

Grebe-Ellis, J. & Grötzebauch, H. (Hrsg.)

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

Fachverband Didaktik der Physik

Virtuelle DPG-Frühjahrstagung 2021

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:

Grebe-Ellis, J. & Grötzebauch, H. (Hrsg.). (2021). PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur virtuellen DPG-Frühjahrstagung 2021. 544 S.
Url.: <http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/1197>
ISSN 2191-379X

Copyright Hinweise

Der Autor ist für die rechtmäßige Verwendung von eingereichten Beiträgen, Abbildungen, Hyperlinks und Zusatzmaterialien verantwortlich und trägt 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: <http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/index>

ISSN: 2191-379X



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/de/>

Inhaltsverzeichnis

Plenarvorträge (Hauptvorträge)

Pospiech

Die zweite Quantenrevolution - Quanteninformatik im Physikunterricht 1

Anregungen aus dem Unterricht für den Unterricht

Frank, Thoms

Digitale Kompetenzen beim Experimentieren fördern: Ortsfaktorbestimmung mit verschiedenen Sensoren im Physikunterricht 13

Horn

Dirac-Algebra: Kurz und schmerzlos 21

Astronomie

Carmesin

The Origin of the Energy 29

Hohmann, Gschwind, Müller, Nordine, Riesen

Das Stellarium Gornegrat 35

Langendorf, Merker, Hessman, Schneider

Simulationsbasiertes Lernen im Astrophysik-Tutorium am Beispiel Schwarzkörper und Sternspektren 43

Lieber, Carmesin

Dynamics in the early universe 49

Sawitzki, Carmesin

Dimensional Transitions in a Bose Gas 53

Schöneberg, Carmesin

Solution of a Density Problem in the Early Universe 61

Grundschule

Mehrtens, Müller, Rehfeldt, Köster

Modellierung naturwissenschaftlicher Leistungs- und Begabungspotenziale im Kita- und Grundschulalter 65

Hochschuldidaktik

| | |
|---|-----|
| Brackertz, Dahlkemper, Drotloff, El Miniawy, Gehlert, Geyer, Ivanjek, Jeličić, Kotakosko, Kern-Michler, Klein, Küchenmann, Längle, Weimerskirch, Schielke, Susac, Witte Workshop: Hochschuldidaktische Konsequenzen aus zwei Semestern Krisenlehre | 73 |
| Brackertz, Freyer, Kern-Michler, Längle, Vosteen Wie sieht die Struktur des Physikstudiums aus? | 81 |
| Diederich, Spatz Validierung eines Mindset-Fragebogens für Physik- (Lehramts-) Studierende mittels Interviewstudie | 87 |
| Hahn, Klein Multiple Repräsentationen als fachdidaktischer Zugang zum Satz von Gauß - Qualitative Zugänge zur Interpretation der Divergenz von Vektorfeldern | 95 |
| John, Starauschek Unter welchen Bedingungen erachten Physiklehramtsstudierende ihr Physikfachstudium als relevant für ihren zukünftigen Physikunterricht? | 101 |
| Kaps, Schmid, Franke, Stallmach Analyse von Experimentierhausaufgaben in der klassischen Mechanik | 113 |
| Kaps, Stallmach Lernwirksamkeitsanalyse smartphonebasierter Experimentierhausaufgaben | 121 |
| Lahme, Bauer, Reinhold Ansätze zur Diagnose und Förderung von Problemlösefähigkeiten in der Studieneingangsphase Physik | 127 |
| Schmitt, Spatz Evaluation eines online Begleitkurses „Physik für Elektrotechnik“ im Hinblick auf die Nutzung durch die Studierenden | 135 |
| Woitkowski Fachwissen und Problemlösen im Physikstudium | 143 |
| Lehreraus- und Lehrerfortbildung | |
| Brämer, Rehfeldt, Köster Computational Playground - Eine Rasch-Analyse zum Computational Thinking bei Sachunterrichtsstudierenden im Lehr-Lern-Labor | 153 |

| | |
|---|-----|
| Ghassemi, Nordmeier Ein Masterstudiengang mit dem Profil Quereinstieg als alternativer Professionalisierungsweg für das Lehramt an Gymnasien und Integrierten Sekundarschulen | 165 |
| Große-Heilmann, Riese, Burde, Schubatzky, Weiler Erwerb und Messung physikdidaktischer Kompetenzen zum Einsatz digitaler Medien | 171 |
| Stinken-Rösner Digitale Medien in der naturwissenschaftlichen Lehrkräftebildung: Integriert statt zusätzlich | 163 |
| Tampe, Spatz Umsetzung eines interdisziplinären Seminars zur Erkenntnisgewinnung als E- Learning-Veranstaltung | 187 |
| Thoms, Girwidz Eine Lehrerbefragung zum Einsatz digitaler Tools im Physikunterricht | 195 |
| Vairo Nunes, Korneck, Berger, Ziegler, Rönnebeck, Parchmann Entwicklung eines Testinstruments zur Untersuchung der Arbeitssituation von MINT-Lehrkräften | 203 |
| Weiler, Burde, Lachner, Riese, Schubatzky, Große-Heilmann Entwicklung eines Seminars zur Förderung des Konzeptverständnisses mittels digitaler Medien | 209 |
| Lehr- und Lernforschung | |
| Bolte, Schrader Risiken der Radioaktivität aus Sicht von Jugendlichen | 217 |
| Dahlkemper, Wiener, Müller, Schmeling, Klein Untersuchung der Wahrnehmung von Feynman-Diagrammen mittels Eye Tracking | 225 |
| Dietz, Bolte Mehrdimensionale Analyse zur Vernetzung von Begriffselementen des Basiskonzepts Energie | 233 |
| Dohrmann, Rüge, Ghassemi, Nordmeier Inklusionsorientierung und Differenzierung | 243 |
| Fösel, Bitzenbauer Empirische Forschung im Erlanger SchülerForschungsZentrum ESFZ - Erste Ergebnisse einer explorativen Fragebogenstudie | 251 |

| | |
|--|-----|
| Goldhorn, Wilhelm, Spatz Das physikbezogene Growth Mindset bei Schüler*innen fördern | 259 |
| Heinicke, Heusler Selbstgesteuertes Lernen mit digital erweiterten Workbooks | 265 |
| Hohrath, Krabbe, Aßmann, Opfermann Selbstbestimmtes und angeleitetes Experimentieren im Schülerlabor | 271 |
| Kriegel, Spatz Physik und Sport - Kontextorientierte Unterrichtsmaterialien zur Förderung des Interesses am Mechanikunterricht | 277 |
| Schulz, Zöggeler, Strahl Beliefs zur Theoretischen Physik, der unbekannteren Seite der Schulphysik | 285 |
| Weber, Teichrow Akzeptanzbefragung zu Augmented Reality-Experimenten auf dem Spielplatz | 293 |
| Welberg, Laumann, Heinicke „Und für wen ist dieser Kontext?“- Studien zu Kontexten und Interessen im Physikunterricht unter Beachtung von Gender und Selbstkonzept | 299 |
| Neue Konzepte | |
| Becker, Hopf Der Energie-Feld-Ansatz: Design-Forschung zur Entwicklung und Evaluation eines Unterrichtskonzeptes für den Energieunterricht der Oberstufe | 307 |
| Burde, Häßner, Dopatkax, Spatz, Wilhelm, Hopf, Schubatzky, Haagen-Schützenhöfer, Ivanjek Die Kontextorientierung im EPo-EKo-Konzept aus Sicht der Lehrkräfte | 315 |
| Ehrmann, Ehrmann Formgedächtnispolymere – vom 3D-Druck zur Polymerchemie | 321 |
| Gottschlich, Burde, Dopatka, Spatz, Schubatzky, Haagen-Schützenhöfer, Ivanjek, Wilhelm, Hopf Konzeption eines Forschungsprojekts zu kontextbasiertem traditionellen Unterricht zu einfachen Stromkreisen | 327 |
| Hinkelmann, Goertz, Heinke Entwicklung des „FLexKom-Karussells“ zur Förderung experimenteller Kompetenzen | 333 |
| Reinsch, Cartarius, Prokop, Kemmler, Scheiger, Stütz, Nawrodt Moderne Physik im Lehr-Lern-Labor | 341 |

| | |
|--|-----|
| Roth, Goertz, Heinke Ein Escape-Game zur Förderung experimenteller Kompetenzen - Gestaltung des finalen Rätsels "Geldkoffer" | 345 |
| Schulz, Wilkenloh, Brackertz Lernen aus Widersprüchen: Vom Schülerlabor zur Schulpraxis | 351 |
| Zöggeler, Strahl, Maresch Die Bewegung im räumlichen Denken bei physikalischen Aufgaben | 361 |
| Neue Medien | |
| Bernstein, Keller, Schmeling, Wilhelm 3D-Druck und Mikrocontroller: Ein Dreamteam für Lowcost-Hightech-Experimente? | 369 |
| Elsholz, Lutz, Haase, Trefzger Forschen@Home: Ein digitaler Lehr-Lern-Raum mit tet.folio | 375 |
| Frank, Stolzenberger, Trefzger Augmented-Reality-Applikation zum Einsatz bei Schülerexperimenten im Elektrizitätslehreunterricht der Sekundarstufe I | 383 |
| Haase, Sommerer, Kirstein, Nordmeier tet.folio: Eine Online-Plattform für die Produktion innovativer Lehr-Lern-Angebote | 389 |
| Heinen, Heinicke Gestaltung von Lernmaterial und Didaktische Typografie – wie sich die Lesbarkeit von Texten auch ohne sprachliche Anpassungen verändern lässt | 395 |
| Lutz, Haase, Burde, Wilhelm, Trefzger Ein interaktiver Lehrgang zur geometrischen Optik auf tet.folio | 403 |
| Schlummer, Abazi, Borkamp, Lauströer, Pernice, Schuck, Schulz-Schaeffer, Heusler, Laumann Physikalische Modelle erfahrbar machen - Mixed Reality im Praktikum | 415 |
| Schwanke, Trefzger Entwicklung von AR-Applikationen für die Elektrizitätslehre der Sekundarstufe I | 421 |
| Teichrew, Grasse Augmented Reality-Experimente zur Wellenphysik | 427 |
| Vogt, Kasper Quantitative Phänomene rund ums Fliegen: Erfassung realer Flugdaten mit der App „Flightradar24“ | 435 |

Weber, Wilhelm
Videostudie zum Einsatz von mathematischer Modellbildung und Videoanalyse 441

Neue Versuche und Praktika

Ehrmann, Ehrmann
Smart Textiles in MINT-Fächern – Elektronik mit Nadel und Faden 447

Kasper, Vogt
Physik und Wein: Eine Experimentierreihe (auch ohne Alkohol) 451

Kremser, Sekyra
Eignung von Wireless Sensoren in Experimentalphysik-Vorlesungen 461

Ruhe, Stachowiak, Kolken
Qualitative Versuche zur Physik des Treibhauseffekts 469

Sekyra, Kremse
Vergleich computerunterstützter Messwerterfassungssysteme für den Physikunterricht 475

Stütz, Nawrodt
Entwicklung eines Didaktikpraktikums für Physik-Lehramtsstudierende, ein Zwischenstand 483

Quantenphysik

Aehle, Cartarius
Didaktische Ansätze für Quantum Random Number Generators (QRNG) 489

Gerke (VH Greinert), Müller, Bitzenbauer, Ubben, Weber
Ermittlung von Anforderungen an künftige Quanten-Fachkräfte: Zwischenbericht aus der Delphi-Studie 495

Studienreform-Forum Physik

Aljanazah, Brackertz, Gehlert, Kern-Michler, Längle, El Miniawy, Witte
Vorstellung des Studienreformforums: Bisherige Arbeit und aktuelle Beiträge 501

Weitere Themen

Bitzenbauer, Veith

Teacher identity von MINT-Lehrkräften: Explorative Studie zur Selbst- und Fremdwahrnehmung 517

Brackertz, Schulz

Lernen aus Widersprüchen – ein Ansatz für Universal Design 525

Fischer, Welzel-Breuer

Zur Legitimation hochwertiger physikalischer Bildung für Straßenkinder und - jugendliche - The Legitimation of Quality Physics Education for Street- Connected Children and Street Youth 531

Zügge

Kontexte für den Kontext 539

Tagungsprogramm

Url: <https://www.dpg-verhandlungen.de/year/2021/conference/didaktik/part/dd>

Die zweite Quantenrevolution - Quanteninformatik im Physikunterricht

Gesche Pospiech

TU Dresden, Fakultät Physik, Professur für Didaktik der Physik
gesche.pospiech@tu-dresden.de

Kurzfassung

In den letzten Jahrzehnten hat die Quantentechnologie rasante Fortschritte gemacht. Die sich daraus ergebenden Anwendungen und Möglichkeiten dringen immer stärker in das Bewusstsein der interessierten Menschen und finden ihren Niederschlag in der medialen Begleitung. Parallel dazu bahnt sich ein Paradigmenwechsel im Unterricht über Quantenphysik sowohl an der Schule als auch an der Universität an. Insbesondere treten die vielfach diskutierten Interpretationsfragen in den Hintergrund und machen einer pragmatischen Betrachtungsweise Platz, die die Besonderheiten der Quantenphysik als gegeben akzeptiert und sie für neue bislang ungeahnte Anwendungen nutzt. Dabei stellt sich die Frage, welche Aspekte für den Schulunterricht auf verschiedenen Stufen, für die universitäre Ausbildung von Physikern und von Ingenieuren von besonderer Bedeutung sind. In diesem Beitrag werde ich mich auf den Bereich der Quanteninformatik konzentrieren und ausloten, welche Aspekte sich hierbei im Sinne einer Allgemeinbildung als relevant und realisierbar für den schulischen Unterricht erweisen können.

1. Relevanz des Themas „Quantentechnologien“

Seit einigen Jahren gewinnen Technologien, die mit einzelnen Elektronen, Ionen oder Atomen arbeiten, unter der gemeinsamen Bezeichnung „Quantentechnologien“ sehr stark an Aufwind. Rainer Blatt sagt für das 21. Jahrhundert ein „Jahrhundert der Quantentechnologie“ voraus, das sowohl die Wirtschaft als auch die Gesellschaft noch einmal fundamental verändern werde (Steger 2019). Was mit Experimenten in Forschungslaboren, mit Grundlagenforschung in der Quantenphysik auf der Basis wissenschaftlicher Neugier begann, führte in den letzten Jahrzehnten zu einem deutlich zunehmenden Interesse über die Wissenschaft hinaus an möglichen Anwendungen; die entsprechenden Technologien erhielten einen Schub, der neue physikalische, ingenieurwissenschaftliche, informatische Anwendungen erschließt und zunehmend auch ökonomische und militärische Bedeutung entwickelt.

1.1 Entwicklung von der 1. zur 2. Quantenrevolution

Man hat die Quantenphysik, die „Erste Quantenrevolution“, seit 1900 mit klassischen Methoden, Experimenten und Werkzeugen gefunden, ohne dass man im entferntesten ahnte, dass man damit die klassische Physik aus den Angeln heben würde. Physikalisch gesehen beruht die Erste Quantenrevolution auf der Kontrolle des Verhaltens großer Ensembles von Quantenteilchen (Jäger 2018): Es ging darum zu beschreiben, wie man den Fluss vieler Elektronen steuern, eine große Anzahl von Photonen anregen oder auch den Kernspin zahlreicher Atome auf ein-

mal messen kann. Konkrete Beispiele sind die Kohärenz von Photonen beim Laser, die Spin-Eigenschaften der Atomkerne bei der Magnetresonanztomographie, die Bose-Einstein-Kondensation oder auch Supraleitung. Solche Anwendungen machen quantenphysikalische Effekte in unserer Welt erfahrbar. Dieser Erkenntnisgewinn führte zu gewaltigen Auswirkungen auf unser Weltbild einerseits und auf breite ökonomisch wie gesellschaftlich disruptive Anwendungen andererseits. Dazu gehört nicht nur der Laser, sondern beispielsweise auch die physikalische Grundlage moderner Festplatten, der „giant magnetoresistance“, für dessen Entdeckung im Jahr 2007 der Nobelpreis verliehen wurde und der die Voraussetzung zahlreicher Alltagsanwendungen ist.

Neben diesem Anwendungsbezug sollte man Schülern die wissenschaftliche Redlichkeit verdeutlichen, die dazu gehört, Daten mit großer Präzision zu erheben, ein fest gefügtes Weltbild auf der Basis neuer Evidenz in Frage zu stellen und die Kreativität erfahrbar machen, die dazu gehört, sich mögliche neue Beschreibungsmöglichkeiten zu erschließen. Solche Fragen zum Erkenntnisgewinn, letztendlich philosophisch verankert, gehören explizit zum Physikunterricht, genauer gesagt zum Unterricht *über* Physik.

In den letzten Jahrzehnten stehen für die Untersuchung von Quantenobjekten Instrumente zur Verfügung, die aus der Quantenphysik selber hervorgegangen sind: Laser, Photonen, Transistoren, etc.. Daher erscheint es nicht als großes Wunder, dass man mit Quantenwerkzeugen tiefer in die Quantenphysik eindringen und sie noch besser verstehen kann. Auf

dieser Basis geht es bei der Zweiten Quantenrevolution um ganz neue technologische Fähigkeiten, die vor einigen Jahrzehnten undenkbar schienen (s. a. Zitat von Schrödinger aus dem Jahr 1952 in Abb.1). Man kann heutzutage einzelne Quantenobjekte gezielt manipulieren und messen. Man kann ihre Wechselwirkungen kontrollieren und nutzen. Diese Techniken umfassen die Entwicklung von Quantensensoren, Quantenmetrologie, Quantenbildgebung, Quantensimulationen und Quanteninformation, zusammenfassend die Quantentechnologien genannt (Kagermann et al 2020). Auslöser für die aktuelle rasante Entwicklung waren die Grundlagen der Quanteninformation und Quanteninformationsverarbeitung, kurz Quanteninformatik, in Wechselwirkung mit technologischen Entwicklungen. Wie sich die Erste Quantenrevolution mit Plancks Erkenntnis 1900 angekündigt hat und sich nach 1925 rasch entwickelte, kündigte sich die neue 2. Quantenrevolution mit den Arbeiten von Bell ab ca 1964 an (Bell 1964) und nahm nach 1982 Fahrt auf (s. z. B. Aspect et al. 1982; Aspect 2015; Bouwmeester et al. 2001; Bouwmeester et al. 1997; Pan et al. 2000; s. a. Abb.1). Die begriffliche Klarheit innerhalb der Quantenphysik, die sich aus dieser reinen Grundlagenforschung ergab, schlägt sich in zunehmend pragmatischer werdenden wissenschaftlichen Darstellungen und auch in der universitären Lehre nieder.

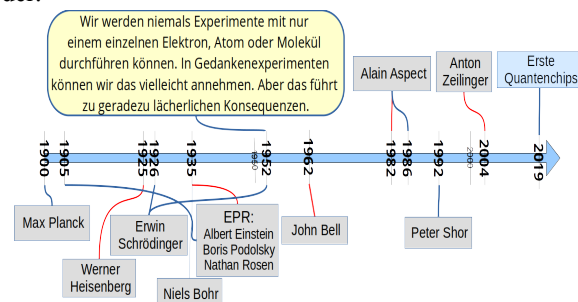


Abb.1: Unterhalb des Zeitstrahls finden sich theoretische Physiker, die die Grundlagen der Quantentheorie gelegt haben, oberhalb ausgewählte experimentelle Physiker, die mit einzelnen Quantenobjekten experimentiert und so den Weg zur zweiten Quantenrevolution bereitet haben. Die Auswahl der Physiker wird umso subjektiver und willkürlicher, je näher man dem heutigen Datum kommt. Es gibt mittlerweile so viele Beiträge, dass sich ein vollständiges Bild schlichtweg nicht mehr zeigen lässt.

Nach der ersten Phase kamen seit 1992, mit dem Shorschen Algorithmus (Shor 1994), militärische und sicherheitsrelevante, in jüngster Zeit auch ökonomische Interessen hinzu, womit plötzlich auch das Thema der Fachkräftesicherung im Bereich der Quantentechnologien virulent wird. Aus diesen beiden Gründen ist es an der Zeit, die gewonnenen Erkenntnisse auch in schulische Konzepte umzusetzen.

1.2 Quanteninformatik in den Medien

In diesem Beitrag steht die Quanteninformatik als Teilbereich der Quantentechnologien im Zentrum. Die wissenschaftliche Aktivität auf diesem Gebiet äußert sich natürlich unter anderem in stark steigenden Publikationszahlen (s. Abb. 2). Diese Entwicklung seit 1990 wurde ansatzweise quantifiziert, indem auf scholar.google.de mit dem Stichworten „quantum computing“, „quantum computer“, „quantum cryptography“ und „post quantum cryptography“ nach Veröffentlichungen gesucht wurde. Die Zahl der Suchergebnisse kann zwar nur eine grobe Abschätzung sein, weil öfters Fehlklassifizierungen auftreten. Zudem handelt es sich wohl eher um die Spitze des Eisbergs, denn Veröffentlichungen zur Lösung technischer Probleme der Quanteninformatik tragen nicht unbedingt das Schlagwort „quantum computing“ im Titel. Man sieht auch, dass Quantenkryptographie nicht mehr primär im Zentrum des Interesses steht, dafür aber Strategien gesucht werden, wie man mit der neuen Sachlage umgehen kann, wenn ein Quantencomputer wirklich (irgendwann einmal) die RSA-Verschlüsselung knacken kann („post quantum cryptography“).

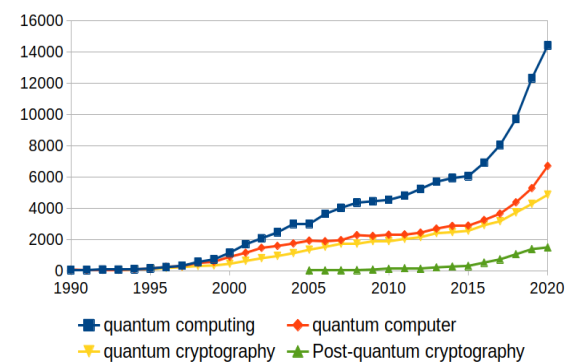


Abb. 2: Entwicklung der Publikationen zu Themen der Quanteninformatik. Es handelt sich um geschätzte Zahlen nach den zum entsprechenden Suchbegriff auf scholar.google.de angezeigten Publikationen (März 2021).

Diese zunehmende wissenschaftliche Aktivität spiegelt sich in der Wissenschaftskommunikation und in allgemeinen Medien, so dass auch entsprechende Berichte in Zeitschriften und Zeitungen eine breitere Öffentlichkeit finden. Dabei erntet der Quantencomputer, mehr noch als die Quantenkryptographie, die meisten Schlagzeilen von allen Aspekten der Quantentechnologien. Dabei sind die Schlagzeilen zuweilen durchaus reißerisch wie von Fokus-online (9.9.2015): „Quantencomputer der NSA - Monsterrechner droht die Welt ins Chaos zu stürzen“¹. Aber es gibt auch sehr informative Artikel z. B. FAZ-online (28.10.2019): „Wie funktioniert ein Quantencomputer“², der Q-Bits, Verschränkung und Quantengatter in angemessener Weise thematisiert. Jenseits aller übertriebenen Darstellungen,

¹https://www.focus.de/wissen/experten/schmeh/quantencomputer-der-nsa-quantencomputer-koennten-die-welt-ins-chaos-stuerzen-3_id_3522157.html

weitreichenden Hoffnungen oder Visionen geht die Entwicklung voran, mit grundlegenden theoretischen Analysen, experimentellen und technologischen Erkenntnissen und zunehmend realistisch und konkreter werdenden Erwartungen an künftige Leistungen eines Quantencomputers in spezifischen Bereichen, wie z. B. in der Pharmakologie zur Simulation komplexer Moleküle. So findet man entsprechende Berichte mittlerweile nicht mehr nur auf den Wissenschaftsseiten, sondern auch auf den Wirtschaftsseiten einschlägiger Zeitungen (12.2.2021): „Boehringer-Ingelheim rechnet jetzt mit Google-Quanten“³. Dabei ist das in der Öffentlichkeit präsenteste Symbol der neuen Quantentechnologien, quasi als *pars pro toto*, der Quantencomputer, das Aushängeschild der Quanteninformatik.

1.3 Exkurs: Quantencomputer

Die zentrale Frage ist:

Was macht einen Quantencomputer überhaupt aus und was kann er besser als klassische Computer?

Nach dem ersten Überschwang werden durchaus die Begrenzungen eines Quantencomputers und seine sehr spezifischen Möglichkeiten zur Kenntnis genommen. Dabei kristallisiert sich heraus, dass strukturelle, zufällige Probleme, deren Lösung zu den schwachen Seiten der klassischen Computer gehört, von Quantencomputern besser bearbeitet werden können. Zu solchen Problemen gehören: Suche in ungeordneten Datenbanken, Analyse von Netzwerken, Mustererkennung oder das Lösen linearer Gleichungssysteme mit „dünn besetzten“ Matrizen (ohne Struktur) (Montanaro, 2016). Das gemeinsame Charakteristikum all dieser Probleme ist, dass wegen der Strukturlosigkeit Element für Element einzeln betrachtet, ausgewertet oder verglichen werden muss. Daher steigt die (klassisch) notwendige Rechenzeit mehr als polynomial mit der Zahl der Elemente an. Die andere Stärke sind Optimierungsprobleme, bei denen unter zahllosen Möglichkeiten die beste ausgewählt werden soll, z. B. durch Quantenannealing. Ferner erscheint es plausibel, dass Quantensimulationen von Quantenmaterialien (v. a. in den Materialwissenschaften oder der Pharmakologie) eine Stärke des Quantencomputers sein können.

Weitgehend offen ist, welche die geeigneten Quantenalgorithmien sind, die passende Probleme auf einem Quantencomputer optimal lösen können. Die damit zusammenhängenden Fragen stehen im Zentrum der Quanteninformatik, die teilweise zurückwirkt auf die klassische Informatik, indem die Beschäftigung mit Algorithmen zur Lösung solcher Probleme, die für den Quantencomputer geeignet sind, neue Lösungen für klassische Probleme inspi-

rieren (Montanaro, 2016). Man kann sich auch vorstellen, dass irgendwann einmal für die Bewältigung bestimmter Aufgaben Quantenchips in einen klassischen Computer eingebaut werden, ähnlich wie man heute in einem Computer neben den „normalen“ Prozessoren auch Grafik-Prozessoren für spezielle Aufgaben verwendet.

Worin unterscheiden sich klassische und Quantencomputer?

Bei den meisten populärwissenschaftlichen Erklärungen des Quantencomputers steht im Zentrum, dass die Bits durch Q-Bits, oft als irgendwie geheimnisvoll konnotiert, ersetzt werden. Seltener wird die Parallelität der Algorithmen hervorgehoben, die durch Überlagerung und Verschränkung ermöglicht wird. Von entscheidender Bedeutung ist hier die Verschränkung. Ein weiterer wichtiger Punkt ist die von der Quantenphysik erzwungene Reversibilität einer Berechnung. Diese steht weniger im Fokus der meisten Erklärungen, wenngleich sie zentral für die Konstruktion eines Quantencomputers ist, weil dadurch die möglichen logischen Gatter eingeschränkt sind: beispielsweise sind AND und OR Gatter nicht reversibel, können also nicht in einem Quantencomputer verwendet werden. Anstelle dessen werden z. B. das CNOT (Controlled-not) verwendet (Pospiech, 2021; Homeister, 2018). Auch das Auslesen, der Messprozess, wird nicht oft thematisiert, ist aber wichtig, da gemäß der Quantenphysik nach einem einzigen Auslesen nur ein unvorhersagbarer, zufälliger Wert angezeigt wird. Wenn man auf einem der Quantencomputer von IBM rechnet, werden daher zunächst 1024 Wiederholungen vorgeschlagen (<https://quantum-computing.ibm.com/composer>). In dem Ergebnis sieht man dann die Statistik der möglichen Lösungen, die (wegen der unvermeidbaren Fehler in den Prozessoren) durchaus von dem ideal erwarteten Ergebnis abweicht. Die richtige Lösung sollte sich durch eine hohe Wahrscheinlichkeit auszeichnen.

Die unterschiedliche Funktionsweise von klassischem und Quantencomputer drückt sich auch darin aus, dass in gewisser Weise Software und Hardware ihre Rollen vertauschen: Die Bits eines klassischen Computers werden als Stromflüsse kodiert, die Software, das Programm, wird in den Binärcode umgesetzt. Die Gatter werden als integrierte Schaltkreise mit Hilfe von Transistoren physikalisch in der Hardware realisiert. Bei einem Quantencomputer ist dies im wesentlichen umgekehrt: Die Q-Bits sind als physikalische Objekte realisiert, die Gatter werden beispielsweise als eine Folge von Laser- oder Mikrowellenpulsen realisiert; sie manipulieren die physikalischen Objekte, wie beispielsweise Ionen in der Ionenfalle (Ambach, 2010).

Quantenüberlegenheit

Das wesentliche Ziel ist die Quantenüberlegenheit, damit sich der Forschungsaufwand lohnt:

² <https://www.faz.net/aktuell/wissen/computer-mathematik/wie-funktioniert-ein-quantencomputer-16452397.html>

³ <https://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/digitec/boehringer-ingelheim-rechnet-jetzt-mit-google-quanten-17140677.html>

Definition der Quantenüberlegenheit: Ein Quantencomputer kann in (relativ) kurzer Zeit ein Problem lösen, für das ein klassischer Computer eine nicht mehr vernünftige oder akzeptable Zeit benötigt.

Ist man wirklich schon so weit, dass Quantencomputer bereits jetzt besser sind als klassische Computer? Diese Frage wird seit spätestens 2019 diskutiert und hat mediales Aufsehen über den Kreis der Fachwissenschaftler hinaus erregt. Die Antwort darauf ist ein klares Ja.

Um die Quantenüberlegenheit zu zeigen, muss man Probleme auswählen, die auf klassischen Computern einen besonders hohen Rechenaufwand erfordern, d. h. die überpolynomial mit der Größe des Problems wachsen: dies sind die oben genannten unstrukturierten Probleme. Daher benötigt man für den Nachweis der Quantenüberlegenheit so viele Elemente, dass man die Verschränkung von Q-Bits – die automatisch mehrere Q-Bits miteinander verknüpft – nutzen kann und diese einen echten Vorteil in Bezug auf die Rechenzeit bietet. Wegen der Verschränkung muss nicht mehr Element für Element miteinander verglichen werden, sondern man sieht alle oder zumindest Gruppen von Elementen auf einmal. Um die Überlegenheit nachzuweisen, muss zudem ein Korrektheitskriterium für das Ergebnis der Rechnung definiert sein. Was kann man zu den bisherigen Versuchen sagen?

Die heftigsten Schlagzeilen hat der erste Versuch von Google im Jahr 2019 erzeugt. Google hat einen Quantenchip Sycamore mit 53 Q-Bits entwickelt (Arute et al., 2019). Diese zeichnen sich durch eine hohe Schaltgenauigkeit (>99%) und die Möglichkeit der Entkopplung einzelner Quantenbits aus. Für den Nachweis hat Google ein sinnfreies Problem „Random number sampling“ gewählt, in dem Quantengatter in zufälliger Reihenfolge hintereinander ausgeführt werden. Ab 50 Bits kann man erwarten, dass es eine deutliche Überlegenheit des Quantencomputers durch Möglichkeiten der Überlagerung und Verschränkung gibt. Das Resultat der zufällig ausgewählten Rechnung ist ein Bitstring mit 53 Stellen mit zufällig verteilten 0 und 1, man kann es als eine Zufallszahl interpretieren. Gesucht ist die Wahrscheinlichkeitsverteilung aller möglichen Bitstrings, die das Ergebnis dieser Rechnung sein können (oder die Wahrscheinlichkeit der einzelnen Zufallszahlen). Die Rechendauer betrug 200s. Die Korrektheit des Ergebnisses wurde dadurch plausibel gemacht, dass die Ergebnisse auf dem Quantencomputer mit denen auf einem klassischen Computer bei dem gleichen Problem mit wenigen Q-Bits miteinander verglichen wurden und der Transfer zu vielen Q-Bits vollzogen wurde. Nach einer Abschätzung von Google würde ein klassischer Supercomputer 10.000 Jahre für diese Berechnung benötigen. IBM hat diesem widersprochen und eine Realisierung auf einem klassischen Computer vorgeschlagen, die nur 2,5 Tage benötigt. Dennoch bleibt ein klarer Zeitvorteil für den Quantencomputer.

Der zweite Versuch wurde 2020 von chinesischen Wissenschaftlern durchgeführt (Zhong et al., 2020). Sie realisierten den Boson-Sampling Algorithmus, der 2013 als Möglichkeit für den Nachweis von Quantenüberlegenheit vorgeschlagen wurde (Aaronson and Arkhipov, 2013) und von dem bewiesen wurde, dass er nicht in polynomialer Zeit auf einem klassischen Rechner gelöst werden kann. In diesem Fall wurde als „Quantencomputer“ ein optisches Feld realisiert, das gleichzeitig von Photonen durchlaufen wird. Der jeweilige Auftreffort der Photonen wird durch Detektoren nachgewiesen. Die Frage war: Wie häufig wird welcher Weg durch das „optische Feld“ genommen? Auch hier geht es um die Berechnung einer Wahrscheinlichkeitsverteilung des Ergebnisses, die klassisch bei hinreichend vielen Bits nicht mehr in endlicher Zeit berechnet werden kann. Es wurden letztendlich gleichzeitig bis zu 76 Photonen durch das optische Feld (300 Strahlteiler, 75 Spiegel) geschickt. Man hat den „Quantencomputer“ 200s lang rechnen lassen. Die klassische Rechenzeit wurde mit 2,5 Mrd. Jahren abgeschätzt. Hier besteht der Einwand, dass es sich nicht um einen universellen Quantencomputer, sondern um eine spezielle Anordnung für eine spezielle „Rechnung“ handelt.

An diesen vielen Fragezeichen sieht man, dass auf diesem aktiven Forschungsfeld noch zahlreiche spannende und wohl auch überraschende Entwicklungen zu erwarten sind, die letztlich Auswirkungen haben werden, die auf die Gesellschaft als Ganzes wirken.

2. Quanteninformatik und Allgemeinbildung

Wegen dieser gegenwärtigen und zukünftigen Bedeutung der Quanteninformatik wird in diesem Artikel ihre Entwicklung aus der Perspektive der Schule beleuchtet und damit zusammenhängende Aufgaben für die Physikdidaktik angesprochen. Es stellt sich prominent die Frage, wie sich der bisherige Unterricht über Quantenphysik/ Quantentheorie im Lichte der modernen Einsichten verändern sollte. Vor allem ist zu beantworten, wie man den allgemeinbildenden Auftrag der Schule im Hinblick auf den Unterricht über Quantenphysik neu definieren kann oder muss, und zugleich der dynamischen Entwicklung in der Quanteninformatik Rechnung tragen kann. Dabei erweist sich als günstig, dass gerade die physikalisch-mathematischen Grundlagen und Kernkonzepte der Quantentheorie für die Quanteninformatik zentral sind, wie in Abb. 3 symbolisiert wird: QT kann die Abkürzung von Quantentheorie wie auch Quantentechnologie zugleich sein.

Ganz grundsätzlich gehört es zu den Aufgaben des Physikunterrichts, Schülern zu ermöglichen, die Bedeutung und Relevanz aktueller Entwicklungen im Kontext einer wohl fundierten Allgemeinbildung nachzuvollziehen. Inhalte zum Quantencomputer begegnen interessierten Schülern auf z. B. Youtube und anderen Plattformen. Dies verdeutlicht, dass

physikalische Fragen und daraus folgende technologische Entwicklungen aus der Grundlagenforschung akut relevant im Sinne von „mitreden können“ sind.



Abb. 3: Doppeldeutigkeit der Abkürzung QT

Jedoch bedürfen diese Quellen sehr unterschiedlicher Qualität der Einordnung auf der Basis der Kenntnis von Grundlagen, die in der Schule oder in systematisch angebotenen außerschulischen Angeboten gelegt werden sollten, um möglichst vielen Schülern den Weg zu einem Verständnis dieser Technologie zu ermöglichen. Dieses Ziel wird gestützt durch die Bildungsstandards für die Allgemeine Hochschulreife (Kultusministerkonferenz, 2020), die eine umfassende Diskursfähigkeit in Bezug auf Physik und physikalisch-technische Anwendungen fordern. Die Bildungsstandards haben insgesamt die fachkompetente Schülerin im Blick, die sowohl über Grundlagen in Wissen und Können verfügt und physikalische Konzepte und Methoden beherrscht, als auch die Aufgeschlossenheit und Kenntnisse entwickelt, um sich Wissen zu erschließen und zudem verfolgen zu können, wie sich Wissenschaft, hier die Quantenphysik, stetig weiter entwickelt. Inhaltlich haben die Bildungsstandards behutsam den Weg zu einem modernen Zugang zur Quantenphysik geöffnet, indem manche Traditionen bewusst nicht mehr erwähnt, neue Möglichkeiten aber angesprochen werden.

2.1 Kernelemente der Quantenphysik im Unterricht: Philosophie oder Technologie?

Im Zentrum der schulischen Bildung steht die Allgemeinbildung und bezogen auf den Physikunterricht die Herausbildung eines adäquaten physikalischen Weltbildes bei Schülern. Folgerichtig geht es eher um das Funktionsprinzip des Quantencomputers, aber nicht unbedingt um das Wissen über die Technik oder seine Realisierung. Ein Kernziel des Unterrichts zur Quantenphysik muss daher die Vermittlung der Grundlagen und Unterschiede von klassischem und quantenphysikalischem Weltbild sein, das manche der vergangenen Debatten hinter sich lässt. Schon v. Weizsäcker sprach davon, dass die Trauerarbeit zum Verlust des klassischen Weltbildes überwunden werden müsse (v. Weizsäcker 1985, S. 539). Um diese Ziele zu erreichen, muss es eine Schwerpunktverschiebung in der Schule geben, weg von einem traditionellen Welle-Teilchen-Dualismus oder einem Schwerpunkt auf der Atomphysik hin zu einem modernen Zugang beispielsweise über die Quantenoptik für ein adäquates Verständnis der

Quantenphysik, auch in Relation zur klassischen Physik. Dazu trägt die mittlerweile gewonnene Klarheit über die Begriffe der Quantenphysik entscheidend bei und prägt entsprechende Unterrichtskonzepte. In diesen werden quantenphysikalische Prozesse nicht mystifiziert, sondern man geht pragmatisch mit den Eigenschaften von Quantenobjekten um. Dies ermöglicht es, ihre spannenden Anwendungen zu verstehen und dabei zugleich die Besonderheiten der Quantenphysik hervorzuheben, die diese Eigenschaften erst ermöglichen. Dazu scheint die Quanteninformatik ein passendes Thema. Denn sie ist nicht nur faszinierend, sondern ihre Grundlagen: Überlagerung, Messprozess, Unbestimmtheit und vor allem die Verschränkung sind zugleich die zentralen Konzepte der Quantenphysik überhaupt. Gerade diese Kerneigenschaften der Quantenphysik, zu denen es keinen Gegenpart in der klassischen Physik gibt, eröffnen erst die neuen Möglichkeiten in den Quantentechnologien. Damit stellt sich nicht die Frage, ob man Philosophie – die Andersartigkeit der Quantenphysik – oder die Technologie – ihre Anwendungen – behandelt, sondern nur wie man sie am besten miteinander verknüpft. Zudem lassen unterschiedliche Interessen der Schüler die Antwort auf die Frage „Philosophie oder Technologie“ nicht zu einem „entweder oder“ werden, sondern regen eher die Suche nach möglichen Schwerpunkten an.

2.2 Verknüpfung von Quanteninformatik und quantenphysikalischen Konzepten

Um die entsprechende Schwerpunktbildung im Sinne der Allgemeinbildung zu sichern und jenseits jeglicher Mystifizierung die Grundlagen der Quantenphysik pragmatisch darzustellen, muss genau herausgearbeitet werden, in welcher Weise die Kernbegriffe der Quantenphysik – Überlagerung, Unbestimmtheit und Verschränkung sowie Messprozess – konstitutiv für die Quantenkryptographie und ihre Sicherheit oder den Quantencomputer und seine besondere Leistungsfähigkeit sind. Dazu werden sie im Unterricht, auch mit Hilfe von Visualisierungen oder Metaphern (s. Abschnitt 3.3) physikalisch charakterisiert und es wird gezeigt, wie sie mathematisch konkret und eindeutig beschrieben werden können. Die mathematisch-formale Beschreibung ist auch insofern wichtig, als sie die Unvereinbarkeit konkretisiert, aber mehr bestimmend für das Wesen der Physik ist und einer eventuellen Mystifizierung den Boden entzieht. Dabei ist der Modellcharakter aller Beschreibungen zu thematisieren. Insbesondere geht es darum, den Schülern die Unterschiede der quantenphysikalischen Sichtweise zur klassischen explizit deutlich zu machen.

Beispiel Quantenkryptographie

Am Beispiel der Quantenkryptographie lässt sich die Möglichkeit einer Verknüpfung besonders gut erläutern (s. Abb. 4). Zur Verschlüsselung eines Texts oder eine Nachricht mit Hilfe eines One-Time-pads mit einem binären Schlüssel werden Bits benötigt,

also zwei-wertige Größen. Im Quantenkontext werden diese durch Q-Bits mit ihrem Zustandsraum ersetzt. Um den perfekten Zufallsschlüssel, eine unvorhersagbare oder berechenbare Folge von 0 und 1 zu erhalten, benötigt man die Überlagerung und die Zufälligkeit der Messergebnisse. Beim sicheren Schlüsselaustausch hilft gemäß dem BB84 Protokoll die Unbestimmtheit. Das No-Cloning Theorem (Wootters & Zurek 2009) stellt sicher, dass der eine oder andere mögliche Trick des Spions, wie z. B. das Kopieren und Speichern der Zufallsfolge nicht funktionieren können (Pospiech, 1999, 2021). Damit spielen in der Quantenkryptographie bis auf die Verschränkung die zentralen Konzepte der Quantenphysik eine wichtige Rolle.



