts steht der Dozierende vor einer Gruppe Studierender und hält einen meist 60-90-minütigen Vortrag inklusive einer ausführlichen Diskussion am Ende. Eine Sonderform stellt die Ringvorlesung dar, bei welcher die Referierenden jede Vorlesungssitzung wechseln. Eine Ringvorlesung eignet sich vor allem gut, wenn ein größeres Themenfeld betrachtet wird und man einen Überblick über die einzelnen Teildisziplinen in diesem Feld geben möchte. Auf diese Weise wird in Ringvorlesungen unterschiedlichen Wissenschaftler:innen die Möglichkeit gegeben, ihre Forschungsperspektive in dem angesprochenen Feld vorzustellen [4][5].

Betrachtet man das Lernformat „Vorlesung“ aus Perspektive der Lehr-Lern-Forschung so werden schnell auch Kritikpunkte an dieser althergebrachten Struktur deutlich. Durch die frontale Ausrichtung fehlt es in dem Veranstaltungsformat an Individualisierung, an Differenzierungen für unterschiedlich vorgebildete oder leistungsfähige Studierende sowie an Interaktivität zwischen Referierenden und Teilnehmenden [6]. Im Folgenden werden diese Kritikpunkte weiter präzisiert:

Bei einer Vorlesung sehen und hören alle Teilnehmenden das Gleiche unabhängig davon, wie divers die Teilnehmendengruppe ist. Auf diese Weise können individuelle Ansprüche nicht erfüllt oder es kann nicht auf spezielle Bedürfnisse der Teilnehmenden eingegangen werden, etwa eine sprachliche, inhaltliche oder strukturelle Differenzierungen betreffend [7]. Das wirkt sich darauf aus, dass es beim Vorlesungsformat schwierig ist, Vorwissen der Lernenden zu aktivieren und einzubinden. Meist ist die Kohortengröße innerhalb des Veranstaltungsformats zu groß und vorhandenes Vorwissen oder Präkonzepte derart divers, dass es schwierig ist, einen gemeinsamen Ausgangspunkt für das gelieferte Wissensangebot zu finden [8]. Dieser Effekt wird deutlich verstärkt, wenn die Studierenden aus unterschiedlichen Studiengängen und Semestern stammen.

Ein weiterer großer Kritikpunkt ist die fehlende Interaktivität des Vorlesungsformats. Die Teilnehmenden nehmen eine passive Rolle ein, während die Dozierenden durchgehend aktiv sind, dazu aber nur beschränkt Rückmeldung erhalten. Die passive Tätigkeit der Teilnehmenden und die Monotonie der Methodik wirken sich negativ auf deren Aufmerksamkeit auf [6]. Zudem verhindert die Passivität der Teilnehmenden eine Rückmeldung, ob die Inhalte

verständlich waren oder ob an manchen Stellen Lernschwierigkeiten vorliegen [9]. Um dem entgegenzuwirken, sind bei ausgewählten Vorlesungen am Ende Fragerunden vorgesehen, um Verständnisfragen zuzulassen. Diese werden je nach Vorlesungs- und Dozierendenprofil mehr oder weniger von Studierenden genutzt.

Eine Schwierigkeit, die speziell bei einer Ringvorlesung auftritt, ist häufig eine fehlende übergreifende Rahmenstruktur, in welche die einzelnen Vorlesungssitzungen eingebettet sind [10]. Hier wird ein roter Faden angesprochen, der sich durch alle Vorlesungssitzungen zieht und diese zu einem mehr oder minder Ganzen verbindet. Im Allgemeinen haben Ringvorlesungen meist ein Überthema. Durch die Tatsache, dass jede Sitzung von einem anderen Referierenden gehalten wird, der die Vorgängervorträge nicht kennt oder deren stoffliche Inhalte nicht überblickt, handelt es sich meist um eine eher bezuglose Aneinanderreihung von Beiträgen. Eine Vernetzung der einzelnen Vorlesungssitzungen unterstützt den Prozess, das neue Wissen besser einzuprägen, wenn Verknüpfungen zu bereits vorhandenem Wissen aufgezeigt werden [8].

Alle diese Punkte sorgen dafür, dass das Vorlesungsformat als wenig motivierende Lernmethoden bewertet wird und eine eher geringe Lernwirksamkeit zur Folge hat [5]. Aus diesem Grund wird das Format in der Fachliteratur auch als „Auslaufmodell“ betitelt [6]. Berechtigterweise stellt sich dabei die Frage, warum das Vorlesungsformat trotzdem noch so viel Anwendung in der universitären Lehre findet, wenn es doch fast gar nicht studierendenzentriert ist. Die Antwort ist relativ einfach, wenn man Studierendenzahlen im mittleren dreistelligen Bereich betrachtet. Bei keinem anderen Lernformat kann man mit solchen geringen Kosten eine solche große Studierendenzahl bedienen. Vorlesungen sind demnach ökonomisch betrachtet höchst sinnvoll; Ringvorlesungen speziell dann, wenn man Studierenden ein Übersichtswissen aus verschiedenen Perspektiven in einem bestimmten Bereich vermitteln möchte. Seminarveranstaltungen, die in Kleingruppen von Expert:innen unterschiedlicher Forschungsgebiete für eine große Zahl von Studierenden angeboten werden, übersteigen hingegen in der Regel jegliche Finanz- und Personalkapazitäten. Dies betrifft auch die hier aufgeführte Veranstaltung „Visions for Climate“ mit ihren bis zu 1600 Teilnehmenden. Aus diesem Grund stellt sich nicht die Frage NACH dem Veranstaltungsformat, sondern WIE man eine Vorlesungsreihe mit unterschiedlichen Dozierenden so gestalten kann, dass sie interaktiver, differenzierender und individualisierend gestaltet werden kann und ein roter Faden erkennbar ist. Erkenntnisse aus der physikdidaktischen Schulforschung sollen dabei helfen, dies umzusetzen.

4. Leitlinien für die Ringvorlesung

Wie können Rahmenbedingungen für eine lernwirksame und wirkungsvolle Vorlesungsreihe aussehen?

Ausgehend von dieser Fragestellung wurden anhand eines Vergleiches aktueller Forschungsansätze acht spezifische Merkmale für eine wirksame und erfolgsträchtige Vorlesung ausgearbeitet. Eine Grundlage dafür bildete die Aufstellung der „Elf Merkmale guten Physikunterrichts“ von Merzyn (2015), die auf die Hochschullehre im Bereich der nachhaltigen Entwicklung adaptiert wurden. Merzyn analysierte und prüfte die Einsicht von Lehrkräften und Wissenschaftler:innen zu gutem Unterricht und arbeitete als zentrale Merkmale die Punkte heraus [11]:

1. Lernförderliches Unterrichtsklima
2. Vielfältige Motivierung
3. Verständliche gut strukturierte Darbietung des Stoffes
4. Lernen eingebettet in alltagsnahe Kontexte
5. Vielfältige Unterrichtsmethoden
6. Verständnisfördernde Unterrichtskommunikation
7. Förderung aktiven, selbstgesteuerten Lernens
8. Individualisierung und Differenzierung
9. Intelligentes Üben und Wiederholen
10. Angemessene Leistungserwartungen und Kontrollen
11. Klare Klassenführung und Strukturierung des Unterrichts

Anhand dieser Merkmale wurden für die Vorlesungsreihe spezielle didaktische Leitlinien sowie auch ein fester methodischer Rahmen abgeleitet, der die folgenden Aspekte übernimmt bzw. betont:

1. Lernförderliche Vorlesungsatmosphäre
2. Vielfältige Motivierung
3. Strukturierung und Lernzielorientierung
4. Konkrete alltagsnah eingebettete Kontexte
5. Aktive und unterschiedliche Lernmethoden
6. Verständnisfördernde Vorlesungskommunikation
7. Angemessene Leistungserwartungen der Studienleistungen
8. Phasen des Übens, Wiederholens und Vertiefens