Abb.4: Beispiel Quantenkryptographie. Die Aspekte der Anwendung sind gelb markiert, die physikalischen Grundlagen blau. Diese werden eingeführt, wenn eine Fragestellung aus der Anwendung die Nutzung erfordert.

Beispiel Quantencomputer

Wegen der Komplexität und der Aktualität der Diskussion kann sich ein längerer Exkurs zum Quantencomputer lohnen. Auch hier lassen sich die Anwendung und die Grundlagen der Quantenphysik eng miteinander verknüpfen (Abb. 5). Dabei können auch Parallelen zum klassischen Computer genutzt werden, die die Notwendigkeit logischer Gatter zeigen. Zusätzlich zu den Eigenschaften, die zur Quantenkryptographie benötigt werden, muss man hier noch als weitere Eigenschaften der Quantenphysik nutzen: die Reversibilität des Zeitablaufs und die Verschränkung, die in passender Weise erzeugt oder aufgelöst werden muss (Pospiech 2021).

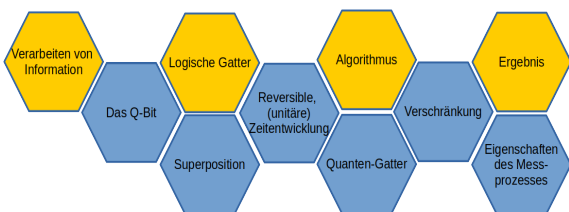


Abb.5: Beispiel Quantencomputer. Die Aspekte der Anwendung sind gelb markiert, die physikalischen Grundlagen blau. Diese werden eingeführt, wenn eine Fragestellung aus der Anwendung die Nutzung erfordert.

Im Unterricht ist also die Entwicklung des physikalischen Weltbildes – hier vor allem bezüglich des Unterschieds von klassischer Physik und Quantenphysik – sehr gut vereinbar mit der Behandlung von technologischen Entwicklungen mit Relevanz für die Gesellschaft als Ganzes. Um dies zu erreichen, muss jeder Unterricht neben der Einführung der Konzepte

„Überlagerung“ und „Unbestimmtheit“ in jedem Falle die Problematik des Messprozesses thematisieren, weil hier der Kern der Unvereinbarkeit von klassischer und Quantenphysik zu Tage tritt, und auch die mathematisch-formale Beschreibung andeuten, da diese letztendlich die Unvereinbarkeit „verursacht“. Bei der Erläuterung des Messprozesses sollte man unbedingt die eingängige Beschreibung durch Dekohärenz berücksichtigen, auch wenn sie den Messprozess nicht vollständig erklärt (Zurek 1991). Die breiten Anwendungsfelder und Bezüge über die Quanteninformatik im engeren Sinne hinaus eröffnen zahlreiche Möglichkeiten für den Unterricht oder auch außerschulische Angebote. Durch die große öffentliche Resonanz wird den Schülern zugleich die Anbindung an den Alltag jenseits konkreter Anwendungen deutlich: Es geht um Mitreden, neues Erfahren und Diskutieren.

3. Aspekte der Vermittlung

Hierbei geht es um die Frage, was der Mehrwert der Quanteninformatik für die Vermittlung (mathematisch)-physikalischer Konzepte der Quantenphysik in der Schule ist. Im Zentrum steht die Akzeptanz der Quantenphysik als einer „normalen“ physikalischen Theorie und die zielgerichtete Nutzung der besonderen Eigenschaften von Quantenobjekten, nämlich Überlagerung, Messprozess, Unbestimmtheit und Verschränkung.

3.1 Zwei-Zustandssysteme

Eine große Rolle spielen dabei Zwei-Zustandssysteme, in der Quanteninformatik als Q-Bits bezeichnet. Diese sind die einfachst möglichen Quantensysteme. Im Sinne der Didaktischen Rekonstruktion kann man an diesem „Spielzeugsystem“ den zentralen mathematisch-physikalischen Kern auf einfachst mögliche Elemente reduzieren. Die Vorteile liegen auf der Hand: Es handelt sich um Systeme, die mathematisch besonders einfach sind, weil sie mit zwei-dimensionalen Vektorräumen beschrieben werden können. Wenn nötig, kann sogar auf die komplexen Zahlen verzichtet werden, auch wenn dadurch die Diskussion von Phasen nur eingeschränkt möglich ist. Man braucht keine Wellenfunktion und keine Schrödingergleichung. Darüber hinaus ist der Zugang auch konzeptionell deutlich einfacher als ein „normaler“ Zugang: Es ist kein Springen zwischen Welle und Teilchen erforderlich, sondern man kann sich vollkommen auf Überlagerung, Unbestimmtheit und Messprozess (im Zusammenspiel von Indeterminismus und Wahrscheinlichkeit) konzentrieren. Damit werden die Prinzipien der Quantenphysik besonders klar sichtbar. Der Vorteile von Zwei-Zustandssystemen ist weiterhin, dass sie sich leicht geometrisch darstellen lassen (s. Abschnitt 3.3) und dass alle Eigen- (d. h. Mess)-werte diskret sind. Zudem können zahlreiche physikalische Systeme nach einer passenden Vereinfachung sehr gut als Zwei-Zustandssystem beschrieben werden (z. B. Atom im Grundzustand und Atom im angeregten Zustand).

Weitere passende Modellsysteme sind der Spin von Elektronen oder Photonen oder auch als Analogie die Polarisation von Photonen, mit deren Hilfe sich sehr gut Modellexperimente durchführen lassen (Pospiech, 1999; Pospiech, 2021). Diese vielfältige Einsetzbarkeit von Zwei-Zustandssystemen erlaubt den Lernenden eine Verknüpfung von Wissensbestandteilen aus unterschiedlichen Gebieten der Physik. Ein Beispiel aus der Elementarteilchenphysik wird im Abschnitt 3.2 knapp erläutert. Die Behandlung der Quanteninformatik, v. a. das Thema Quantencomputer lässt sich direkt mit einem Zugang über Zwei-Zustandssysteme verbinden. Außerdem vermeidet man über diesen Zugang Lernschwierigkeiten mit dem üblichen Zugang über Ort und Impuls (Sadaghiani, 2016) oder der Nutzung von Wellen- und Teilchenmodell, bei dem viel eher die Möglichkeit einer Vermengung mit klassischen Begriffen besteht oder die Quantenphysik als besonders unanschaulich empfunden wird.

3.2 Anwendung: Neutrinooszillationen

Konzepte wie Überlagerung und Unbestimmtheit sind nicht nur innerhalb der Quantenphysik selber von Bedeutung, sondern auch für andere Gebiete der Physik, wie z. B. für die Elementarteilchenphysik relevant. Die Anwendung der gleichen Konzepte in unterschiedlichen Bereichen erlaubt die Verknüpfung von Wissen, kumulatives Lernen und tieferes Verständnis, für das Lernen physikalischer Methoden (Methode des Analogieschlusses) und auch für das Lernen *über* Physik.

Konkret geht es in diesem Abschnitt um die Neutrinooszillationen, deren Beschreibung eng mit quantenmechanischen Argumenten verknüpft ist (Zuber 2015). Es gibt 3 Neutrinoarten mit unterschiedlichem Flavor: e-Neutrino, μ -Neutrino und τ -Neutrino. Diese werden als quantenmechanische Zustände einer Teilchengruppe dargestellt, d. h. sie bilden letztendlich ein 3-Zustandssystem. Damit kann eine Überlagerung von Zuständen der Neutrinos auftreten. Ferner gibt es zwei verschiedene Eigenschaften der Neutrinos, deren feste Bestimmung sich gegenseitig ausschließt: die Masse von Neutrinos und die Neutrinoart. Dies ist als gegenseitige Unbestimmtheit (Inkompatibilität) von Masse und Neutrinoart interpretierbar, d. h. Neutrinos können entweder als Masseeigenzustände oder als Flavoreigenzustände oder in den jeweiligen Überlagerungen auftreten. Zwischen diesen beiden Beschreibungen, mit der Eigenschaft „Masse“ oder der Eigenschaft „Flavor“, kann man mit der sog. Mischungsmatrix hin- und herschalten. In der mathematischen Behandlung lässt sich die Komplexität stark reduzieren, ohne die grundsätzliche Aussage zu verlieren, indem man sich auf zwei Neutrinoarten beschränkt und sich somit ein Zwei-Zustandssystem ergibt (Pospiech 2020, Zuber 2015). Dies erlaubt es, die gleichen mathematischen Methoden einzusetzen, sie damit mehrfach zu nutzen und ihre Macht zu erkennen.

3.3 Möglichkeiten der Visualisierung

Bei der Behandlung sowohl der physikalischen Konzepte wie ihrer mathematischen Beschreibung werden auch qualitative Mittel genutzt, die es Lernenden erlauben, eine Anschauung zu entwickeln und so ein intuitives Hantieren mit der mathematischen Beschreibung ermöglichen. In der Regel ergibt sich ein physikalisch vollständiges Bild erst aus dem Zusammenwirken mehrerer Repräsentationen (Ainsworth, 2008; Geyer and Kuske-Janßen, 2019). Dabei ist nicht gedacht, dass alle Repräsentationen zugleich gezeigt, sondern situationspezifisch eingesetzt werden, auch um eine kognitive Überlastung zu vermeiden.

Repräsentationen

In erster Linie geht es um die Visualisierung von Zwei-Zustandssystemen, wie beispielsweise Spin oder Polarisation. Diese lassen sich auf unterschiedlichen Abstraktionsstufen repräsentieren (s. Abb. 6). Es gibt die Präsentation als Experimentalskizze mit Stern-Gerlach-Apparat oder als Analogieexperiment mit der Polarisation mit Hilfe von Polarisationsfolien. Auch bildlich-symbolische Darstellungen der beiden möglichen Zustände als „up“ und „down“ sind möglich, die sich nahtlos in die Dirac-Notation übertragen lassen. Letztendlich gibt es auch die Darstellung auf der Blochkugel oder, fachlich reduziert, auf dem Blochkreis als geometrisch-mathematisches Modell sowie die Dirac-Notation als algebraisch-mathematisches Modell.

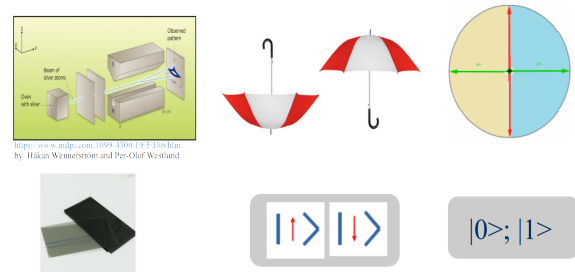


Abb. 6: Darstellungen von Zwei-Zustandssystemen von gegenständlich-bildlich bis zu abstrakt-mathematisch.

Simulationen

Neben diesen statischen Darstellungen sind auch bewegte Darstellungen wichtig, die erlauben, das Verhalten von Zwei-Zustandssystemen nachzuvollziehen. Dazu sind zum einen interaktive Bildschirmexperimente zu nennen (www.quantumlab.de) oder auch Simulationen in einer symbolischen Darstellung, die entsprechende Experimente schematisch umsetzen (www.st-andrews.ac.uk/physics/quvis/). Hierbei werden die Simulationen mit Tutorials eingebettet, die dabei unterstützen, sich mit der Simulation vertraut zu machen und systematisch mit ihr zu arbeiten (Kohnle et al., 2015; Kohnle et al., 2014). Dazu werden Aufgaben angeboten oder Parametervariationen ermöglicht. Die Simulationen der Quvis-Seite ermöglichen einen Einstieg in das Verständnis

quantenphysikalischer Konzepte mit unterschiedlichen Zugängen und auf unterschiedlichen Niveaus.

Modelle, Analogien, Metaphern

Wie überall in der Physik spielen Modelle und vor allem ihre bewusste Nutzung eine wichtige Rolle für die Beschreibung auch der quantenphysikalischen Prozesse. Gerade bei Quantenobjekten muss der Modellcharakter der Beschreibung und Interpretation zu jedem Zeitpunkt bewusst sein, da immer zwischen dem Quantenobjekt als solchem (ontologische Ebene) und dem, was man über es (aufgrund von Messprozessen) wissen kann (epistemische Ebene). Man würde also nie sagen: Das Quantenobjekt verhält sich als Teilchen oder Welle, sondern immer: Man beschreibt die beobachteten Ergebnisse mit dem Teilchenmodell oder mit dem Wellenmodell. Es werden explizit keine Aussagen über die Natur des Quantenobjekts getroffen.

Analogien sind eine spezifische Form von Modellen. Sie verfügen (innerhalb der Physik) über ähnliche physikalische oder mathematische Strukturen wie das Original. Im Zusammenhang mit Zwei-Zustandssystemen kann man die Polarisation als Analogie für den Spin verwenden. Demgemäß wird die Blochkugel resp. Blochkreis, die eigentlich für die Beschreibung der Polarisation eingeführt wurden, für die Beschreibung des Spins und des Q-Bits verwendet.

Oft findet man auch Metaphern. Diese nutzen Vergleiche aus physikfremden Bereichen und können daher zur Veranschaulichung genutzt werden, ohne Interferenzen mit klassisch-physikalischen Vorstellungen zu erzeugen. Jedoch muss man auch hier sorgfältig Nachteile des Einsatzes abwägen (Brookes and Etkina, 2007; Pospiech, 2019)

4. Erste Konzeptionen für den Unterricht

Es wurde erläutert, dass Zwei-Zustandssysteme als eine Art Spielzeugsystem geeignet sind, die wesentlichen Konzepte der Quantenphysik zu erlernen, auch weil sich mit ihnen die mathematische Komplexität auf das absolut Notwendige reduzieren lässt. Es gibt erste Hinweise, dass ein solcher Zugang sogar das Verständnis erleichtert (Sadaghiani, 2016). Für die methodische Umsetzung im Physikunterricht sind die beschriebenen Möglichkeiten zum Schaffen von inneren Bildern: der bewusste Einsatz von Modellen, die Nutzung multipler Repräsentationen sowie der Einsatz von Simulationen zu nutzen. Ferner gibt es Anknüpfungspunkte über die Quantenkryptographie zum „täglichen Leben“. Um zu überprüfen, wie dieses Thema mit der direkten Möglichkeit einer Verbindung von Anwendung und grundlegenden Begriffen als Einstieg in die Quantenphysik aufbereitet werden kann, wurden zwei kleine Studien durchgeführt, eine zur Einführung der Dirac-Notation sowie ein Kurs zur Quantenkryptographie für Schüler, die noch keinen Unterricht in Quantenphysik erhalten hatten.

4.1. Einführung der Mathematik/ Dirac-Notation

In einem ersten Schritt wurde eine Akzeptanzbefragung zur Dirac-Notation durchgeführt, da sie relevant für die Beschreibung von Zwei-Zustandssystemen und die mathematischen Vorhersagen in Bezug auf die Sicherheit der Quantenkryptographie sind (Müller, 2019). Die Befragung im Umfang von ein bis zwei Stunden umfasste:

- Einführung der Schreibweise und Rechenregeln
- Veranschaulichung mit Hilfe des Blochkreises (Verzicht auf komplexe Zahlen)
- Einführung der Wahrscheinlichkeit und ihrer Berechnung
- Besprechung des Messprozesses
- Ausblick: No-Cloning-Theorem

An der Befragung nahmen sieben Schüler aus den Klassenstufen 10-12 jeweils alleine oder zu zweit teil. Die Sitzungen wurden aufgenommen und transkribiert. Die Auswertung der Äußerungen der Schüler und ihrer Bearbeitung der gegebenen Aufgaben wurde aufgrund der Transkription durchgeführt.

| Aspekt | Punktwert | Bemerkung |
|--------------------------------------|-----------|--|
| Handhabung der Notation | 25/ 1,8 | Kleinschrittiges Vorgehen notwendig |
| Umgang mit Kets | 26/ 1,7 | |
| Rechenfertigkeiten | 17/ 1,4 | |
| Akzeptanz der Visualisierung | 22/ 2,0 | |
| Zustand und Basis | 26/ 1,7 | Explizite Verbindung von Mathematik und Physik notwendig |
| Interpretation der Rechnungen | 20/ 1,7 | |
| Einstellung zur Quantenkryptographie | 10/ 2,0 | |

Tab.1: Ergebnisse der Akzeptanzbefragung: Die linke Spalte enthält die Auswertungskategorien. In der zweiten Spalte ist der Punktwert aufgelistet (Beschreibung im Text). In der dritten Spalte finden sich zentrale Schlussfolgerungen.

Die Ergebnisse wurden nach vier Hauptkategorien analysiert, die deduktiv-induktiv generiert wurden. Dabei ergaben sich die Kategorien:

- technische Fertigkeiten, überhaupt mit der Notation umzugehen
- Akzeptanz der Visualisierung durch den Blochkreis
- Verständnis der physikalischen Grundlagen
- Verbindung von mathematischen Rechnungen und physikalischer Bedeutung

Zum Schluss wurde insgesamt nach der Einstellung zur Quantenkryptographie als Unterrichtsthema gefragt. Die Akzeptanz wurde mit einem Punktwert abgebildet. Der Punktwert, der in der Tabelle 1 in Spalte 2 angegeben ist, ergibt sich aus der Zahl der notwendigen Erklärungsschritte während der Befragung, bis die Schüler zufrieden waren, und dem letztendlich erreichten Niveau. Dabei wurden die Punktwerte aller Teilnehmer addiert. Die Punkte wurden dann durch die Zahl der notwendigen Erklärungsschritte dividiert. Ein hoher Punktwert und ein relativ geringer Quotient zeigen demnach, dass das

Ziel der Erklärung erreicht wurde, dass aber viele Schritte benötigt wurden, d. h. es ist ein kleinschrittiges Vorgehen angeraten. Der geringe Punktwert und kleine Quotient in der Kategorie „Rechenfertigkeiten“ ist darauf zurückzuführen, dass eigentlich erwartete Grundlagen, vor allem das Rechnen mit Klammern, fehlten. Der geringere Punktwert bei „Interpretation“ deutet daraufhin, dass hier noch Optimierungsbedarf besteht. Der geringe Punktwert und hohe Quotient in der Kategorie „Visualisierung“ bedeutet eine große Akzeptanz und insgesamt eine positive Einstellung. Dies betont, dass Visualisierungen wichtig und hilfreich sind. Vor allem die bildliche Darstellung der Zustände am Blochkreis wird gut akzeptiert. Als Hilfestellung wurde diese mit „Tankanzeige“ bezeichnet. Der Blochkreis wurde mit Darstellungen mit Hilfe von Koordinatensystemen ergänzt, die eine konkretere Vorstellung und eine Anknüpfung an die bekannten Regeln der Vektorrechnung erlaubte. Ein wichtiger Teil der Akzeptanzbefragung waren konkrete, einfache Berechnungen mit der Dirac-Notation. Die Schreibweise wurde durchweg als eingängig empfunden, jedoch erwies sich kleinschrittiges Vorgehen und Üben als notwendig. Dabei zeigte sich die Sicherstellung der mathematisch-technischen Grundlagen als wichtig, vor allem die Wiederholung des Distributivgesetzes, da die entsprechenden Regeln zum Beispiel für die Berechnung von Wahrscheinlichkeiten notwendig sind. Bemerkenswert war auch, dass Schüler:innen aus 10. Klasse der Umgang mit dem Blochkreis leichter fiel als älteren Schülern, möglicherweise, da ab der 11. Klassenstufe das Erlernen der Vektorrechnung mit der Darstellung am Blochkreis interferierte.

Die Ergebnisse der Akzeptanzbefragung deuten daraufhin, dass man auf das intuitive Handhaben der Dirac-Notation seitens der Schüler vertrauen kann. Dies ist beispielsweise vergleichbar der Einführung der Kraft in Klassenstufe 7 als Größe mit Betrag und Richtung und ihrer Darstellung mit Pfeilen. So wird eine vektorielle Größe eingeführt, ohne dass gleich die Vektorraumaxiome eingeführt werden.

4.2 Einführung Quantenkryptographie

Auf der Basis der Ergebnisse aus der Akzeptanzbefragung zur Dirac-Notation wurde ein Kurs zur Quantenkryptographie gemäß des in Abschnitt 2.2. dargestellten Ablaufs entwickelt (Neumann, 2020). Wegen der Corona-Epidemie konnte der Kurs nicht so umfangreich eingesetzt werden wie ursprünglich geplant. Daher nahmen nur 6 Schüler teil. Die Umsetzung zeigte keine Probleme mit der Mathematisierung, da hier kleinschrittig vorgegangen wurde und der Kurs sich auf die einfachsten Fälle beschränkte. Allerdings hätte man für die konzeptionelle Erarbeitung von Unbestimmtheit und Messprozess mehr Zeit einplanen müssen. Bei der Durchführung zeigte sich, dass die Schüler auch großes Interesse an der technischen Realisierung hatten.

5. Fazit und Ausblick

Die 2. Quantenrevolution ... kam auf leisen Sohlen, getrieben von Fragen nach den Grundlagen der Quantenphysik und ihrer Bedeutung für unser Weltverständnis Und (zunächst) **nicht**: weil man konkrete Anwendungen entwickeln wollte. Es wurde ausgeführt, dass es möglich ist, bei der Behandlung aktueller Themen der Quantentechnologie, wie der Quanteninformatik, auf Aspekte der Allgemeinbildung, die Grundlagen der Quantenphysik und die Unterschiede zur klassischen Physik einzugehen und damit bewusst ein breites physikalisches Weltbild der Schüler zu fördern. Die Behandlung der Quanteninformatik hat damit das Potential, (physikalische) Allgemeinbildung mit einem spezifischem Ausblick auf neue Technologien und zugehörige Berufsfelder zu verknüpfen.

Eine Herausforderung für die Physikdidaktik ist die Grundlagenforschung über das Lernen von Quantenphysik anhand von Zwei-Zustandssystemen im Schnittpunkt der verschiedenen Disziplinen, wie z. B. Informatik. Dies zieht Forschungs- und Entwicklungsaufgaben auf unterschiedlichen Ebenen nach sich, wie die theoriebasierte Entwicklung und Erprobung vielgestaltiger Angebote für unterschiedliche Zwecke (Outreach oder Schule) und Zielgruppen (Hochschule oder Schule, Spezialisierung oder Allgemeinbildung). Die Angebote können unterschiedliche Materialien, Medien und Vermittlungswege nutzen, wie Präsenz- oder online-Angebote sowie Möglichkeiten des Blended Learning. Inhaltlich reicht die Spannbreite möglicher Angebote von eher theoretischer Ausrichtung hin zu Angeboten mit Praktika. Die Kursmodule sollten sich jeweils auf individuelle inhaltliche Schwerpunkte konzentrieren.

Das Einsatzfeld der zu entwickelnden Angebote umfasst damit neben der Schule auch Studiengänge wie beispielsweise ingenieurwissenschaftliche Disziplinen, weil absehbar auch weitere Berufszweige zumindest ein Grundverständnis der in den Quantentechnologien, darunter Quanteninformatik verwendeten Prinzipien und Techniken haben sollten, um diese Entwicklung verstehen und vorantreiben zu können. Zudem erfordert das Feld der Quantentechnologien, darunter die Quanteninformatik, das Zusammenspiel zahlreicher Disziplinen wie Physik, Informatik, Ingenieurwissenschaften, Chemie, und anderen Gebieten. Auch hier besteht die Aufgabe darin, für sehr unterschiedliche Adressatengruppen passgenaue Angebote in schuldidaktischer und hochschuldidaktischer Perspektive zu entwickeln und zu evaluieren.

6. Literaturverzeichnis

- Aaronson, Scott; Arkhipov, Alex (2013): The Computational Complexity of Linear Optics. In: Theory of Computing 9, 1, 143-252.
- Ainsworth, Shaaron (2008): The Educational Value of Multiple-representations when Learning Complex Scientific Concepts. In: Visualization:

- Theory and Practice in Science Education (Dordrecht: Springer Netherlands, 2008), S. 191-208.
- Ambach, Yannic (2010): Vom klassischen Computer zum Quantencomputer. Facharbeit. S 45 ff.
- Arute, Frank et al (2019): Quantum supremacy using a programmable superconducting processor. *Nature* 574, 7779, 505-510.
- Aspect, Alain (2015): Viewpoint: Closing the Door on Einstein and Bohr's Quantum Debate. *Physics* 8, 123, URL: <http://physics.aps.org/articles/v8/123?from=singlemessage&isappinstalled;=0>
- Aspect, Alain; Grangier, Philippe; Roger, Gerard (1982): Experimental realization of Einstein-Podolsky-Rosen-Gedankenexperiment: A new violation of Bells inequalities. *Physical Review Letters* 49, 2, 91-94.
- Bell, John S. (1964): On the Einstein-Podolsky-Rosen Paradox. *Physics* 1, 195-197.
- Bouwmeester, Dirk; Ekert, Artur; Zeilinger, Anton (2001): *The Physics of Quantum Information*. Berlin Heidelberg New York: Springer Verlag.
- Bouwmeester, Dirk; Pan, Jian-Wei; Mattle, Klaus; Eibl, Manfred; Weinfurter, Harald; Zeilinger, Anton (1997): Experimental quantum teleportation. *Nature* 390, 575-579. <https://doi.org/10.1038/37539>
- Brookes, David T; Etkina, Eugenia (2007): Using conceptual metaphor and functional grammar to explore how language used in physics affects student learning. *Physical Review Special Topics-Physics Education Research* 3, 1, 010105. <https://journals.aps.org/prper/abstract/10.1103/PhysRevSTPER.3.010105>
- Geyer, Marie-Annette; Kuske-Janßen, Wiebke; (2019): *Mathematical Representations in Physics Lessons*. In: *Mathematics in Physics Education*. Cham: Springer International Publishing, S. 75-102.
- Homeister, Matthias (2018): *Quantum Computing verstehen: Grundlagen – Anwendungen – Perspektiven*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Jaeger, Lars (2018): *Die zweite Quantenrevolution: Vom Spuk im Mikrokosmos zu neuen Supertechnologien*. Berlin, Heidelberg: Springer. <http://link.springer.com/10.1007/978-3-662-57519-2>
- Kagermann, H.; Süssenguth, F.; Körner, J.; Liepold, A. (2020): *Innovationspotentiale der Quantentechnologien der zweiten Generation*, acatech Impuls. <https://www.acatech.de/publikation/innovationspotentiale-der-quantentechnologien/>
- Kohnle, Antje; Baily, Charles; Ruby, Scott (2014): Investigating the influence of visualization on student understanding of quantum superposition. arXiv preprint, <https://arxiv.org/abs/1410.0867>
- Kohnle, Antje; Baily, Charles; Campbell, Anna; Korkova, Natalia; Paetkau, Mark J. (2015): Enhancing student learning of two-level quantum systems with interactive simulations. *American Journal of Physics* 83, 6, 560--566.
- KMK (2020): *Bildungsstandards im Fach Physik für die Allgemeine Hochschulreife*. <https://www.kmk.org/themen/qualitaetssicherung-in-schulen/bildungsstandards.html#c2604>
- Montanaro, Ashley (2016): Quantum algorithms: an overview. *npj Quantum Information* 2, 1, 1--8.
- Müller, Christian (2019): *Planung einer Unterrichtseinheit zur Quantenkryptografie und Akzeptanzanalyse der Dirac-Notation*. Wissenschaftliche Hausarbeit, TU Dresden.
- Neumann, Caroline (2020): *Einstieg in die Quantenphysik über die Quantenkryptografie – Erarbeitung und Erprobung einer Unterrichtseinheit*. Wissenschaftliche Hausarbeit, TU Dresden.
- Pan, Jian-Wei; Bouwmeester, Dirk; Daniell, Matthew; Weinfurter, Harald; Zeilinger, Anton (2000): Experimental Test of Quantum Nonlocality in three-photon Greenberger-Horne-Zeilinger Entanglement. *Nature* 403, 515--519.
- Pospiech, Gesche (1999): *Quantenkryptographie. Ein elementarer Zugang zur Quantentheorie*. *Physik in der Schule* 37, 3, 201--205.
- Pospiech, Gesche (1999): Teaching the EPR paradox at high school?. *Physics Education* 34, 5, 311ff.
- Pospiech, Gesche (2019): *Pre-Service Teacher's Views on the use of Metaphors for Describing the Concepts of Uncertainty and Entanglement*. *International Journal of Physics & Chemistry Education* 11, 1, 1--5.
- Pospiech, Gesche (2020) *Neutrinoszillationen*. *Naturwissenschaften im Unterricht - Physik* 180, 21--23.
- Pospiech, Gesche (2021) *Quantencomputer & Co: Grundideen und zentrale Begriffe der Quanteninformation verständlich erklärt*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Sadaghiani, Homeyra R (2016): *Spin First vs. Position First instructional approaches to teaching introductory quantum mechanics*. In: *Physics Education Research Conference Proceedings (Compadre)*, S. 292--295.
- Shor, Peter W. (1994): *Algorithms for quantum computation: Discrete logarithms and factoring*. In: *Proceedings 35th annual symposium on foundations of computer science (IEEE, 1994)*, S. 124--134.
- Steger, Uwe (2019): *Quantencomputer "Made in Austria" kommt*. Innsbruck. <https://life-science.eu/quantencomputer-made-in-austria-kommt/>.
- Von Weizsäcker, C. F. (1985). *Aufbau der Physik*. München: Hanser.
- Wootters, William K; Zurek, Wojciech H (2009): *The No-Cloning Theorem*. *Physics Today* 62,2, 76--77.

- Zhong, Han-Sen; et al (2020): Quantum computational advantage using photons. *Science* 370, 6523,1460--1463.
- Zuber, Kai (2015): Neutrinos–die Akte X der Teilchenphysik: Ergebnisse von Oszillationsexperimenten. *Physik in unserer Zeit* 46, 1,18–26.
- Zurek, Wojciech (1991): Decoherence and the Transition from Quantum to Classical. *Physics Today*, 36–44. <https://doi.org/10.1063/1.881293>

Digitale Kompetenzen beim Experimentieren fördern: Ortsfaktorbestimmung mit verschiedenen Sensoren im Physikunterricht

Thomas Frank*, Lars-Jochen Thoms⁺

*Otto-von-Taube-Gymnasium Gauting, ⁺Ludwig-Maximilians-Universität München
thomas.frank@ovtg.gauting.de, l.thoms@lmu.de

Kurzfassung

Die KMK-Strategie zur Bildung in der digitalen Welt verlangt von allen Lehrkräften, die digitalen Kompetenzen ihrer Schülerinnen und Schülern im Fachunterricht zu fördern. Als ein mögliches Beispiel für die Förderung digitaler Kompetenzen im Physikunterricht wurde eine projektorientierte Unterrichtseinheit zur Bestimmung des Ortsfaktors durch Messungen der Schwingungsdauer unterschiedlicher Fadenpendel mit verschiedenen Sensoren und Messmethoden entwickelt. Neben fachspezifischen Kompetenzen werden auch allgemeinere digitale Kompetenzen geschult, indem die Lernenden durch die gemeinsame Arbeit in Forscherteams zur digital gestützten Kommunikation und Kollaboration motiviert und angeleitet werden. Ihr Vorgehen und ihre Messungen dokumentieren die Schülerinnen und Schüler digital, präsentieren ihre Ergebnisse im Anschluss und verteidigen ihr Vorgehen spielerisch im Rahmen eines Wissenschaftskongresses. In diesem Beitrag werden das Projekt und damit verbundene Möglichkeiten des fachlich orientierten Erwerbs digitaler Kompetenzen im Unterricht vorgestellt.

1. Einleitung

Mit der Veröffentlichung der Strategie der Kultusministerkonferenz für eine „Bildung in der digitalen Welt“ (KMK, 2016) haben sich die Rahmenbedingungen des Einsatzes digitaler Medien im Unterricht grundlegend geändert. Die Medienerziehung und Medienbildung der Schülerinnen und Schüler sind nun wesentliche Bestandteile des Bildungs- und Erziehungsauftrags der Schule (KMK, 2016, S. 10): *„Der Bildungs- und Erziehungsauftrag der Schule besteht im Kern darin, Schülerinnen und Schüler angemessen auf das Leben in der derzeitigen und künftigen Gesellschaft vorzubereiten und sie zu einer aktiven und verantwortlichen Teilhabe am kulturellen, gesellschaftlichen, politischen, beruflichen und wirtschaftlichen Leben zu befähigen.“*

Entsprechend formuliert die KMK auch, was Schulen und Universitäten leisten müssen, um diesem Bildungsauftrag gerecht zu werden (KMK, 2016, S. 25): *„Konkret heißt dies, dass Lehrkräfte digitale Medien in ihrem jeweiligen Fachunterricht professionell und didaktisch sinnvoll nutzen sowie gemäß dem Bildungs- und Erziehungsauftrag inhaltlich reflektieren können.“*

Dieser Erziehungsauftrag soll im schulischen Kontext also nicht in einem eigens dafür eingerichteten Fach, sondern direkt im jeweiligen Fachunterricht umgesetzt werden. Damit dies gelingen kann müssen alle Lehrkräfte *„selbst über allgemeine Medienkompetenz verfügen und in ihren fachlichen Zuständigkeiten zugleich ‚Medienexperten‘ werden“* (KMK, 2016, S. 24f).

„Daher ist in der fachspezifischen Lehrerbildung für alle Lehrämter die Entwicklung entsprechender Kompetenzen verbindlich festzulegen“ (KMK, 2016, S. 25).

Dies ist eine zentrale Aufgabe der Universitäten und Studienseminare bei der Ausbildung zukünftiger Lehrerinnen und Lehrer. Praktizierende Lehrkräfte können ebenfalls dazu verpflichtet sein, sich über länderspezifische Fortbildungsangebote diese Kompetenzen anzueignen und in ständiger Selbstreflexion immer wieder zu vertiefen. Für den jeweiligen Fachunterricht heißt dies, dass dort digitale Medien reflektiert und in fachdidaktische Konzepte eingebunden genutzt werden sollen.

Daher müssen in einem modernen Unterricht der Schülerschaft neben fachspezifischen Kompetenzen auch allgemeine digitale Kompetenzen vermittelt werden. Dabei ist das Nebeneinander oder besser Ineinander von Fachmethodik und digitaler Arbeitsweise zu betonen. Dies ist eine große und spannende Herausforderung und zugleich zentrales Element der Unterrichtsentwicklung.

In diesem Beitrag wird eine projektorientierte Unterrichtssequenz über vier Unterrichtsstunden präsentiert, in der anhand der Ortsfaktorbestimmung mit einem Fadenpendel unter dem Einsatz verschiedener digitaler Messmethoden diese Forderungen beispielhaft umgesetzt werden. Dabei werden neben den zugrundeliegenden (digitalen) Fachkompetenzen auch allgemeine digitale Basiskompetenzen vermittelt.

2. Methoden

Es wurde eine digital-kompetenz-orientierte Unterrichtseinheit zur Messwerterfassung mit Fokus auf die in der KMK-Strategie formulierten digitalen Kompetenzen der Schülerinnen und Schüler (KMK, 2016) entwickelt. Dabei wurden ergänzend auch fachspezifische digitale Kompetenzen adressiert. Da die KMK-Strategie keine konkreten physikbezogenen digitalen Kompetenzen formuliert, wurde auf die Kompetenzdefinitionen im Orientierungsrahmen für die digitalen Kompetenzen für das Lehramt in den Naturwissenschaften (DiKoLAN, Arbeitsgruppe Digitale Basiskompetenzen, 2020; vgl. Abb. 1) zurückgegriffen. Dieser Orientierungsrahmen beschreibt zwar die Basiskompetenzen, die von allen angehenden Lehrkräften mit naturwissenschaftlichen Unterrichtsfächern zum Ende der universitären Lehrkräftebildung erworben sein sollten und richtet sich nicht an Schülerinnen und Schüler. Dennoch bietet er insbesondere im Kompetenzbereich *Messwert- und Datenerfassung* eine gut geeignete Übersicht fachspezifischer digitaler Kompetenzen, die auch Schülerinnen und Schülern im Physikunterricht erwerben sollten. Insbesondere, weil diese Kompetenzbereiche typische naturwissenschaftliche Arbeitsweisen abbilden (Thyssen et al., 2020).

In dieser projektorientierten Sequenz werden die Schülerinnen und Schüler in vier Gruppen eingeteilt, wobei jede mit einer eigenen digitalen Messmethode prinzipiell den gleichen Versuch durchführt. Fachlich beheimatet ist diese bei der Bestimmung des Ortsfaktors mit Hilfe eines Fadenpendels. Dieses Thema eignet sich besonders gut für eine vertiefte Auseinandersetzung mit Vor- und Nachteilen verschiedener Messmethoden, weil sich die Schwingungsdauer nicht direkt messen lässt, sondern indirekt durch Messung anderer physikalischer Größen und nachfolgender Berechnungen bestimmt werden muss. Beispielsweise kann die Position des schwingenden Pendelkörpers beobachtet werden und Nulldurchgänge mit einer Stoppuhr, einer Lichtschranke oder einem Ultraschall-Abstandssensor registriert werden. Mithilfe eines am Aufhängepunkt befestigten Drehgebers kann aber auch der Winkel zwischen dem ausgelenkten Faden und der Nulllage des Fadens gemessen und im zeitlichen Verlauf der Schwingung aufgezeichnet werden.

Jede Gruppe soll dabei zwei Projektaufgaben erfüllen:

- a) den Ortsfaktor g möglichst exakt bestimmen,
- b) ihre eigene Messmethode auf einer gespielten „Science-Konferenz“ als die beste der behandelten Methoden darstellen.

Die erste Projektaufgabe soll eine intensive Auseinandersetzung mit dem eigenen Vorgehen und eine Optimierung der durchgeführten Messmethoden fördern. Der Begriff *Ortsfaktor* wird hier gegenüber dem Begriff *Erdbeschleunigung* bevorzugt, um die Ortsabhängigkeit der Erdbeschleunigung und die

damit verbundene Bedeutung eigener Messungen herauszustellen.

Die zweite Projektaufgabe hat mehrere methodisch-didaktische Ziele. Erstens sollen die Lernenden ihre Präsentations- und Kommunikations-/Kollaborations-Kompetenzen ausbauen – insbesondere auch im digitalen Bereich. Zweitens soll der gamifizierte Wettbewerb, gerade die eigene Messmethode als die beste herauszustellen (unabhängig von einer objektiven Betrachtung der Qualität der Ergebnisse!), die Schülerinnen und Schüler zu einer vertieften Auseinandersetzung mit der Thematik motivieren – auch bei geringerem eigenen Fachinteresse. Drittens lassen sich über die Projektphasen hinweg verschiedenen Gruppenmitgliedern unterschiedliche Aufgaben zuweisen, so dass eine aktive Beteiligung aller Schülerinnen und Schüler in der Gruppenarbeitsphase forciert wird.

3. Ergebnisse

Die entwickelte Unterrichtssequenz ist auf vier Unterrichtsstunden ausgelegt und bietet sich am Ende der Sekundarstufe 1 an. Im Folgenden wird zunächst die Unterrichtssequenz kurz beschrieben. Eine ausführliche Darstellung findet sich bei Thoms et al. (2020). Anschließend werden erste Erfahrungen aus der probeweisen Durchführung des Projektes mit Schülerinnen und Schülern zweier zehnter Klassen des Otto-von-Taube-Gymnasiums Gauting berichtet.

3.1. Unterrichtseinheit

Wie in der Einleitung beschrieben, sollen innerhalb der Sequenz sowohl digitale Kompetenzen als auch fachmethodische Kompetenzen der Schülerinnen und Schüler gefördert werden. Bei den digitalen Kompetenzen stehen vor allem drei Kompetenzbereiche im Vordergrund (vgl. KMK, 2016):

- Kommunizieren und Kooperieren
- Produzieren und Präsentieren
- Problemlösen und Handeln

Die physikalischen Arbeitsweisen (vgl. Duit et al., 2004) – vor allem Beobachten und Messen, Erkunden und Experimentieren, Diskutieren und Interpretieren – werden durch digitale Medien und Umsetzung digitaler Verfahren unterstützt (vgl. Thyssen et al., 2020).

3.2. Arbeitsgruppen

Zu Beginn werden die Schülerinnen und Schüler in vier Gruppen eingeteilt.

3.2.1. Klassische analoge Bestimmung

Eine erste Gruppe wertet Pendelversuche hinsichtlich ihrer Schwingungsdauer klassische analog aus. So wird diese mit Hilfe einer oder mehrerer Stoppuhren gemessen. Bei dieser Gruppe lässt sich der Versuch durch verschiedene Methoden einfach optimieren (etwa durch Messen über mehrere Schwingungen) und der Effekt verschiedener Modifikationen schnell überprüfen. Hierdurch erfahren die



Abb.1: Orientierungsrahmen für die digitalen Kompetenzen für das Lehramt in den Naturwissenschaften (DiKoLAN; Arbeitsgruppe Digitale Basiskompetenzen, 2020; <https://dikolan.de>).

Schülerinnen und Schüler, dass sich experimentell gefundene Messwerte sowohl durch Verbesserungen am Versuchsaufbau als auch durch Optimierungen im Messprozess verbessern lassen. Nach Rutten et al. (2012) können Simulationen gewinnbringend zur Vorbereitung der Durchführung eines Realexperiments eingesetzt werden. Entsprechend arbeitet diese Gruppe zunächst mit einer Simulation (Abb.2; Olson et al., 2021). Dies ermöglicht den Erwerb digitaler Kompetenzen ohne den Einsatz digitaler Messwerterfassung.