Dabei wurden die Merkmale von Merzyn „Verständlich gut strukturierte Darbietung des Stoffes“ und „Klare Klassenführung und Strukturierung des Unterrichts“ zur Leitlinie „Strukturierung und Lernzielorientierung“ sowie die Merkmale „Vielfältige Unterrichtsmethoden“, „Individualisierung und Differenzierung“ und „Förderung aktiven, selbstgesteuerten Lernens“ zur Leitlinie „Aktive und unterschiedliche Lernmethoden“ zusammengefasst. Die einzelnen Leitlinien sowie deren Umsetzung werden im Folgenden näher erläutert:

4.1. Lernförderliche Vorlesungsatmosphäre

Die Vorlesungsatmosphäre beschreibt den zwischenmenschlichen Aspekt, also das soziale Verhalten, den Umgang und die Interaktionen zwischen den Akteur:innen der Vorlesung [11]. Gezielte,

verhältnisverbessernde Aktivitäten haben einen positiven Einfluss auf die Aufmerksamkeit, Eigenarbeit und das Lernen generell [12]. Um die Vorlesungsatmosphäre bei Visions for Climate zu verbessern, wurden mehrere Maßnahmen eingebracht. In einem ersten Schritt wurde ein Awarenesskonzept entwickelt. Dort sind konkrete Maßnahmen für die Umsetzung eines positiven Vorlesungsklimas beschrieben. Es wird beispielsweise darauf eingegangen, wie mit Diskriminierung oder verschiedenen Ansätzen und Gefühlen der Teilnehmenden zur Klimakrise im Rahmen der Vorlesung umgegangen wird. Als konkrete Maßnahme wurden dazu direkte Ansprechpartner:innen benannt, die im Bereich Klimakommunikation und Klimagefühle geschult sind. Diese standen zu Beginn und Ende jeder Vorlesungssitzung zum Gespräch zur Verfügung. Die Aufgabe dieser Awareness-Personen übernahmen bei „Visions for Climate“ Mitglieder der Initiative Psychologists for Future. Eine weitere Maßnahme ist eine gut zugängliche, informelle und anonyme Möglichkeit zur Einreichung von Feedback bezüglich der Veranstaltung. Dieser „digitale Kummerkasten“ ist ein frei zugängliches Padlet, auf dem anonym Kommentare hinterlassen werden können. Es ist auf der Webseite verlinkt, sodass die Teilnehmenden immer darauf zugreifen können.

4.2. Vielfältige Motivation

Unter Motivation wird die Lernbereitschaft verstanden, welche die Zielrichtung, die Ausdauer und die Intensität des Lernverhaltens beeinflusst [13]. Dabei können folgende Punkte positive Einwirkungen auf die Motivation haben [4, 14]:

- Kontextbezug über das Anknüpfen an alltägliche und lebenswirkliche Aspekte (siehe Leitlinie 4)
- Realitätsbezug in der Problembehandlung
- Berücksichtigung von Interessen und Erwartungen
- Vermittlung unterschiedlicher Perspektiven
- Aktive Elemente (siehe Leitlinie 5)
- Ermutigende und ans Handeln orientierte Vorlesungsinhalte
- Angenehme Lernatmosphäre (siehe Leitlinie 1)

Eine vielfältige Motivation wird unter anderem durch den interdisziplinären Ansatz der Vorlesungsreihe umgesetzt. Bei den Referierenden handelt es sich um Wissenschaftler:innen aus 14 verschiedenen Fachdisziplinen. Dies reicht von Meteorologie über Wirtschaftswissenschaften bis hin zur Kunstpädagogik. Auf diese Weise wird ein breites Interessenfeld der Teilnehmenden angesprochen. Zudem beziehen sich die einzelnen Vorlesungssitzungen auf jeweils eines oder mehrere der Sustainable Development Goals (SDGs) der UN in Verbindung mit der Klimakrise (siehe Abb. 3). Auf diese Weise werden epochaltypische Schlüsselprobleme unserer Gesellschaft behandelt, die einen hohen Realitätsbezug aufweisen.