3.2.2. Mobile Sensoren

Eine zweite Gruppe verwendet verschiedene mobile Sensoren zur direkten und indirekten Bestimmung der Schwingungsdauer (Lichtschranke, Drehbewegungssensor, Ultraschall-Abstandssensor). Die zur Verfügung stehenden smarten Sensoren können über Bluetooth mit einem Tablet verbunden werden. So können die Daten direkt mit dem Tablet aufgenommen, weiterverarbeitet und für die Präsentation aufbereitet werden. Zur Einführung in die Nutzung der Sensoren werden den Schülerinnen und Schülern zuvor aufgenommene Videos der Experimente zur Verfügung gestellt (Thoms, 2020). Diese „Stummen Videos“ könnten sich ebenfalls zur Vorbereitung auf die Durchführung und insbesondere die Präsentation der verschiedenen Experimente eignen (vgl. Schweinberger et al., 2019). Weil diese Gruppe verschiedene Messmethoden verwendet, muss sie sich intensiv mit den Vor- und Nachteilen sowie den Besonderheiten der einzelnen Verfahren auseinandersetzen. Zum Beispiel kann die Periodendauer indirekt mit einem Ultraschall-Abstandssensor be-

stimmt werden. Wird dieser unterhalb des Pendelkörpers in Ruhelage positioniert, wird während der Schwingung bei jedem Nulldurchgang ein scharfer Ausschlag aufgezeichnet. Aus den zeitlichen Abständen der Ausschläge kann dann die Periodendauer bestimmt werden (Abb.3). Bei der Bestimmung der Periodendauer mit einer Lichtschranke wird nicht die Position der Pendelmasse, sondern für jede halbe Periode direkt die zugehörige Schwingungsdauer ausgegeben. In einem Zeit-Periodendauer-Diagramm wird so die Anharmonizität der Fadenpendelschwingung sehr gut deutlich und muss folglich zwingend diskutiert werden (Abb.4).

3.2.3. Videoanalyse

Die dritte Gruppe analysiert selbstgedrehte Videos von Schwingungen verschiedener Fadenpendel mit Hilfe von Laptops und einer geeigneten Software. Die Wahl der beiden Probegruppen fiel auf die Software *Tracker* (Abb.5), da ihnen diese bereits aus dem Vorunterricht vertraut war. Alternativ könnte man z. B. *PHYWE measure dynamics* verwenden. Eine weitere spannende Erweiterung bietet die Videoanalyse mit mobilen Endgeräten. Hierbei könnten auch die Vor- und Nachteile verschiedener Apps (z. B. Viana, Vernier Video Physics oder Vid-Analysis) in einer erweiterten Fragestellung diskutiert werden.

3.2.4. Smartphone

Zur Analyse der Schwingung eines Fadenpendels eignen sich auch die internen Sensoren mobiler Endgeräte. Daher nutzt die vierte Gruppe den verbauten Beschleunigungssensor eines Smartphones.

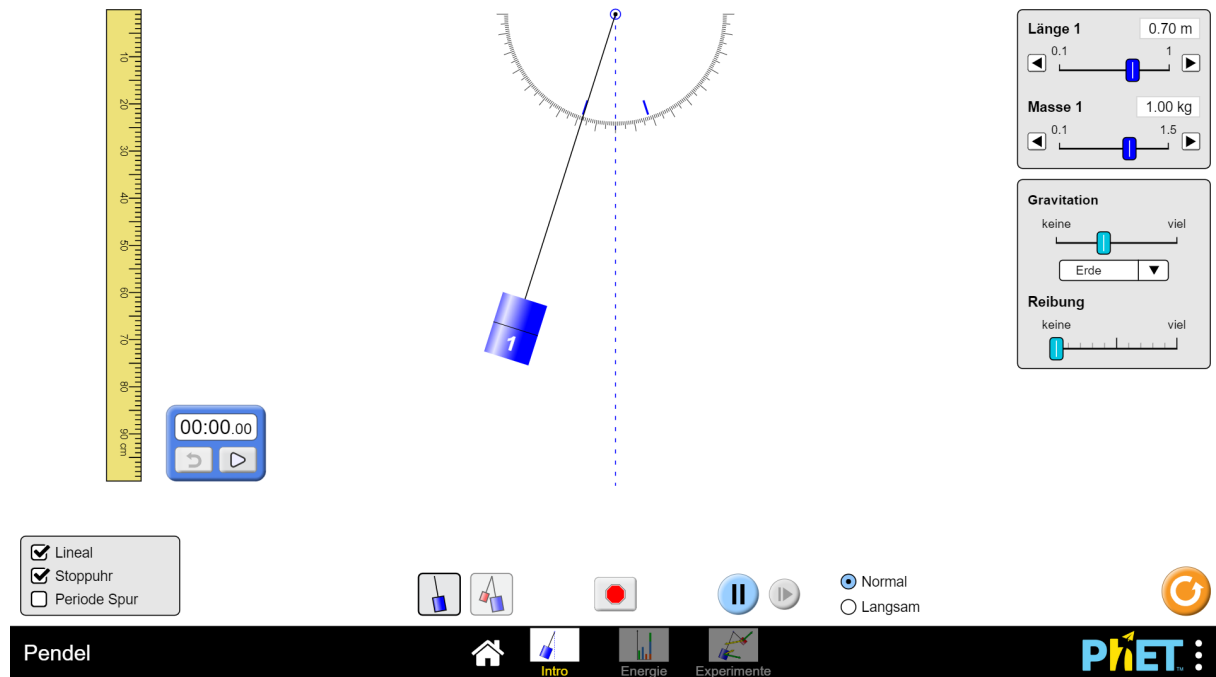


Abb.2: Screenshot der von der Gruppe „Klassische analoge Bestimmung“ zur Vorbereitung genutzten Simulation (Olson et al., 2021).

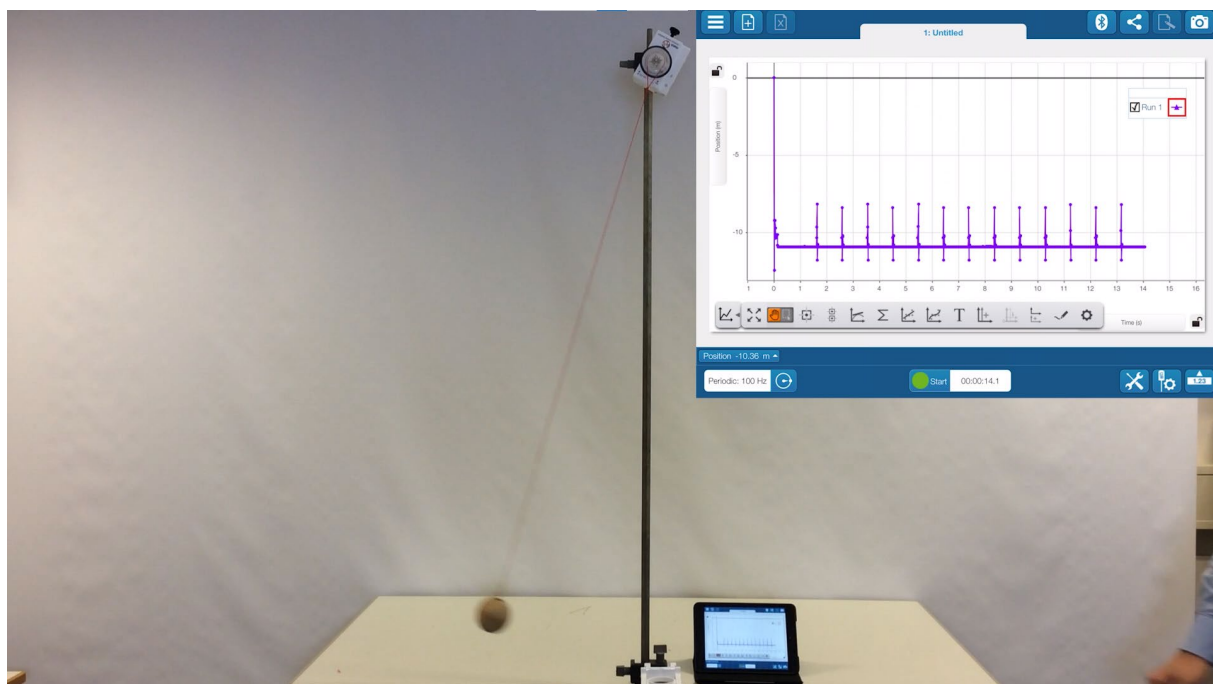


Abb.3: Bestimmung der Periodendauer eines Fadenpendels mithilfe eines Ultra-Schall-Abstandssensors. Bei jedem Nulldurchgang des Pendelkörpers wird ein Ausschlag registriert.

Diese eignen sich aufgrund ihrer Abmessungen besser als Tablets. Aufgrund der Übereinstimmung des Schwingungskörpers mit dem Messgerät, ist es dieser Gruppe nicht ohne erheblichen Aufwand möglich die angehängte Pendelmasse zu variieren.

3.3. Unterrichtsverlauf

Der Ablauf der gesamten Einheit ist in drei Phasen unterteilt, welche im Folgenden dargestellt werden sollen:

3.3.1. Phase 1: Orientierung

In dieser Phase werden die Gruppen durch die Lehrkraft eingeteilt, der Zeitrahmen festgesetzt und die

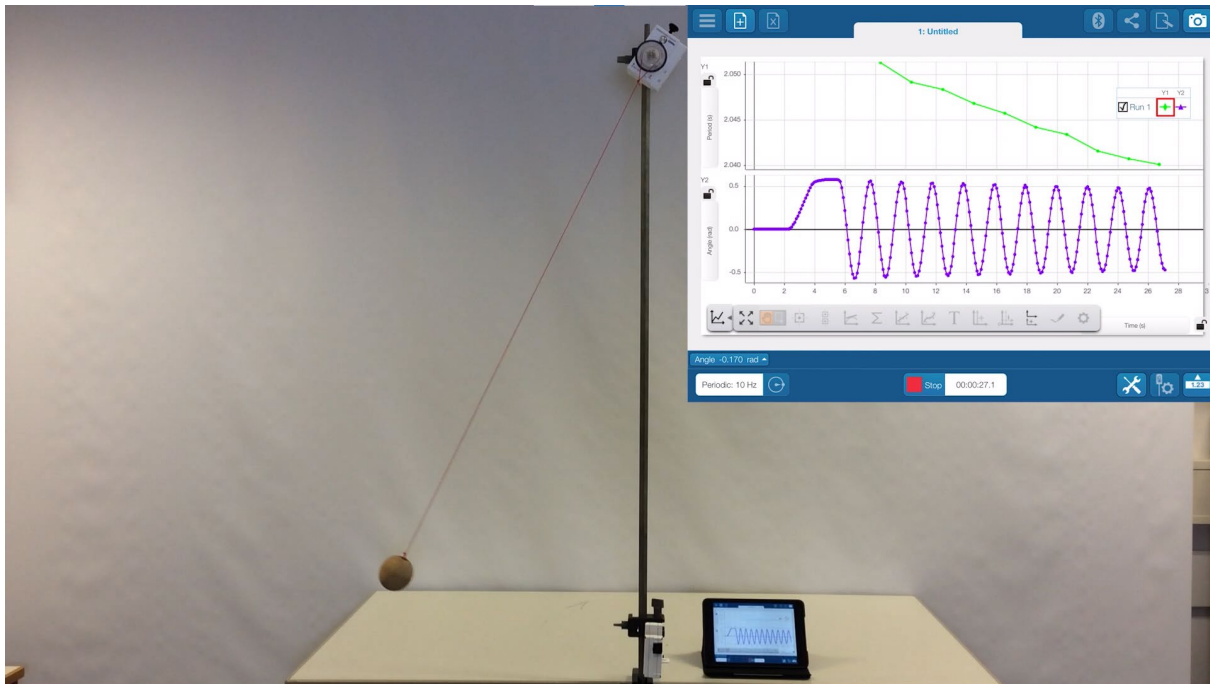


Abb.4: Vergleichende Anzeige der mit einer Lichtschranke am Nulldurchgang des Pendels bestimmten Periodendauer und der Winkelposition des Drehgebers am Drehpunkt des Fadenpendels.

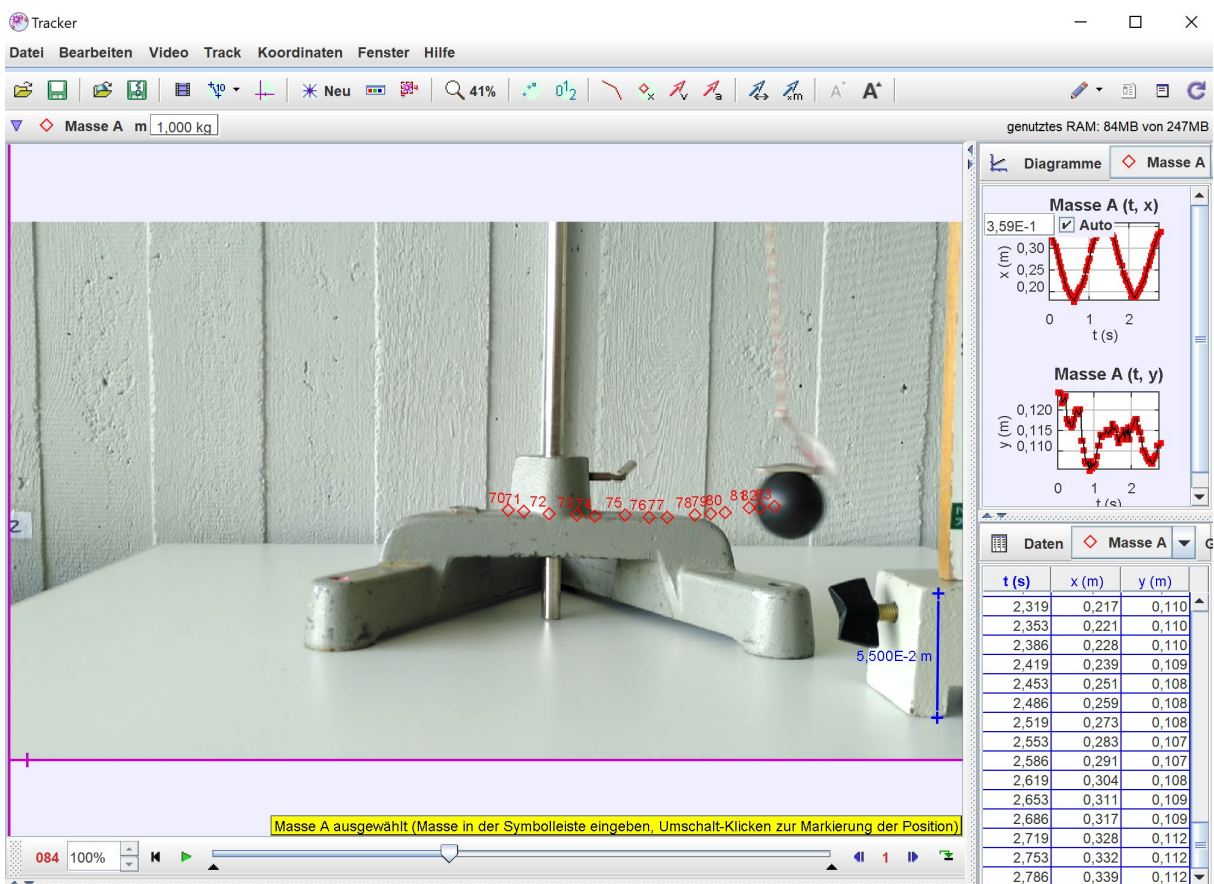


Abb.5: Screenshot des Opens-Source-Videoanalyse-Programms *Tracker* (vgl. Brown, 2009).

Arbeitsaufträge durch die Schülerinnen und Schüler gesichtet. Um sicherzugehen, dass alle Schülerinnen und Schüler gleichermaßen involviert und für das Gelingen des Projekts verantwortlich sind, werden den einzelnen Mitgliedern einer Gruppe konkrete Managementrollen und damit Verantwortungsbereiche zugewiesen. So ist z. B. das Qualitätsmanagement dafür verantwortlich, dass die Ergebnisse physikalisch sinnvoll und korrekt dargestellt und interpretiert werden, während das Präsentationsmanagement primär für die Präsentation der Ergebnisse in Phase drei verantwortlich ist. Bei der zweiten Phase (Erarbeitung) müssen die Schülerinnen und Schüler sich unabhängig von ihrer Rolle alle gleichermaßen einbringen. Zur Festigung der digitalen Kompetenzen im Bereich *Kommunizieren und Kooperieren* wird die Kommunikation über eine digitale Lernplattform (z. B. moodle) und die gemeinsame Arbeit innerhalb dieser Plattform ermöglicht und gefordert. Hierüber werden sowohl die Dateien der einzelnen Gruppen ausgetauscht als auch über Foren (asynchron) und Chats (synchron) innerhalb des Teams oder mit der Lehrkraft kommuniziert. Der große Vorteil bei der Verwendung einer Lernplattform ist, dass die Lehrkraft auch einen ständigen Einblick in den Arbeitsprozess und den Fortschritt der Schülerinnen und Schüler hat und dadurch besser beratend und motivierend zur Seite stehen kann. Auch die Möglichkeiten der Kommunikation außerhalb des Klassenzimmers über den gleichen gesicherten Kanal ist positiv hervorzuheben.

3.3.2. Phase 2: Erarbeitung

Diese Phase stellt mit mindestens zwei Unterrichtsstunden den zeitlich größten Teil dieses Unterrichtsprojekts dar. In dieser Zeit sind alle Mitglieder einer Gruppe unabhängig von ihrer Managementrolle involviert. Die Schülerinnen und Schüler arbeiten in ihrem individuellen Tempo an ihrer gruppeneigenen Messung und verbessern diese weiter. In diesem Prozess unterstützt die Lehrkraft die Lernenden, stattfindende Lernprozesse zu hinterfragen und das selbstregulierte Lernen der Gruppenmitglieder zu optimieren (*reflektive Hilfestellungen*; vgl. Zhang & Quintana 2012). Im Verlauf auftretende, oder von der Lehrkraft gestellte und weiterführende Fragen (*Enrichment*; vgl. Fund, 2007) sollen den Lernprozess vertiefen. Auch die zu erstellende professionelle, kohärente und kreativ gestaltete fünfminütige Präsentation der Messwerte nach vorgegebenen Regeln für die folgende dritte Phase (Präsentation) soll in diesem Zeitraum erstellt werden. Dabei ist insbesondere auch eine schlüssige Diskussion der Messunsicherheiten durchzuführen.

3.3.3. Phase 3: Präsentation

Den Abschluss der Sequenz bildet eine als „Science-Konferenz“ angelegte Präsentation. Dadurch soll das wissenschaftliche Vorgehen und ein Eindruck von fachwissenschaftlicher Kommunikation vermittelt

werden. In dieser fünfminütigen Präsentation stellt das Präsentationsmanagement nicht nur die erhobenen Messwerte und das verwendete Verfahren dem Plenum vor, sondern versucht auch die Anwesenden von der Überlegenheit der eigenen Methode zu überzeugen (unabhängig von einer objektiven Betrachtung der Qualität der Ergebnisse!). Im Anschluss findet eine fünfminütige Fragerunde an den Repräsentanten der Gruppe durch die Kongressteilnehmer statt. Abschließend wählen die Schülerinnen und Schüler das Team, welches „ihre Methode“ am überzeugendsten präsentieren konnte.

3.4. Beobachtungen

Diese Sequenz wurde bisher zweimal durchgeführt. Es stellte sich heraus, dass die Schülerinnen und Schüler das ihnen zugewiesene Messverfahren zu „ihrer Methode“ machten. Dadurch konnte ein sehr hoher Grad erkennbarer Motivation bei den Schülerinnen und Schüler beobachtet werden (unabhängig von ihrem sonstigen Leistungsstand in Physik). Aus Fachlehrersicht war ein großer Wissens- und Interessenaufbau zu beobachten, wobei manche Schülerinnen und Schüler gar „Experten“ in „ihrer Methode“ wurden und in weiteren Versuchen im anschließenden Unterricht dieses Wissen gut an- und einbringen konnten. Alle Gruppen kamen nach sehr kurzer Zeit in den Bereich der Optimierung, da erste Messwerte schnell erhoben werden konnten. Dabei kam es in der Vorbereitung auf die Konferenz auch immer wieder zu weiterführende Fragen (z. B. zu einer beobachteten Anharmonizität der Schwingung), welche zu einem tieferen Verständnis physikalischer Arbeitsweisen beitrugen. Besonders spannend war die Diskussion in Phase drei, bei der mit viel Elan, Angriffslust und Überzeugung debattiert wurde. So konnten dabei schnell und sicher die Vor- und Nachteile der einzelnen Methoden identifiziert werden. Zum Beispiel war es für die Smartphone Gruppe ein Leichtes, akzeptable Messwerte zu erzielen, allerdings erforderte es großes Fachwissen über die verbauten und genutzten Sensoren, um in der anschließenden Diskussion über das Zustandekommen der Messwerte bestehen zu können. Aus messtechnischer Sicht lässt sich zudem feststellen, dass alle Gruppen eine kleinere Abweichung vom erwarteten Literaturwert als 10% erzielen konnten.

4. Diskussion und Ausblick

In diesem Beitrag wird ein Beispiel beschrieben, wie digitale Kompetenzen in einem engen physikalischen Kontext und mit starkem Fachbezug im Unterricht gefördert werden können. Die hier beschriebene Unterrichtssequenz soll als ein möglicher Vorschlag und als Anregung für eine Integration der von der KMK (2016) geforderten Medienbildung im Physikunterricht dienen.

In den durchgeführten Unterrichtsstunden haben sich die Schülerinnen und Schüler sehr motiviert und interessiert gezeigt und sich entsprechend aktiv am

Unterricht beteiligt. Durch die Zuweisung verschiedener Rollen in der Projektarbeit haben sich auch sonst weniger aktive und fachlich eher unsichere Schülerinnen und Schüler in der Gruppe engagieren können. Auch die Kommunikation und Kollaboration über die genutzte Lernplattform lies sich gut umsetzen und wurde vielfältig genutzt. Auch im Bereich der Präsentationskompetenzen lässt sich aufgrund der beobachtbaren Fähigkeitssteigerung ein möglicher Kompetenzzuwachs erwarten. Insgesamt muss allerdings berücksichtigt werden, dass dieser Beitrag keinerlei empirischen Anspruch erhebt und lediglich die Fallbeschreibung einer einzelnen Lehrkraft widerspiegelt und Anregungen aus der Praxis für die Praxis liefern soll.

Dennoch wurde die beschriebene Unterrichtsidee bereits in der Lehrkräftebildung eingesetzt. Dies betrifft sowohl Experimentierseminare für Studierende als auch Lehrkräftefortbildungen mit einem Fokus auf der Integration digitaler Medienbildung in den Physikunterricht. Hierbei wurde die Auswahl möglicher Methoden zur Bestimmung des Ortsfaktors der Erdbeschleunigung noch erweitert. Folgende Alternativen zu den vier in der Unterrichtssequenz beschriebenen Messwerterfassungen wurden ebenfalls gezeigt und von Studierenden bzw. Teilnehmerinnen und Teilnehmern der Fortbildungen durchgeführt:

Der CASSY-Versuch zur Bestimmung der Erdbeschleunigung mit einer Falleiter dient als Beispiel einer computergestützten Messwerterfassung, bei der Messwerte nicht nur direkt mit einem PC aufgenommen, sondern auch gleich ausgewertet und grafisch repräsentiert werden. Dies liefert einerseits zwar direkt die Erdbeschleunigung, nimmt den Lernenden aber gleichzeitig auch viele wichtige Schritte der kognitiven Elaboration des Sachverhalts.

Ein Klassiker ist die Ermittlung der Erdbeschleunigung durch das Fallenlassen einer Kugel. Wenn die Fallstrecke dabei kurzgehalten werden muss, wird auch hier die Fallzeit mithilfe eines Digitalzählers bestimmt, der beim Loslassen elektronisch startet und beim Auftreffen der Kugel in einem Auffangtopf wieder gestoppt wird. Die Messgenauigkeit des Ergebnisses wird hier neben der zeitlichen Auflösung des Digitalzählers von der Dauer der Fallzeit bestimmt, welche wiederum von der Länge der Fallstrecke abhängt.

Eine höhere Messfrequenz lässt sich einfach durch Aufnahme von akustischen Signalen mit einem mobilen Endgerät oder auch einem Mikrofon an einem Computer erreichen. Hierbei müssen sowohl der Beginn des Falls als auch das Auftreffen des Fallkörpers ein Geräusch erzeugen, welches gut separiert von Hintergrundgeräuschen und Rauschen im zeitlichen Verlauf des Schalldrucks dargestellt werden kann.

Die Videografie von Pendel- oder Fallbewegungen kann auch als Anlass für einen Vergleich verschiedener Videoanalyse-Apps dienen. Beispielsweise kann eruiert werden, wie gut eine automatisierte Bewegungserkennung funktionieren kann und welche Bedingungen hierfür vorliegen.

Schließlich ergeben sich auch interessante Möglichkeiten, die Messwerterfassung mit einer Modellierung zu kombinieren. Mit manchen Videoanalyse-Programmen lassen sich Bewegungen modellieren und die aufgenommenen Bewegungen mit den modellierten vergleichen (z. B. Brown, 2008).

5. Literatur

- Arbeitsgruppe Digitale Basiskompetenzen: Becker, S., Bruckermann, T., Finger, A., Huwer, J., Kremser, E., Meier, M., Thoms, L.-J., Thyssen, C. & Kotzebue, L. von. (2020). Orientierungsrahmen Digitale Kompetenzen Lehramtsstudierender der Naturwissenschaften – DiKoLAN. In S. Becker, J. Messinger-Koppelt & C. Thyssen (Hg.), *Digitale Basiskompetenzen: Orientierungshilfe und Praxisbeispiele für die universitäre Lehramtsausbildung in den Naturwissenschaften* (S. 14–43). Joachim Herz Stiftung. https://www.joachim-herz-stiftung.de/fileadmin/Redaktion/JHS_Digitale_Basiskompetenzen_web_srgb.pdf
- Brown, D. (2008). Video modeling: combining dynamic model simulations with traditional video analysis. In *American Association of Physics Teachers (AAPT) Summer Meeting*.
- Duit, R., Gropengießer, H. & Stäudel, L. (Hg.). (2004). *Naturwissenschaftliches Arbeiten: Unterricht und Material 5-10* [Sonderheft]. Erhard Friedrich Verlag.
- Fund, Z. (2007). The effects of scaffolded computerized science problem-solving on achievement outcomes: a comparative study of support programs. *Journal of Computer Assisted Learning*, 23(5), 410–424. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2729.2007.00226.x>
- KMK (2016). Strategie der Kultusministerkonferenz „Bildung in der digitalen Welt“ (2016 & i.d.F.v. 07.12.2017). https://www.kmk.org/fileadmin/pdf/PresseUndAktuelles/2018/Digitalstrategie_2017_mit_Weiterbildung.pdf
- Olson, J., Rouinfar, A., Dubson, M., Loeblein, T., Paul, A. & Perkins, K. (2021). *Pendel* (Version 1.0.15) [HTML5 Simulation]. University of Colorado Boulder. <https://phet.colorado.edu/de/simulation/pendulum-lab>
- Rutten, N., van Joolingen, W. R. & van der Veen, J. T. (2012). The learning effects of computer simulations in science education. *Computers &*

- Education* 58(1), 136–153.
<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2011.07.017>
- Schweinberger, M., Watzka, B. & Girwidz, R. (2019). Üben mit „stummen“ Experimentiervideos. *Naturwissenschaften im Unterricht Physik* 30(173), 28–31.
- Thoms, L.-J. (2020). Bestimmung der Erdbeschleunigung mit mobilen Sensoren. Ludwig-Maximilians-Universität München.
https://www.didaktik.physik.uni-muenchen.de/materialien/neue_medien/erdbeschleunigung/index.html#mobil
- Thoms, L.-J., Finger, A., Thyssen, C., & Frank, T. (2020). Digitale Kompetenzen beim Experimentieren fördern: Schülerexperimente zur Messung der Periodendauer eines Fadenpendels und zur Bestimmung des Ortsfaktors. *Naturwissenschaften im Unterricht Physik*, 31(179), 23–27.
- Thyssen, C., Thoms, L.-J., Kremser, E., Finger, A., Huwer, J. & Becker, S. (2020). Digitale Basiskompetenzen in der Lehrerbildung unter besonderer Berücksichtigung der Naturwissenschaften. In M. Beißwenger, B. Bulizek, I. Gryl & F. Schacht (Hg.), *Digitale Innovationen und Kompetenzen in der Lehramtsausbildung* (S. 77–98). Universitätsverlag Rhein-Ruhr.
<https://doi.org/10.17185/duerpublico/73330>
- Zhang, M. & Quintana, C. (2012). Scaffolding strategies for supporting middle school students' online inquiry processes. *Computers & Education*, 58(1), 181–196.
<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2011.07.016>

Dirac-Algebra: Kurz und schmerzlos

Martin Erik Horn

IUBH Internationale Hochschule (Campus Berlin), Frankfurter Allee 73 A, 10247 Berlin,
XU – Exponential University of Applied Sciences, August-Bebel-Straße 26-53, 14482 Potsdam,
m.horn@iubh.de

Kurzfassung

Im Bereich von Informatik und Software-Entwicklung wird die Dirac-Algebra zur Modellierung hyperbolischer und konformer Räume eingesetzt. Es ist deshalb sinnvoll, Lernenden eine Einführung in die Dirac-Algebra zu eröffnen, die auf die Thematisierung des quantenmechanischen Hintergrunds vollständig verzichtet.

Aus diesem Grund wurden Aufgaben zur Lösung Linearer Gleichungssysteme, die zuvor auf Basis der Pauli-Algebra gelöst wurden, umgestaltet und mit Hilfe der Dirac-Algebra bearbeitet. Dieser Ansatz, der vorgestellt und didaktisch hinterfragt wird, führt auf den Kern dessen zurück, was Grassmann in seiner Ausdehnungslehre erstmals formulierte: Die Basisgrößen von Pauli- und Dirac-Algebra (also der Geometrischen Algebra) können als Basisvektoren interpretiert werden.

Die Lösung Linearer Gleichungssysteme mit Hilfe der Dirac-Algebra stellt deshalb ein raumzeitliches Analogon zum üblicherweise als Cramersche Regel bezeichneten Lösungsverfahren dar. Und auch raumzeitliche Analoga zu Moore-Penrose-Matrizeninversen lassen sich konstruieren.

1. Historischer Hintergrund

Selbstverständlich ist die Pauli-Algebra deutlich älter als Wolfgang Pauli. Ebenso selbstverständlich ist die Dirac-Algebra deutlich älter als P. A. M. Dirac. Beide Algebren wurde lange vor Entwicklung der Quantenmechanik vollständig ausformuliert, denn sie stellen letztendlich nichts anderes als Spezialfälle der auf Hermann Günther Grassmann zurückgehenden Geometrischen Algebra dar.

Und deshalb kann ebenso selbstverständlich das bereits 1844 von Grassmann in seiner Ausdehnungslehre formulierte geometrisch-algebraische Analogon zur Cramerschen Regel, hier der alten Schreibweise Grassmanns [1, S. 72] folgend,

$$x_1 = \frac{p_0 \cdot p_2 \cdot p_3 \cdots p_n}{p_1 \cdot p_2 \cdot p_3 \cdots p_n} \quad \{1\}$$

als Ansatzpunkt nicht nur für einen Einstieg in die Pauli-Algebra, sondern auch für einen veritablen und tragfähigen Einstieg in die Dirac-Algebra genutzt werden.

Denn selbstverständlich lassen sich die Vektoren p_i in $\{1\}$ bzw. $\{2\}$ bereits zu Grassmanns Zeiten nicht nur als rein Euklidische Vektoren und damit als Linearkombinationen von Pauli-Matrizen interpretieren.

Sehr klar arbeitete schon Grassmann hyperbolische Räume aus [2], so dass die Vektoren p_i der Gleichungen $\{1\}$ und $\{2\}$ auch ohne jegliche Kenntnis der Quantenmechanik als Linearkombinationen von Dirac-Matrizen interpretiert werden können. Dieser Interpretation folgt der hier vorgestellte Ansatz.

2. Fachliche und didaktische Einordnung

Und selbstverständlich sind Pauli- und Dirac-Algebra keine primär physikalischen Konstrukte.

Da wir als Physikdidaktikerinnen und Physikdidaktiker in unserer Ausbildung – sehr wahrscheinlich – erstmals mit der Pauli- und Dirac-Algebra beim Erlernen der Quantenmechanik in Kontakt kamen, entwickeln wir leicht die Vorstellung, dass Pauli- und Dirac-Algebra primär oder sogar ausschließlich mit der Physik der Quantenmechanik verknüpft sind. Dies ist eine dramatische Fehlvorstellung.

Selbstverständlich gibt es zahlreiche Fachgebiete, die Pauli- und Dirac-Algebra nutzen und die wir in der Physikdidaktik, da in unserer Blickweise fachspezifisch eingeengt, oft übersehen. Die Informatik und die Software-Entwicklung sind solche Gebiete. Dort werden – insbesondere im Bereich von Computer-Graphik, Robotik und Computer Vision beim Beschreiben und Erkennen räumlicher Strukturen – Pauli- und Dirac-Algebra zur Modellierung hyperbolischer, projektiver oder konformer Räume eingesetzt.

In diesen Fachgebieten werden Pauli- und Dirac-Algebra als das gedeutet, was sie mathematisch tatsächlich sind: moderne Ausgestaltungen der Linearen Algebra. Denn die Basiselemente der Pauli- und Dirac-Algebra und multiplikative Verknüpfungen dieser Basiselemente sind geometrisch betrachtet nichts anderes als Basis-Vektoren, orientierte Basis-Flächenstücke, orientierte Basis-Volumenelemente, etc. [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14], [15].

Im Gegensatz zu dieser geometrisch tragfähigen Sichtweise wird der Blick auf Pauli- und Dirac-Algebra im physikalischen Bereich sehr durch historische Einengungen getrübt. Wolfgang Pauli und P. A. M. Dirac charakterisierten ihre Matrizen als Operatoren, die auf andere Objekte einwirken. Sie benannten Pauli- und Dirac-Matrizen jedoch nie als Operanden, auf die eingewirkt wird.

Diese Einengung wird heute noch von zahlreichen Fachkolleginnen und Fachkollegen aus Physik und Mathematik weitergetragen und verhindert einen sinnvollen Umgang mit diesen Algebren.

Selbstverständlich repräsentieren Pauli- und Dirac-Matrizen Operatoren, also beispielsweise Spiegelachsen, an denen mathematische Objekte reflektiert werden. Sie repräsentieren aber auch Operanden, also beispielsweise Vektoren, die gespiegelt werden.

3. Was bisher geschah

In bisherigen Ausarbeitungen wurden Materialien zur Einführung in die Pauli-Algebra entwickelt und erprobt, die als Einstieg die (im Folgenden nun in moderner Schreibung dargestellte) Formel von Grassmann [1, S. 72]

$$x_1 = \frac{p_0 \wedge p_2 \wedge p_3 \wedge \dots \wedge p_n}{p_1 \wedge p_2 \wedge p_3 \wedge \dots \wedge p_n} \quad \{2\}$$

zur Lösung Linearer Gleichungssysteme

$$p_1 x_1 + p_2 x_2 + p_3 x_3 + \dots + p_n x_n = p_0 \quad \{3\}$$

nutzen.

Dieser Einstieg ist auch deshalb so tragfähig und didaktisch überzeugend, weil er *im Interesse armer Studenten* („in the interest of poor students“ [16]) *dieses Geheimnis* („this secret“ [16]), *das in der hochsteril gereinigten algebraischen Bildung* der heutigen Zeit *sorgfältig versteckt wird* („which is carefully hidden in the purified algebraic education“ [16]), verrät: Wir vergleichen geometrische Größen, und wir vergleichen sie, indem wir sie dividieren.

Die äußeren Produkte in Grassmanns Formel {1} bzw. {2} sind deshalb für Lernende so leicht zugänglich, weil sie geometrisch gedeutet werden.

Im Fall eines Linearen Gleichungssystems zweier Gleichungen mit zwei Unbekannten

$$\mathbf{a} x + \mathbf{b} y = \mathbf{r} \quad \{4\}$$

sind Zähler und Nenner dieser Formel zwei orientierte Parallelogramme $\mathbf{a} \wedge \mathbf{b}$ und $\mathbf{r} \wedge \mathbf{b}$, die dividiert werden.

Und im Fall eines Linearen Gleichungssystems dreier Gleichungen mit drei Unbekannten

$$\mathbf{a} x + \mathbf{b} y + \mathbf{c} z = \mathbf{r} \quad \{5\}$$

sind Zähler und Nenner dieser Formel zwei orientierte Parallelepipede $\mathbf{a} \wedge \mathbf{b} \wedge \mathbf{c}$ und $\mathbf{r} \wedge \mathbf{b} \wedge \mathbf{c}$, die dividiert werden.

In den entwickelten und erprobten Materialien [18] (englische Fassung siehe [19]) werden also einmal orientierte Flächenelemente (orientierte Pa-

rallelogramme) und später orientierte Volumenelemente (orientierte Parallelepipede) geometrisch sehr anschaulich diskutiert und an zahlreichen Beispielen leicht nachvollziehbar verdeutlicht.

Ein solches Beispiel wird auch im beigefügten Poster der Präsentation [24] erläutert:

$$\begin{aligned} 6x + 5y &= 40 \\ 8x + 7y &= 54 \end{aligned} \quad \{6\}$$

Dieses algebraische Lineare Gleichungssystem wird nun geometrisch eingebettet, indem die Koeffizienten als Komponenten von Vektoren eines Euklidischen Raums

$$\begin{aligned} \mathbf{a} &= 6 \sigma_x + 8 \sigma_y \\ \mathbf{b} &= 5 \sigma_x + 7 \sigma_y \\ \mathbf{r} &= 40 \sigma_x + 54 \sigma_y \end{aligned} \quad \{7\}$$

geometrisch gefasst werden. Mit Hilfe von {2} ergibt sich der Lösungswert von x durch Division des orientierten Flächeninhalts des durch den Ergebnisvektor \mathbf{r} und den Koeffizientenvektor \mathbf{b} aufgespannten Parallelogramms

$$\begin{aligned} \mathbf{r} \wedge \mathbf{b} &= (40 \sigma_x + 54 \sigma_y) \wedge (5 \sigma_x + 7 \sigma_y) \\ &= 10 \sigma_x \sigma_y \end{aligned} \quad \{8\}$$

durch den orientierten Flächeninhalt des von den beiden Koeffizientenvektoren \mathbf{a} und \mathbf{b} aufgespannten Parallelogramms

$$\begin{aligned} \mathbf{a} \wedge \mathbf{b} &= (6 \sigma_x + 8 \sigma_y) \wedge (5 \sigma_x + 7 \sigma_y) \\ &= 2 \sigma_x \sigma_y \end{aligned} \quad \{9\}$$

zu

$$x = (\mathbf{a} \wedge \mathbf{b})^{-1} (\mathbf{r} \wedge \mathbf{b}) = 5 \quad \{10\}$$

Dieser simple Lösungsansatz kann selbst mit relativ mathematikfernen Studierenden erfolgreich und unter Nutzung von GAALOP auch zeiteffektiv [17] erarbeitet werden.

Das Ziel dieses Beitrags ist jedoch, auf eine Verallgemeinerung zu blicken. Zum ersten ist da die Verallgemeinerung auf höher-dimensionale Räume, die schon durch die Grassmannsche Formel {1} vollständig gegeben wird.

Im dreidimensionalen Fall eines Linearen Gleichungssystems dreier Gleichungen mit drei Unbekannten hätten wir zur Bestimmung von x durch

$$x = (\mathbf{a} \wedge \mathbf{b} \wedge \mathbf{c})^{-1} (\mathbf{r} \wedge \mathbf{b} \wedge \mathbf{c}) \quad \{11\}$$

dann die Division zweier orientierter Volumenelemente (bzw. Parallelepipede) zu betrachten.

Eine zweite, ebenso interessante Verallgemeinerung betrifft die geometrische Einbettung des algebraischen Linearen Gleichungssystems. Was passiert, wenn, wir die Koeffizienten des LGS {6} nicht als Komponenten von Vektoren eines Euklidischen, also rein räumlichen Raumes deuten, sondern als Komponenten von Vektoren einer Minkowskischen Raumzeit?

Die didaktische Antwort lautet: Wir erhalten einen Einstieg in die Dirac-Algebra.

4. Was nun geschieht

Die Einbettung in eine Raumzeit im Sinne von Minkowski verlangt, das eine Dimension durch einen zeitlichen Basisvektor

$$\gamma_t^2 = 1 \quad \{12\}$$

und die restlichen Dimensionen durch räumliche Basisvektoren

$$\gamma_x^2 = \gamma_y^2 = \gamma_z^2 = \text{etc.} \dots = -1 \quad \{13\}$$

aufgespannt werden.

Im zweidimensionalen Fall des Linearen Gleichungssystems {6} werden die Koeffizienten also als raumzeitliche Vektoren

$$\begin{aligned} \mathbf{a} &= 6 \gamma_t + 8 \gamma_x \\ \mathbf{b} &= 5 \gamma_t + 7 \gamma_x \\ \mathbf{r} &= 40 \gamma_t + 54 \gamma_x \end{aligned} \quad \{14\}$$

geometrisch umgedeutet. Mit Hilfe von {2} ergibt sich der Lösungswert von x durch Division des orientierten Flächeninhalts des durch den Ergebnisvektor \mathbf{r} und den Koeffizientenvektor \mathbf{b} aufgespannten raumzeitlichen Parallelogramms

$$\begin{aligned} \mathbf{r} \wedge \mathbf{b} &= (40 \gamma_t + 54 \gamma_x) \wedge (5 \gamma_t + 7 \gamma_x) \\ &= 10 \gamma_t \gamma_x \end{aligned} \quad \{15\}$$

durch den orientierten Flächeninhalt des von den beiden Koeffizientenvektoren \mathbf{a} und \mathbf{b} aufgespannten raumzeitlichen Parallelogramms

$$\begin{aligned} \mathbf{a} \wedge \mathbf{b} &= (6 \gamma_t + 8 \gamma_x) \wedge (5 \gamma_t + 7 \gamma_x) \\ &= 2 \gamma_t \gamma_x \end{aligned} \quad \{16\}$$

zu

$$x = (\mathbf{a} \wedge \mathbf{b})^{-1} (\mathbf{r} \wedge \mathbf{b}) = 5 \quad \{17\}$$

Ein Vergleich mit Abschnitt 3 zeigt, dass der Schwierigkeitsgrad der Rechnung nicht zugenommen hat. Es ist immer ermutigend für Lernende, wenn das neu zu Lernende sich am schon Gelernten anlehnt.

Dieser Einstieg in die Dirac-Algebra, der die Thematisierung des inneren Produkts nach hinten schiebt und die Unterschiede zum Vorgehen in der Pauli-Algebra klein hält, ist also tatsächlich kurz (also zeitschonend möglich) und schmerzlos (also ohne all zu große Friktionen im konzeptionellen Vorgehen).

Deshalb wurden die Materialien [17] nun für den englischsprachigen Master-Studiengang Computer Science der iubh ohne große Umwege direkt in die Dirac-Algebra übersetzt. Es sollen die gleichen Linearen Gleichungssysteme gelöst werden, indem jetzt die Dirac-Algebra als Algebra der Raumzeit herangezogen wird.

Diese neuen Materialien sind im Anhang dieses Beitrags [25] beigefügt.

Zur Vertiefung und Einübung dieses Ansatzes kann mit den Studierenden im Anschluss auch auf die Bestimmung von Matrizeninversen eingegangen werden.

5. Matrizeninverse

Inverse quadratischer Matrizen lassen sich vollkommen analog zum Vorgehen in den Abschnitten drei und vier bestimmen, indem die Basisvektoren als Ergebnisvektoren gesetzt werden.

Am Beispiel des Linearen Gleichungssystems {6} erhalten wir dann die beiden Gleichungssysteme

$$\begin{aligned} 6x + 5y &= 1 & 6x + 5y &= 0 \\ 8x + 7y &= 0 & 8x + 7y &= 1 \end{aligned} \quad \{18\}$$

Diese algebraischen Linearen Gleichungssysteme werden nun geometrisch eingebettet, indem die Koeffizienten als Komponenten von Vektoren eines Euklidischen Raums

$$\begin{aligned} \mathbf{a} &= 6 \sigma_x + 8 \sigma_y \\ \mathbf{b} &= 5 \sigma_x + 7 \sigma_y \\ \mathbf{r}_1 &= \sigma_x & \mathbf{r}_2 &= \sigma_y \end{aligned} \quad \{19\}$$

geometrisch gefasst werden. Mit Hilfe von {2} ergeben sich dann die Elemente der ersten Zeile der zu

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} 6 & 5 \\ 8 & 7 \end{pmatrix} \quad \{20\}$$

inversen Matrix \mathbf{A}^{-1} durch Division der orientierten Flächeninhalte der durch die Basisvektoren σ_x sowie σ_y und den Koeffizientenvektor \mathbf{b} aufgespannten Parallelogramme

$$\mathbf{r}_1 \wedge \mathbf{b} = \sigma_x \wedge (5 \sigma_x + 7 \sigma_y) = 7 \sigma_x \sigma_y \quad \{21\}$$

$$\mathbf{r}_2 \wedge \mathbf{b} = \sigma_y \wedge (5 \sigma_x + 7 \sigma_y) = -5 \sigma_x \sigma_y \quad \{22\}$$

durch den orientierten Flächeninhalt des von den beiden Koeffizientenvektoren \mathbf{a} und \mathbf{b} aufgespannten Parallelogramms

$$\begin{aligned} \mathbf{a} \wedge \mathbf{b} &= (6 \sigma_x + 8 \sigma_y) \wedge (5 \sigma_x + 7 \sigma_y) \\ &= 2 \sigma_x \sigma_y \end{aligned} \quad \{23\}$$

zu

$$x_1 = (\mathbf{a} \wedge \mathbf{b})^{-1} (\mathbf{r}_1 \wedge \mathbf{b}) = 3,5 \quad \{24\}$$

$$x_2 = (\mathbf{a} \wedge \mathbf{b})^{-1} (\mathbf{r}_2 \wedge \mathbf{b}) = -2,5 \quad \{25\}$$

Selbstverständlich ergibt sich wieder der gleiche Lösungswert von $x = 5$, wenn mit Hilfe einer Matrizenmultiplikation

$$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \mathbf{A}^{-1} \vec{r} = \begin{pmatrix} 3,5 & -2,5 \\ y_1 & y_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 40 \\ 54 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 5 \\ y \end{pmatrix} \quad \{26\}$$

probehilber der Lösungsvektor bestimmt wird.

In der Dirac-Algebra bei raumzeitlicher Einbettung sieht der Lösungsweg nahezu identisch aus: Die Einbettung erfolgt nun wieder in eine Raumzeit im Sinne Minkowskis gemäß

$$\begin{aligned} \mathbf{a} &= 6 \gamma_t + 8 \gamma_x \\ \mathbf{b} &= 5 \gamma_t + 7 \gamma_x \\ \mathbf{r}_1 &= \gamma_t & \mathbf{r}_2 &= \gamma_x \end{aligned} \quad \{27\}$$

Mit Hilfe von {2} ergeben sich dann die Elemente der ersten Zeile der zu \mathbf{A} {20} inversen Matrix \mathbf{A}^{-1} durch Division der orientierten Flächeninhalte der

durch die Basisvektoren γ_t sowie γ_x und den Koeffizientenvektor \mathbf{b} aufgespannten Parallelogramme

$$\mathbf{r}_1 \wedge \mathbf{b} = \gamma_t \wedge (5 \gamma_t + 7 \gamma_x) = 7 \gamma_t \gamma_x \quad \{28\}$$

$$\mathbf{r}_2 \wedge \mathbf{b} = \gamma_x \wedge (5 \gamma_t + 7 \gamma_x) = -5 \gamma_t \gamma_x \quad \{29\}$$

durch den orientierten Flächeninhalt des von den beiden Koeffizientenvektoren \mathbf{a} und \mathbf{b} aufgespannten Parallelogramms

$$\begin{aligned} \mathbf{a} \wedge \mathbf{b} &= (6 \gamma_t + 8 \gamma_x) \wedge (5 \gamma_t + 7 \gamma_x) \\ &= 2 \gamma_t \gamma_x \end{aligned} \quad \{30\}$$

zu

$$x_1 = (\mathbf{a} \wedge \mathbf{b})^{-1} (\mathbf{r}_1 \wedge \mathbf{b}) = 3,5 \quad \{31\}$$

$$x_2 = (\mathbf{a} \wedge \mathbf{b})^{-1} (\mathbf{r}_2 \wedge \mathbf{b}) = -2,5 \quad \{32\}$$

was selbstverständlich wieder auf den gleichen Lösungswert von $x = 5$ führt.

Und auch hier können mit Hilfe der Grassmannschen Lösungsformel höher-dimensionale Situationen problemlos gelöst werden. Beispielsweise ergibt sich für die erste Zeile der Inversen einer (3×3) -Matrix dann

$$x_1 = (\mathbf{a} \wedge \mathbf{b} \wedge \mathbf{c})^{-1} (\mathbf{r}_1 \wedge \mathbf{b} \wedge \mathbf{c}) \quad \{33\}$$

$$x_2 = (\mathbf{a} \wedge \mathbf{b} \wedge \mathbf{c})^{-1} (\mathbf{r}_2 \wedge \mathbf{b} \wedge \mathbf{c}) \quad \{34\}$$

$$x_3 = (\mathbf{a} \wedge \mathbf{b} \wedge \mathbf{c})^{-1} (\mathbf{r}_3 \wedge \mathbf{b} \wedge \mathbf{c}) \quad \{35\}$$

Und es schadet auch nichts, sich einmal anzuschauen, was Roger Penrose vor seiner Beschäftigung mit Schwarzen Löchern so gemacht hat.

6. Konsistente, überdeterminierte Lineare Gleichungssysteme

Eine weitere Verallgemeinerung ergibt sich, wenn konsistente, überdeterminierte Lineare Gleichungssysteme betrachtet werden, also beispielsweise ein konsistentes, eindeutig lösbares Lineares Gleichungssystem dreier Gleichungen mit zwei Unbekannten:

$$\begin{aligned} 6x + 5y &= 40 \\ 8x + 7y &= 54 \\ 4x + 9y &= 38 \end{aligned} \quad \{36\}$$

Auch hier führt eine Anwendung der von Grassmann aufgezeigten Lösungsformel {1} bzw. {2} zum sofortigen Ergebnis. Die geometrische Einbettung erfolgt nun in einen dreidimensionalen Raum, indem die Koeffizienten des überdeterminierten Linearen Gleichungssystems geometrisch als die Vektoren

$$\begin{aligned} \mathbf{a} &= 6 \sigma_x + 8 \sigma_y + 4 \sigma_z \\ \mathbf{b} &= 5 \sigma_x + 7 \sigma_y + 9 \sigma_z \\ \mathbf{r} &= 40 \sigma_x + 54 \sigma_y + 38 \sigma_z \end{aligned} \quad \{37\}$$

gefasst werden. Mit Hilfe von {2} ergibt sich der Lösungswert von x durch Division des orientierten Flächeninhalts des durch den Ergebnisvektor \mathbf{r} und den Koeffizientenvektor \mathbf{b} aufgespannten Parallelogramms

$$\begin{aligned} \mathbf{r} \wedge \mathbf{b} &= (40 \sigma_x + 54 \sigma_y + 38 \sigma_z) \wedge (5 \sigma_x + 7 \sigma_y + 9 \sigma_z) \\ &= 10 \sigma_x \sigma_y + 220 \sigma_y \sigma_z - 170 \sigma_z \sigma_x \end{aligned} \quad \{38\}$$

durch den orientierten Flächeninhalt des von den beiden Koeffizientenvektoren \mathbf{a} und \mathbf{b} aufgespannten Parallelogramms

$$\begin{aligned} \mathbf{a} \wedge \mathbf{b} &= (6 \sigma_x + 8 \sigma_y + 4 \sigma_z) \wedge (5 \sigma_x + 7 \sigma_y + 9 \sigma_z) \\ &= 2 \sigma_x \sigma_y + 44 \sigma_y \sigma_z - 34 \sigma_z \sigma_x \end{aligned} \quad \{39\}$$

wieder wie erwartet zu

$$x = (\mathbf{a} \wedge \mathbf{b})^{-1} (\mathbf{r} \wedge \mathbf{b}) = 5 \quad \{40\}$$

Es macht also keinen großen Unterschied, ob eine Einbettung in einen nieder- oder höher-dimensionalen Raum erfolgt, solange alle Vektoren hier in einer Ebene liegen.

Oder allgemein: Wenn die n Koeffizientenvektoren eines Linearen Gleichungssystems aus $n + k$ Gleichungen und n Unbekannten eine n -dimensionale, flache Hyperebene im $(n + k)$ -dimensionalen Raum aufspannen, dann existiert genau dann eine eindeutige Lösung, wenn der Ergebnisvektor $\mathbf{r} = p_0$ ebenfalls in dieser n -dimensionalen Hyperebene liegt.

Und wieder kann dieser Lösungsansatz problemlos in eine raumzeitliche Betrachtung und damit in die Dirac-Algebra übersetzt werden:

Das konsistente Lineare Gleichungssystem {36} wird auch dann gelöst, wenn die Koeffizienten als raumzeitliche Vektoren

$$\begin{aligned} \mathbf{a} &= 6 \gamma_t + 8 \gamma_x + 4 \gamma_y \\ \mathbf{b} &= 5 \gamma_t + 7 \gamma_x + 9 \gamma_y \\ \mathbf{r} &= 40 \gamma_t + 54 \gamma_x + 38 \gamma_y \end{aligned} \quad \{41\}$$

gefasst werden. Mit Hilfe von {2} ergibt sich der Lösungswert von x durch eine Division des raumzeitlichen, durch den Ergebnisvektor \mathbf{r} und den Koeffizientenvektor \mathbf{b} aufgespannten orientierten Parallelogramms

$$\begin{aligned} \mathbf{r} \wedge \mathbf{b} &= (40 \gamma_t + 54 \gamma_x + 38 \gamma_y) \wedge (5 \gamma_t + 7 \gamma_x + 9 \gamma_y) \\ &= 10 \gamma_t \gamma_x + 170 \gamma_t \gamma_y + 220 \gamma_x \gamma_y \end{aligned} \quad \{42\}$$

durch das raumzeitliche, von den beiden Koeffizientenvektoren \mathbf{a} und \mathbf{b} aufgespannte orientierte Parallelogramm

$$\begin{aligned} \mathbf{a} \wedge \mathbf{b} &= (6 \gamma_t + 8 \gamma_x + 4 \gamma_y) \wedge (5 \gamma_t + 7 \gamma_x + 9 \gamma_y) \\ &= 2 \gamma_t \gamma_x + 34 \gamma_t \gamma_y + 44 \gamma_x \gamma_y \end{aligned} \quad \{43\}$$

wieder wie erwartet zu

$$x = (\mathbf{a} \wedge \mathbf{b})^{-1} (\mathbf{r} \wedge \mathbf{b}) = 5 \quad \{44\}$$

Eine solche Division ist allerdings nur dann problemlos erlaubt, wenn die orientierten Flächenstücke im Zähler und Nenner parallel zueinander liegen. Nur dann sind die Prä-Multiplikation von links und die Postmultiplikation von rechts

$$x = (\mathbf{a} \wedge \mathbf{b})^{-1} (\mathbf{r} \wedge \mathbf{b}) = (\mathbf{r} \wedge \mathbf{b}) (\mathbf{a} \wedge \mathbf{b})^{-1} \quad \{45\}$$

identisch, da parallele Flächenstücke kommutieren.

7. Verallgemeinerte Matrizeninverse

Eine Parallelität der orientierten Flächenstücke von Zähler und Nenner ist bei der Berechnung nicht-quadratischer, verallgemeinerter Matrizeninverse nicht gegeben. Wir erhalten also unterschiedliche

Resultate für die Matrizeninverse, je nachdem, ob wir von links prä-multiplizieren oder von rechts post-multiplizieren.

Die zur (2 x 3)-Koeffizientenmatrix

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} 6 & 5 \\ 8 & 7 \\ 4 & 9 \end{pmatrix} \quad \{46\}$$

linksseitig inverse (3 x 2)-Matrix \mathbf{A}^{-1} wird im Folgenden deshalb durch Prä-Multiplikation mit dem inversen äußeren Produkt $(\mathbf{a} \wedge \mathbf{b})^{-1}$ von links gebildet. Die benötigten orientierten Flächenstücke werden dann bei Einbettung in einen rein räumlichen Raum der Pauli-Algebra mit Hilfe der folgenden Vektoren gebildet

$$\begin{aligned} \mathbf{a} &= 6 \sigma_x + 8 \sigma_y + 4 \sigma_z \\ \mathbf{b} &= 5 \sigma_x + 7 \sigma_y + 9 \sigma_z \\ \mathbf{r}_1 &= \sigma_x \quad \mathbf{r}_2 = \sigma_y \quad \mathbf{r}_3 = \sigma_z \end{aligned} \quad \{47\}$$

und lauten:

$$\begin{aligned} \mathbf{r}_1 \wedge \mathbf{b} &= \sigma_x \wedge (5 \sigma_x + 7 \sigma_y + 9 \sigma_z) \\ &= 7 \sigma_x \sigma_y - 9 \sigma_z \sigma_x \end{aligned} \quad \{48\}$$

$$\begin{aligned} \mathbf{r}_2 \wedge \mathbf{b} &= \sigma_y \wedge (5 \sigma_x + 7 \sigma_y + 9 \sigma_z) \\ &= -5 \sigma_x \sigma_y + 9 \sigma_y \sigma_z \end{aligned} \quad \{49\}$$

$$\begin{aligned} \mathbf{r}_3 \wedge \mathbf{b} &= \sigma_z \wedge (5 \sigma_x + 7 \sigma_y + 9 \sigma_z) \\ &= -7 \sigma_y \sigma_z + 5 \sigma_z \sigma_x \end{aligned} \quad \{50\}$$

Und dann ist da noch der orientierte Flächeninhalt des von den beiden Koeffizientenvektoren \mathbf{a} und \mathbf{b} aufgespannten rein räumlichen Parallelogramms

$$\begin{aligned} \mathbf{a} \wedge \mathbf{b} &= (6 \sigma_x + 8 \sigma_y + 4 \sigma_z) \wedge (5 \sigma_x + 7 \sigma_y + 9 \sigma_z) \\ &= 2 \sigma_x \sigma_y + 44 \sigma_y \sigma_z - 34 \sigma_z \sigma_x \end{aligned} \quad \{51\}$$

Dieses orientierte Parallelogramm kann auch als räumliche Determinante der nicht-quadratischen Matrix \mathbf{A} {46} gedeutet werden.

Nach kurzer Rechnung und mit Hilfe von

$$(\mathbf{a} \wedge \mathbf{b})^2 = -3096 \quad \{52\}$$

ergeben sich die Elemente der ersten Zeile der Verallgemeinerten Pauli-Algebra-Matrizeninverse

$$x_1 = (\mathbf{a} \wedge \mathbf{b})^{-1} (\mathbf{r}_1 \wedge \mathbf{b}) \quad \{53\}$$

$$= \frac{1}{1548} (160 - 198 \sigma_x \sigma_y - 110 \sigma_y \sigma_z - 154 \sigma_z \sigma_x)$$

$$x_2 = (\mathbf{a} \wedge \mathbf{b})^{-1} (\mathbf{r}_2 \wedge \mathbf{b}) \quad \{54\}$$

$$= \frac{1}{1548} (193 + 153 \sigma_x \sigma_y + 85 \sigma_y \sigma_z + 119 \sigma_z \sigma_x)$$

$$x_3 = (\mathbf{a} \wedge \mathbf{b})^{-1} (\mathbf{r}_3 \wedge \mathbf{b}) \quad \{55\}$$

$$= \frac{1}{1548} (-239 - 9 \sigma_x \sigma_y - 5 \sigma_y \sigma_z - 7 \sigma_z \sigma_x)$$

Und auch hier ergibt sich selbstverständlich wieder der gleiche Lösungswert von $x = 5$, wenn mit Hilfe einer Matrizenmultiplikation die Komponenten der ersten Zeile der verallgemeinerten Matrizeninverse {53} – {55} zur Berechnung herangezogen werden:

$$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \mathbf{A}^{-1} \vec{r} = \begin{pmatrix} x_1 & x_2 & x_3 \\ y_1 & y_2 & y_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 40 \\ 54 \\ 38 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 5 \\ y \end{pmatrix} \quad \{56\}$$

Dabei wird sichtbar, dass nur die skalaren Anteile der Komponenten zum Endresultat beitragen. Die bivectoriellen Anteile kompensieren sich und fallen weg.

Dieser skalare Anteil der Verallgemeinerten Pauli-Algebra-Matrizeninverse [20], [21] entspricht der Moore-Penrose Matrizeninversen [22], [23].

$$\mathbf{A}^+ = \frac{1}{1548} \begin{pmatrix} 160 & 193 & -239 \\ y_1 & y_2 & y_3 \end{pmatrix} \quad \{57\}$$

Roger Penrose hat es sich also einfach gemacht und auf eine Diskussion der bivectoriellen, also in der Struktur typisch quaternionischen Zusatzterme, verzichtet. Und leider hat er es auch unterlassen, eine raumzeitliche Formulierung der Moore-Penrose-Matrizeninversen zu geben. Dies werden wir im folgenden Abschnitt mit Hilfe der Dirac-Algebra nachholen.

8. Verallgemeinerte raumzeitliche Matrizeninverse

Die zur Rechteck-Matrix \mathbf{A} {46} linksseitig inverse nicht-quadratische raumzeitliche Matrix \mathbf{A}^{-1} wird wieder durch Prä-Multiplikation mit dem inversen äußeren Produkt $(\mathbf{a} \wedge \mathbf{b})^{-1}$ von links gebildet.

Die benötigten orientierten raumzeitlichen Flächenstücke werden nun durch Einbettung in eine Minkowski-Raumzeit gebildet, indem die raumzeitlichen Vektoren wie bereits bekannt mit Hilfe der Dirac-Algebra ausgedrückt werden:

$$\begin{aligned} \mathbf{a} &= 6 \gamma_t + 8 \gamma_x + 4 \gamma_y \\ \mathbf{b} &= 5 \gamma_t + 7 \gamma_x + 9 \gamma_y \\ \mathbf{r}_1 &= \gamma_t \quad \mathbf{r}_2 = \gamma_x \quad \mathbf{r}_3 = \gamma_y \end{aligned} \quad \{58\}$$

Die raumzeitlichen orientierten Flächenstücke (also raumzeitliche Parallelogramme) lauten sodann:

$$\begin{aligned} \mathbf{r}_1 \wedge \mathbf{b} &= \gamma_t \wedge (5 \gamma_t + 7 \gamma_x + 9 \gamma_y) \\ &= 7 \gamma_t \gamma_x + 9 \gamma_t \gamma_y \end{aligned} \quad \{59\}$$

$$\begin{aligned} \mathbf{r}_2 \wedge \mathbf{b} &= \gamma_x \wedge (5 \gamma_t + 7 \gamma_x + 9 \gamma_y) \\ &= -5 \gamma_t \gamma_x + 9 \gamma_x \gamma_y \end{aligned} \quad \{60\}$$

$$\begin{aligned} \mathbf{r}_3 \wedge \mathbf{b} &= \gamma_y \wedge (5 \gamma_t + 7 \gamma_x + 9 \gamma_y) \\ &= -5 \gamma_t \gamma_y - 7 \gamma_x \gamma_y \end{aligned} \quad \{61\}$$

Und das raumzeitliche orientierte Flächenstück, das von den beiden raumzeitlichen Koeffizientenvektoren \mathbf{a} und \mathbf{b} aufgespannt wird und das als raumzeitliche Determinante der nicht-quadratischen Matrix \mathbf{A} gesehen werden kann, ist bereits bekannt und lautet:

$$\begin{aligned} \mathbf{a} \wedge \mathbf{b} &= (6 \gamma_t + 8 \gamma_x + 4 \gamma_y) \wedge (5 \gamma_t + 7 \gamma_x + 9 \gamma_y) \\ &= 2 \gamma_t \gamma_x + 34 \gamma_t \gamma_y + 44 \gamma_x \gamma_y \end{aligned} \quad \{62\}$$

Nach kurzer Rechnung und mit Hilfe von

$$(\mathbf{a} \wedge \mathbf{b})^2 = -776 \quad \{63\}$$

wobei die unterschiedliche Signatur der Basisvektoren zu berücksichtigen ist, ergeben sich die Elemente der ersten Zeile der Verallgemeinerten Dirac-Algebra-Matrizeninverse zu

$$\begin{aligned} x_1 &= (\mathbf{a} \wedge \mathbf{b})^{-1} (\mathbf{r}_1 \wedge \mathbf{b}) \quad \{64\} \\ &= \frac{1}{388} (-160 + 198 \gamma_t \gamma_x - 154 \gamma_t \gamma_y - 110 \gamma_x \gamma_y) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x_2 &= (\mathbf{a} \wedge \mathbf{b})^{-1} (\mathbf{r}_2 \wedge \mathbf{b}) \quad \{65\} \\ &= \frac{1}{388} (203 - 153 \gamma_t \gamma_x + 119 \gamma_t \gamma_y + 85 \gamma_x \gamma_y) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x_3 &= (\mathbf{a} \wedge \mathbf{b})^{-1} (\mathbf{r}_3 \wedge \mathbf{b}) \quad \{66\} \\ &= \frac{1}{388} (-69 + 9 \gamma_t \gamma_x - 7 \gamma_t \gamma_y - 5 \gamma_x \gamma_y) \end{aligned}$$

Und auch hier kompensieren sich die bivectoriellen Anteile wieder gegenseitig, so dass bei einer erneuten Berechnung wie erwartet wieder der skalare Lösungswert von $x = 5$ ermittelt wird:

$$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \mathbf{A}^{-1} \vec{r} = \begin{pmatrix} x_1 & x_2 & x_3 \\ y_1 & y_2 & y_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 40 \\ 54 \\ 38 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 5 \\ y \end{pmatrix} \quad \{67\}$$

Der skalare Anteil der Verallgemeinerten Dirac-Algebra-Matrizeninversen entspricht jedoch nicht mehr der Moore-Penrose Matrizeninversen, sondern kann als raumzeitliches Analogon

$$\mathbf{A}_{\text{spacetime}}^+ = \frac{1}{388} \begin{pmatrix} -160 & 203 & -69 \\ y_1 & y_2 & y_3 \end{pmatrix} \quad \{68\}$$

zur rein räumlichen Moore-Penrose-Matrizeninversen interpretiert werden. Der konventionellen Moore-Penrose-Matrizeninversen fehlt also der gewisse gravitative, hyperbolische Charme.

Und das ist heute leider öfter so: Glauben wir wirklich, dass die Modelle und Strukturen, die wir derzeit in Natur- und Gesellschaftswissenschaften (so auch im Bereich der Physik sozio-ökonomischer Systeme) konstruieren, lediglich rein räumliche, Euklidische Strukturen sein sollten?

Oder sollten wir nicht öfters auf hyperbolische Strukturen zurückgreifen, um die Modellbildung auf Grundlage der Dirac-Algebra zu weiten und konzeptionell zu öffnen. Es ist anzunehmen, dass bei einer solchen Öffnung einige bisher recht komplexe und undurchschaubare Beziehungen leichter zugänglich und verständlicher werden.

9. Literatur

- [1] Grassmann, Hermann (1844): Die Wissenschaft der extensiven Grösse oder die Ausdehnungslehre, eine neue mathematische Disciplin. Erster Theil, die lineale Ausdehnungslehre enthaltend. Leipzig: Verlag von Otto Wigand.
- [2] Grassmann, Hermann (1855): Sur les différents genres de multiplication. In: Crelles Journal,

Band 49, Heft 2, S. 123-141. Wiederabdruck in: Friedrich Engel (1904): Hermann Grassmanns gesammelte mathematische und physikalische Werke. Zweiten Bandes Erster Theil: Die Abhandlungen zur Geometrie und Analysis, herausgegeben von E. Study, G. Scheffers, F. Engel. Leipzig: Verlag von B. G. Teubner, S. 199-217.

- [3] Hestenes, David (2015): Space-Time Algebra. 2. Auflage, Cham, Heidelberg, New York: Springer.
- [4] Hestenes, David (2002): New Foundations for Classical Mechanics. 2. Auflage, New York, Boston, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- [5] Hestenes, David (2003): Oersted Medal Lecture 2002: Reforming the Mathematical Language of Physics. In: American Journal of Physics, Vol. 71, No. 2, S. 104-121.
- [6] Snycg, John (1997): Clifford Algebra. A Computational Tool for Physicists. New York, Oxford: Oxford University Press.
- [7] Doran, Chris; Lasenby, Anthony (2003): Geometric Algebra for Physicists. Cambridge: Cambridge University Press.
- [8] Josipović, Miroslav (2020): Geometric Multiplication of Vectors. An Introduction to Geometric Algebra in Physics. Cham, Switzerland: Springer Nature.
- [9] Vince, John (2008): Geometric Algebra for Computer Graphics. London: Springer-Verlag.
- [10] Vince, John (2018): Imaginary Mathematics for Computer Science. Cham, Heidelberg, New York: Springer.
- [11] Perwass, Christian (2009): Geometric Algebra with Applications in Engineering. Berlin, Heidelberg: Springer.
- [12] Hildenbrand, Dietmar (2013): Foundations of Geometric Algebra Computing. Berlin, Heidelberg: Springer.
- [13] Bayro-Corrochano, Eduardo (2005): Handbook of Geometric Computing. Applications in Pattern Recognition, Computer Vision, Neural-computing, and Robotics. Berlin, Heidelberg: Springer.
- [14] Bayro-Corrochano, Eduardo (2019): Geometric Algebra Applications, Vol. I – Computer Vision, Graphics and Neurocomputing. Cham, Switzerland: Springer Nature.
- [15] Bayro-Corrochano, Eduardo (2020): Geometric Algebra Applications, Vol. II – Robot Modeling and Control. Cham, Switzerland: Springer Nature.
- [16] Arnold, Vladimir Igorevich (1998): On Teaching Mathematics. In: Uspekhi Mat. Nauk, Vol. 53, No. 1, S. 229-234. Englische Übersetzung in: Russian Math. Surveys, Vol. 53, No. 1, S. 229-236.
- [17] Martin Erik Horn (2018): Die Geometrische Algebra mit GAALOP im Schnelldurchgang.

- In: PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung in Würzburg, Url: www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/881 (Stand 5/2021).
- [18] Horn, Martin Erik (2018): Moderne Lineare Algebra: Geometrische Algebra mit GAALOP. Übungsblätter des Moduls „Wirtschaftsmathematik“ der Bachelor-Poolveranstaltungen an der Hochschule für Wirtschaft und Recht Berlin, LV-Nr. 200601.07, überarbeitete und ergänzte Fassung vom 30. April 2018 (ursprüngliche Fassung vom 02. Okt. 2017). Sommersemester 2017, HWR Berlin, veröffentlicht als Anhang des Beitrags [17] unter der Url: www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/downloadSuppFile/881/209 (Stand 5/2021).
- [19] Martin Erik Horn (2018): Modern Linear Algebra: Geometric Algebra with GAALOP. Worksheets of the module „Mathematics for Business and Economics“ of joint first-year bachelor lessons at Berlin School of Economics and Law/Hochschule für Wirtschaft und Recht Berlin, LV-Nr. 200691.01 & 400 691.01, Stand: 07. Jan. 2018. Wintersemester 2017/2018, BSEL/HWR Berlin, veröffentlicht als Anhang des Beitrags [17] unter der Url: www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/downloadSuppFile/881/210 (Stand 5/2021).
- [20] Horn, Martin Erik (2016): Inverse von Rechteck-Matrizen. In: BzMU – Beiträge zum Mathematikunterricht. Tagungsband der 50. Jahrestagung der GDM in Heidelberg, Band 1, Münster: WTM-Verlag, S. 457-460.
- [21] Horn, Martin Erik (2016): Moderne Lineare Algebra im wirtschaftsmathematischen Kontext. In: Walther Paravicini, Jörn Schnieder (Hrsg.): Hanse-Kolloquium zur Hochschuldidaktik der Mathematik 2015. Beiträge zum gleichnamigen Symposium an der Universität zu Lübeck. Münster: WTM-Verlag, S. 103-129.
- [22] Horn, Martin Erik (2018): Verallgemeinerte Matrizeninverse und Moore-Penrose Matrizeninverse aus physikdidaktischer Sicht. In: PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung in Würzburg, Url: www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/851 (Stand 5/2021).
- [23] Horn, Martin Erik (2018): Another Introduction to Geometric Algebra with some Comments on Moore-Penrose Inverses. Symmetries in Science XVII, Journal of Physics, Conference Series: 1071 (2018) 012012, Bristol: IOP Publishing.
- Dem Beitrag beigefügte Medien**
- [24] Horn, Martin Erik (2021): Poster DD 14.4, ‚Dirac-Algebra: Kurz und schmerzlos‘ und Poster SOE 3.8, ‚Dirac Algebra Generalized Matrix Inverses‘, beide vom 22. März 2021, siehe auch die beiden Urls: www.dpg-verhandlungen.de/year/2021/conference/didaktik/part/dd/session/14/contribution/4 (Stand 5/2021), www.dpg-verhandlungen.de/year/2021/conference/bpcppdysoe/part/soe/session/3/contribution/8 (Stand 5/2021).
- [25] Horn, Martin Erik (2020): Solving Systems of Linear Equations with Dirac Algebra. Worksheets 7, 9, and 11 of the course “Advanced Mathematics (MQM 110)” of the Master program “Computer Science” at iubh – Internationale Hochschule, Campus Berlin, Wintersemester 2020/2021, Stand: 21. Nov. 2020.
- [26] Horn, Martin Erik (2021): Die skalare Multiplikation von Vektoren als äußeres Produkt. Ergänzung zum Beitrag DD 14.4 zur virtuellen Frühjahrstagung des Fachverband Didaktik der Physik der DPG 2021.
- [27] Horn: Martin Erik (2020): Matrizenrechnung für doofe Computer. Ergänzungsfolien des Kurses „Mathematik 1“ des Bachelor-Studiengangs Ingenieurinformatik der HTW – Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin, Corona-Semester Sommer 2020, Teilfolien 01 – 08 mit Stand vom 16. Juli 2020.

The Origin of the Energy

- Der Ursprung der Energie -

Hans-Otto Carmesin^{1,2,3}

¹Gymnasium Athenaeum, Harsefelder Straße 40, 21680 Stade

²Studienseminar Stade, Bahnhofstr. 5, 21682 Stade

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

Korrespondenz: hans-otto.carmesin@athenetz.de

Abstract

The energy is an essential basic concept of physics. Additionally, the mass is included, as it is equivalent to energy. Moreover the energy is constant in the time evolution of the universe. So the question arises: What is the origin of the energy. Using general relativity and quantum physics, we determine that origin. Moreover I report about experience with that topic in a research club and in university courses.

1. Introduction

The energy is an essential basic concept of physics. It includes very different phenomena corresponding to domains such as mechanics, electricity, thermodynamics, chemistry, particle physics including transformations from energy to mass or vice versa, biology, astronomy and cosmology.

It is fascinating that in all these domains, the energy is conserved, it is an invariant. So the total energy of the world ranging from Earth until the light horizon does not change. So that total energy did not change during the time evolution ranging from the Big Bang 13.8 billion years ago until today.

Accordingly the natural question arises: What is the origin of all that energy including mass? Tryon (1973) proposed the hypothesis that the energy of the universe might originate from zero-point oscillations, ZPO. Here we analyze that possibility by using concepts and results of quantum gravity.

Frame

In order to analyze energy, we should first specify the used frame. For instance, if you ride on your bicycle along a road with a velocity of $v = 10$ m/s, then your kinetic energy is zero in the frame of your bicycle, as you sit on the saddle of your bicycle all the time. However, in the frame of the road, your kinetic energy is equal to $E_{kin} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$, whereby m is your mass.

1.1. Homogeneous universe frame, HUF

In this report we use a frame that is adequate in order to describe the energy in the universe. It is the homogeneous universe frame, HUF. A HUF is constituted by an empty ball embedded in an otherwise homogeneous universe (see figure 1).

In the HUF, the gravitational field is zero:

$$\vec{G}^* = 0 \quad \text{in the HUF} \quad \{1\}$$

Newton (1686) derived this fact for the case of Newton's law of gravity, and Birkhoff (1921) derived the same result for the case of general relativity theory, GRT.

Here we present a simple derivation that can easily be understood by students at class 11 or above. For it we separate the surroundings in figure (1) into concentric shells and we show that the fields formed by such a shell sum up to zero in the HUF. Note that the principle of linear superposition applies to these fields, as there is no screening of gravitational fields. We consider an observer at an arbitrary point in the HUF (see figure 2). The observer considers an arbitrary direction in space and analyzes two opposite areas with the same angle of view (see figure 2). The sizes of the areas are proportional to the squares of the distances r_1^2 and r_2^2 . Hence the masses of these areas are proportional to these squares:

$$m_1 \sim r_1^2 \quad \text{and} \quad m_2 \sim r_2^2 \quad \{2\}$$

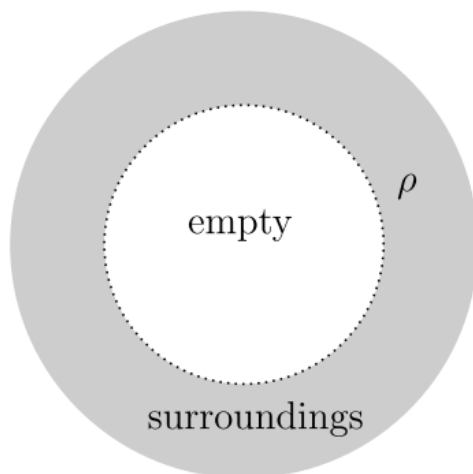
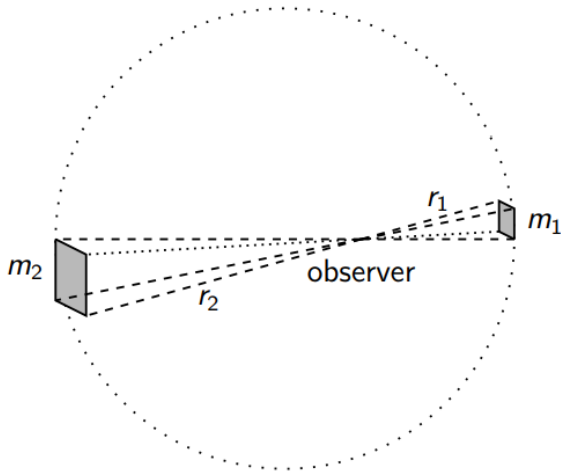


Fig.1: Homogeneous universe frame, HUF.

Consequently, the absolute values of the fields G_1^* and G_2^* are equal, whereby these fields are generated by these areas at the location of the observer:

$$G_1^* = \frac{G \cdot m_1}{r_1^2} = \frac{G \cdot m_2}{r_2^2} = G_2^* \quad \{3\}$$

Hereby G is the universal constant of gravity, $G = 6.674 \cdot 10^{-11} \frac{m^3}{kg \cdot s^2}$. As these fields are directed in opposite directions, they sum up to zero. Since the observer can analyze all areas in terms of such opposite pairs of areas, all fields generated in the whole homogeneous universe add up to zero. Note that the approximation of a homogeneous universe is quite good and statistical fluctuations of the density tend to zero, when the radius of the HUF tends to infinity (Carmesin 2021a, section 8.3). Altogether, the HUF provides an ideal laboratory for analyzing physical systems locally.



HUF: homogeneous universe frame surroundings at constant density ρ

Fig.2: Cancellation of fields in the HUF.

2. Essential constituents in the universe

In order to analyze the energy of the universe, we need to know the constituents of the universe. These constituents are classified according to their behavior during the expansion of space. That expansion of space is modeled by a uniform scaling with a scale factor k .

When the space expands by a scale factor k , the volume V expands by the third power of the scale factor:

$$V \sim k^3 \quad \{4\}$$

Matter and masses are constant during the expansion of space, so the corresponding density ρ_m is proportional to the inverse volume or to one over the third power of the scale factor:

$$\rho_m \sim k^{-3} \quad \{5\}$$

The energy E of radiation is proportional to one over the scale factor. This is a consequence of the redshift z . Hence the corresponding density ρ_r is proportional to one over the fourth power of the scale factor:

$$\rho_r \sim k^{-4} \quad \{6\}$$

The density ρ_Λ of the vacuum constant. That density is also called dark energy:

$$\rho_\Lambda \sim k^{-0} \quad \{7\}$$

The curvature of the isotropic space can be described by a single radius of curvature or by its inverse, the curvature parameter K . It is shown below that the corresponding density is proportional to one over the square of the scale factor:

$$\rho_K \sim k^{-2} \quad \{8\}$$

Altogether, the energy of the universe consists of four constituents that exhibit a specific behavior during the expansion of space. Next we analyze the time evolution of each of these constituents.

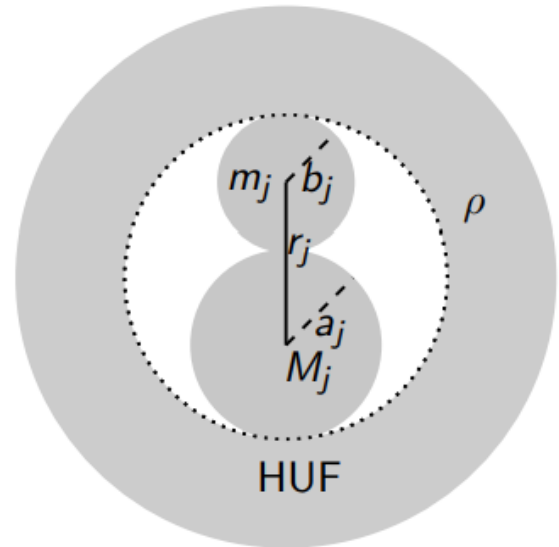


Fig.3: Two masses m and M in a HUF.

3. Energy of matter

At the time of the Big Bang, the universe was at the Planck scale. At that scale, the universe was too dense and too hot for matter to exist. So matter formed later. Thereby a part of the energy of radiation was transformed to the energy of matter. In such reactions, the law of energy conservation is obeyed. Altogether, the energy of matter originates from the energy of radiation.