Abb.3: Sustainable Development Goals [15]

Eine weitere Besonderheit der Vorlesungsreihe ist der gewählte künstlerische und psychologisch ausgerichtete Input zu Beginn jeder Vorlesungssitzung. Hierbei handelt es sich jeweils um eine Fantasiereise in das Jahr 2100 unter der Fragestellung: „Wie könnte unsere Welt aussehen, wenn wir die Klimakrise bewältigt haben?“. Diese beleuchten aus einer Vision heraus die jeweilige spezielle Thematik und verbinden sie zudem mit bereits behandelten und noch offenen Themenkomplexen der folgenden Vorträge. Es werden dazu bewusst positive Zukunftsvisionen angesprochen, um bei den Teilnehmenden eine ermutigende und ans Handeln orientierte Vorlesungsatmosphäre zu erzeugen.

4.3. Strukturierung und Lernzielorientierung

Eine klare Struktur und einzelne Elemente, die in jeder Vorlesungssitzung wieder aufgegriffen werden, sowie ein roter Faden, der sich über die komplette Vorlesungsreihe zieht, wirken sich positiv auf das Lernen aus. So sorgen verbindende Elemente zwischen den Sitzungen zur besseren Memorierung der Informationen [16].

Die Vorlesung weist als Strukturelement bei jeder Sitzung einen identischen Ablauf auf, der in Tab. 1 näher skizziert ist. Als Strukturelement, das die einzelnen Vorlesungssitzungen miteinander verbindet, dienen zum einen die vorgenannten SDGs, von denen jeweils ein anderes in jeder Sitzung näher betrachtet wird, und zum anderen die Fantasiereisen. Diese sind jeweils in sich abgeschlossene Geschichten, sodass man immer in die Vorlesung einsteigen kann, bauen aber trotzdem aufeinander auf, in dem es Rückblicke zur vorherigen Woche gibt und immer wieder die gleichen Charaktere agieren. Auf diese Weise wird ein verbindendes Element geschaffen, das sich durch alle Vorlesungssitzungen zieht. Zudem werden weitere Verknüpfungen zwischen den Vorlesungssitzungen erzeugt durch ein einheitliches Foliendesign, eine gleichbleibende Moderation und Fragestellungen, die immer wieder bei den einzelnen Vorlesungssitzungen auftauchen.

Tab.1: Ablauf der Vorlesungssitzungen

1.	Begrüßung	5 Minuten
2.	Gedankenreise in eine positive Zukunftsvision	5 Minuten
3.	Vortrag der referierenden Person	45 Minuten
4.	Frage- und Diskussionsrunde	30 Minuten
5.	Abschluss	5 Minuten

4.4. Konkrete alltagsnah eingebettete Kontexte

Konkrete, alltagsnahe Kontexte geben den Inhalten eine lebenswirkliche Bedeutsamkeit und wirken damit sinnstiftend [11]. Sie helfen abstrakte Informationen zu behalten und abzurufen, in dem sie besser in neuronalen Netzwerken verknüpft werden [12].

Auch um diesen Aspekt umzusetzen, eignet sich die Methode „Fantasiereise“ hervorragend. Diese beschreibt zukünftige Lebenswelten der Menschen und knüpft damit an einen möglichen positiv-futuristischen geprägten „Wunschalltag“ der Teilnehmenden an. Zudem werden auch in den Vorträgen der Referierenden immer wieder konkrete und lebensweltnahe Beispiele genannt.

4.5. Aktive und unterschiedliche Lernmethoden

Lernen ist ein aktiv-konstruktiver Prozess, der aktives Handeln und selbständiges Denken voraussetzt. Dabei unterscheiden sich die Lernenden in kognitiven Bedürfnissen und Voraussetzungen [11]. Um diesen gerecht zu werden, braucht es aktive Phasen zur Individualisierung und Phasen mit unterschiedlichen Lernmethoden [11, 17]. Zudem wirkt eine Methodenvielfalt einer Monotonie entgegen und hat damit Auswirkung auf Motivation und Aufmerksamkeit [17].