Next we analyze the time evolution of the energy of matter after its formation. For it we consider a mass m . We analyze it in a HUF in the field of another mass M in the HUF (see figure 3). That mass M has a Schwarzschild radius:

$$R_S = \frac{2 \cdot G \cdot M}{c^2} \quad \{9\}$$

Other masses or densities need not be considered, as we analyze the energy in a HUF. We choose the origin of the coordinate system at M . The energy of

the mass m as a function of its radial coordinate r and of its radial velocity v is as follows (see Carmesin 2021a, section 1.8):

$$E(r, v) = m_0 \cdot c^2 \cdot \frac{\sqrt{1 - \frac{R_S}{r}}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = m_0 \cdot c^2 = E_0 \quad \{10\}$$

Hereby m_0 is the rest mass at the limit of the radial coordinate r to infinity. The above eq. {10} shows that the energy has the constant value $E_0 = m_0 \cdot c^2$. The numerator in the fraction in eq. {10} is the *position factor* $\varepsilon(r)$, and it shows how the energy decreases when the mass m approaches M (see figure 4):

$$\varepsilon(r) = \sqrt{1 - R_S/r} \quad \{11\}$$

One over the denominator in the fraction in eq. {10} is the *Lorentz factor* $\gamma(v)$, and it shows how the kinetic energy increases when the mass m approaches M (see figure 4):

$$\gamma(v) = \frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \quad \{12\}$$

Altogether, the energy of matter originates from the energy of radiation. The expansion of space does not vary the energy of a mass m . Of course, m may interact with other objects and exchange energy with these objects, whereby the *law of conservation of energy* holds for such interactions.

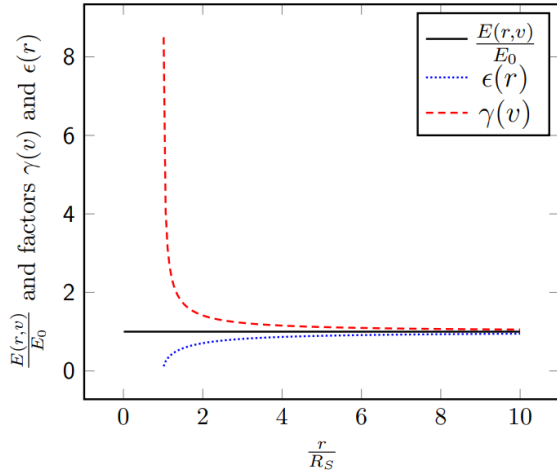


Fig.4: Energy and its factors for a mass m in a HUF.

4. Energy of radiation

At the Big Bang there formed space. In each space there form *zero-point oscillations*, *ZPOs*, of electromagnetic radiation, according to quantum theory (see for instance Ballentine 1998). We call ZPOs the *primordial radiation ZPOs*.

At the Big Bang, the universe was at the *Planck scale* (Carmesin 2021a). At that scale, the density was at its maximum value, one half of the *Planck density* ρ_P :

$$\rho_{max} = \frac{1}{2} \rho_P \quad \{13\}$$

Thereby each object exhibited the smallest possible size, the *Planck length* L_P :

$$L_P = 1.616 \cdot 10^{-35} \text{ m} \quad \{14\}$$

We analyze the following question: Was there an excited object at the Planck scale? An excitation of an object would increase the energy, while the size is still determined by the Planck length. Hence an excitation of an object would cause a density above the maximal possible density. That is impossible. Thus an object cannot exhibit an excitation at the Planck scale. Thence all objects have been at their lowest possible energy state at the Planck scale. It is the ZPO with the *zero-point energy*, *ZPE*.

At the Planck scale, the energy of an object is one half of the *Planck energy* E_P (see Carmesin 2021a):

$$ZPE = \frac{1}{2} \cdot E_P = \frac{1}{2} \cdot 1.956 \cdot 10^9 \text{ J} \quad \{15\}$$

Altogether, the complete energy of the primordial radiation is constituted by the ZPE, and the formation of that energy is explained by quantum physics.

4.1. Time evolution of a quantum of radiation

Next we analyze the time evolution of the energy of a quantum of radiation. The observable energy E_{obs} of such a quantum is the ratio of the *Planck constant* h times the *velocity of light* c and the *wavelength* of the quantum of radiation:

$$E_{obs}(r) = \frac{h \cdot c}{\lambda(r)} \quad \{16\}$$

The position factor in eq. {11} describes the curvature of spacetime. So it applies to each physical object in space. In particular it applies to a quantum of radiation. So the *invariant energy* E_{inv} of the photon is the product of the observed energy and the position factor:

$$E_{inv} = \frac{h \cdot c}{\lambda(r)} \cdot \varepsilon(r) \quad \{17\}$$

We apply the above eq. to the limit r to infinity:

$$E_{inv} = \frac{h \cdot c}{\lambda(r \rightarrow \infty)} \quad \{18\}$$

We equate the above two equations and solve for the wavelength:

$$\lambda(r) = \lambda(r \rightarrow \infty) \cdot \varepsilon(r) \quad \text{or} \quad \{19\}$$

$$\lambda(r) = \lambda(r \rightarrow \infty) \cdot \sqrt{1 - \frac{R_S}{r}} \quad \{20\}$$

This shows that the wavelength increases when the quantum raises from the mass M . This effect is the *gravitational redshift*. (Fig. 5). It has been observed experimentally by Pound and Rebka (1960).

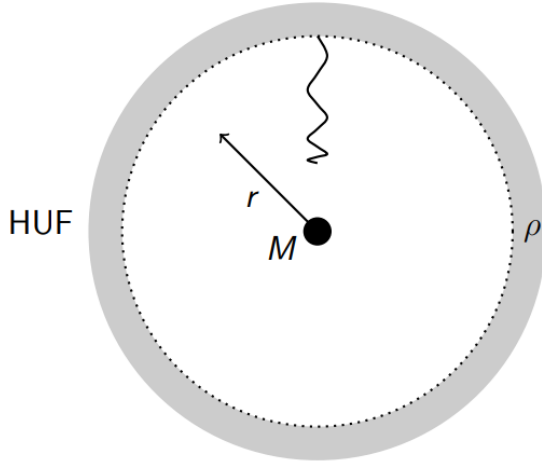


Fig.5: Gravitational redshift near a mass M .

The energy of a quantum of radiation can be expressed as a function of the radial coordinate r and of the wavelength (figure 6):

$$E(r, \lambda) = \frac{h \cdot c}{\lambda} \cdot \varepsilon(r) = E_{obs}(\lambda) \cdot \varepsilon(r) \quad \{21\}$$

Altogether, the expansion of space does not vary the energy of a quantum of radiation. Of course, the energy of a quantum of radiation may interact with other objects and exchange energy with these objects, whereby the *law of conservation of energy* holds for such interactions. Examples are *Compton scattering*, *pair production*, *annihilation* and the *photo effect*.

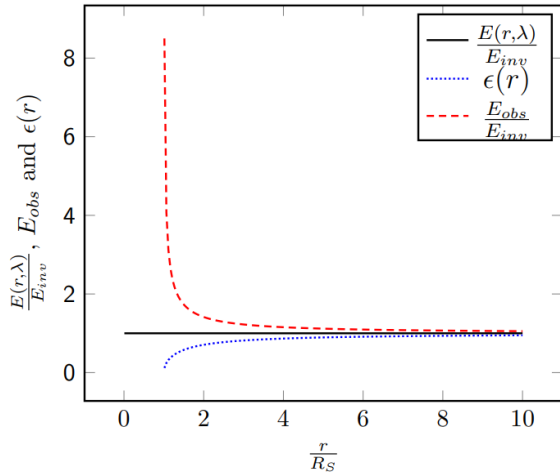


Fig.6: Energy and its factors for radiation in a HUF.

4.2. Origin of quanta of radiation

The energy of radiation originates from the primordial radiation ZPOs. We show this as follows:

We show that the present day density of the radiation is equal to the redshifted density of the primordial radiation ZPOs.

The observed density of radiation of the present day t_0 is as follows (see Carmesin 2019a, table 2.1 or Planck 2020):

$$\rho_{r,t_0,observed} = 8.02 \cdot 10^{-31} \frac{kg}{m^3} \quad \{22\}$$

The scale factor ranging from the time t_0 until the Planck scale is as follows (Carmesin 2021a, eq. 8.79):

$$k_{Planck\ scale \rightarrow t_0} = 2.96 \cdot 10^{31} \quad \{23\}$$

At the Planck scale, the density of radiation is constituted by the ZPOs according to eq. {13}. The usual Planck density is the *Planck mass* $M_P = E_P/L_P^3$. We use the Planck density for balls as follows:

$$\rho_{P,ball} = \frac{M_P}{4\pi/3 \cdot L_P^3} = 1.2307 \cdot 10^{96} \frac{kg}{m^3} \quad \{24\}$$

So the density of radiation at the Planck scale is as follows:

$$\rho_{r,Planck} = \frac{1}{2} \cdot \rho_{P,ball} = 0.61535 \cdot 10^{96} \frac{kg}{m^3} \quad \{25\}$$

We apply eq. {6} and derive the present day density of radiation:

$$\rho_{r,t_0} = \frac{1}{2} \cdot \rho_{P,ball} \cdot k_{Planck\ scale \rightarrow t_0}^{-4} \quad \{26\}$$

We insert the corresponding values:

$$\rho_{r,t_0} = 0.61535 \cdot 10^{96} \frac{kg}{m^3} \cdot (2.96 \cdot 10^{31})^4 \quad \{27\}$$

So we get:

$$\rho_{r,t_0,derived,observable} = 8.02 \cdot 10^{-31} \frac{kg}{m^3} \quad \{28\}$$

The *observed density* and the *derived observable density* are equal as a result of the complete time evolution of the space described in Carmesin (2017), Carmesin (2018), Carmesin (2019a,b), Carmesin (2019a,b) or Carmesin (2021a).

4.3. Formation of mass from radiation.

In this section we show that the radiation formed the observed density of matter and required only a negligible fraction q of its density for that.

The present day observed density of matter is as follows (Carmesin 2019a, table 2.1 or Planck 2020):

$$\rho_{m,t_0} = 2.73 \cdot 10^{-27} \frac{kg}{m^3} \quad \{29\}$$

In cosmology, the density of radiation includes the density of the neutrinos (Hinshaw 2013, section 4.3). So the lightest mass that formed was the mass of the electron. It formed at the following redshift (Unsöld 1999):

$$z_{electron} = 1.8 \cdot 10^9 \quad \{30\}$$

The other matter formed even earlier, and so it required an even smaller fraction q of the radiation. Hence we obtain an upper bound q_{upper} for the required fraction of the radiation, if we model the formation of matter at $z_{electron}$. The corresponding scale factor is as follows:

1999):

$$k = \frac{\lambda_{t0}}{\lambda_{emission}} = 1 + \frac{\lambda_{t0} - \lambda_{emission}}{\lambda_{emission}} = 1 + z \quad \{31\}$$

So the electrons have been formed at the following scale factor:

$$k_{el.} = 1 + z_{electron} \approx 1.8 \cdot 10^9 \quad \{32\}$$

We apply eq. {5} in order to derive the corresponding density of matter:

$$\rho_m = \rho_{m,t0} \cdot k_{el.}^3 = 15.92 \frac{kg}{m^3} \quad \{33\}$$

Similarly we apply eq. {6} in order to derive the corresponding density of radiation:

$$\rho_r = \rho_{r,t0} \cdot k_{el.}^4 = 8.419 \cdot 10^6 \frac{kg}{m^3} \quad \{34\}$$

Thus the upper bound for the ratio q is as follows:

$$q_{upper} = \frac{\rho_{m,el.}}{\rho_{r,el.}} = 1.891 \cdot 10^{-6} \quad \{35\}$$

As this ratio is negligible, the fraction of radiation that transformed to matter is negligible.

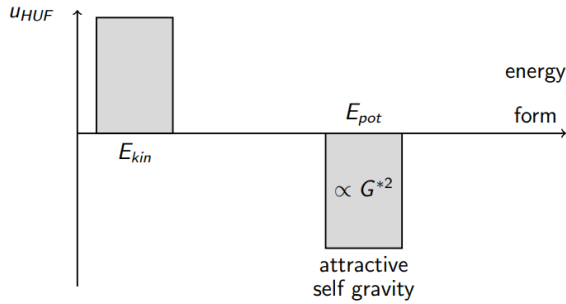


Fig.7: Energy density of the vacuum.

5. From microscopic to macroscopic dynamics

So far we analyzed pairs j of two masses or dynamical masses m_j and M_j (see figure 3) and derived the energy of the mass m_j in the field of the mass M_j (see eq. {10}). In this section we take the average over all such pairs within the light horizon. Thereby we exclude the rest mass in the usual relativistic manner. For it we express the energy in eq. {10} in terms of the factors $E_0 = m_0 c^2$ and $\varepsilon(r)$ as well as $\gamma(v)$:

$$E(r, v) = E_0 \cdot \varepsilon(r) \cdot \gamma(v) \quad \{36\}$$

We take the square and subtract $m_0^2 c^4$:

$$E(r, v)^2 - E_0^2 = E_0^2 (\varepsilon(r)^2 \cdot \gamma(v)^2 - 1) \quad \{37\}$$

We divide by $2E_0 \gamma^2$ and we call the resulting term structured energy term \bar{E} :

$$\frac{E(r, v)^2 - E_0^2}{2E_0 \gamma^2} = \bar{E} = \frac{m_0 v^2}{2} - \frac{G \cdot M \cdot m_0}{r} \quad \{38\}$$

We realize that we obtain the kinetic energy and the potential energy of the mass m_0 exactly. Moreover, we transform this eq. to the Friedmann Lemaitre equation, FLE (Friedmann 1922 and Lemaitre 1927), describing the expansion of space: For it we

multiply by $\frac{c^2}{E_0 r^2}$, and we use the density $\rho = \frac{M}{4\pi/3 \cdot r^3}$.

So we get the FLE:

$$K \cdot \frac{c^2}{r^2} = \frac{\dot{r}^2}{r^2} - \frac{8\pi \cdot G \cdot \rho}{3} \quad \{39\}$$

Hereby K is the *curvature parameter*, and it is equal to $\frac{-2\bar{E}}{E_0}$, which is zero, as expected. Our derivation shows how the differential equation for the expansion of space, the FLE, can be derived from the microscopic dynamics of a pair of masses. We interpret the FLE as the average over many pairs m_j with M_j . The detailed average is elaborated in (Carmesin 2021a,b) and in (Carmesin 2020a).

Accordingly, the results that we obtained for the case of masses or dynamical masses also apply to the universe as a whole.

6. Energy of the vacuum

In the HUF, the energy density of the vacuum consists of a positive kinetic energy that is exactly compensated by a negative potential energy of self gravity (see Carmesin 2021a, section 5.6 and figure 7). So the energy density of the vacuum is exactly zero in the HUF.

The observed energy density of the vacuum does not include the potential energy, similar as in the case of the photon, where the observed energy E_{obs} does not include the potential energy. So it is natural that the observable energy density of the vacuum amounts to 68.47 % of the total energy density of the present day universe (see e. g. Planck 2020, Carmesin 2019a, Carmesin 2021a).

7. Energy of the curvature

Observations show that the energy of the curvature is nearly zero (Planck 2020). Additional, that energy of curvature is zero according to the theory (see Carmesin 2021a, theorem 32 part (6) or section 6).

8. Origin of the energy

The energy in the universe has four essential constituents, see section 3. Their origins are as follows: (1) The dark energy has no energy in the HUF, its observable energy is a local energy only. Of course, the observable energy is large and amounts to 68.47 % of the total energy.

(2) The energy of the curvature is negligible.

(3) The energy of radiation completely originates in ZPE. So their origin is explained by the properties of the quanta in nature.

(4) A very small amount of the energy of radiation transformed to matter in the early universe. Later that matter did not decrease during the expansion of space, whereas the energy of radiation decreased as a consequence of the redshift. So the origin of the

energy of matter is the energy of radiation, and so also matter ultimately originates from ZPOs.

So the origin of the energy in the universe is explained. We emphasize, that our applied theory is based on gravity, relativity, statistical physics and quantum physics only with the corresponding four universal constants G , c , k_B and h . The only numerical input needed in addition to these four universal constants is the age of the universe. As that age cannot be derived from the above four universal constants.

9. Experience with teaching

I presented all components of the above theory in the research club at our school, whereby only the older pupils from class 9 and above participated. Many of these pupils developed projects and participated at the Jugend forscht competition. Thereby they achieved many awards. Moreover the pupils presented the theory in several public astronomy evenings at our school.

I did not yet present the parts of the above theory as a whole, as the Corona crisis reduced the possibilities of teaching during the last 16 months.

Additionally I presented the theory at lectures at the University Bremen. As that topic is not required for graduating, the participating students were intrinsically motivated only. Of course, also the pupils of the research club were intrinsically motivated only.

Altogether, the topic is motivating intrinsically and pupils as well as students can become very successful in the topic.

10. Summary

The early universe, cosmology and quantum gravity are very exciting topics. In particular, the origin of the energy is an especially interesting mystery of nature. On the basis of quantum gravity, we derived a clear answer: the energy of the universe is either zero in the HUF, or it originates from ZPOs as a natural consequence of the property of quanta.

11. Literature

- Birkhoff, G. D. (1921): Über die allgemeinen kugelsymmetrischen Lösungen der Einsteinschen Gravitationsgleichungen im Vakuum. *Arkiv f. Matematik, Astronomi och Fysik*, 15: 1-9.
- Carmesin, Hans-Otto (2017): Vom Big Bang bis heute mit Gravitation – Model for the Dynamics of Space. Berlin: Verlag Dr. Köster.
- Carmesin, Hans-Otto (2018): A Model for the Dynamics of Space - Expedition to the Early Universe. *PhyDid B Internet Journal*, pp. = 1-9.
- Carmesin, Hans-Otto (2019a): Die Grundschnitungen des Universums - The Cosmic Unification. Berlin: Verlag Dr. Köster.

- Carmesin, Hans-Otto (2019b): A Novel Equivalence Principle for Quantum Gravity. *PhyDid B*, pp. 17-25.
- Carmesin, Hans-Otto (2020a): The Universe Developing from Zero-Point-Energy - Discovered by Making Photos, Experiments and Calculations. Berlin: Verlag Dr. Köster.
- Carmesin, Hans-Otto (2020b): Explanation of the Rapid Enlargement of Distances in the Early Universe. *PhyDid B*, p. 1-9.
- Carmesin, Hans-Otto (2021a): Quanta of Spacetime Explain Observations, Dark Energy, Graviton and Nonlocality. Berlin: Verlag Dr. Köster.
- Carmesin, Hans-Otto (2021b): Cosmological and Elementary Particles Explained by Quantum Gravity. Berlin: Verlag Dr. Köster.
- Friedmann, Alexander (1922): Über die Krümmung des Raumes. *Z. f. Physik*, 10, 377-386.
- Lemaitre, Georges (1927): Un Univers homogene de masse constante et de rayon croissant rendant compte de la vitesse radiale des nebuleuses extra-galactiques. *Annales de la Societe Scientifique de Bruxelles*. A47, 49-59.
- Planck Collaboration (2020): Planck 2018 results. VI. Cosmological parameters. *Astronomy and Astrophysics*, p. 1-73.
- Pound, R. V. and Rebka, G. A. (1960): Apparent weight of photons. *PRL*, 4, p. 337-341.
- Tryon, Edward P. (1973): Is the universe a vacuum fluctuation? *Nature*, 246:396-397.

Das Stellarium Gornegrat

Sascha Hohmann*, Stéphane Gschwind⁺, Andreas Müller⁺, Jeffrey Nordine*, Timm Riesen^X

*IPN – Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften und Mathematik, ⁺Université de Genève, ^XUniversität Bern
hohmann@leibniz-ipn.de

Kurzfassung

Der Gornegrat in der Nähe des Matterhorns in der Schweiz ist einer der besten Standorte für astronomische Forschung in Mitteleuropa. Bis 2010 wurde hier internationale Forschung betrieben, seitdem wird das Observatorium als pädagogisches robotisches Teleskop mit hervorragenden Instrumenten genutzt.

Lehrende können für unterschiedliche Altersstufen über ein Webportal verschiedene pädagogische Aktivitäten buchen. Zu jeder Aktivität stehen Erläuterungen, Arbeitsblätter sowie Beobachtungsaufträge zur Verfügung, die von den Lernenden selbstständig online gebucht und daraufhin vom Teleskop eigenständig aufgenommen werden können. Diese sind wenig später auf dem Portal abrufbar und können ausgewertet werden.

In diesem Beitrag werden das Grundkonzept des Stellarium Gornegrat sowie einige Beispielaktivitäten vorgestellt.

1. Einleitung

Durch die flächendeckende Verfügbarkeit von schnellem Internet – selbst an entlegenen Orten – bieten sich in der Astronomiedidaktik Möglichkeiten, die vor wenigen Jahrzehnten noch undenkbar waren. Eine dieser Möglichkeiten ist der Einsatz von Remote-Teleskopen, also ferngesteuerten oder sogar autonom arbeitenden Teleskopen, mit deren Hilfe sich aus dem Klassenzimmer eigene astronomische Bilder aufnehmen lassen.

Remote Teleskope sind im wissenschaftlichen Bereich schon seit langer Zeit üblich, da sie nicht auf die Anwesenheit des Forschenden am Standort des Teleskopes erfordern – je nach Teleskop ist entweder ein Techniker vor Ort oder das Teleskop arbeitet vollständig autonom. Dies ermöglicht es, Teleskope an unzugänglichen Orten aufzustellen, da diese oftmals die besten Beobachtungsbedingungen (wenig Lichtverschmutzung, geringe Luftfeuchtigkeit, große Höhe) bieten. Viele der besten Teleskope der Welt befinden sich daher in der Atacama-Wüste in Chile [1], die Remote-Steuerung ermöglicht aber auch den Schritt aus der Atmosphäre in den Weltraum, wie das Hubble Space Telescope und andere Weltraumteleskope schon seit vielen Jahren eindrucksvoll beweisen (siehe [2] für eine detaillierte Beschreibung).

Mit den neuen, über die ganze Welt verstreuten Teleskopen wurden in den Sternwarten Europas und Nordamerikas Kapazitäten frei, die teilweise zu Bildungszwecken freigegeben wurden. Ein frühes (aber noch bestehendes) Beispiel ist das berühmte Mt. Wilson Observatorium in Kalifornien, das im Jahr 1993 im Zuge des TIE-Projektes (Telescopes in Education) 36 Beobachtungsnächte zu Bildungszwecken bereitstellte [3].

Mittlerweile gibt es mehrere Remote-Teleskope, die sich an Schulen und die Öffentlichkeit (Citizen Science) richten – und das aus gutem Grund. Das hohe Interesse und damit einhergehend die motivierende Wirkung von astronomischen und astrophysikalischen Themen ist eindeutig belegt [4], es lohnt sich also, derartige Themen im Unterricht einzubauen. Gleichzeitig ermöglichen Remote-Teleskope die Aufnahme von eigenen, wissenschaftlichen Daten und gleichzeitig das Arbeiten an echten wissenschaftlichen Problemen, was ebenfalls positive Effekte auf Motivation und Lerneffekte hat [5, 6]. Gerade die Anreise zu den entlegenen Orten, an denen die besten Beobachtungsbedingungen herrschen, ist mit einer ganzen Schulklasse aber aufwändig und teuer und damit in den meisten Fällen unmöglich, daher bieten sich Online-Lösungen dafür an.

Gleichzeitig bieten diese Online-Lösungen einen Einblick in die Arbeit von Astronomen und Astrophysikern: Die wenigsten Wissenschaftler sind vor Ort, wenn ein Teleskop Bilder aufnimmt, sondern sie buchen Beobachtungszeit an einem Instrument, das sich eventuell am anderen Ende der Welt befindet – dies unterscheidet sich stark von der Vorstellung vom Astronomen, der nachts durch sein Teleskop die Sterne beobachtet.

Klar ist aber auch, dass ein Remote-Teleskop nicht den eigenen Blick durch ein Teleskop ersetzen kann und soll. Damit die Schülerinnen und Schüler den Prozess von der Bestellung eines Bildes über die Aufnahme bis hin zur Bereitstellung nachvollziehen können sollte dies zuvor im Unterricht besprochen und eine eigene visuelle Beobachtung mit einem Teleskop vor Ort durchgeführt werden [7].



Abb. 1: Das Stellarium Gornergrat (linke Kuppel) mit dem Kulmhotel Gornergrat und mit Blick auf das Matterhorn. Foto: T. Riesen, <https://stellarium-gornergrat.ch/>.

Um einen sinnstiftenden Einsatz der Remote-Teleskope zu gewährleisten genügt es aber nicht, nur Bilder mit einem Teleskop aufzunehmen. Wesentlicher Bestandteil des Lernprozesses ist natürlich auch die Arbeit mit den aufgenommenen Daten. Da die Entwicklung entsprechender Aktivitäten zeitaufwändig ist und auch ein vertieftes astronomisches Hintergrundwissen erfordert, kann dies nicht von allen Lehrkräften geleistet werden. Entsprechende Angebote sind dementsprechend zentral für Remote-Teleskope im Bildungs- und Öffentlichkeitsarbeitsbereich, wie es etwa beim englischsprachigen Faulkes Telescope Project (<http://www.faulkstellescope.com/>) der Fall ist. Im deutsch- und französischsprachigen Raum ist das Angebot von speziell zugeschnittenen Materialien nach unserem Kenntnisstand deutlich geringer.

2. Das Stellarium Gornergrat – Geschichte und Konzept

Seit den 1960er Jahren befindet sich auf dem Gornergrat in der Südschweiz, ganz in der Nähe des Matterhorns und oberhalb von Zermatt, eine Sternwarte. Hier wurde bis in die 2010er Jahre astronomische Spitzenforschung betrieben [8]. Durch die hohe, abgeschiedene Lage bieten sich hervorragende Beobachtungsbedingungen – nur wenige Orte in Mitteleuropa weisen eine derart geringe Lichtverschmutzung in Kombination mit trockener Atmosphäre auf. Trotzdem sind die Bedingungen in Chile nochmals besser, so dass die astronomische Forschung am Gornergrat eingestellt wurde. Die Universitäten Bern und Genf wollten den Standort aber nicht einfach aufgeben, so dass das Konzept des Stellarium Gornergrat entwickelt wurde – des ersten Remote Teleskops der Schweiz, das nur zu Bildungs- und Öffentlichkeitsarbeitszwecken genutzt wird. 2017 wurde die Sternwarte in der linken Kuppel in Abbildung 1 in Betrieb genommen (siehe auch [9, 10]), mittlerweile sind hauptsächlich vier Standorte daran beteiligt (siehe Tab. 1).

Das Stellarium Gornergrat richtet sich dabei insbesondere an Schulen. Mithilfe des pädagogischen Portals auf der Website (<https://stellarium-gornergrat.ch/>) können Beobachtungen gebucht

werden. Diese werden dann vom Teleskop automatisch durchgeführt und anschließend zum Download bereitgestellt. Zusätzlich zu reinen Beobachtungen stehen aber auch vollständig ausgearbeitete Aktivitäten für verschiedene Altersstufen – von der Grundschule (ab etwa 8 Jahren) bis zum Ende der Schulzeit – zur Verfügung. Diese beinhalten alle nötigen Informationen für Lehrende und Lernende, Arbeitsblätter, Aufgaben und natürlich die zugehörigen Beobachtungsaufträge auf Deutsch und Französisch, so dass das zuvor angesprochene geringe Angebot erweitert wird. Für besonders interessierte Schülerinnen und Schüler gibt es auch die Möglichkeit, Matura- bzw. Facharbeiten anzufertigen, wobei das Stellarium die technische Unterstützung übernimmt, während die grundlegende Betreuung durch eine Lehrkraft erfolgt.

Für den Fall, dass Beobachtungen aufgrund des Wetters oder technischer Probleme fehlschlagen sollten, stehen für alle Aktivitäten archivierte Bilder zur Verfügung. Das gesamte Angebot ist selbstverständlich kostenlos, lediglich eine Registrierung im Online-Portal ist notwendig.

| Standort | Hauptaufgabe |
|---|---|
| Universität Bern (Schweiz) | Management und Technik |
| Universität Genf (Schweiz) | Entwicklung pädagogischer Aktivitäten/Sequenzen |
| Hochschule für Technik und Architektur Freiburg (Schweiz) | Software |
| Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften und Mathematik (IPN) in Kiel (Deutschland) | Entwicklung pädagogischer Aktivitäten/Sequenzen |

Tab. 1: Hauptstandorte- und Aufgaben.

Mehr als 2800 Buchungen im Jahr 2019 und mehr als 2000 im Jahr 2020 (trotz Schulschließungen wegen der Corona-Pandemie) zeigen, dass das Projekt bereits gut angenommen wird. Insgesamt ist etwa die Hälfte der Buchungen erfolgreich, ein Viertel der Nächte bietet perfekte Beobachtungsbedin-

gungen (d.h. die gesamte Nacht ist praktisch wolkenfrei).

3. Das Internetportal

Ein zentraler Bestandteil des Stellarium Gornegrat ist das Internetportal, über das sämtliche Buchungen bequem erledigt werden können. Das Portal ist über die Website erreichbar, im Anhang befinden sich einige Screenshots des Portals und des Buchungsvorgangs. Hier findet man eine Liste aller buchbaren Beobachtungen, unterteilt in drei Kategorien:

3.1. Pädagogische Aktivitäten

Pädagogische Aktivitäten sind das Kernstück des Stellarium Gornegrat. Hier findet man komplett ausgearbeitete Aktivitäten, die meistens zwischen zwei und vier Schulstunden füllen. Die Aktivitäten bestehen aus Lehrer- und Schülerdokumenten, die teilweise noch um Zusatzdokumente ergänzt werden.

In den Lehrerdokumenten sind sowohl allgemeine Informationen zu Lernzielen, Lernmethoden, veranschlagter Zeit und Schwierigkeitsstufe bzw. Voraussetzungen als auch Arbeitsblätter mit Lösungen enthalten. Die Schülerdokumente enthalten die entsprechenden Arbeitsblätter ohne Lösung sowie Informationen zu den Beobachtungsaufträgen.

Die Aktivitäten werden dabei in vier Schwierigkeitsstufen unterteilt, wobei bei jeder Aktivität die detaillierteren Voraussetzungen nochmals aufgelistet werden:

- A. Allgemeine Öffentlichkeit und Kinder von 8 bis 15 Jahren (Primar- und Sekundarstufe I). Es sind weder physikalische/astronomische noch mathematische Grundkenntnisse erforderlich.
- B. Kinder und Jugendliche von 13 bis 16 Jahren (Sekundarstufe I). Elementare Grundlagen der Mathematik, Physik und Astronomie sind erforderlich.
- C. Jugendliche von 16 bis 19 Jahren (Ende Sekundarstufe I bis Sekundarstufe II). Es werden komplexere Themen behandelt, die insbesondere einen höheren Mathematisierungsgrad aufweisen. Auch physikalische und astronomische Grundlagen und Grundvorstellungen werden vorausgesetzt.
- D. Besonders motivierte Jugendliche, spezielle Astronomiekurse und Maturaarbeiten (Sekundarstufe II). Es werden komplexere, offener Probleme behandelt, die einen umfangreichen mathematischen Apparat und fortgeschrittene Kenntnisse in Physik und Astronomie voraussetzen.

Es steht eine stetig wachsende Anzahl an Aktivitäten zur Verfügung (siehe Tab. 2).

3.2. Freie Beobachtungen

Freie Beobachtungen ermöglichen die Buchung von Bildern ohne weitere, zugehörige Dokumente (wie

Arbeitsblätter und zusätzlichen Informationen). Die freien Beobachtungen sind also insbesondere bei schulischen Ideen und Projekten geeignet, bei denen eigene Bilder benötigt werden.

Wir sind immer an Projektideen, die auf freien Beobachtungen basieren, interessiert!

| Aktivität | Stufe | Status |
|---------------------------------|-------|-----------|
| Berge auf dem Mond | B/C | Fertig |
| Das Einmaleins des Nachthimmels | B | Fertig |
| Der Krebsnebel | C | Fertig |
| Die Phasen des Mondes | A | Fertig |
| Die Wanderung der Sterne | A | Fertig |
| Jupiters Großer Roter Fleck | B/C | Fertig |
| Cepheiden | D | In Arbeit |
| Exoplaneten | D | In Arbeit |
| Parallaxe | C | In Arbeit |

Tab. 2: Fertige und geplante Aktivitäten.

3.3. Maturaarbeiten

Am Stellarium können auch Matura- bzw. Facharbeiten angefertigt werden, die aber durch eine Lehrkraft an der eigenen Schule betreut werden. Die unter Maturaarbeiten gespeicherten Beobachtungen entstammen weitestgehend aus abgeschlossenen oder noch laufenden Arbeiten und bieten eine Orientierung, was am Stellarium möglich ist. Auf der Homepage findet sich unter dem Reiter „Matura“ auch eine Auflistung bereits abgeschlossener Arbeiten. Mögliche Themen sind etwa die Detektion von Exoplaneten, Distanzmessungen mit unterschiedlichen Methoden oder Astrofotografie mit einem Fokus auf Bildbearbeitung.

4. Die Instrumente

Nicht jedes Teleskop eignet sich zur Beobachtung von jedem Objekt, daher ist das Stellarium Gornegrat mit einer Auswahl an Instrumenten (3 Teleskope, eine Spiegelreflexkamera für ausgedehnte Strukturen und eine AllSky Kamera) ausgestattet. Diese ermöglichen die Beobachtung unterschiedlichster Objekte. Vier der fünf Instrumente können über das Internetportal angesteuert werden, eines ist für visuelle Beobachtungen vor Ort ausgerüstet. Die Teleskope und die Spiegelreflexkamera sind an einer Hauptmontierung befestigt und können automatisch mit verschiedenen Geschwindigkeiten nachgeführt werden, um längere Belichtungszeiten zu ermöglichen.

4.1. Das DeepSky Teleskop

Das größte Instrumente ist ein 60cm Riccardi Fast Astrograph (RiFast) von Officina Stellare mit einer Brennweite von 2280 Millimetern (siehe Abb. 2). Mit ihm kann man insbesondere lichtschwache Objekte wie Galaxien und Nebel abbilden (siehe z.B. Abb. 7), es ist aber auch zur Beobachtung ausgedehnter Objekte (etwa des Vollmondes) geeignet. Dank CCD Kamera und Filterrad (RGB und klar) sind auch Farbaufnahmen möglich, zudem stehen diverse spezielle Filter (wie ein H-Alpha-Filter sowie Filter mit engen Durchlassbereichen) zur Verfügung.



Abb. 2: Das RiFast-Teleskop. Credit: Stellarium Gornergrat. Foto: T. Riesen, <https://stellarium-gornergrat.ch/instrumente/>.

4.2. Der Planetenjäger

Die Beobachtung von Planeten erfordert ein deutlich kleineres Sichtfeld – der Takashi Mewlon 250 Reflektor (Abb. 3) ist mit einem Sichtfeld von 1,5 mal 2 Bogenminuten, einer Öffnung von 250 Millimetern und einer Brennweite von 3000 Millimetern perfekt dafür geeignet (siehe Abb. 3, unten links). Mit dem Teleskop können aber auch einzelne Krater auf dem Mond abgeleuchtet werden. Die angeschlossene Kamera kann nicht nur Farbbilder, sondern auch Videos aufnehmen.



Abb. 3: Der Planetenjäger mit einer Aufnahme von Jupiter. Credit: Stellarium Gornergrat., Foto: T. Riesen, <https://stellarium-gornergrat.ch/instrumente/>.

4.3. Visuelles Teleskop

Um auch bei Führungen eine Beobachtung zu ermöglichen steht ein visuelles Teleskop ohne angeschlossene Kamera zur Verfügung – ein Takashi

TAO 150 mit einer Öffnung von 150 Millimetern und einer Brennweite von 1100 Millimetern (Abb. 4). In Kombination mit einer großen Auswahl an Okularen handelt es sich um einen guten Allrounder, auch wenn die visuelle Beobachtung nicht die Hauptaufgabe des Stellarium Gornergrat ist.

4.4. ConstellationCam

Für große, ausgedehnte Strukturen wie Sternbilder und Konstellationen steht die ConstellationCam zur Verfügung (Abb. 3). Es handelt sich um eine Canon 60Da Spiegelreflexkamera mit einem Canon 24-105 Millimeter Objektiv, geschützt von einem Gehäuse der Universität Bern.

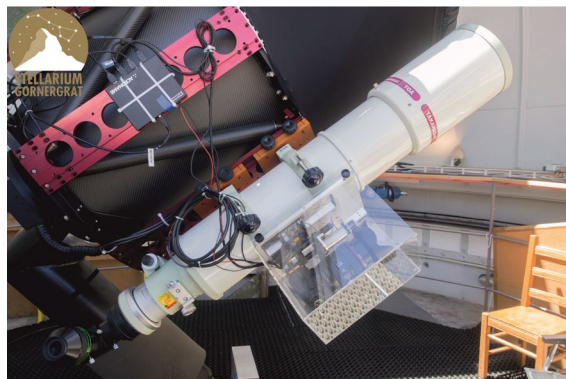


Abb. 4: Das visuelle Teleskop und die ConstellationCam. Credit: Stellarium Gornergrat. Foto: T. Riesen, <https://stellarium-gornergrat.ch/instrumente/>.

4.5. Die AllSky-Kamera

Außerhalb der Kuppel befindet sich das letzte Instrument: Die AllSky-Kamera (Abb. 5). Hierbei handelt es sich um eine OMEA 8M Monochrome von Alcore, die mithilfe einer Fisheye-Linse den gesamten Himmel abbilden kann (siehe Abb. 6). Anders als die übrigen Instrumente ist die AllSky-Kamera auch tagsüber aktiv, man kann also den Lauf der Sonne, aber auch der Sterne beobachten – oder einfach das Wetter überprüfen.



Abb. 5: Die AllSky-Kamera. Credit: Stellarium Gornergrat. Foto: T. Riesen, <https://stellarium-gornergrat.ch/instrumente/>.

5. Beispielaktivitäten

Im Folgenden werden ein paar Beispielaktivitäten kurz vorgestellt. Detaillierte Informationen und

weitere Aktivitäten findet man entweder in den Dokumenten zur jeweiligen Aktivität auf der Homepage oder bei Ekström et al. [9] bzw. Gschwind et al. [10].

5.1. Die Wanderung der Sterne (Stufe A)

Die Wanderung der Sterne ist eine Aktivität, die sich auch als Einstieg in die Astronomie anbietet. Mithilfe der AllSky-Kamera wird der Nachthimmel in regelmäßigen Abständen fotografiert, so dass die Bewegung der Sterne infolge der Erdrotation sichtbar wird. Hierbei werden einige Grundlagen der Astronomie gelegt: Die Schülerinnen und Schüler lernen, wie Tag und Nacht entstehen, wieso sich Sterne zu bewegen scheinen und auch, was zirkumpolare Sterne sind.

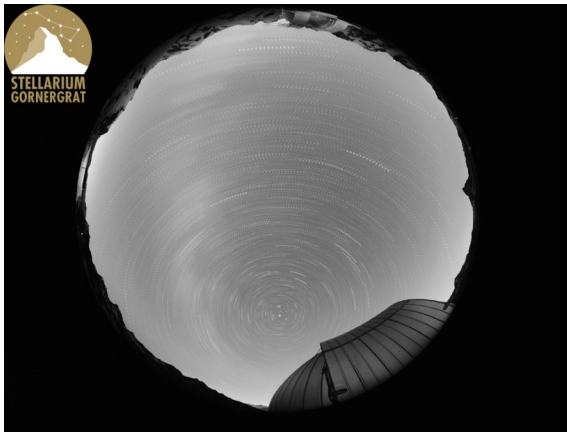


Abb. 6: Aus mehreren Einzelaufnahmen überlagertes Bild zur Wanderung der Sterne, aufgenommen mit der AllSky-Kamera. Foto: S. Hohmann.

5.2. Galaxien-Zoo (Stufe B)

Für Lernende, die bereits ein paar Grundlagen der Astronomie kennen, bietet sich beispielsweise die Aktivität „Galaxien-Zoo“ an. Hier werden verschiedene Galaxientypen behandelt und reale Galaxien werden diesen zugeordnet sowie nach der Hubble-Sequenz klassifiziert. Diese Aktivität zeigt auch die Leistungsfähigkeit des DeepSky-Teleskopes (Abb. 7).



Abb. 7: M81 und M82. Foto: M. Longhitano.

5.3. Berge auf dem Mond (Stufe C)

Mit älteren Schülerinnen und Schülern können auch mathematisch anspruchsvollere Themen behandelt werden. So kann beispielsweise mithilfe geometrischer und trigonometrischer Methoden anhand ihrer Schattenwürfe die Höhe von Bergen auf dem Mond bestimmt werden (Abb. 8) – ähnlich der Methode, wie Galileo es gemacht hat. Dies ist (auch) aus historischen Gründen interessant, schließlich war die Erkenntnis, dass der Mond keine perfekte Kugel ist, ein wichtiger Meilenstein auf dem Weg zu einem modernen Weltbild.

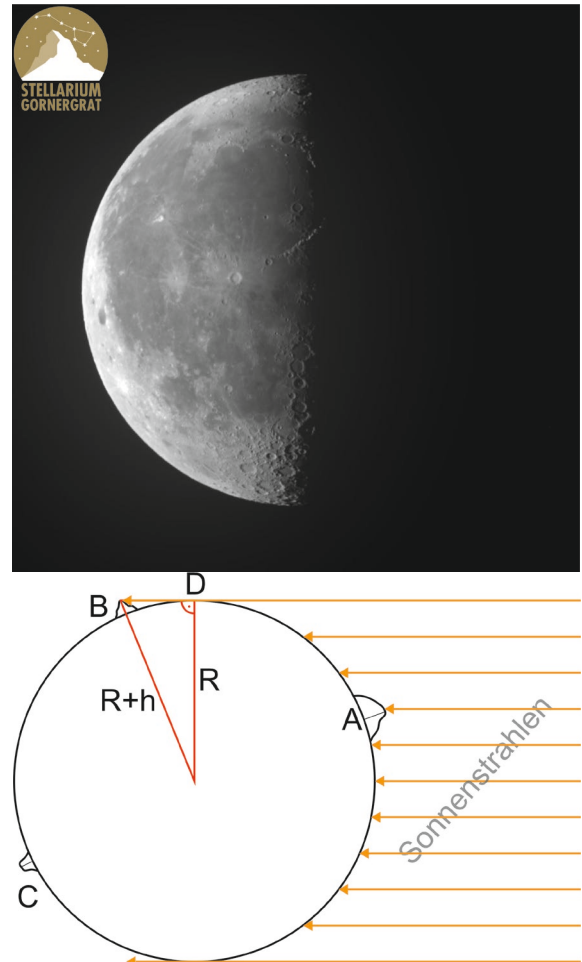


Abb. 8: Bild des Halbmondes und geometrische Methode zur Bestimmung der Höhe der Berge auf dem Mond. Foto: J. Weder, untere Abb.: S. Hohmann.

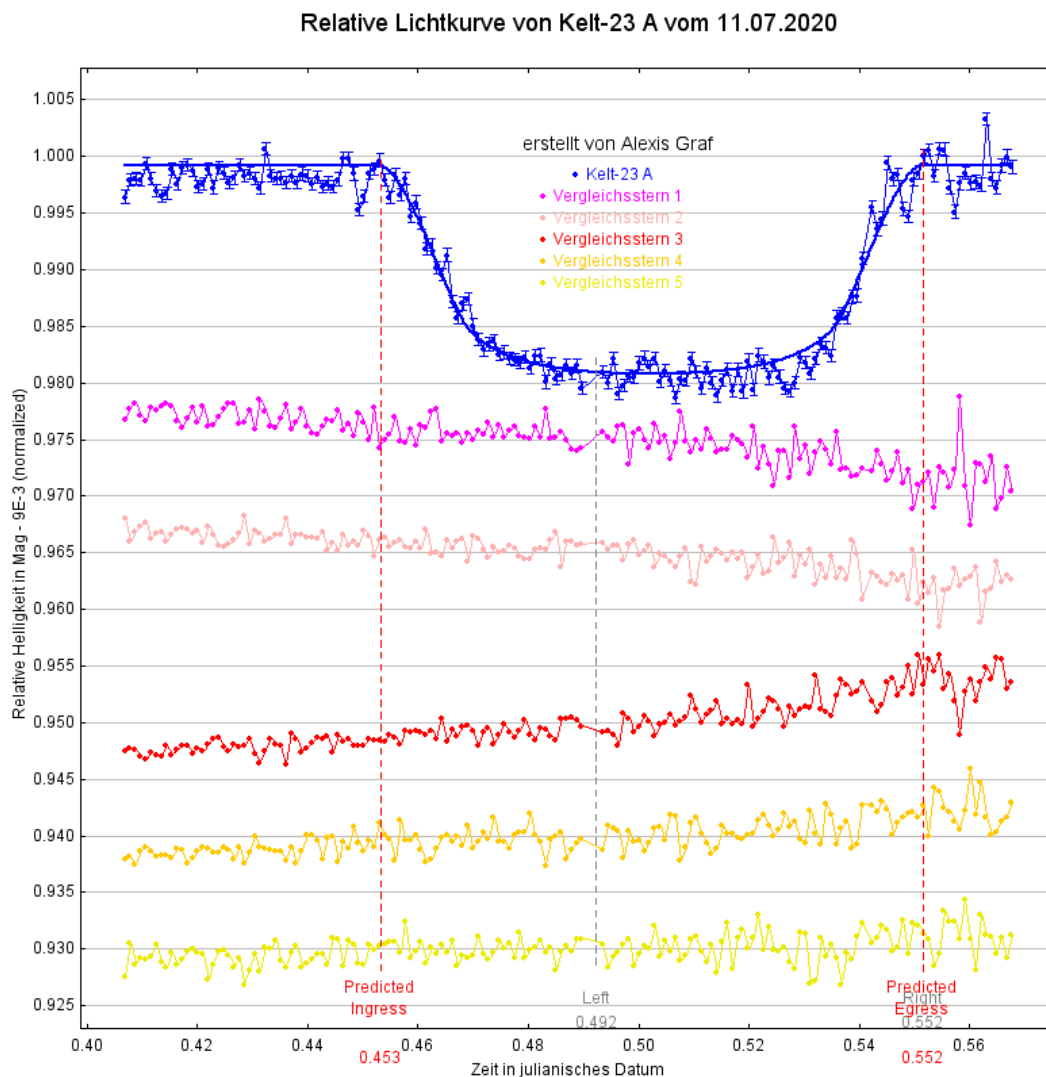


Abb. 9: Nachweis des Exoplaneten Kelt-23 a mithilfe eines Transits (blaue Kurve) im Vergleich zu einigen Referenzsternen .Bild: Alexis Graf [13, S. 21].

5.4. Exoplaneten (in Arbeit, Stufe D)

Mit fortgeschrittenen Lernenden kann man sich mit aktueller Forschung beschäftigen – beispielsweise mit der Suche nach Planeten in anderen Sternensystemen. Dies ist insbesondere bemerkenswert, da Exoplaneten die Voraussetzung für außerirdisches Leben außerhalb des Sonnensystems sind, das ist Platz 1 der Themen, die von Schülerinnen und Schülern als interessant eingestuft werden [4]. Dazu kommt, dass die erste Entdeckung eines Exoplaneten, der einen Hauptreihenstern umkreist, gerade etwas mehr als 25 Jahre her ist (51 Pegasi b im Jahr 1995, [11]), die erste Entdeckung einer so genannten Supererde sogar nur 15 Jahre (Gliese 876 d im Jahr 2005, [12]). Seitdem wurden mehr als 4000 Exoplaneten entdeckt, die Suche nach weiteren Planeten ist nach wie vor aktuell.

Die Suche nach Exoplaneten ist also ein hochaktuelles wissenschaftliches Thema – und am Stellarium Gernergrat möglich. Eine entsprechende Aktivität ist in Arbeit, als Maturaarbeit (Facharbeit) ist dies bereits mehrfach erfolgreich durchgeführt worden (Abb. 9).

6. Ausblick

Für die Zukunft sind deutliche Erweiterungen des Stellarium Gernergrat geplant. Es werden permanent neue Aktivitäten entwickelt und bereits bestehende Aktivitäten werden verbessert, zudem wird das Angebot auf weitere Sprachen ausgedehnt (aktuell Deutsch und Französisch, geplant sind weiterhin Italienisch und Englisch).

Aber nicht nur die Weiterentwicklung des Angebots an einzelnen Aktivitäten ist angedacht, auch die Verknüpfung der Aktivitäten untereinander soll verbessert werden. Es sind längere Sequenzen geplant, die aufeinander aufbauen. Unterschieden werden dabei längere Projekte, die sich über mehrere Wochen bis zu einem Halbjahr ziehen, und wiederkehrende kürzere Einheiten, bei denen in jedem Schuljahr aufeinander aufbauende Aktivitäten mit ansteigendem Niveau behandelt werden.

Speziell die Frage nach Lerneffekten, die über die rein astronomischen Inhalte hinausgehen, soll untersucht werden, etwa in Hinblick auf das Verständnis von Nature of Science oder der Scientific Literacy.

Dafür bietet sich der Einsatz in Schülerlaboren wie der Kieler Forschungswerkstatt an.

7. Zum Schluss...

Wir sind immer dankbar für Rückmeldungen über durchgeführte Aktivitäten. Was hat gut geklappt, was weniger gut? Gab es Schwierigkeiten oder Missverständnisse? Wir freuen uns über jede Art von Feedback!

8. Literatur

- [1] Jorda, Stefan (2018): Astronomie auf höchster Ebene. In: Physik Journal, 17(12), S. 46-49
- [2] Gomez, Edward; Fitzgerald, Michael (2017): Robotic Telescopes in Education. In: Astronomical Review, 13(1), S. 28-68, DOI: 10.1080/21672857.2017.1303264
- [3] Cohen, Jarrett (1997): Students as Astronomers. Gaining a New Vision with the Mount Wilson Telescope. In: Insights, 2: <https://www.hq.nasa.gov/hpcc/insights/vol2/students.htm>
- [4] Sjøberg, Svein, & Schreiner, Camilla (2010): The ROSE project: An overview and key findings. Oslo, Norwegen: University of Oslo, <http://roseproject.no/>
- [5] Saavedra, Anna; Liu, Ying und Haderlein, Shira Korn (2021): Knowledge in Action Efficacy Study over two Years. CESR Report Series, Los Angeles, USA: University of Southern California, https://cesr.usc.edu/KIA_publications
- [6] Krajcik, Joseph; Schneider, Barbara; Miller, Emily; Chen, I-Chien, Bradford, Lydia, Bartz, Kayla; Baker, Quinton; Palinscar, Annemarie; Peek-Brown, Deborah und Codere, Susan (2021): Assessing the Effect of Project-Based Learning on Science Learning in Elementary Schools. Michigan, USA: Michigan State University, <https://mlpbl.open3d.science/techreport>
- [7] Slater, Timothy (2018): To Telescope or Not to Telescope? In: Fitzgerald, M. et al. (Hrsg.): Robotic Telescopes, Student Research and Education Proceedings, Vol. 1, No. 1, S. 40-45, DOI: 10.32374/rtsre.2017.004
- [8] High Altitude Research Stations Jungfrauoch & Gornegrat (HFSJG), <https://www.hfsjg.ch/de/gornegrat/geschichte/>
- [9] Ekström, Silvia; Frey, Jonas; Gschwind, Stéphane; Hohmann, Sascha; Müller, Andreas; Riesen, Timm-Emanuel; Ruffieux, Simon und Schlatter, Peter (2021): Stellarium Gornegrat – A Swiss Robotic Observatory for Education and Citizen Science. In: SPG Mitteilungen, 63, S. 36-41
- [10] Gschwind, Stéphane; Hohmann, Sascha; Müller, Andreas und Riesen, Timm-Emanuel (zur Veröffentlichung akzeptiert): Das Stellarium Gornegrat. Ein ferngesteuertes Observatorium

für Bildungszwecke. In: Astronomie und Raumfahrt im Unterricht

- [11] Mayor, Michel und Queloz, Didier (1995): A Jupiter-Mass Companion to a Solar-Type Star. In: Nature 378(6555), S. 355-359, DOI: 10.1038/378355a0
- [12] Rivera, Eugenio; Lissauer, Jack; Butler, Robert; Marcy, Geoffrey; Vogt, Steven; Fischer, Daniel; Brown, Thomas, Laughlin, Gregory und Henry, Gregory (2005): A ~ 7.5 Earth-Mass Planet orbiting the Nearby Star, GJ 876. In: Astrophysical Journal, 634, S. 625-640, DOI: 10.1086/491669
- [13] Graf, Alexis (2020): Exkursion ins unbekannte Bekannte. Nachweis eines Exoplaneten mithilfe der Transitmethode. Maturaarbeit, https://stellarium-gornegrat.ch/wp-content/uploads/2020_Maturaarbeit_Exoplaneten_Alexis-GRAF.pdf

Danksagung

Ein besonderer Dank geht an Kathrin Altwegg, Hans Balsiger, Willy Benz, Erwin Flückiger, Kevin Heng, Didier Queloz und Stephane Udry für ihren Einsatz für die (natur-)wissenschaftliche Bildung.

Weiterhin bedanken wir uns für die finanzielle Unterstützung durch den Schweizerischen Nationalfonds (CRA-GI2_139898, CRAGP2_151518) und die Ingrid-und-Wilfried-Kuhn-Stiftung für physikalische Bildung.

Ein besonderer Dank geht auch an unsere Sponsoren: Dem Center for Space and Habitability der Universität Bern, der Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Genf, dem HFSJG, der Bürgergemeinde Zermatt, dem Astronomischen Institut der Universität Bern, dem Space Research & Planetary Sciences Institut der Universität Bern, dem Schweizerischen Nationalfonds zur Förderung der Wissenschaftlichen Forschung, der Akademie der Naturwissenschaften Schweiz, dem Kulmhotel Gornegrat, dem Physiscope der Universität Genf sowie dem Verkehrshaus der Schweiz.

Anhang



Abb. 10: Die Website des Stellarium Gornergrat, <https://stellarium-gornergrat.ch/>.

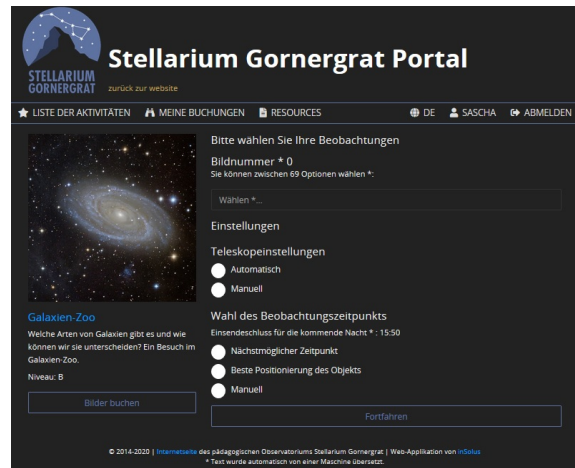


Abb. 12: Auswahl des Beobachtungsobjektes und des Zeitpunkts, <https://stellarium-gornergrat.ch/portal/activity/14/book>.

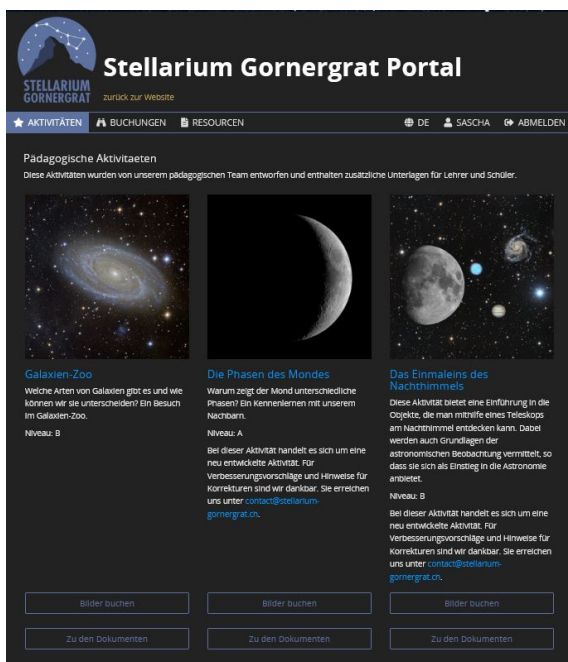


Abb. 11: Auswahl der Aktivität, <https://stellarium-gornergrat.ch/portal/>.

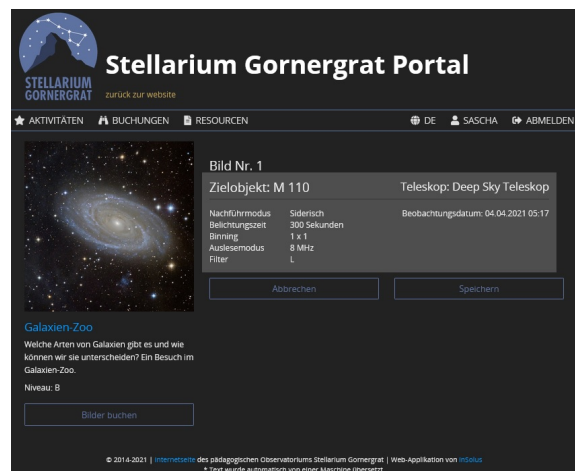


Abb. 13: Zusammenfassung des Beobachtungsauftrages, <https://stellarium-gornergrat.ch/portal/booking/10814/resume>.

Simulationsbasiertes Lernen im Astrophysik-Tutorium am Beispiel Schwarzkörper und Sternspektren

Ronja Langendorf*, Stephanie Merker⁺, Frederic Hessman[°], Susanne Schneider*

*Didaktik der Physik, Georg-August-Universität Göttingen, ⁺Studienseminar Göttingen,
[°]Institut für Astrophysik, Georg-August-Universität Göttingen
rlangen@gwdg.de, Stephanie.merker@sts-goe-gym.de, hessman@astro.physik.uni-goettingen.de,
sschnei@gwdg.de

Kurzfassung

Die Auseinandersetzung mit fachspezifischen digitalen Medien und Werkzeugen ist ein zentraler Auftrag der universitären Lehrer:innenbildung. Im Fach Physik umfasst dies die Förderung von unterschiedlichen digitalen Basiskompetenzen wie z.B. *Simulation und Modellierung*. Wenn die Durchführung klassischer Experimente wie im Fall der Astrophysik kaum möglich ist, sind Simulationen eine wichtige Erkenntnismethode. Daher stellt dieser Beitrag eine erprobte Lerneinheit eines Astrophysik-Tutoriums für Lehramtsstudierende vor, die das Ziel der Förderung ebendieser digitalen Basiskompetenzen verfolgt. Im Zentrum der Lerneinheit steht eine Simulation, welche die physikalischen Zusammenhänge eines Schwarzkörperspektrums veranschaulicht, die Helligkeitsmessung von Sternen in unterschiedlichen Filtern aufgreift sowie das Importieren und die direkte Analyse der Daten von originalen Sternspektren ermöglicht. Der Beitrag schließt mit einer Diskussion über die mögliche Anpassung der simulationsbasierten Lerneinheit an den Physikunterricht.

1. Theoretische Rahmung

Für den lernförderlichen Einsatz von digitalen Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht ist die Expertise einer Lehrkraft im Umgang mit und beim Einsatz von digitalen Medien zentral (Hillmayr et al., 2017). Jedoch gerade die Lehramtsstudierenden gelten unter der Generation von Digital Natives als wenig digitalaffin (Schmid et al., 2017). Insbesondere vor diesem Hintergrund erscheint es unumgänglich, die digitalen Kompetenzen von Lehramtsstudierenden gezielt zu fördern. In diesem Beitrag liegt der Fokus dabei auf dem simulationsbasierten Lernen.

1.1. Digitale Kompetenzen im Lehramt

Zur operationalisierten Beschreibung digitaler Kompetenzen von angehenden Lehrkräften können unterschiedliche Modelle herangezogen werden, von denen zwei im Folgenden vorgestellt werden.

1.1.1. TPACK-Modell

Auf internationaler Ebene wird das technologiebezogene Professionswissen von Lehrenden durch das TPACK-Modell dargestellt (Mishra & Koehler, 2006). Es stellt eine Erweiterung des von Shulman (1986) entwickelten PCK-Modells zum Lehrerprofessionswissen dar, welches das fachliche (CK) und das pädagogische Wissen (PK) als essenzielles Wissen (Knowledge) einer Lehrkraft zusammenfasst und die Schnittstelle dieser beiden als fachdidaktisches Wissen (PCK) definiert.

Im TPACK-Modell werden diese Fähigkeitsbereiche des Professionswissens durch das technologiebezogene Wissen (TK) als eine weitere Kompetenz von Lehrkräften ergänzt. Als zusätzliche Schnittstellen er-

geben sich daraus technologiebezogene Kompetenzen im pädagogischen (TPK), fachlichen (TCK) und fachdidaktischen (PCK) Wissensbereich.

Die Gesamtschnittstelle TPACK stellt die zentralen Fähigkeiten einer Lehrkraft für den Technikeinsatz in Lehr-Lern-Prozessen dar und geht auf das komplexe Zusammenspiel zwischen Lernenden, Lehrenden, Fachinhalt, Methode und Technik ein. Das Modell kann beispielsweise zur theoriebasierten Curriculumsentwicklung in der Lehrer:innenbildung herangezogen werden (Mishra & Koehler, 2006).

1.1.2. Orientierungsrahmen DiKoLAN

Der Orientierungsrahmen DiKoLAN bezieht sich bei der Operationalisierung von digitalen Basiskompetenzen im Lehramt, im Gegensatz zum TPACK-Modell, explizit auf den Bereich Naturwissenschaften und verfolgt damit das Ziel der Unterstützung einer dortigen curricularen Verankerung von Digitalisierung (Becker et al., 2020). Die digitalen Basiskompetenzen werden hier in vier allgemeinere und drei fachspezifischere Bereiche unterteilt (s. Tab1). Jeder dieser Bereiche unterteilt sich auf drei Kompetenzniveaus wiederum in die Schwerpunkte *Spezielle Technik; Fachwissenschaftlicher Kontext; Methodik & Digitalität* sowie *Unterricht*. Den Schwerpunkten werden zudem die vier technologiebezogenen Wissensbereiche des TPACK-Modells zugeordnet.

Dem Orientierungsrahmen können für alle sieben Bereiche ausformulierte Kompetenzen entnommen und einem Schwerpunkt sowie dem Niveau zugeordnet werden. Beispiel: Die Kompetenz „Führen mindestens eine Modellierung inklusive Simulation und Er-

gebnißsicherung durch.“ zählt zum Bereich *Simulation & Modellierung* mit dem Schwerpunkt *Spezielle Technik* (TK) und entspricht dem höchsten Niveau *Anwenden/Durchführen* (Becker et al., 2020, S.41).

| Allgemeinere Kompetenzen | Fachspezifischere Kompetenzen |
|-------------------------------|-------------------------------|
| Dokumentation | Messwert- & Datenerfassung |
| Präsentation | Datenverarbeitung |
| Kommunikation & Kollaboration | Simulation & Modellierung |
| Recherche & Bewertung | |

Tab. 1: Kompetenzbereiche des DiKoLAN (Becker et al., 2020).

1.2. Simulationsbasiertes Lernen

Simulationen basieren auf Modellen und bilden ausgewählte Aspekte der Wirklichkeit möglichst realitätsnah ab. Diese Reduktion kann komplexe Fachinhalte vereinfachen und so die kognitive Belastung für Lernende verringern (de Jong, 2010). Da Nutzer:innen die in der Simulation dargestellten Bedingungen gezielt manipulieren und dessen Auswirkungen direkt beobachten können, ist der damit verbundene Lernweg besonders interaktiv gestaltet (Girwidz, 2015). Das simulationsbasierte Lernen fördert Aspekte des entdeckenden Lernens, wie das Aufstellen sowie Überprüfen von Hypothesen, und gestaltet eine Lehr-Lern-Situation im besonderen Maße lernerzentriert (de Jong, 2010).

Vorteile beim Lernen sind darüber hinaus, dass Simulationen

- Unsichtbares sichtbar machen und Fehlkonzepte direkt aufgreifen können,
- multiple Repräsentationen nutzen und verknüpfen,
- auch außerhalb der Lehr-Lern-Situation eingesetzt werden können, um die Lernenden beim Wiederholen oder Vertiefen der Fachinhalte zu unterstützen,
- eingesetzt werden können, wenn klassische Experimente zu teuer, nicht erlaubt, nicht vorhanden oder unmöglich durchzuführen sind,
- eine einfache Manipulation vor allem von solchen Variablen ermöglichen, die in der Wirklichkeit nicht variiert werden können (Wieman et al., 2010).

Die letzten zwei Aspekte sind im Besonderen für die Astrophysik bedeutsam, da sich hier der typische Erkenntnisweg (Beobachtung, Hypothesenbildung, Simulation, Theorie) vom Ansatz der klassischen Physik (Beobachtung, Hypothesenbildung, Experiment, Theorie) unterscheidet (Percy, 2005; Stiller et al., 2020).

Das simulationsbasierte Lernen kann gerade bei schwachen Lernenden zu einer hohen intrinsischen kognitiven Belastung führen (Urhahne & Harms, 2006). Um diese Belastung und andere Schwierigkeiten zu minimieren sowie das Potenzial der Simulationen bestmöglich zu nutzen, ist eine Unterstützung der Lernenden durch Instruktionen notwendig (de Jong, 2010; Urhahne & Harms, 2006). Dabei ist im Spannungsfeld zwischen Komplexitätsreduktion und selbstständigem Lernen eine lernwirksame Form der instruktionalen Unterstützung zu wählen (Urhahne & Harms, 2006).

Grundsätzlich ist der Einsatz einer Simulation didaktisch zu begründen und sollte nicht zum bloßen Selbstzweck erfolgen (Girwidz, 2013).

2. Zielsetzung des Tutoriums

Das vorlesungsbegleitende Tutorium zur Vorlesung „Einführung in die Astrophysik“, an der Universität Göttingen, ein Pflichtmodul im Umfang von 8 Credits für den Master of Education, wurde im Wintersemester 2020/2021 erstmals mit einem neuen Konzept durchgeführt. Die Entwicklung des Lehrkonzepts geht mit der Zielsetzung einher, die digitalen Kompetenzen der Lehramtsstudierenden zu fördern und einen Beitrag zur Professionalisierung angehender Lehrkräfte zu leisten. Dabei liegt der Schwerpunkt passend zum astrophysikalischen Erkenntnisweg auf dem Umgang mit und dem Einsatz von Computersimulationen in Lehr-Lern-Situationen. Das neue Konzept sieht u.a. vor, dass die astrophysikalischen Inhalte mit der Aufgabe, digitale Werkzeuge zu erstellen oder zu nutzen, verbunden werden, um lernerzentrierte Arbeitsformen zu ermöglichen. Die zentralen Vorlesungsinhalte werden daher im Tutorium unter dem didaktisch begründeten Einsatz von Simulationen o. ä. aufgegriffen, um die Studierenden bei der Wiederholung und Vertiefung des Stoffs zu unterstützen. Wie das im Detail aussieht, wird in diesem Beitrag exemplarisch für die Tutoriums-Einheit zum Thema Schwarzkörper und Sternspektren dargestellt.

2.1. Inhaltsbezogene Kompetenzen

Aufbauend auf den Vorlesungsinhalten werden für diese Tutoriums-Einheit zum Thema Schwarzkörper und Sternspektren die folgenden inhaltsbezogenen Kompetenzziele formuliert:

Die Studierenden...

IK1 ...beschreiben den Zusammenhang der Peakwellenlänge λ_{max} eines Schwarzkörperspektrums mit dessen Temperatur T als $\lambda_{max} * T = \text{const.}$ (Wiensches Verschiebungsgesetz).

IK2 ...beschreiben den Zusammenhang des Gesamtstrahlungsstroms B eines Schwarzkörpers mit dessen Temperatur T als $B(T) \sim T^4$ (Boltzman-Gesetz).

- IK3** ...vergleichen ein theoretisches Schwarzkörperspektrum mit einem beobachteten Sternspektrum.
- IK4** ...erläutern, dass der Farbindex ($B-V$) und die visuell wahrgenommene Farbe als Indikatoren für die Temperatur eines Sterns interpretiert werden können.
- IK5** ...ermitteln die durch Wega kalibrierten absoluten Magnituden M_V und M_B eines Sterns aufbauend auf scheinbaren Helligkeitsmessungen in den Filtern V und B .

Zu diesen Fachinhalten ist die Durchführung von Laborexperimenten zur Erkenntnisgewinnung seitens der Lernenden nicht möglich, was den Einsatz einer Simulation indiziert.

2.2. Digitale Kompetenzen

Aufbauend auf den inhaltsbezogenen Kompetenzziele werden die digitalen Kompetenzziele, die am Orientierungsrahmen DiKoLAN (Becker et al., 2020) ausgerichtet sind, ausformuliert und den technologiebezogenen Wissenskomponenten im TPACK-Modell (Mishra & Koehler, 2006) zugeordnet (s. Abb.1). Bei der Förderung von IK1 bis IK5 liegt der Fokus dem Lehrkonzept entsprechend auf dem Kompetenzbereich *Simulation & Modellierung*. Darüber hinaus liegt es in Bezug auf IK3 nahe, dass eine astrophysikspezifische Datenbank zur Recherche von originalen Sternspektren herangezogen wird (*Recherche & Bewertung*). Zusätzlich können beim Erwerb von IK4 und IK5 digitale Kompetenzen im Bereich *Datenverarbeitung* gefördert werden.

Simulation & Modellierung: Die Studierenden...

- setzen im eigenen Lernprozess eine fertige Simulation zur Erkenntnisgewinnung ein. *TK*
- unterscheiden zwischen Modellierung und Realität (Modellkompetenz). *TK*
- vergleichen und bewerten Simulationen für einen sachgerechten Einsatz in einer Lehr-Lern-Situation. *TPACK*

Recherche & Bewertung: Die Studierenden...

- nutzen eine astrophysikspezifische Datenbank als digitales Werkzeug, um Informationen zu beschaffen und zu strukturieren. *TCK*

Datenverarbeitung: Die Studierenden...

- nutzen digitale Werkzeuge (Simulation, Tabellenkalkulation) zur Weiterverarbeitung von Daten. *TK*

Abb.1: Darstellung der in der Tutoriums-Einheit adressierten digitalen Basiskompetenzen in Anlehnung an DiKoLAN (Becker et al., 2020).

2.3. Simulation

Aus den definierten inhaltsbezogenen und digitalen Kompetenzziele können grundlegende Anforderungen an die Funktionen einer für die Lerneinheit geeigneten Simulation abgeleitet werden:

- Veranschaulichung der physikalischen Zusammenhänge eines Schwarzkörperspektrums
- Aufgreifen der Helligkeitsmessung von Sternen mit unterschiedlichen Filtern

- Möglichkeit zum Importieren und direkten Analysieren der Daten von originalen Sternspektren (hohe Authentizität)

Darüber hinaus sollte die Simulation benutzerfreundlich sein und die genutzte Software kostenlos zur Verfügung stehen.

3. Material der Lerneinheit

Im Folgenden werden das eingesetzte Lernmaterial bestehend aus der Simulation *Blackbody Explorer* sowie den Instruktionen vorgestellt. Der *Blackbody Explorer* wird in zweifacher Ausführung, als Python- und als Snap!-basierte Simulation, eingesetzt. Um den Anforderungen (vgl. 2.3.) gerecht zu werden, wurden beide Versionen eigens entwickelt.

3.1. Python-basierte Simulation

Diese Python-basierte Version des *Blackbody Explorer* (s. Abb.2) steht für Windows und Linux zum Download zur Verfügung (Homepage der Didaktik der Physik - Uni Göttingen, 2021)

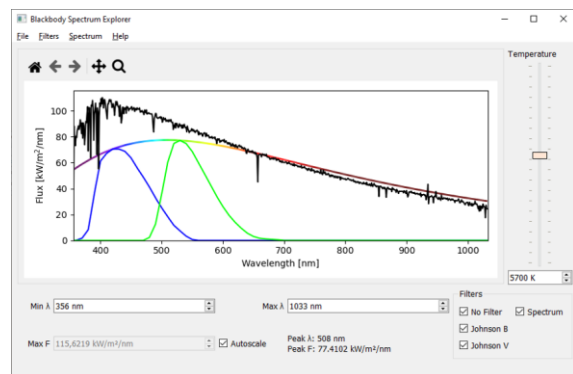


Abb.2: Screenshot der Python-basierten Simulation. Das importierte Sternspektrum stammt aus der SDSS-Datenbank und zeigt einen F-Stern (Ahumada et al., 2019). Bei der Entwicklung wurde auf eine übersichtliche und schlichte Benutzeroberfläche geachtet, deren Funktionen intuitiv ersichtlich sind. Die relevanten astrophysikalischen Größen eines Planck-Spektrums und deren Einheiten werden direkt auf der Hauptoberfläche dargestellt. Die Temperatur kann über einen Schieberegler, der die visuelle Farbe des Schwarzkörpers darstellt, sowie eine Direkteingabe variiert werden. In dieser Form ermöglicht die Simulation den Lernenden zunächst eine grundlegende Auseinandersetzung mit dem Schwarzkörperspektrum, bei der die Komplexität der Simulation dadurch reduziert wird, dass weiterführende Funktionen über die Menüleiste erst aktiv hinzugefügt werden müssen. Mit der Option *Filters* öffnet sich als eine solche Erweiterung eine separate Tabelle, in der die Magnituden und der Gesamtstrahlungsstrom in Abhängigkeit von Temperatur und Filter aufgelistet werden. Die Menüoption *Spectrum* ermöglicht das Importieren von Sternspektren als *.CSV*. Diese werden grafisch in die Simulation integriert und können durch das Planck-Spektrum zur Temperaturbestimmung angenähert werden. Mit unterschiedlichen Steuerelementen kann man den

grafisch dargestellten Bereich des Spektrums optimieren. Die Elemente *Spektrum*, *B-Filter* und *V-Filter* können in der Grafik ein- und ausgeblendet werden. Für Hintergrundinformationen und Hilfe ist der Menüpunkt *Help* vorgesehen.

3.2. Snap!-basierte Simulation

Die vorgestellte Python-basierte Version ermöglicht den Lernenden das *Nutzen* einer Simulation für den eigenen Lernprozess. Um ihnen aber auch den Zugang zum *Erstellen* einer Simulation zu bieten, wurde zudem eine Snap!-basierte Version des *Blackbody Explorer* entwickelt, die den Anforderungen (vgl. 2.3.) ebenfalls gerecht wird. Snap! ist eine grafische Programmiersprache, deren spielerische und intuitive Handhabung einen anfängerfreundlichen Einstieg in das Programmieren bietet. Die vollständige Browser-Anwendung (Homepage von Snap!) kann unabhängig vom Betriebssystem und ohne vorherige Installation einer Software genutzt werden. Skript und Oberfläche werden parallel angezeigt, so dass Änderungen im Skript direkt im Endprodukt nachvollzogen werden können.

Während der Entwicklungsaufwand bei der Python-basierten Simulation hoch wäre (gute Python-Kenntnisse erforderlich), erhalten die Lernenden mit der Snap!-basierten Simulation einen angemessenen Einblick in den Entwicklungsprozess der Simulation. Abhängig vom Vorwissen und den Lernzielen können Lernende hier die Variationsbreite von einer sehr einfachen Simulation (Erstellen und Plotten des Planck-Spektrums) (s. Abb.3) bis hin zu einer Simulation mit komplexeren Funktionen (Importieren von Spektren) nutzen, deren Skript nachvollziehen und bearbeiten oder sie selbst entwickeln. Eine komplexere Simulationsversion sowie eine Anleitung zur Erstellung einer einfachen Version stehen online zur Verfügung (Hessman & Modrow, 2020).

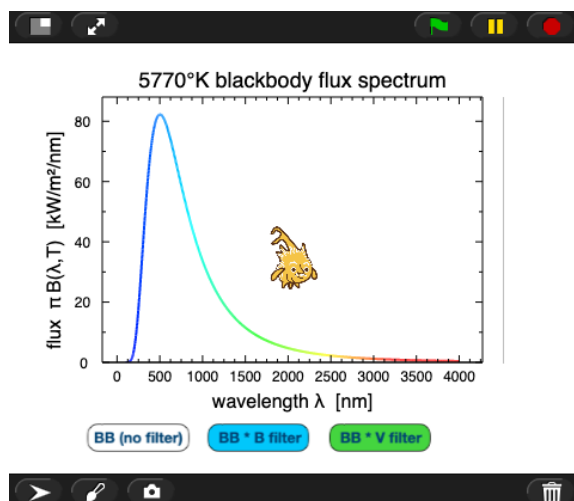


Abb.3: Screenshot der Snap!-basierten Simulation.

3.3. Instruktionen

Die Studierenden werden beim simulationsbasierten Lernen durch Instruktionen unterstützt und begleitet, damit die Komplexität reduziert und der Mehrwert des Simulationseinsatzes wirksam werden kann (vgl.

1.2.). Abbildung 4 zeigt die Einteilung der instruktionalen Unterstützung in vier Phasen und ordnet diesen die inhaltsbezogenen Kompetenzziele IK1-IK5 zu.

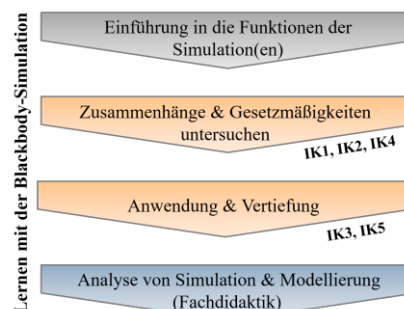


Abb.4: Aufbau des Instruktionmaterials und Zuordnung der inhaltsbezogenen Kompetenzziele. Phasen der Interaktion mit einer Simulation sind orange eingefärbt.

Den Lernenden wird der Einstieg in die Interaktion mit der Simulation zunächst erleichtert, indem die Snap!- und die Python-basierte Anwendung und ihre Funktionen vorgestellt werden. Sie entscheiden sich anschließend individuell und selbstbestimmt für eine der beiden Versionen. Die Studierenden haben im Tutorium bereits zu anderen Themen mit Snap! gearbeitet und sind mit der Programmiersprache vertraut. Daher ermöglicht die Snap!-Simulation ein Differenzierungsangebot für leistungsstarke und am Programmieren interessierte Lernende (vgl. 3.2.). Während der Interaktion mit der Simulation werden zunächst die physikalischen Zusammenhänge zwischen der Temperatur und anderen Größen untersucht (IK1, IK2, IK4). Aufbauend auf Urhahne & Harms (2006), die lernförderliche Instruktionsmaßnahmen beim simulationsbasierten Lernen zusammenfassen, werden die Studierenden in dieser Instruktionsphase zu einer physikalischen Begründung bzw. Erklärung des beobachteten Simulationsergebnisses anhand von Vorwissen aus der Vorlesung aufgefordert. Für die Anwendungs- und Vertiefungsphase stehen den Lernenden als Unterstützung permanente Hintergrundinformationen zur Verfügung, die unabhängig von der Simulation sind (ebd.). Diese beziehen sich einerseits auf Sternspektren und deren Recherche über die Datenbank der SDSS (Homepage des SDSS DR16 Navigate Tool) (IK3) und andererseits auf die Definition von Magnituden und die Wega-Eichung (IK5). Eine abschließende Instruktion stellt den für die Lehramtsstudierenden relevanten Bezug zur Fachdidaktik und den Tätigkeiten einer Lehrkraft her. Aufbauend auf einer Reflexion des eigenen Lernprozesses, was nach der Interaktion mit einer Simulation das Lernen fördert (Urhahne & Harms, 2006), werden die Python- und die Snap!-basierte Simulation verglichen und deren sachgerechter Einsatz im Unterricht diskutiert.

Die Instruktionen sind insgesamt so formuliert, dass die digitalen Kompetenzziele adressiert werden (vgl. 2.2.). Methodisch profitieren die Studierenden im eher distanzierten online-Format vom simulationsbasierten Lernen in Kleingruppen, da so die Kommunikation besonders gefördert und eine Unterstützung

durch andere Lernende ermöglicht werden kann (Hillmayr et al., 2017).

3.4. Erfahrungen

Die Erprobung des Materials erfolgte im Rahmen der Pilotierung des Tutoriums im Wintersemester 2020/2021 als synchrone online-Veranstaltung (2 SWS) mit 20 Physik-Studierenden (M.Ed.) der Universität Göttingen. Erste Erfahrungen zeigen, dass die Simulationen benutzerfreundlich gestaltet sind und problemlos von den Studierenden bedient werden können. Zudem betrachteten die Lernenden den Einsatz der Simulationen als hilfreich für ihren Lernerfolg. Beide Simulationsversionen wurden zu gleichen Teilen von den Studierenden in ihrem Lernprozess eingesetzt.

An diese Lerneinheit schloss im Tutorium eine Einheit zu Spektraltypen an, bei der die Stärke der H α -Linie und die Temperatur untersucht wurden. Hierbei konnte der Python-basierte *Blackbody Explorer* erneut sinnvoll eingesetzt werden.

4. Ausblick: Potenzial für den Physikunterricht

Die Lerneinheit zum Thema Schwarzkörper und Sternspektren ist, wie die meisten astrophysikalischen Fachinhalte, für die gymnasiale Oberstufe in Niedersachsen zwar nicht curricular verankert, kann den Physikunterricht aber dennoch bereichern. Astrophysikalische Themen bieten häufig Anknüpfungspunkte an curriculare Inhalte aus der klassischen Physik (z.B. Optik, Mechanik). Auch diese Lerneinheit greift das Vorwissen der Schüler:innen aus dem Physikunterricht auf, genau gesagt aus dem Wahlmodul *Strahlungsphysik* (Einführungsphase) und dem Bereich *Atomhülle* (Qualifikationsphase). Die inhaltsbezogenen Kompetenzziele IK1-IK3 können mit der Blackbody-Simulation ohne spezifisches astrophysikalisches Vorwissen erreicht werden und zudem schließen IK1 und IK2 mit dem Wienschen Verschiebungsgesetz und dem Boltzman-Gesetz direkt an das Kerncurriculum an (Niedersächsisches Kultusministerium, 2017). Daher sind diese Kompetenzziele auch für einen schulischen Rahmen geeignet. Die Blackbody-Simulation bietet für die Oberstufe also die Möglichkeit, curriculare Inhalte im Kontext der Astrophysik anzuwenden und zu vertiefen. Gleichzeitig kann sie prozessbezogene Kompetenzen im Bereich *Erkenntnisgewinnung* fördern und trägt zur Auseinandersetzung der Schüler:innen mit modernen Medien bei (ebd.).

Die Snap!-Simulation ist Teil eines Projekts mit dem Ziel, den wissenschaftlichen Gebrauch der grafischen Programmiersprache im Schulkontext und in der Lehrerbildung zu fördern (Hessman & Modrow, 2020). Dies umfasst eine regelmäßig aktualisierte und erweiterte Sammlung von Simulationen zur Astrophysik, Biologie, Mathematik, Physik, Technik und Volkswirtschaft. Für den schulischen Einsatz hat die Snap!-basierte Blackbody-Simulation den Vorteil,

dass Lehrkräfte das Skript ohne fortgeschrittene Programmierkenntnisse (im Gegensatz dazu: Python) eigenständig und individuell auf die Lerngruppe und die Lernziele anpassen können. Zudem ist Snap! eine Software, die explizit für Anfänger im Programmieren gedacht und somit grundsätzlich für den Schuleinsatz gut geeignet ist. Für Snap! spricht auch, dass die Simulation hier mit deutlich weniger Programmieraufwand erstellt werden kann, als dies bei einer anderen schultypischen Software wie z.B. einem Tabellenkalkulationsprogramm der Fall ist.