Mithilfe der „Fantasiereise“ am Anfang und der ausgedehnten Diskussionsrunde am Ende werden neben dem Vortrag auch andere Lernmethoden eingebunden und damit für Methodenvielfalt und Abwechslung gesorgt. In der Diskussionsrunde wird mithilfe einer interaktiven Applikation auch das Publikum einbezogen. Die Teilnehmenden können mithilfe der Applikation über ihr mobiles Endgerät individuelle Fragen stellen und die Fragen von anderen Teilnehmenden priorisieren. Auf diese Weise können sie direkt Einfluss auf die Diskussionsrichtung nehmen. Eine weitere Anwendung findet diese Applikation auch während den Vorträgen. Referierende bauen in ihren Vortrag eine Reihe von Fragen in Form eines Quiz, einer Entscheidungsfrage oder einer Wortwolke ein. Diese Interaktion unterbricht bewusst die Monotonie des Vortrages, da die Teilnehmenden aktiv werden müssen, um die Frage zu beantworten und sich eingebunden fühlen.

4.6. Verständnisfördernde Vorlesungskommunikation

Eine zu große Informationsdichte und die Verwendung unbekannter Fachbegriffe können eine kognitive Überlastung und damit eine Einschränkung des Lernens zur Folge haben [18, 19]. Fest eingeplante Zeiten für Fragen und Diskussionen können helfen, Verständnisschwierigkeiten zu vermeiden oder zu beseitigen [12].

Um für eine verständnisfördernde Vorlesungskommunikation zu sorgen, wurden verschiedene Maßnahmen ergriffen. Eine leicht umsetzbare Maßnahme sind Vorgespräche der Vorlesungskoordination mit den Referierenden sowie ein Gesprächsleitfaden, der den Referierenden wichtige Hinweise zum Thema „Klimakommunikation“ gibt. Zudem wurden immer zwei Referierende als Tandem miteinander gekoppelt. Hierbei wurde darauf geachtet, dass die Referierenden aus möglichst fachfremden Disziplinen stammen, wie beispielsweise Psychologie und Meteorologie. Die Tandems dienen dazu, dass sich beide Referierenden im Vorfeld ihrer Vorlesungssitzung austauschen, über mögliche Verständnisschwierigkeiten und die Verwendung bestimmter Fachbegriffe diskutieren und sich ggf. ihre Vorträge vorstellen oder halten. Sollten dennoch schwer verständliche Fachbegriffe oder Verständnisschwierigkeiten vorhanden sein, gibt es zudem die Möglichkeit, bei der an den Vortrag anschließenden Diskussionsrunde mithilfe der Applikation Verständnisfragen zu stellen.

4.7. Angemessene Leistungserwartungen der Studienleistungen

Studienleistungen geben zum einen den Dozierenden Rückmeldung, ob die Erwartungen angemessen waren, und zum anderen geben sie den Teilnehmenden eine Rückmeldung ihres Lernstandes [11]. Eine valide Rückmeldung sollte an die Lernziele und den daran orientierten Lerninhalten angepasst und in Abstraktheit, Stofffülle und Interaktionstempo adressatengerecht sein [11, 16]. Eine klare Darstellung der Anforderungen wirkt sich positiv auf die Qualität der Studienleistungen aus [17].

Als Studienleistung der Vorlesungsreihe wurde ein Portfolio gewählt, das mit gezielten Fragestellungen die Teilnehmenden zu Reflexionsprozessen anregen sollte. Durch eine Auswahl an verschiedenen kreativen Reflexionsmethoden (u.a. Sachttext, poetische Textform, grafische Darstellung) kann die Studienleistung an verschiedene Adressaten angepasst werden. Die genauen Erwartungen und Bewertungskriterien an die Studienleistungen wurden im Vorfeld erarbeitet und zu Beginn der Vorlesungsreihe in einem schriftlichen Dokument bekannt gegeben.

4.8. Phasen des Übens, Wiederholens und Vertiefens

Regelmäßige Festigung bereits bekannter Informationen und Möglichkeiten zur Vertiefung fördern ein nachhaltiges Lernen. Lerngruppen, in denen Inhalte gemeinsam diskutiert werden, können zu einem vertieften Verständnis der Inhalte führen [12].

Diese didaktische Leitlinie wurde beim Probedurchlauf im Wintersemester 2022/23 noch nicht umgesetzt und soll erst bei den nächsten Durchführungen Anwendung finden. Dafür sind Online-Quizfragen geplant, die zu Beginn jeder Vorlesungssitzung beantwortet werden können und sich auf die Inhalte der vorherigen Sitzung beziehen. Zudem soll nach der Vorlesungssitzung noch ein Raum geboten werden, in welchem man sich über die Vorlesungsinhalte in offenen Gesprächen und Diskussion austauschen kann - entweder in kleinen Gruppen mit anderen Teilnehmenden oder mit dem Referierenden selbst.

5. Ergebnisse der Evaluation

Um zu überprüfen, inwieweit die Merkmale der didaktischen Leitlinien auch durch die verschiedenen Maßnahmen erfüllt wurden, fand eine Abschlussevaluation mit den Teilnehmenden statt. Bei diesem schriftlichen Fragebogen wurden die Teilnehmenden u.a. nach ihrer Zufriedenheit der Lehr-Lernsituation gefragt, bei der jede didaktische Leitlinie ein Item darstellt (siehe Abb. 4).

Hierbei konnte gezeigt werden, dass bei 5 der 8 didaktischen Leitlinien eine hohe Zufriedenheit bei den Teilnehmenden herrschte. Davon waren immer ca. 50% der Teilnehmenden sogar sehr zufrieden. Bei der Leitlinie „aktive und unterschiedliche Lernmethoden“ gab es dagegen eine breitere Streuung, wobei die Zufriedenheit der Teilnehmenden immer noch im oberen Bereich liegt. Das liegt vor allem daran, dass trotz der Maßnahmen zur Aktivierung der Teilnehmenden, das Vorlesungsformat immer noch ein sehr passives Format im Vergleich zu anderen Lernformaten ist. Hinzu kommt, dass einige Referierende die Applikation zur Aktivierung der Teilnehmenden kaum bis gar nicht genutzt haben. Auch die Leitlinie „Phasen des Übens, Wiederholens und Vertiefens“ ist sehr breit gestreut und die Zufriedenheit ist in einem neutralen Bereich. Dies war auch zu erwarten, da die Maßnahmen dieser Leitlinie beim ersten Durchlauf nicht umgesetzt wurden. Lediglich die Fantasiereisen, welche die Themen der vorherigen Wochen jeweils kurz aufgriffen, sorgten für eine Wiederholung der Inhalte. Die Leitlinie „Angemessene Leistungserwartungen der Studienleistungen“ wurde in den Fragebogen nicht aufgenommen, da die Abgabe der Studienleistungen erst nach dem Erhebungszeitpunkt des Fragebogens stattfand.

Insgesamt konnte mit der Befragung gezeigt werden, dass gewünschten Wirkungen der detailliert ausgearbeiteten und überdachten Maßnahmen erzielt werden konnten. Ob genau die einzelnen Maßnahmen dafür ausschlaggebend waren, kann als wahrscheinlich,