5. Literatur

Becker, Sebastian; Bruckermann, Till; Finger, Alexander; Huwer, Johannes; Kremser, Erik; Meier, Monique; Thoms, Lars-Jochen; Thyssen, Christoph & von Kotzebue, Lena (2020): Orientierungsrahmen Digitale Kompetenzen für das Lehramt in den Naturwissenschaften – DiKoLAN. In: Becker, Sebastian; Meßinger-Koppelt, Jenny & Thyssen, Christoph (Hrsg.): *Digitale Basiskompetenzen – Orientierungshilfe und Praxisbeispiele für die universitäre Lehramtsausbildung in den Naturwissenschaften*, (S.14-43). Hamburg: Joachim Herz Stiftung.

de Jong, Ton (2010): Instruction Based on Computer Simulations. In: Mayer, Richard E. & Alexander, Patricia A. (Hrsg.): *Handbook of Research on Learning and Instruction*, (S.446-466). United Kingdom: Routledge.

Girwidz, Raimund (2015): Neue Medien und Multimedia. In: Kircher, Ernst; Girwidz, Raimund & Häußler, Peter (Hrsg.): *Physikdidaktik*. Springer-Lehrbuch.

Girwidz, Raimund (2013): Lernen mit bewegten Bildern. Animationen und dynamische Visualisierungen im Physikunterricht. *Unterricht Physik*, 137, 4-9.

Hessman, Frederic V. & Modrow, Eckart (2020): Scientific Snap!: <https://github.com/fhessman/scientific-snap> (Stand: 4/2021)

Hillmayr, Delia; Reinhold, Frank; Ziernwald, Lisa; Reiss, Kristina (2017): *Digitale Medien im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht der Sekundarstufe. Einsatzmöglichkeiten, Umsetzung und Wirksamkeit*. Münster: Waxmann.

Homepage der Didaktik der Physik - Uni Göttingen (2021): <https://www.uni-goettingen.de/de/downloads/571879.html> (Stand: 4/2021)

Homepage von Snap!: <https://snap.berkeley.edu/> (Stand: 4/2021)

Homepage des SDSS DR16 Navigate Tool:

<http://sky-server.sdss.org/dr16/en/tools/chart/navi.aspx>

(Stand: 4/2021)

Mishra, Punya & Koehler, Matthew J. (2006): Technological Pedagogical Content Knowledge: A Framework for Teacher Knowledge. *Teachers College Record*, 108 (6), 1017-1054.

Niedersächsisches Kultusministerium (NKM) (2017): *Kerncurriculum für das Gymnasium – gymnasiale Oberstufe: Physik*.

Percy, John R. (2005): Why astronomy is useful and should be included in the school curriculum. In: Pasachoff, Jay M. & Percy, John R. (Hrsg.): *Teaching and Learning Astronomy. Effective Strategies for Educators Worldwide*, (S.10-13). Cambridge University Press

Schmid, Ulrich; Goertz, Lutz; Radomski, Sabine; Thom, Sabrina & Behrens, Julia (2017): *Monitor Digitale Bildung: Die Hochschulen im digitalen Zeitalter*. Gütersloh.

Shulman, Lee S. (1986): Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational researcher*, 15(2), 4-14.

Stiller, Cornelia; Allmers, Tobias; Habigsberg, Annette; Stockey, Andreas & Wilde, Matthias (2020): Erkenntnisgewinnung in den Naturwissenschaften: Von der Hypothese zur Theorie. *PraxisForschungLehrer*innenBildung. Zeitschrift für Schul- und Professionsentwicklung*, 2(2), 28-39.

Urhahne, Detlef & Harms, Ute (2006): Instruktionale Unterstützung beim Lernen mit Computersimulationen. *Unterrichtswissenschaft* 34 (4), 358-377.

Wieman, Carl E; Adams, Wendy K.; Loeblein, P. & Perkins, P. P. (2010): Teaching Physics Using PhET Simulations. *The Physics Teacher*, 48(4), 225-227.

Danksagung

Ein großer Dank gilt an dieser Stelle Florian Liebing für die Unterstützung im Tutorium und die Erstellung der Python-basierten Blackbody-Simulation.

Dynamics in the Early Universe

Jonas Lieber¹ and Hans-Otto Carmesin^{1,2,3}

¹Gymnasium Athenaeum, Harsefelder Straße 40, 21680 Stade

²Studienseminar Stade, Bahnhofstr. 5, 21682 Stade

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

jonas.lieber@athenetz.de, hans-otto.carmesin@t-online.de

Kurzfassung

In diesem Beitrag setzen wir uns mit der Dynamik des frühen Universums auseinander. Dafür werden wir uns eine einfache Gleichung zur Berechnung herleiten und wir werden eine Methode zur Berechnung aufzeigen. Im Anschluss werden wir dann unsere Methode überprüfen und unsere Ergebnisse interpretieren. Anhand der Interpretation werden wir noch mögliche Verbesserungen und Anwendungsbereiche diskutieren.

Abstract

In this paper we treat the dynamics of the universe and we will derive an equation. The derivation is intended to show that the equation can be solved and we will test whether the results obtained contain errors. In the last part of the essay we will discuss the possibilities how our program can be used and in which cases it makes sense to use it.

1. Expansion of the universe

We will take a closer look at the expansion in the early universe. To do this, we calculate the extent of the Light Horizon over time, the largest distance we can observe on earth.

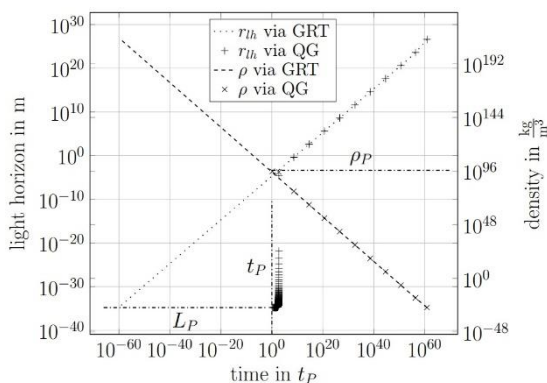


Fig.1: Graph that shows the evolution of the density and the extent of the Light Horizon in our universe (Carmesin (2021)).

Since equations can change throughout multiple factors, we will look at the Planck era and will look for an equation here.

To receive an equation that we can use later, we look at a ball with a radius that can be used as a model for our universe. For further additions, we need a formula that also depends on the density ρ as it is not constant. We also need an equation that is not fixed in one dimension D . We use the following formula (Carmesin (2021)):

$$a = (2 * \rho)^{-\frac{1}{D+1}} \quad \{1\}$$

The dimension D changes at critical densities but is constant in the time periods between the transitions. In the next step, we take the derivative of equation {1} by time and by ρ . As we want to look at ρ and its time evolution we have to combine both of those equations.

The derivation of a by ρ can be calculated very quickly. For this we charge

$$\frac{da}{d\rho} = \left(-\frac{1}{D+1}\right) * 2 * (2 * \rho)^{-\frac{1}{D+1}-1} \quad \{2\}$$

from which we need the inverted value. We get

$$\frac{d\rho}{da} = -(D + 1) * \frac{1}{2} * (2 * \rho)^{\frac{1}{D+1}+1} \quad \{3\}$$

as the rate of change of ρ by a .

Since we don't have an equation that includes time, we cannot use our mathematical principles as we did before. We use an equation which describes the derivation of a with respect to time that follows from the EFLE and can be called as Hubble constant \tilde{H}_q (Carmesin (2019)). It also depends on ρ which is important. We use

$$\tilde{H}_q = (2 * \rho)^{\frac{D^2+D+2}{2*D+2}} \triangleq \frac{da}{dt} \quad \{4\}$$

and have our equation for the derivative of a by time.

Now we combine equations {3} and {4} with multiplication, so we get the derivative of ρ by time after reducing the fractions. In the same step, we also simplify our equation by using power laws as we have the same bases 2 and ρ . We get

$$\frac{d\rho}{dt} = -(D + 1) * \frac{1}{2} * (2 * \rho)^{\frac{1}{D+1} + \frac{D^2+D+2}{2*D+2}} \{5\}$$

as our final equation for the calculation.

In the equation, natural units such as the Planck density ρ_P are used. Those values can be derived from the natural constants light speed c , gravitational constant G and the reduced Planck constant \hbar . Throughout those values, it is also possible to derive a value for the Planck time t_P which will also be important later on.

For the Planck density, we have a value of $5.155 * 10^{96} \text{ kg/m}^3$ which will be considered as 1 unit. It is important to know that the Planck density is double of the highest achievable density which should be reached at the time 0 when the Big Bang just happened.

For the Planck time, we have a value of $5.391 * 10^{-44}$ s. It is the smallest value of the time that we can possibly observe in a single measurement of a quantum object. Like the Planck density, it will be considered as 1 in the calculations.

2. Evolution to solve our equation

In the next step, we start with the calculation for our equation. Therefore, we have developed a program build in Java that is solving our problem numerically. We need a numerical method, as we want to advance our program in the future. Therefore, equation {5} can be added with equations for the quantization for example. All the variables and constants such as ρ and D are initialized as variables. We use the Euler method as it is a quite simple numerical method. The starting time and the starting density have to be put in as parameters. Afterwards the program will generate at least one .csv table.

Our program contains the critical densities as a list as they are not variable and do not change in any situation. When a critical density is reached, we change the value of the dimension by at least 1.

3. Calculation and interpretation of the results

By using our program, we received more than 64 billion results in the timeline from around $598 t_P$ to $534 t_P$. We started with a value of $0.11579 \rho_P$. We got a value that is not possible because it is way higher than ρ_P . It has happened due to a maximum number of dimensional transitions implemented. Realistic would have been dimensional transitions up to $D = 301$. We just had $D = 55$ as our final value. At $534 t_P$, our program stopped as we reached more than the maximum possible density ρ_P as we did not have enough dimensional transitions for going on.

Also, our equation {5} could be added by terms that make it more precise (Carmesin (2019)). Our critical densities are based on a calculation made with these terms.

Therefore, the results we received cannot be the exact values which are also proved by the density higher than ρ_P .

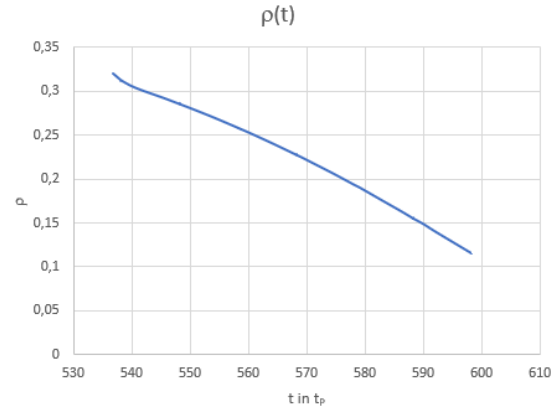


Fig.2: Graph of $\rho(t)$ we got using our program. The graph is made in the bounds of $534 t_P$ to $598 t_P$.

Yet we got a lot of values that look quite realistic. Using Excel, we could create graphs that show time spans of 10 Planck times because we had problems showing more than 1 million values which was shown by inventing our program. By putting images of the different graphs next to each other we could still see graphs that show values that look possible at the first sight. Also, by adding more dimensional transitions to our calculation we could see that we could delay when we reached ρ_P . Still, we would have not reached the exact time evolution, which could already be seen in comparing with existing values we used for the dimensional transitions.

4. Develop a way to review our results

To check on our results we integrate equation {5}. We get an equation that can be used in the periods when D is constant. Therefore, we first simplify by substitution. Our factors on the right side, not containing ρ , will be called α , our exponent will be called β . We have

$$\frac{d\rho}{dt} = \alpha * \rho^\beta \{6\}$$

as our simplified equation.

In the next step, we have to separate our variables t and ρ . For that, we multiply with dt and divide by ρ^β . In reality, ρ^β will only tend to 0 but does not reach it, so we can divide through it. We now have

$$\frac{d\rho}{\rho^\beta} = \alpha * dt \{7\}$$

as our equation that can be integrated. Since the variables are separated, we can define a precise primitive. We get

$$5. \frac{1}{-\beta+1} * \rho^{-\beta+1} = \alpha * t \{8\}$$

which we could use now. For what we want to check later, it would be better to have an expression in which t is separated. Therefore, we divide by α . The result is a function from which we can get values for the time. We get

$$\frac{1}{-\beta+1} * \frac{1}{\alpha} * \rho^{-\beta+1} = t(\rho) \{9\}$$

which we now put our expressions for α and β , so we have

$$\frac{1}{-\frac{1}{D+1} - \frac{D^2+D+2}{2*D+2}} * \frac{1}{-\frac{(D+1)}{2} * 2^{\frac{1}{D+1}+1} + \frac{D^2+D+2}{2*D+2}} * \rho^{-\frac{1}{D+1} - \frac{D^2+D+2}{2*D+2}}$$

$$= t(\rho) \{10\}$$

with the bounds of the time and ρ where dimensional transitions have happened.

Since we want to have a look at the timespans we received with our program, we have to think of a method to receive Δt . A very simple way of doing so is to subtract $t(\rho_1) - t(\rho_2)$ in which ρ_1 and ρ_2 both are critical densities. We get

$$t(\rho_1) - t(\rho_2) = \Delta t \{11\}$$

that can be used to get the values for the timespans if the equation {10} is applied in the bounds. As one of the time bounds is fixed, we think of how we can get the other bound. For that, we remove Δt from the time at which a dimensional transition has happened. We get

$$tc - \Delta t = tn \{12\}$$

for the new bound that will help to reduce mistakes that we got from our program.

5. Checking the results

Der Beitrag ist durch Überschriften nach der Dezimalklassifikation (z.B. 1., 1.1, 1.1.1, 1.1.1.1) (Formatvorlage: PhyDid-Überschrift 1-4) höchstens bis zur vierten Dezimale differenziert zu gliedern.

Literaturzitate werden in der für wissenschaftliche Zeitschriften üblichen Weise eingefügt (vgl. Hinweise gemäß DIN 1505 oder APA

(<http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/about/submissions#authorGuidelines>).

Auch die Beschriftung von Diagrammen richtet sich nach den DIN- oder APAVorschriften.

Quellen zum Text werden bei DIN 1505 mit eckigen Klammern „[1]“ durchnummeriert. Bei APA wird die Kurzreferenz im Text mit „(Nachname, 2016, S.10)“ angegeben. In beiden Fällen folgt die ausführliche Quellenangabe im Literaturverzeichnis.

Anmerkungen zum Text werden durchnummeriert und am Ende des Beitrages angeführt.

Jedem Beitrag wird eine Kurzfassung des Artikels vorangestellt.

Die Beiträge werden in der Regel in Deutsch verfasst sein, eine Veröffentlichung in Englisch ist aber auch möglich.

6. Interpretation

In the previous calculations we got values that are not exactly the same. If the two values we compared to each other would have been the same, we could conclude from this that we didn't make any mistakes. As the values are not exactly the same, we have to check why problems occurred.

First, we check on our equations {5} and {10}. As {10} is directly made of {5}, then we have to check on {5} because mistakes can only be made at this point.

Since we cannot find a mistake at this point, we think about our method that we used to calculate. We used a numerical method because it is a simple way to solve a DEQ like we have it here. Problems that could occur using such a method are unprecise values, but one way of finding a solution. In comparison, our integration is very precise and just has the time bounds we solved with our numerical method. As we used fixed values for ρ , problems could have only occurred in the part containing t . Except for the first calculation we made in chapter 5), we used the time values we got from the calculation before. If we used the time values from the program itself, the difference would be even greater.

Also, we used the bounds that were written in our Excel table. Using our program, we had some test outputs that showed more precise values for t . We could see values for t that are more precise, up to ten more numbers. By using those numbers, we would probably get an even smaller difference.

In the end, it will probably be our numerical method, as the timespans that we would expect are larger in our equations {10} and {11}, a problem which can occur when you have numerical methods.

7. Possible improvements

We still do not have any exact values, so we can envision improvements that could be made.

One of the easiest ways to improve a numerical method, is to reduce the width we calculate with. In our case, we used to go 10-9 time units back per calculation. If we would advance that to 10-10 or even 10-11, we could get closer to the expected result.

Although this seems to be a good theory, it wouldn't be a good idea in practice. If we advanced with a

factor of 10-1 or 10-2 e.g., we would need a factor of 101 or 102 for the number of calculations. That also results in the time we need to run the calculation. For the calculation described in chapter 3) we needed around 2h 30mins as our computation time. Just by advancing with the factor 10, we would probably end up with 1 day of needed time. Therefore, this idea is no option.

We think of switching our numerical method. We hope that a multistep method, will allow us to perform less time-consuming and even more precise calculations.

But in the end, all of these improvements still won't fit exactly the time evolution that happened. For that, we need additional equations for the time the dimensional transitions need for example as already said before. Therefore, we have achieved one of the best possible results, in which we have a good relation between precise values and time expenditure, since our difference is close to zero.

Text-Beiträge werden im PDF-Format (les- und druckbar z.B. mit dem frei erhältlichen ADOBE-Acrobat-Reader®) publiziert. Es sollten daher reproduktionsreife Dokumente im PDF-Format eingereicht werden.

8. Summary

While the measurements of the expansion of the universe are not a too big mystery, calculating is still a very time-consuming process. Although our program is doing a good job by now, it's not finished as we don't have an exact time evolution. Still, this program gave us a good base. It is not impossible for us to determine the exact timetable, but we will continue to develop this.

9. Literature

Carmesin, Hans-Otto (2019): "Die Grundschrwingungen des Universums – The Cosmic Unification". Berlin: Verlag Dr. Köster

Carmesin, Hans-Otto (2020): „The Universe Developing from Zero-Point Energy – Discovered by Making Photos, Experiments and Calculation”. Berlin: Verlag Dr. Köster

Carmesin, Hans-Otto (2021): "Quanta of Spacetime Explain Observations, Dark Energy, Graviton and Nonlocality". Berlin: Verlag Dr. Köster

Dimensional Transitions in a Bose Gas

Paul Sawitzki*, Hans-Otto Carmesin**,**,***

*Gymnasium Athenaeum, Harsefelder Straße 40, 21680 Stade

**Hohenwedeler Weg

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

paul.sawitzki@athenetz.de, hans-otto.carmesin@athenetz.de,

Abstract

In the early universe, the density reached the order of the Planck density. As a result, there were gravitational instabilities in which dimensional transitions occurred. It should be taken into account that the early universe consists only of photons and black holes. Photons are bosons. The quantum physical model for many bosons, such as photons, is the Bose gas model. Here we can study the dynamics of the early universe more accurately (Hans-Otto Carmesin (2020): The Universe Developing from Zero-Point Energy Discovered by Making Photos, Experiments and Calculations. Berlin: Verlag Dr. Köster). This research aims to determine and apply the critical densities of dimensional phase transitions in Bose gases with the use of a computer simulation. This new type of phase transitions could be used in the future to apply them to the horizon problem. This might accordingly lead to the solution of the problem without including a hypothetical entity such as the so called *inflation field*. The project is presented as an example for teamwork in an ensemble of projects in the field of quantum gravity that are carried out in a research club at our school.

1. Introduction

Since the Big Bang our universe expands, so that the light horizon becomes larger and is 4.5×10^{26} m large by now, although the light travel time amounts to only 13.8 billion years. If we trace the development of the size of today's light horizon back in time with general relativity through the Friedmann-Lemaître equation to the Planck length l_P , this length would be reached at a density which would be significantly larger than the Planck density ρ_P (see figure 1.1). Already below a light horizon of 0.000014524m the Planck density would be exceeded with this model. But since no density can be larger than the Planck density a calculation with the general relativity theory is insufficient, and describes only the range of the light horizon with a size of 0.000014524m to 4.5×10^{26} m.

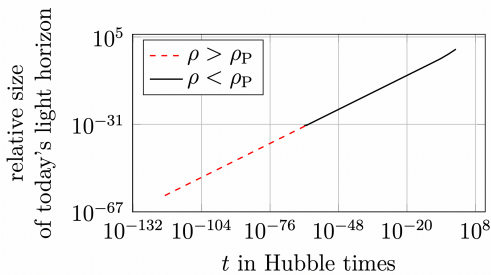


Fig.1: Time back tracing of today's light horizon according to the Friedmann-Lemaître equation. Both axes are logarithmically scaled

The range between 1.616×10^{-35} m and 0.000014524m cannot be modeled with the general theory of relativity, so that the dynamic factor of $0.000014524\text{m} \div 1.616 \times 10^{-35}\text{m} = 8.71616 \times 10^{29}$ is not explained [Heeren et al., 2020].

Instead, another dynamic explains the rapid increase of the light horizon in the early universe. Quantum gravity allows to model dimensional phase transitions that can describe the missing factor below 0.000014524m [Schöneberg and Carmesin, 2020]. Thus, after the Big Bang, the universe had a high spatial dimension due to its high density. However, by increasing the distances, the density becomes lower, so that a gravitational instability occurs and a lower dimension becomes energetically more favorable. It follows that our three-dimensional space follows directly from the space dynamics. Dimensions $D \geq 3$ have already been experimentally proven [Lose et al., 2018], [Zilberberg et al., 2018]. To accurately model space dynamics in the early universe, it is essential to include the composition of space. Instead of our present heavy elementary particles, which did not exist in the early universe, the energy was present in photons and black holes. Since photons are bosons, a calculation in the Bose gas model with consideration of interactions is reasonable. The goal of the project is to model the early universe by determining the critical densities of dimensional phase transitions in Bose-gases and applying the critical densities to the time course of the universe. The project is particularly interesting because the new insights into the early

universe may be purposeful in explaining the rapid increase in distances in the early universe. Furthermore, the phase transitions could be applied to the horizon problem so that it can be solved in the future.

2. State of Research

2.1. Increase of distances in the early universe and the horizon problem

In 1981 Alan Guth found out that in the early universe a fast increase of the distances by a factor of 10^{28} occurred [Guth, 1981]. This time is called "cosmic inflation" since then. However, since it is not an inflation of the space (lat. inflatus = expanded), but rather a rapid increase of the distances in the space, the term is inapplicable. In the publication Guth already points out that the enlargement of the distances in the early universe cannot be explained with usual physical concepts. Also, the high degree homogeneity of the structures and isotropy of the background radiation cannot be justified with a simple expansion model by the Friedmann-Lemaître equation. That problem is called horizon problem. To explain the increase of distances, the hypothesis of an inflation field was later proposed [Nanopoulos et al., 1983]. According to this hypothesis, space expanded by inflation due to a scalar field. The hypothesis of an inflation field with accompanying expansion would explain the increase of distances by a Distance Enlargement Factor Z, however, such a field cannot serve as a justification for the increase of distances, since a justification is always the consequence of a sound theory [Carmesin, 2020a], [Lipton, 1993]. The inflationary field hypothesis does not follow from generally accepted physical laws, nor have observations been made that would directly prove an inflationary field.

2.2. Dimensions over three by quantum gravity

Since the density in the early universe was very high, the modeling of the space dynamics must be quantized. The early universe consisted of a binary fluid of photons and black holes [Carmesin, 2020b]. The differential equation (2.1) describes the quantized dynamics of a pair consisting of two dynamical masses \tilde{M}_j , each of which can be either black holes or photons.

$$\frac{\hbar^2}{2m_j^2} \cdot \sum_{i=1}^{i=D} \partial_{x_i}^2 \Psi(\vec{r}_j) - G \cdot M_j \cdot r_j^{-1} \cdot \Psi(\vec{r}_j) = \frac{\tilde{E}_j}{m_j} \cdot \Psi(\vec{r}_j) \quad \{2.1\}$$

The wave function $\Psi_j(\vec{r}_j)$ describes the position \vec{r}_j of a mass m_j as a function of the neighboring mass M_j in the binary fluid [Carmesin 2020b, p. 200].

neighboring mass M_j in the binary fluid [Carmesin, 2020b, p. 200].

The special feature of this differential equation (2.1) is that the kinetic energy term $\frac{\hbar^2}{2m_j^2} \cdot \sum_{i=1}^{i=D} \partial_{x_i}^2 \Psi(\vec{r}_j)$

can be generalized for all Dimensions. The potential energy term can be generalized for all dimensions

$D \geq 3$. Thus, quantized space dynamics allows space dimensions beyond three. This suggests that our three-dimensional space is directly the result of space dynamics. The computationally possible dimensions $D \geq 3$ have already been experimentally demonstrated. For example, there are several scientific projects that have experimentally explored wave functions in dimensions $D \geq 3$ [Lose et al., 2018], [Zilberberg et al., 2018]. Accordingly, quantum objects do not only exist on paper beyond three dimensions.

3. Method

3.1. Energy between two adjacent objects in the early universe

When the density was $1/2 \geq \tilde{\rho}_D \geq 1/9047$ in the early universe, there was a binary fluid consisting of photons and black holes [Carmesin, 2020b, p. 144]. The entire energy of the universe was present in these particles. The goal is to calculate the energy E_{Dj} of a mass \tilde{m}_j with an associated radius \tilde{b}_j acting on an adjacent mass \tilde{M}_j with a radius \tilde{a}_j at a density $\tilde{\rho}_D$. Since the masses \tilde{m}_j and \tilde{M}_j in the early universe can only be photons (p) and black holes (b), there are four possible cases for a pair j of two dynamical masses:

- (bb) \tilde{m}_j and \tilde{M}_j are black holes
- (bp) \tilde{m}_j is a black hole and \tilde{M}_j is a photon
- (pb) \tilde{m}_j is a photon and \tilde{M}_j is a black hole
- (pp) \tilde{m}_j and \tilde{M}_j are photons.

The subject of this project is the analysis of the case (pp). Thus, the energy E_{Dj} between neighboring photons is calculated for different dimensions as a function of the density $\tilde{\rho}_D$ in order to determine the most energetically favorable spatial dimension for each density $\tilde{\rho}_D$.

3.2. Bose gas model

Photons have an integer spin and are therefore bosons. At thermal equilibrium, they satisfy the Bose-Einstein distribution [Bose, 1924]. They have the special property that they can overlap completely and thus occupy the same quantum mechanical position. The ideal Bose gas is the quantum mechanical equivalent of the ideal gas for many bosons [Bose, 1924].

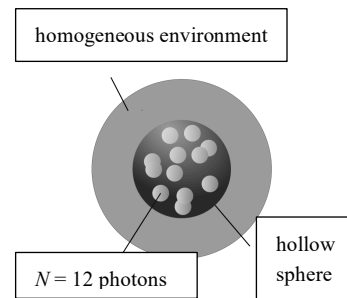


Fig.2: Bose gas with N photons in a hollow sphere with a homogeneous environment.

With an ideal gas, the interactions between particles are neglected. Phase transitions cannot be described with an ideal gas, because the interactions between the particles are responsible for them. Therefore, the bosons are modeled in the form of a quantum mechanical real gas. The interactions of the photons are combined to a resulting potential, in which the photons can interact independently. Since the interactions are gravitational, it is crucial that the modeling be done in a hollow sphere. In a hollow sphere with a homogeneous environment, no gravitational field from outside exists. Therefore, the hollow sphere is suitable to perform investigations with objects inside, which should not react to external gravitational effects. It is examined with this model, which dimension minimizes the energy in the Bose gas depending on the density. Since the model is a gas, a calculation of the gas pressure in dependence on the density for different dimensions is also purposeful.

3.3. Energy term for a reference photon in a Bose gas

The energy term of such a reference photon includes the kinetic energy E_{kin} , the potential energy E_{pot} and the zero-point energy E_{ZPE} . To derive the energy term, we first need the radius \tilde{a} of a dynamical mass \tilde{M} at a density $\tilde{\rho}_D$. The dynamical mass \tilde{M} of a quantum object is proportional to $1 \div \tilde{a}$. At the Planck length applies l_P , $\tilde{M} = 1 \div 2$ [Carmesin, 2020b]. If you add both ratios together, you get:

$$\tilde{M} = \frac{1}{2 \cdot \tilde{a}} \quad \text{for radiation} \quad \{3.1\}$$

Converting to radius \tilde{a} by multiplying by $\tilde{M} = \tilde{\rho}_D \times \tilde{a}_D$ gives:

$$\tilde{a} = \frac{1}{(2\tilde{\rho}_D)^{\frac{1}{D+1}}} \quad \text{for radiation} \quad \{3.2\}$$

The volume of the hollow sphere corresponds to 2^D times the volume of a single particle. However, in order for the density to remain constant, and not change with dimensional phase transitions, the number of possible states in the hollow sphere N must vary with dimension. It therefore follows for the model:

$$N = 2^D \quad \{3.3\}$$

Now we can calculate the potential energy \tilde{E}_{pot} , the kinetic energy \tilde{E}_{kin} and the zero-point energy \tilde{E}_{ZPE} of the reference photon. Since the kinetic energy \tilde{E}_{kin} of a photon is equal to the Planck constant h divided by the periodic time T , the scaled kinetic energy \tilde{E}_{kin} is identical to its scaled mass \tilde{M} :

$$\tilde{E}_{\text{kin}} = \tilde{M} = \frac{1}{2 \cdot \tilde{a}} \quad \{3.4\}$$

Of special importance for the energy term is the potential energy, because phase transitions are possible only by the gravitational interactions described by the potential energy phase transitions are possible. For the derivation of the potential energy E_{pot} first the energy of the interaction of a pair of two objects with a mass M and a distance R is needed:

$$E_{\text{pot}}(R) = -\frac{G_D \cdot M^2}{(D-2) \cdot R^{D-2}} \quad \{3.5\}$$

Converted into Planck units this corresponds to:

$$\tilde{E}_{\text{pot}}(\tilde{R}) = -\frac{\tilde{M}^2}{\tilde{R}^{D-2}} \quad \{3.6\}$$

We analyze one photon of the N photons in the center of the hollow sphere, this serves as a reference object. The other particles are randomly distributed in the hollow sphere - since it is a real Bose gas. The averaged potential energy \tilde{E}_{pot} of a reference photon with the other photons is determined accordingly. It holds [Carmesin, 2020b]:

$$\tilde{\tilde{E}}_{\text{pot}} = \frac{\int_0^{\tilde{r}} \tilde{E}_{\text{pot}}(\tilde{R}) \tilde{R}^{D-1} d\tilde{R}}{\int_0^{\tilde{r}} \tilde{R}^{D-1} d\tilde{R}} \quad \{3.7\}$$

Next, we insert equation (3.6). This gives:

$$\tilde{\tilde{E}}_{\text{pot}} = -\tilde{M}^2 \cdot \frac{\int_0^{\tilde{r}} \tilde{R} d\tilde{R}}{\int_0^{\tilde{r}} \tilde{R}^{D-1} d\tilde{R}} \quad \{3.8\}$$

If the integrals are calculated, we get:

$$\tilde{\tilde{E}}_{\text{pot}} = -\tilde{M}^2 \cdot \frac{D}{2} \cdot \frac{\tilde{r}^2}{\tilde{r}^D} = -\tilde{M}^2 \cdot \frac{D}{2 \cdot \tilde{r}^{D-2}} \quad \{3.9\}$$

Next, we insert equations (3.1) and (3.2). For the radius \tilde{r} of the hollow sphere applies $\tilde{r} = 2 \cdot \tilde{a}$:

$$\tilde{\tilde{E}}_{\text{pot}} = -\frac{D}{2^{D+1}} \cdot (2 \cdot \tilde{\rho}_D)^{\left(\frac{D}{D+1}\right)} \quad \{3.10\}$$

With equation (3.10) we get the energy of the averaged gravitational interaction $\tilde{\tilde{E}}_{\text{pot}}$ of a photon to the surrounding photons depending on the density $\tilde{\rho}_D$ for different spatial dimensions. Now that we have calculated the kinetic energy and the potential energy, all that is missing is the zero-point energy E_{ZPE} . The zero-point energy is characterized by harmonic oscillators [Born and Jordan, 1925]. There are two main reasons for this. First, the quantized electromagnetic field is modeled by harmonic oscillators. Second, the harmonic potential of a zero-point oscillation is enabled in a very good approximation by the high density [Carmesin, 2018], [Carmesin, 2019], [Carmesin and Carmesin, 2020]. For the harmonic oscillator, [Casimir, 1948] holds:

$$E = \frac{\hbar \cdot \omega}{2} \quad \{3.11\}$$

Since photons are transversal waves, there is transversal polarization. Therefore, there are $D-1$ polarizations. It follows accordingly:

$$E_{\text{ZPE}} = \frac{\hbar \cdot \omega}{2} \cdot (D-1) \quad \{3.12\}$$

Converted into Planck units, it follows approximately:

$$\tilde{\tilde{E}}_{\text{ZPE}} = \frac{1}{2} \cdot (D-1) \quad \{3.13\}$$

The averaged energy $\tilde{\tilde{E}}$ of the reference photon in the Bose gas can now be calculated adding up kinetic- (3.4), potential- (3.7) and zero-point-energy (3.13):

$$\tilde{\tilde{E}} = \tilde{\tilde{E}}_{\text{kin}} + \tilde{\tilde{E}}_{\text{ZPE}} + \left(\frac{N-1}{2} \cdot \tilde{\tilde{E}}_{\text{pot}}\right) \quad \{3.14\}$$

The factor $N-1$ is given by the fact that the calculated potential energy so far describes the gravitational interaction of two particles. Since there are N objects in

the Bose-gas, the potential energy must be correspondingly valid for a reference photon with N neighboring objects. Therefore, the potential energy \tilde{E}_{pot} for two particles is first halved, so that half is assigned to each particle. Then it is multiplied by $N-1$ to obtain the interaction of a reference photon for N photons. The subtrahend -1 results from the fact that the photon does not interact with itself. For the complete energy term, in addition to equations (3.4), (3.9) and (3.13), we add the radius $r = 2 \cdot \tilde{a}$ and equation (3.3) for the hollow sphere:

$$\tilde{E} = \frac{1}{2\tilde{a}} + \frac{(D-1)}{2} - (2^D - 1) \cdot \left(\frac{D}{2^{D+1}} \cdot (2 \cdot \tilde{\rho}_D)^{\frac{D}{D+1}} \right) \quad \{3.15\}$$

3.4. Simulation of dimensional phase transitions

The computer simulation of the model was initially done using the spreadsheet program Excel. However, using Excel is relatively impractical. For example, the range of density to be simulated cannot be easily adjusted, so that a small change is very time-consuming. Adjusting the formulas used is also time-consuming, as each adjustment must be made separately for each dimension. In order to automate the simulation and increase its accuracy, it was essential to switch from Excel to a programming language. Thus, the R language was chosen for this project. R is an open-source scripting language for scientific and statistical calculations. Because of R's wide range of functions adapted to calculations, the simulation could not only be reproduced with R but also completely automated. The accuracy with which the calculation runs could also be improved. The most accurate simulation to date calculates the range between $0.44\tilde{\rho}_D$ and $0.5\tilde{\rho}_D$ in 60,000,000 steps. In the Excel calculation, this would correspond to 60,000,000 lines. This accuracy is sufficient for the critical densities up to dimension 33. In another calculation realized with R, the calculated critical densities are applied to the time course of today's light horizon. In doing so, the dimension is dynamically adjusted with the density as a function of time, so that a time course of the light horizon is created that takes higher dimensions into account.

4. Results

4.1. Minimizing the pressure through a dimensional transition

Figure (3) shows the gas pressure \tilde{p} as a function of the density $\tilde{\rho}_D$ for dimensions 3 and 4. At a low density, the third dimension minimizes the pressure. The simulation shows that at a very high density, the pressures of the two dimensions converge until the dimensions coincide at a point - the critical density. Above the critical density, the fourth dimension minimizes the pressure. This can be clearly seen in the figure. A principle in nature is that in a system basically the energetically lowest state is adopted. At low density, this is the third dimension. Starting from the critical density, however, the fourth dimension is

energetically more favorable. Therefore, a dimensional transition from the third to the fourth dimension follows together with a gravitational instability.

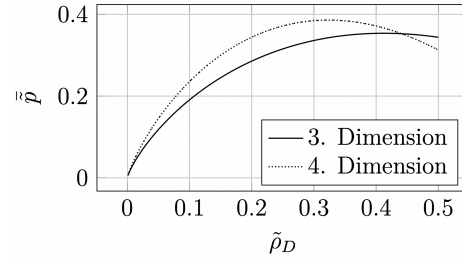


Fig.3: Pressure \tilde{p} as a function of density $\tilde{\rho}_D$ for dimension 3 and 4

4.2. Dimensional condensation of photons

The phase transitions occur largely analogously to condensation in the case of water. At very low density, water is present in gaseous form. A phase transition happens when the density is increased. At a critical point, the water becomes liquid. In the same way as for the dimensional phase transitions, the interactions of the water molecules are also responsible for the condensation.

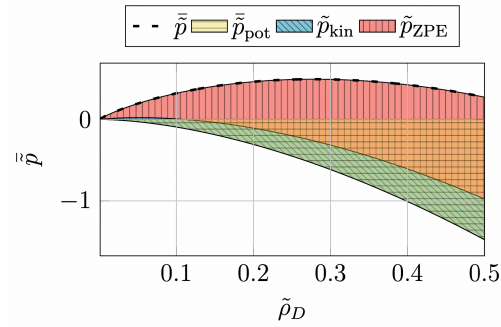


Fig.4: Proportions of the gas pressure \tilde{p} of a reference photon in the Bose gas as a function of density $\tilde{\rho}_D$. Potential pressure \tilde{p}_{pot} , kinetic pressure \tilde{p}_{kin} and zero-point pressure \tilde{p}_{ZPE} are added up in a staggered manner, respectively.

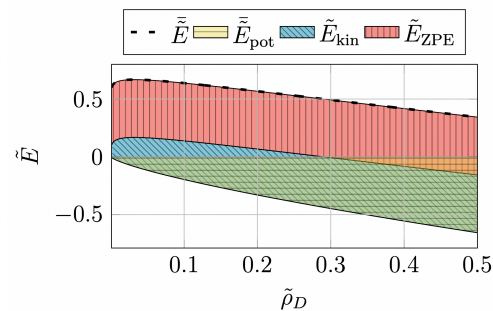


Fig.5: Proportions of the averaged energy \tilde{E} of a reference photon in the Bose gas as a function of density $\tilde{\rho}_D$. Potential energy \tilde{E}_{pot} , kinetic energy \tilde{E}_{kin} and zero-point energy \tilde{E}_{ZPE} are added up in a staggered manner, respectively.

At very low density, kinetic energy also predominates in water. Due to the motion, the particles remain at a distance. However, if the molecules are close together

due to high density, hydrogen bonds occur and the particles attract each other due to the strong interaction. Figure (4) illustrates the fractions of the averaged pressure \bar{p} as a function of the density $\tilde{\rho}_D$ for the third dimension. The proportions are staggered and added on top of each other.

The dimensional condensation in photons can be illustrated as follows:



Fig.6: One-dimensionally arranged particles

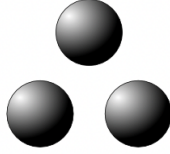


Fig.7: Two-dimensionally arranged particles

The particles in figure (6) are arranged one dimensionally and attract each other with E_{pot} and repel each other with E_{kin} . As the density is increased, E_{pot} becomes larger than E_{kin} . Thus, small distances minimize the energy. By a transition to a two-dimensional arrangement (figure (7)), these distances decrease correspondingly by increasing the number of directly neighboring particles. Therefore, above a critical density, a higher dimension or, in the case of water, the aggregate state change is energetically more favorable. In contrast to water, photons of course do not form droplets at a transition; however, it is decisive that in both systems the symmetry changes at a transition. At a certain density, the Bose gas has the same pressure and energy, respectively, for dimensions 3 and 4. Using computer simulation, we can determine that this critical density is $\tilde{\rho}_{3,\text{krit}} = 0.44097$. Analogous to the dimensional phase transition from the third dimension to the fourth dimension, dimensional phase transitions to higher dimensions also occur as the density is further increased (Figure (8)).

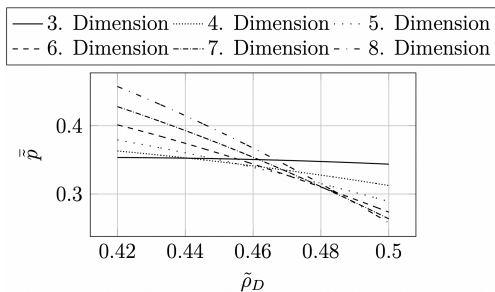


Fig.8: Pressure \bar{p} as a function of density $\tilde{\rho}_D$ for different dimensions

The next dimensional phase transition from the fourth to the fifth dimension occurs at a critical density $\tilde{\rho}_{4,\text{krit}}$ of 0.45564. The subsequent critical density is $\tilde{\rho}_{5,\text{krit}} =$

0.47002. All dimensional transitions from the transition from the 18th to the 19th dimension occur at a critical density $\tilde{\rho}_D$ in the interval of 0.49999 and 0.5. For example, the critical density $\tilde{\rho}_{21,\text{krit}}$ is 0.49999762. If we plot the dimension D as a function to the critical density $\tilde{\rho}_{D,\text{krit}}$ we can directly see that the dimension increases with density (Figure (9)).