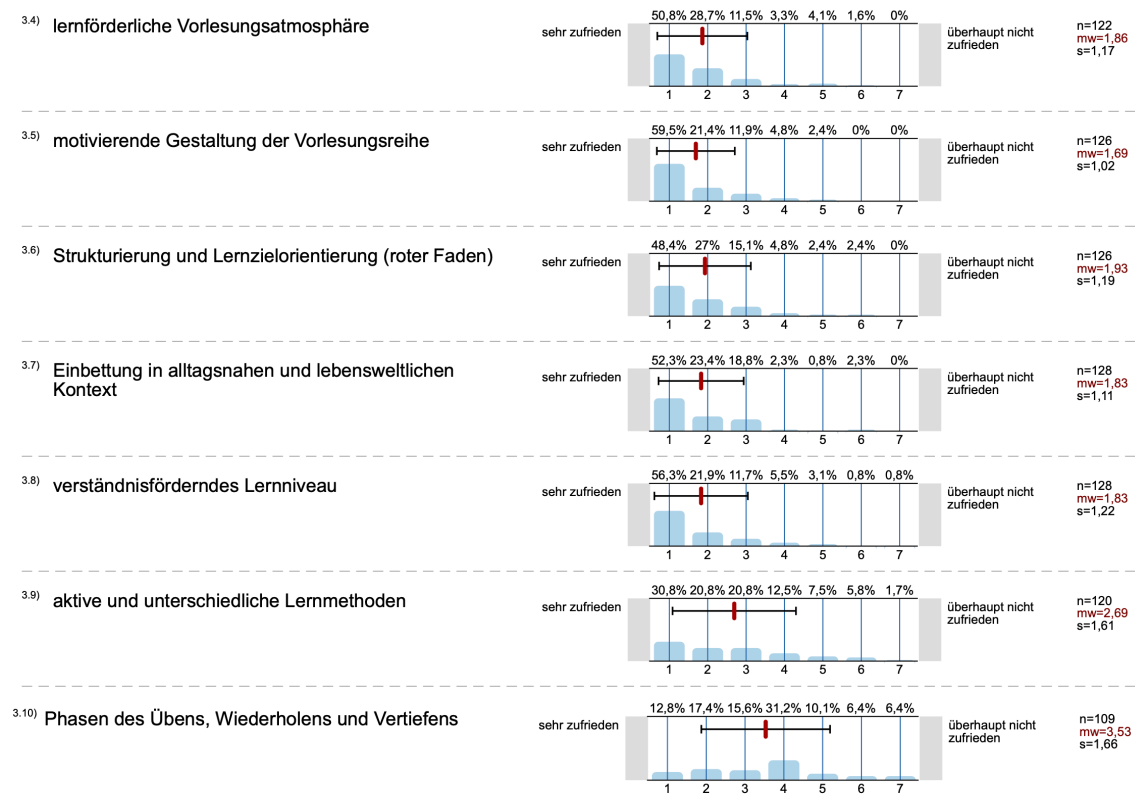


Abb.4: Ergebnisse der Evaluation [20]

aber nicht als empirisch geprüft, angenommen werden. Zudem hat an der Evaluation nur ein Bruchteil der Teilnehmenden (133 Personen) teilgenommen. Hier bleibt die Frage offen, ob es sich hierbei um Personen gehandelt hat, die von sich aus ein großes Interesse an der Vorlesungsreihe mitgebracht haben und sie auch deshalb besser bewerteten.

6. Ergebnisse der Evaluation

Bei der Vorlesung „Visions for Climate“ konnte gezeigt werden, dass Erkenntnisse aus der physikdidaktischen Forschung, in diesem Fall speziell die anwendungsnahen „11 Merkmale guten Physikunterrichts“ von Merzyn auch auf Hochschulformate wie Ringvorlesungen anwendbar sind [11]. Diese haben dafür gesorgt, dass die Veranstaltung studierendenzentrierter und interaktiver gestaltet werden konnte. Dabei waren die meisten Aspekte auch ohne größeren finanziellen und zeitlichen Aufwand umsetzbar. Andere Maßnahmen dagegen, wie die Produktion der Fantasiereisen, waren sehr zeit- und auch kostenintensiv. Auch konnte festgestellt werden, dass trotz der getätigten Maßnahmen eine Differenzierung, Individualisierung und Aktivierung der Studierenden nur bedingt umsetzbar war, im Gegensatz zu anderen Lernformaten beispielsweise Seminaren, bei denen dies einfacher möglich ist. Abschließend ist aber zu sagen, falls, etwa aus ökonomischen Gründen, auf das Vorlesungsformat zurückgegriffen werden muss, können didaktische Ansätze und Leitlinien helfen, einen großen Mehrwert bei diesem Ausbildungsformats zu erzeugen.

7. Literatur

- [1] Otto, Ilona et al. (2020): Social tipping dynamics for stabilizing Earth's climate by 2050. In: Proceedings of the National Academy of Sciences 117, 5, S. 2354 – 2365
- [2] Homepage des Projekts „Zukunftsmul“ der Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Url: <https://zukunft.uni-mainz.de> (Stand 5/2023)
- [3] Education21 (2016): Bildung für Nachhaltige Entwicklung. Ein Verständnis von BNE und ein Beitrag zum Diskurs. Url: <https://www.education21.ch>. Bern. Lausanne. Bellinzona (Stand 5/2023)
- [4] Apel, Hans Jürgen (1999): Die Vorlesung: Einführung in eine akademische Lehrform. Köln: Böhlau
- [5] Duden: Ringvorlesung, Url: <https://www.duden.de/rechtschreibung/Ringvorlesung> (Stand 5/2023)
- [6] Dubs, Rolf (2019): Die Vorlesung der Zukunft: Theorie und Praxis der interaktiven Vorlesung. Opladen, Toronto: Verlag Barbara Budrich
- [7] Volk, Benno (2020): Vorlesungen vor dem Hintergrund aktueller Flipped Classroom-Ansätze. In: Egger, Rudolf; Eugster, Balthasar (2020): Lob der Vorlesung. Vorschläge zur Verständigung über Form, Funktion und Ziele universitärer Lehre. S. 205-226. Wiesbaden: Springer-Verlag
- [8] Renkl, Alexander; Eitel, Alexander; Glogger-Frey, Inga (2020): Die Vorlesung – nur schlecht, wenn schlecht vorgelesen: Warum eine gut gemachte Vorlesung einen Platz im Methodenrepertoire verdient. In: Egger, Rudolf; Eugster, Balthasar (2020): Lob der Vorlesung. Vorschläge zur Verständigung über Form, Funktion und Ziele universitärer Lehre. S. 113-136. Wiesbaden: Springer-Verlag
- [9] Schams, Sascha (2005): Empirische Untersuchung zur Gestaltung von Vorlesungen in der medizinischen Ausbildung. Dissertation. München: Medizinische Fakultät
- [10] Uemminghaus, Monika; Frey, Dieter (2021): Was macht gute Lehre aus: Eine Synopse theoretischer Modelle und praktischer Erfahrungen. In: Frey, Dieter; Uemminghaus, Monika (2021): Innovative Lehre an der Hochschule. Konzepte, Praxisbeispiele und Lehrerfahrungen aus COVID-19. S. 31-67. Berlin: Springer-Verlag
- [11] Merzyn, Gottfried (2015): Guter Physikunterricht. Die Sicht von Schülern, Lehrern und Wissenschaftlern. In: PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung, 1 (2015), S. 1-8, Url: <https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phydid-b/article/view/589> (Stand 5/2023)
- [12] Brauer, Markus (2014): An der Hochschule lehren: Praktische Ratschläge, Tricks und Lehrmethoden. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag
- [13] Haversath, Johann-Bernhard (2012): Geographiedidaktik: Theorie – Themen – Forschung. Braunschweig: Westermann
- [14] 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.
- [15] Vereinte Nationen: Sustainable Development Goals, Url: <https://unric.org/de/17ziele/> (Stand 5/2023)
- [16] Ulrich, Immanuel (2020): Gute Lehre in der Hochschule: Praxistipps zur Planung und Gestaltung von Lehrveranstaltungen. Wiesbaden: Springer-Verlag
- [17] Schneider, Michael; Mustafic, Maida (2015): Gute Hochschullehre: Eine evidenzbasierte Orientierungshilfe: Wie man Vorlesungen, Seminar und Projekte effektiv gestaltet. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag
- [18] Terada, Youki (2022): 8 Evidence-Based Tips to Make Your Lectures More Engaging – and Memorable. Url:

<https://www.edutopia.org/article/8-evidence-based-tips-make-your-lectures-more-engaging-and-memorable/> (Stand 5/2023)

- [19] Russel, I. Jon; Hendricson, William D.; Herbert, Robert. J. (1984): Effects of lecture information density on medical student achievement. In: Journal of Medical Education 59, 11, S. 881-889
- [20] Zentrum für Qualitätssicherung JGU (2023): Veranstaltungsevaluation der Vorlesungsreihe Visions for Climate (Wintersemester 2022/23), Mainz