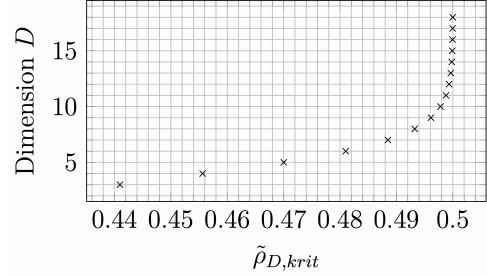


Fig.9: Critical densities $\tilde{\rho}_{D,\text{krit}}$ as a function of dimension D

Concluding from this, there was a dimensional unfolding sequence due to the high density in the early universe. At the beginning the space of the universe was folded into a high space dimension. As described by the Friedman-Lemaître equation, there was a slow expansion so that the density decreased. Due to the decreasing density, eventually a lower space dimension became energetically more favorable and minimized the pressure. A gravitational instability occurred and the smaller space dimension was adopted. Subsequently, at the next critical density, space assumed the next lower dimension, so that a series of dimensional transitions - each from a higher dimension $D + s$ to a lower dimension - occurred. As mentioned, the process was also calculated using an R simulation. Figure (10) shows the corresponding time course with dimension transitions. This process continued until the third dimension was reached. Including dimension transitions in the early universe, our third-dimension results directly from space dynamics. The Distance Enlargement Factor Z resulting from the dimension transitions is $Z = 7.985698 \times 10^{29}$.

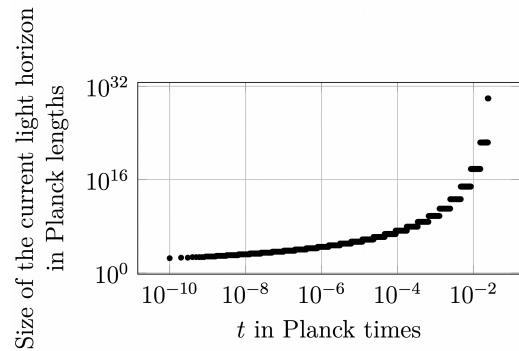


Fig.10: course of today's light horizon including dimensional transitions. Both axes are logarithmically scaled

4.3. Comparison to the “Cosmic Inflation”

The dependency of the dimensions to the density gives a significant impulse for the modelling of the

distance enlargement in the early universe. So far, the rapid enlargement of the universe after the Big Bang is often explained by the inflation field hypothesis. In table 1 the model presented here is compared with the "cosmic inflation".

| Dimensional transitions | "Cosmic Inflation" |
|---|---|
| The model presented here can be completely derived from general relativity and quantum physics. | The "cosmic inflation" does not follow from known physical laws and has no theoretical basis. and is based on hypotheses instead. |
| Higher dimensions have already been demonstrated experimentally. | An inflation field that could have caused the cosmic inflation has not been experimentally confirmed. |
| Distance increases due to dimensional transitions satisfy the law of conservation of energy, since the volume does not change in these. | With the "cosmic inflation" there is the reheating problem. By the expansion of the distances the temperature would have decreased, so that it would be colder today. |
| When explaining the distance enlargement with dimensional transitions, no parameter estimations are necessary. | To solve the reheating problem, further hypothetical fit parameters have to be used. |

Tab.1: Comparison of Dimensional Phase Transitions in Bose gases and Cosmic Inflation

Against the background that an inflation field neither follows from physical laws, it is accordingly estimated as a hypothesis [Tanabashi et al., 2018]. Along with this, for example, the reheating problem cannot be solved because the nature of cosmic inflation is unknown. There is no empirical evidence for other hypotheses that contradict the inflation model, such as explaining the early universe with a variable speed of light [Albrecht and Magueijo, 1999]. The model presented here, on the other hand, can be derived directly from two very sound theories; quantum physics and gravity. By the described dimensional unfolding sequence, the distances have increased by a factor of 7.985698×10^{29} without the space having expanded. Thus, for the justification of the increase of the distances in the early universe by a factor of 8.71616×10^{29} the inflation field hypothesis must not be used any more, rather this factor results directly from the quantum gravity. Another advantage of the dimensional phase transitions is that these also

explain how the light waves could thermalize the horizon of the expanding universe since the time of the Big Bang. The inflation hypothesis was developed not least because of the horizon problem. But also, the here calculated time course with dimension transitions solves the horizon problem. This was the subject of the Jugend forscht project "Solution to the Horizon Problem" by Philipp Schöneberg. Here the calculations were already successfully applied to the horizon problem. The problem was thus solved [Schöneberg, 2021].

5. Conclusion

The subject was the investigation of the early universe with the help of dimensional transitions within the framework of a Jugend forscht project. Specifically, since the early universe consisted to a large extent of photons, this was done using a Bose gas. The aim was to find out how the spatial dimensions behave as a function of density and what implications this has for the dynamics of space. In order to answer this research question, a Bose gas was modeled with which the energy in the gas and the gas pressure can be determined as a function of the density. The calculation has taken the form of a computer simulation using R. It shows that the dimensions depend on the density and increase with increasing density. The transition from one dimension to another dimension takes place by the concept of a condensation. Finally, the results show that there was a dimensional unfolding sequence in the early universe due to the decreasing density $\bar{\rho}_D$ originating from the expansion. This provides an important input to the study of the early universe. Along with the dimensional unfolding, the distances became larger by a factor of 7.985698×10^{29} . This dynamic makes the hypothesis of an inflationary field unnecessary, as the problem has already been solved by quantum gravity. In contrast to the inflation field hypothesis, the model presented here is completely derived from known laws of physics. Furthermore, the model also solves the horizon problem. In the future, the simulation can be improved to optimize the model.

6. Bibliography

- Albrecht, A. and Magueijo, J. (1999). A Time varying speed of light as a solution to cosmological puzzles. *Physical Review D*, 59:043516.
- Born, M. and Jordan, P. (1925). Zur Quantenmechanik. *Zeitschrift für Physik*, 34(1):858–888.
- Bose, S. (1924). Plancks Gesetz und Lichtquantenhypothese. *Zeitschrift für Physik*, 26(1):178–181.
- Carmesin, H.-O. (2018). Entstehung der Raumzeit durch Quantengravitation - Theory for the Emergence of Space, Dark Matter, Dark Energy and Space-Time. Verlag Dr. Köster.

- Carmesin, H.-O. (2019). Die Grundschrwingungen des Universums - The Cosmic Unification. Nummer 1 in Universe: Unified from Microcosm to Macrocosm. Verlag Dr. Köster.
- Carmesin, H.-O. (2020a). Explanation of the Rapid Enlargement of Distances in the Early Universe. In PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung, Seiten 11–17. Deutsche Physikalische Gesellschaft, V. Nordmeier and H. Grötzebauch.
- Carmesin, H.-O. (2020b). The Universe Developing from Zero-Point Energy Discovered by Making Photos, Experiments and Calculations. Nummer 3 in Universe: Unified from Microcosm to Macrocosm. Verlag Dr. Köster.
- Carmesin, M. and Carmesin, H.-O. (2020). Quantenmechanische Analyse von Massen in ihrem eigenen Gravitationsfeld. In PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung, Seiten 43–46. Deutsche Physikalische Gesellschaft, V. Nordmeier and H. Grötzebauch.
- Casimir, H. (1948). On the Attraction Between Two Perfectly Conducting Plates. *Indag. Math.*, 10:261–263.
- Guth, A. H. (1981). Inflationary universe: A possible solution to the horizon and flatness problems. *Phys. Rev. D*, 23:347–356.
- Heeren, L., Carmesin, H.-O., and Sawitzki, P. (2020). Comprehensive Derivation of a Density Limit of the Evolution of Space. In PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung, p. 39–42. Deutsche Physikalische Gesellschaft, V. Nordmeier and H. Grötzebauch.
- Lipton, P. (1993). *The British Journal for the Philosophy of Science*, 44(3):585–588.
- Lose, M., Schweizer, C., and Price, H. (2018). Exploring 4D quantum Hall physics with a 2D topological charge pump. *Nature*, (553):55–58.
- Nanopoulos, D., Olive, K., and Srednicki, M. (1983). After primordial inflation. *Physics Letters, Section B: Nuclear, Elementary Particle and High-Energy Physics*, 127(1-2):30–34.
- Schöneberg, P. (2021). Lösung des Horizontproblems.
- Schöneberg, P. and Carmesin, H.-O. (2020). Solution of a Density Problem in the Early Universe. In PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung, p. 19–27. Deutsche Physikalischen Gesellschaft, V. Nordmeier and H. Grötzebauch.
- Tanabashi, M., Grp, P., Hagiwara, K., Hikasa, K., Nakamura, K., Sumino, Y., Takahashi, F., Tanaka, J., Agashe, K., Aielli, G., Amsler, C., Antonelli, M., Asner, D., Baer, H., Banerjee, S., Barnett, R., Basaglia, T., Bauer, C., and Beatty, J. (2018). Review of Particle Physics: Particle Data Group. *Physical Review D*, 98.
- Zilberberg, O., Huang, S., and Guglielmon, J. (2018). Photonic topological boundary pumping as a probe of 4D quantum Hall physics. *Nature*, (553):59–62.

Solution of the Horizon Problem

Philipp Schöneberg*, Hans-Otto Carmesin**,***

*Gymnasium Athenaeum, Harsefelder Str. 40, 21680 Stade,

**Studienseminar Stade, Bahnhofstr. 5, 21682 Stade,

***Universität Bremen, 28334 Bremen

philipp.schoeneberg@athenetz.de, Hans-Otto.Carmesin@athenetz.de

Kurzfassung

In unserem Beitrag stellen wir eine Lösung des seit 1970 bekannten Horizontproblems vor, welches die Frage aufwirft, wie die Lichtwellen seit dem Zeitpunkt des Urknalls den Horizont des expandierenden Universums thermalisieren konnten. Unser Lösungsweg bedient sich Berechnungen, Diagrammen, sowie eines eigens entwickelten Zeitverlaufs. Diesen haben wir bereits in dem Beitrag „Solution of a Density Problem in the Early Universe“ in der Zeitschrift PhyDid B pp. 43-46 (Frühjahrstagung 2020) vorgestellt. In diesem Zeitverlauf nutzen wir dimensionale Übergänge, welche im direkten Zusammenhang zur Größe des Universums und der somit von den Lichtwellen zu überwindenden Distanz stehen. Dadurch können wir darstellen, wie durch die anfänglich großen Dimensionen, die Distanzen gering waren und die Lichtwellen früh den Horizont thermalisieren konnten.

Abstract

In our article we will show a solution for the horizon problem. The problem is known since 1970. It's about the question how the light waves could thermalize the whole expanding universe since the big bang. Our solution will use calculations, diagrams and a new self-designed time evolution. We had shown this time evolution in the article “Solution of a Density Problem in the Early Universe” out of the journal PhyDid B pp. 43-46 (spring conference 2020). In this time evolution we use dimensional transitions, which are connected to the size of the universe. So it also is connected to the distance which has to be reached from the light. With those methods we can explain how the early big dimensions could take care for the small distances and how the light was able to thermalize the space within horizon.

1. Introduction

Since 1970 the horizon Problem exists. This describes the problem that the General Relativity Theory, GRT (Einstein, 1915), can't describe how the light waves could thermalize the visible universe since the big bang.

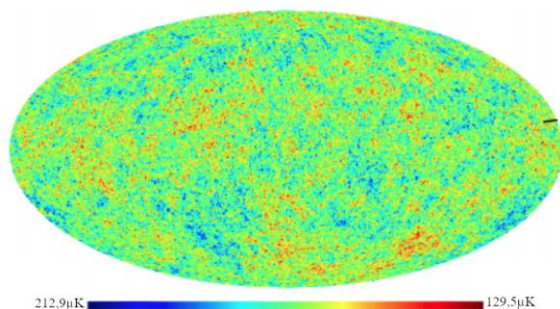


Fig. 1: Cosmic microwave background (Courtesy NASA/JPL-Caltech, Pietrobon 2012, 7 year WMAP)

This Fig. shows the cosmic microwave background of within the light horizon of the years 2001 to 2010. The Nasa indicates that the measurements have temperature fluctuations of maximum 200 micro kelvin. This confirms the horizon problem with the essential fact that the whole space within the light horizon is completely thermalized. In this article we will show different time evolutions and their capability to explain and solve the horizon problem. Our time evolutions show the evolution of the light horizon and the light path which is the covered track of light by time.

2. Methods and Calculations

2.1. Method

To decide whether a time evolution can solve the horizon problem it's necessary to compare the length of the radius of the light horizon with the length of the light path. Because if the radius of the light horizon is longer than the light path, the light

waves weren't able to thermalize the whole space within the light horizon because they didn't cross it completely. But if the lightpath in any time is equal or longer than the radius of the light horizon the light waves have crossed the whole light horizon and have thermalized it. So the horizon problem would be solved. This means it's necessary to compare the lengths of the radius of the light horizon and the light path in any time. Because the length of the radius of the light horizon is known (Carmesin, 2019 and Sawitzki with Carmesin 2021) it's only necessary to calculate the lengths of the lightpath.

2.2. Definitions and requirements

For the calculations it is needful to use some known values like the following constants (Fig. 2).

Constants

| | |
|----------|----------|
| r_{LH} | 4,14E+26 |
| cc | 3,00E+08 |
| L_P | 1,62E-35 |
| t_P | 5,39E-44 |

Fig. 2: All used constants. r_{LH} is the current radius of the light horizon, cc the speed of light, L_P the Planck length and t_P the Planck time.

Further requirements for the calculations are the time and associated radius of the light horizon values (Carmesin, 2019 and Sawitzki with Carmesin, 2021). Also we need values to different used dimensions (Schöneberg with Carmesin, 2020) because they have direct influences of the lengths of the light path and radius of the light horizon. Dimensions are like a folded paper. In our third dimension the paper would be folded three times and if the density in our universe is getting higher until a critical density a dimensional transition occurs and the dimension changes into the next higher dimension. So in our example the paper would fold again and the distances between two points get much smaller.

2.3. Calculations

To calculate the light path in a special time period it's necessary to multiply the speed of light with the difference of the start time value and end time value of this period. Because the universe expands since the big bang (Hubble, 1929) and the expanding affects all paths in the universe, it's required to apply this on the light path. After that we get the expanded light path in a special time period. Because the light didn't move only in a special period but the whole time since the begin of the universe it's needful to add all of these periods since the big bang to the time period with the redshifted (Einstein, 1915) recording of the cosmic microwave background together. So now we get the final time path to compare with the radius of the light horizon. (Fig. 3).

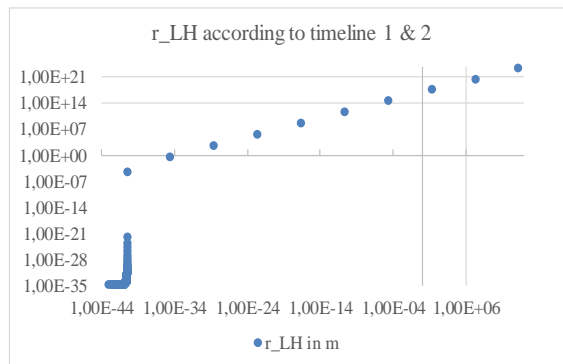


Fig. 3: Diagram of the length of the radius of the light horizon according to the time of the time evolution 1 and 2. The x-axis shows the time in Planck time and the y-axis the matching radius of the light horizon in meter.

2.4 Evolution of the light horizon

The evolution of the light horizon is composed of different calculations and time evolutions. So the upper part of Fig. 3 (Fig. 4) is a derivation of the GRT (Heeren, Sawitzki and Carmesin, 2020).

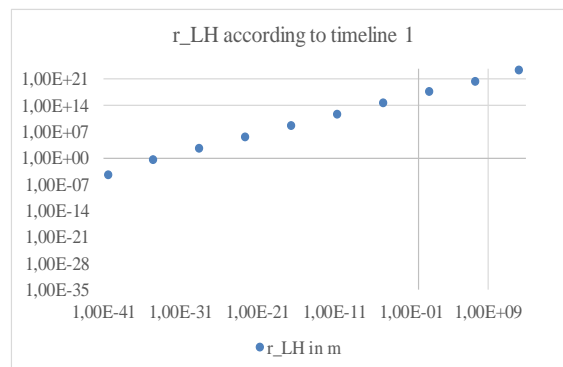


Fig. 4: Diagram of the length of the radius of the light horizon according to the time of the time evolution 1. The x-axis shows the time in Planck time and the y-axis the matching radius of the light horizon in meter.

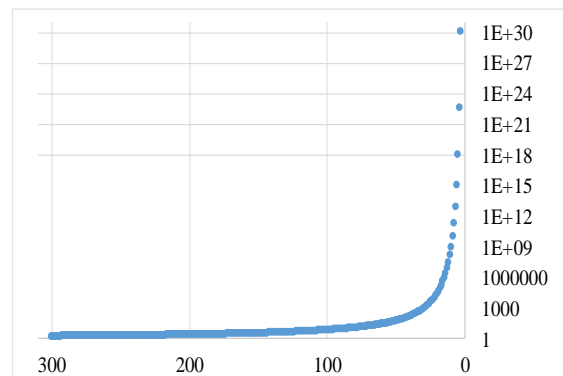


Fig. 5: Graph of the dimensional transitions and matching distance enlargements of the lower part of the graph in Fig. 3. On the x-axis are the dimensions and on the y-axis the length of the light horizon.

The lower part of the graph in Fig. 3 is composed of the time and radius of the light horizon values (Carmesin 2019). Further this part includes dimensional transitions and resulting great distance changes (Fig. 5) (Schöneberg with Carmesin, 2020).

3. Tested time evolutions

3.1. Time evolution 1

The first time evolution is described of the GRT and a replication of known information to compare it with the other time evolutions. It shows an evolution in the third dimension, which is stopped at a certain point (begin of the upper part of the graph in Fig. 3) because it reached the maximal density, the half Planck density. So this time evolution is limited that it never could reach the minimal observable length (Heeren, Sawitzki and Carmesin, 2020), the Planck length (begin lower part of the graph in Fig. 3). After the use of the explained calculation we can see that the horizon problem isn't solved by this time evolution. This shows the following diagram (Fig. 6) because every time the lightpath is shorter than the radius of the light horizon.

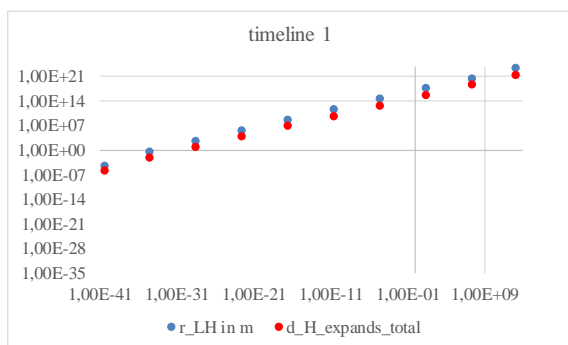


Fig. 6: Diagram of the time evolution 1. The x-axis shows the time in Planck times and the y-axis the length in meter. The blue graph represents the radius of the light horizon and the red graph the light path.

3.2. Time evolution 2

This time evolution also describes the evolution of the light horizon according to the GRT. The difference this time is that it also uses the distance enlargements by the dimensional transitions which begins at the 301st dimension and ends at the 3rd dimension (Fig. 5). The values in this time evolution are based on an approximation of two particles (Carmesin 2019). It is important that dimensional transitions always occur at critical densities, this means that this time evolution doesn't have the problem of the limitation by the maximal density. After the calculations the diagram (Fig. 7) shows us that this time evolution can solve the horizon problem, because the length of the lightpath is always longer than the length of radius of the light horizon.

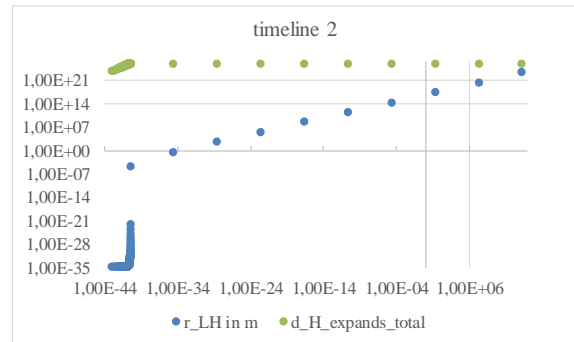


Fig. 7: Diagram of the time evolution 2. The x-axis shows the time in Planck times and the y-axis the length in meter. The blue graph represents the radius of the light horizon and the green graph the light path.

3.3. Time evolution 3

The third time evolution describes a nearly similar evolution as the second. So it also describes the evolution of the light horizon according to the GRT supplemented by the dimensional transitions of the dimensions from the 301st to the 3rd. The only difference between those time evolutions is that their values are based on different approximations. So the values of this time evolution are based on a quantum gas which is a gas of quantum objects. Normally there are two quantum gases, the Fermi gas and the Bose gas. The Fermi gas is out of fermions and the Bose gas includes bosons. The difference is that much bosons can fill the same place but only one fermion can be in one place in the same state. Because the phase of dimensional transitions is in a density above a quarter Planck density also bosons can only stay solo in one place and the difference between the both quantum gases disappears. That means that the values don't change by using different quantum gases and we can use these values according to an approximation of a Bose gas. The use of values with such an approximation enables the possibility of any accuracy which is in that case one with $2^{\text{Dimension}}$ particles. Because the calculation of the values needs much time we currently have the values of the dimension 3 to 32 (Sawitzki, Carmesin 2021). So probably the length of the light path will increase a lot, after adding the other values of the dimensions 33 to 301. But even without them, after calculating the light path, we can see that at the beginning the lightpath is much longer than the radius of the light horizon (Fig. 8). Furthermore, we can see that after a while the light horizon gets larger than the lightpath. But for the solution of the horizon problem it doesn't change anything because if the lightpath is in some time larger than the radius of the light horizon the light has thermalized it. Even the light horizon gets larger by expanding, all

distances in it will expand too and because all distances which get larger are thermalized, all new distances are also thermalized.

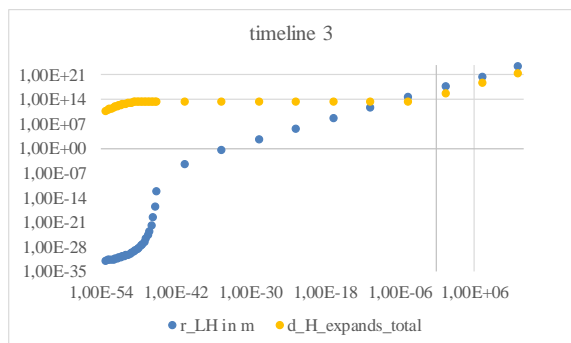


Fig. 8: Diagram of the time evolution 3. The x-axis shows the time in Planck times and the y-axis the length in meter. The blue graph represents the radius of the light horizon and the yellow graph the light path.

4. Solutions

The check of time evolution one to three shows that the time evolution one only according to the GRT can't solve the horizon problem and meanwhile confirm it. But because in that case we got the same solution than the known information's, we know that our calculations method was right. Also we got the solution that the time evolutions two and three which uses the GRT supplemented by the dimensional transitions can solve the horizon problem. This shows clearly that the solution of the horizon problem is provided by the dimensional transitions. Because the dimensional transitions are part of the quantum gravity we can conclude that the limitation of the GRT to the gravitation in the macrocosm is the cause of the horizon problem.

5. Discussion of results

The accuracy of the solution is very important. So the time evolution two has a limited accuracy because its values are based on an approximation of two particles. But because of the approximation of the time evolution 3 which is based on a Bose gas we know that the horizon problem is also solved at a high accuracy.

6. Literature

- Carmesin, Hans-Otto (2019): Die Grundschwingungen des Universums-The Cosmic Unification-With 8 fundamental Solutions based on G, c
- Carmesin, Hans-Otto (2020): The Universe Developing from Zero-Point Energy
- Carmesin, Hans-Otto (2021): Quanta of Spacetime Explain Observations, Dark Energy, Gravitons and Nonlocality

Einstein, Albert (1915): Die Feldgleichungen der Gravitation. In: *Sitzungsberichte der Preuss. Akademie der Wissenschaften* (1915), S. 844-847

Heeren, Laurie; Sawitzki, Paul and Carmesin, Hans-Otto (2020): Comprehensive Derivation of a Density Limit of the Evolution of Space. *PhyDid B*, pp. 39-42.

Hubble, Edwin (1929): A relation between distance and radial velocity among extra-galactic nebulae. In: *Proc. of National Acad. of Sciences 15* (1929), S. 168-173

Pietrobon, Davide and others (2012): Analysis of WMAP 7 year temperature data: Astrophysics of the galactic haze. *The Astrophysical Journal*, 755(1), p. 69. JPL image use policy: Unless otherwise noted, images and video on JPL public websites (public sites ending with a jpl.nasa.gov address) may be used for any purpose without prior permission, subject to the special cases noted below (concerning the NASA logo only). Publishers who wish to have an authorization may print this page and retain it for their records. URL: <https://dus.jpl.nasa.gov/projects/cmb/> (Download 15.08.2021)

Sawitzki, Paul; Carmesin, Hans-Otto (2021): Modeling the early universe using dimensional transitions in interacting Bose gases. *Phy Did B*

Schöneberg, Philipp and Carmesin, Hans-Otto (2020): Solution of a Density Problem in the Early Universe. *PhyDid B*, pp. 43-46.

Modellierung naturwissenschaftlicher Leistungs- und Begabungspotenziale im Kita- und Grundschulalter

Tobias Mehrrens, Freya Müller, Daniel Rehfeldt, Hilde Köster

Freie Universität Berlin, Habelschwerdter Allee 45, 14195 Berlin
t.mehrrens@fu-berlin.de, freya.mueller@fu-berlin.de,
daniel.rehfeldt@fu-berlin.de, hilde.koester@fu-berlin.de

Kurzfassung

In den Teilprojekten 3 und 9 des durch das BMBF geförderten Verbundprojekts ‚Leistung macht Schule‘ (LemaS) am Standort Freie Universität Berlin werden Lernsettings und damit verbundene Diagnoseformate zur Erfassung und Beschreibung naturwissenschaftsbezogener (Leistungs-) Potenziale bei Kindern in der Kita und im Übergang von der Kita in die Grundschule (Teilprojekt 3) sowie im naturwissenschaftlichen Sachunterricht in der Grundschule (Teilprojekt 9) entwickelt. Mit den kooperierenden Kitas und Grundschulen werden die entwickelten Instrumente erprobt, evaluiert und entsprechend des Design-Based-Research Ansatzes (Reinmann, 2005) weiterentwickelt. Aufgrund fehlender konkreter Hinweise dazu, wie naturwissenschaftsbezogene (Leistungs-) Potenziale in Kita und Grundschule systematisch und theorie- sowie evidenzbasiert identifiziert werden können (Höner, 2015, 59), wurde u.a. in Anlehnung an das Modell zur mathematischen Begabung im Grundschulalter nach Käpnick (2014) sowie unter Berücksichtigung von Annahmen zu naturwissenschaftsbezogenen Begabungen (Wegner, 2014; Labudde, 2014; Kirchner, 2006) im Rahmen des Teilprojektes 9 bereits ein erstes theoriebasiertes Modell naturwissenschaftsbezogener (Leistungs-) Potenziale für die Grundschule entwickelt (Mehrrens et al., 2021). Dieses Modell wurde nun unter Einbeziehung aktueller fachdidaktischer Debatten im Kontext der inklusiven und potenzialorientierten Begabungsförderung (Benölken & Veber, 2021, S. 56) weiterentwickelt und um Merkmale naturwissenschaftsbezogene (Leistungs-) Potenziale von Kindern im Kitaalter (Fuchs, 2015; Anders et al., 2013; Fthenakis et al., 2009; Steffensky, 2017) ergänzt. Dieses Modell wird im weiteren Projektverlauf empirisch geprüft und weiterentwickelt.

1. Von der (Hoch-) Begabungsförderung zur inklusiven Potenzialorientierung

1.1 Theoretische Grundlagen der inklusiven Begabungsförderung

In der Literatur zur (Hoch-)Begabungsforschung und -förderung fehlt es derzeit noch an Einheitlichkeit hinsichtlich der Definition der Begriffe ‚(Hoch-)Begabung‘ und ‚Leistungspotenziale‘ (Schrittesser 2019, S. 56). Während in der älteren Literatur zumeist auf (Hoch-)Begabungen fokussiert wurde, werden in jüngeren Arbeiten und Publikationen zunehmend auch schulische Rahmenbedingungen wie z.B. die Inklusion berücksichtigt und fachspezifische Potenziale, Diagnosemöglichkeiten und Förderung domänenspezifischer Begabungen in der Schule diskutiert (Abels & Brauns, 2021; Benölken & Veber, 2021; Weigand, 2020). Korrespondierend mit der Vielfältigkeit der Beschreibung des Phänomens der Begabung in der Literatur, sind auch die Verfahren zur Feststellung von Begabung bzw. von (Leistungs-)Potenzialen je nach theoretischem Rahmen z.T. sehr unterschiedlich. Wurden in der Vergangenheit vornehmlich Intelligenzmessverfahren zur Identifikation von ‚Hochbegabten‘ eingesetzt, erweiterte sich das Spektrum der Feststellungsverfahren in den letzten

Jahrzehnten sowohl in der Wissenschaft, als auch in der Schulpraxis (Ziegler, 2018, S. 68) um Verfahren, die entweder die Schulleistung als Grundlage für die Identifikation von Begabungen heranziehen oder die Verfahren von Leistungs- und IQ-Messungen kombinieren. Einige Verfahren beziehen auch weitere als bedeutsam charakterisierte Merkmale, wie z.B. die Kreativität, in das Feststellungsverfahren mit ein (ebd., S. 68). Zusätzlich wird (Hoch-)Begabung in den meisten aktuellen Beiträgen nicht mehr als allgemeine Begabung, sondern als domänenspezifische Begabung oder domänenspezifisches Leistungspotenzial verstanden (Benölken & Veber, 2021, S. 47). Aufbauend auf Erkenntnissen der jüngeren Begabungsforschung und unter Berücksichtigung der (Weiter-)Entwicklung des Schulsystems, finden sich zudem vermehrt inklusivere Perspektiven auf (Hoch-)Begabung, die dieses Konstrukt offener fassen. Allerdings ist auch in diesen Ansätzen das Verständnis des Verhältnisses zwischen Potenzial, Begabung und Leistung divers.

Wir folgen dem Ansatz, der ‚Begabung‘ als Zuschreibung aufgrund der gezeigten Leistung (Performanz) auffasst, die ihren Ursprung in latenten (Leistungs-)Potenzialen hat (Abels & Brauns, 2021, S. 113;

Fränkel, 2019, S. 48). Fränkel fasst diese Ansicht wie folgt zusammen: „Begabung wird sichtbar, wenn die individuellen Begabungspotenziale gefördert werden konnten und sich in den Leistungsbereichen niederschlagen.“ (Fränkel, 2019, S. 48) Die in diesem Beitrag vorgeschlagene, bis zur empirischen Validierung zunächst nur hypothetische Modellierung naturwissenschaftlicher Begabung im Sachunterricht, schließt sich dieser Auffassung an, da sie erstens dem rekonstruktiven Charakter der Ermittlung von Potenzialen und Begabungen entspricht und wir davon ausgehen, dass im schulischen Rahmen – wie auch auf Kompetenzen – nur dann auf ein vorhandenes Potenzial geschlossen werden kann, wenn dieses in Leistung umgesetzt und so beobachtbar wird (Käpnick, 2014, S. 106). Die Annahme über das Vorhandensein einer besonderen Begabung erfolgt somit aufgrund erbrachter Leistungsexzellenz oder Hochleistung in einer Domäne. Zum Zweiten ermöglicht diese Definition einen stärker entwicklungsorientierten Blick auf vorhandene Potenziale (Abels & Brauns, 2021, S. 113; Benölken & Veber, 2021, S. 55) und ermöglicht auch eine Dekategorisierung und Relativierung von Labels wie ‚begabt‘, ‚normalbegabt‘ und ‚minderbegabt‘, die Lernenden zu einer bestimmten Zeit unter bestimmten Voraussetzungen zugeschrieben werden (Fraundorfer, 2019, S. 36).

1.2 Allgemeine Grundlagen des Modells naturwissenschaftlicher Begabung im Kita- und Grundschulalter

Das entwickelte Modell naturwissenschaftlicher Begabung im Kita- und Grundschulalter orientiert sich an aktuellen Modellen der Entwicklung und Beschreibung von Begabungen und Potenzialen aus der Erziehungswissenschaft und verschiedener Fachdidaktiken, die eine fachliche Nähe zum Sachunterricht aufweisen. Allen Modellen ist die Annahme einer dynamischen, durch persönliche und umweltbezogene Einflüsse geprägten und domänenspezifischen Entwicklung von (Leistungs-)Potenzialen bzw. Begabungen immanent (Fischer, 2015; Fuchs, 2006; Käpnick, 2014; Wegner, 2014). Käpnick unterscheidet beispielsweise für die Entwicklung mathematischer Begabung zwischen fördernden bzw. hemmenden und typprägenden intrapersonalen Katalysatoren, wie allgemeine physische, psychische, kognitive und persönlichkeitsprägende Grundkompetenzen, sowie fördernden bzw. hemmenden und typenprägenden interpersonellen Katalysatoren, unter denen etwa institutionalisierte Lerngelegenheiten, wie Kita und Schule, aber auch den Einfluss von einzelnen Personen und Ereignissen auf die Entwicklung der Lernenden gefasst werden (Käpnick, 2014, S. 104). Die Formulierung ‚typenprägend‘ bezieht sich auf Begabungstypen, die sich nicht nur durch besondere Leistungen in inhaltlichen Subdomänen auszeichnen, sondern auch unterschiedliche Arbeits- und Denkstile, etwa im Bereich der Problemlösefähigkeit und dem Vorgehen beim Lösen von Problemen aufweisen (Fuchs, 2006; Sjuts, 2017; Sumida, 2010). Käpnick

und Fuchs fassen in dem von ihnen entwickelten Modell mathematischer Begabung im Grundschulalter (überdurchschnittliche) Kompetenzen als Potenziale auf, die sich unter günstigen Bedingungen in Leistungen umsetzen lassen (Käpnick, 2014, S. 106). Hierbei werden Kompetenzen von Käpnick und Fuchs als Begabungspotenzial gefasst (ebd., S. 104). So bilden sie den Diskurs in der Kompetenzforschung ab, in der zwischen den vorhandenen latenten Kompetenzen und der tatsächlich gezeigten Leistung unterschieden wird (Asbrand & Martens, 2018, S. 17; Fuchs, 2006, S. 68). Diese Annahme fließt auch in das hier vorgestellte Modell ein.

Zur möglichen Identifikation dieser (hohen) Leistungspotenziale entwickelte Käpnick (1998) ein zunächst hypothetisches Merkmalsystem für mathematisch begabte Grundschüler*innen der dritten und vierten Klasse, welches in Studien überprüft, verifiziert und für weitere Klassenstufen (Sjuts, 2017) oder spezielle Fragestellungen (Fuchs, 2006) adaptiert wurde. Dieses unterteilt sich einerseits in für die Mathematik relevante Fähigkeiten und andererseits auf die jeweiligen Aktivitäten bezogene begabungsstützende Persönlichkeitseigenschaften (Selbstständigkeit, Konzentrationsfähigkeit etc.). Höner (2015) vermutet auf Käpnick bezugnehmend ähnliche begabungsstützende Persönlichkeitseigenschaften für naturwissenschaftliche Begabungen (Höner, 2015). In der Erstellung des hier vorgestellten Modells sind diese Merkmale daher ebenfalls eingeflossen.

Benölken und Veber (2021) ergänzen die Debatte der potenzialorientierten Begabungsförderung um ein diversitätsorientiertes Modell zur Entwicklung mathematischer Begabung, in dem neben dem Einfluss von Diversitätsfacetten auf die Entwicklung von Begabung insbesondere das Fördern der Potenzialentwicklung durch eine Fokussierung dieser herausgearbeitet wird (Benölken & Veber, 2021). Durch die Formulierung der Notwendigkeit einer „Potenzialfokussierung“ (ebd., S. 54f) wird die Problematik hervorgehoben, dass Potenziale nicht zwangsläufig auch in Leistung umgesetzt werden und dass diese sich nicht immer zu Begabungen entwickeln können. Erst durch die bewusste oder auch unbewusste Fokussierung dieser Potenziale im Wechselspiel mit förderlichen inter- und intrapersonalen Katalysatoren können diese in Leistung umgesetzt werden und sich im Laufe der Bildungsbiographie zu einer Begabung entwickeln (ebd., S. 55).

Aufgrund der hier dargelegten, wenn auch verkürzten, Argumentation verstehen wir (Leistungs-)Potenziale (zusammengefasst) als besondere domänenspezifischen Kompetenzen eines Kindes zu einem bestimmten Zeitpunkt. Jede Kompetenz bildet dabei ihrerseits das Potenzial zur (Weiter-)Entwicklung. Die Kompetenzen eines Kindes zeigen sich in der Performanz, sodass ausgehend von der gezeigten Leistung

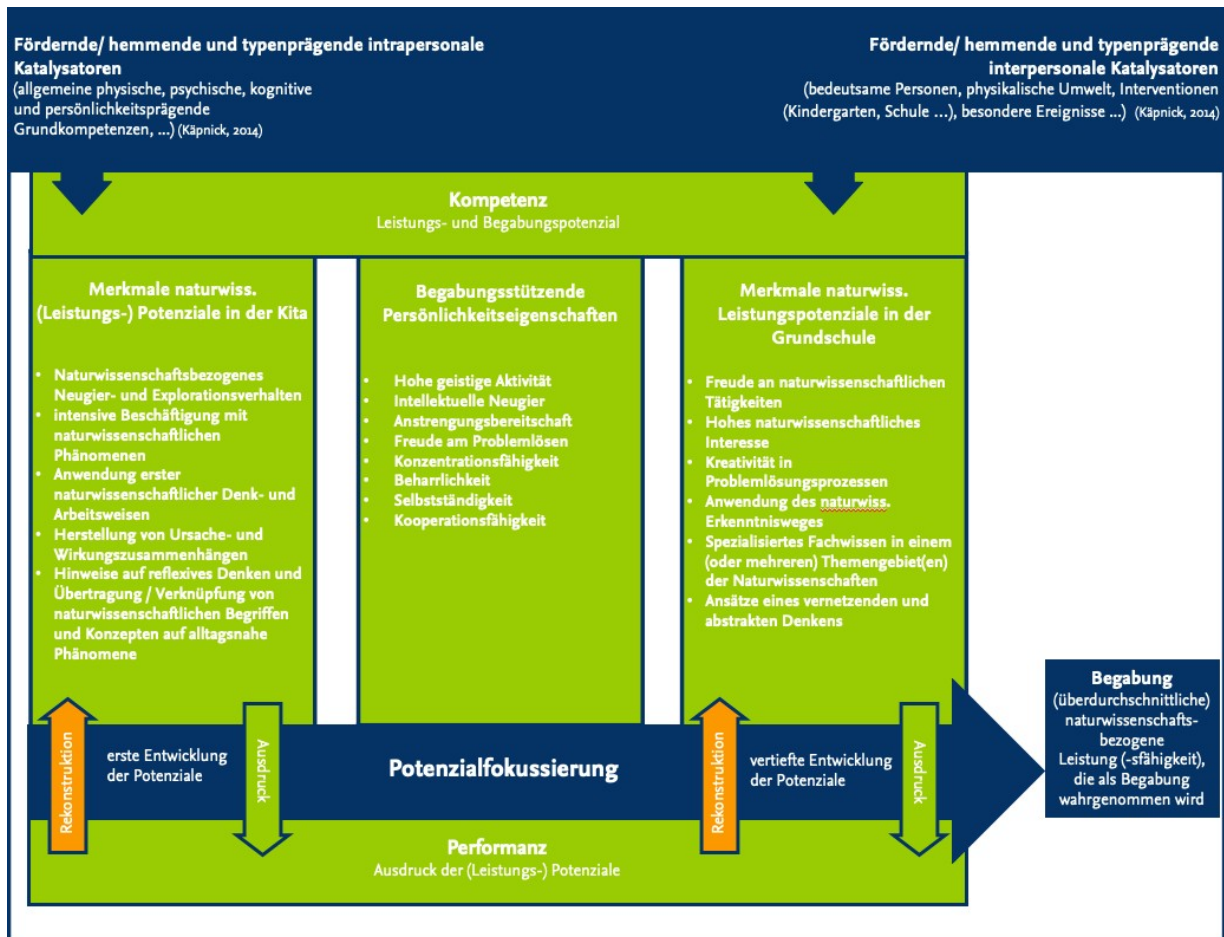


Abb. 1: Theoriebasiertes Modell naturwissenschaftsbezogener (Leistungs-) Potenziale für die Grundschule.

die vorhandenen (Leistungs-)Potenziale bzw. Kompetenzen rekonstruiert werden können. Die Entwicklung der (Leistungs-)Potenziale wird durch intrapersonale (etwa kognitive und persönlichkeits-prägende Grundkompetenzen) und interpersonale Katalysatoren (beispielweise Interventionen in Schule und Kita oder besondere Bezugspersonen) gefördert oder gehemmt. Bei optimaler Entwicklung dieser (Leistungs-)Potenziale können diese in überdurchschnittliche Leistung umgesetzt werden, welche dann als domänenspezifische Begabung wahrgenommen werden kann.

Nachfolgend werden theoriebasiert hypothetisch angenommene Merkmale naturwissenschaftlicher (Leistungs-)Potenziale für Lernende im Kita- und Grundschulalter formuliert.

2. Merkmale naturwissenschaftlicher Leistungspotenziale im Kitaalter

Das frühe Erkennen und Fördern kindlicher Potenziale bzw. Begabungen im Elementarbereich kann heute als bedeutsames bildungspolitisches Ziel angesehen werden (JMK & KMK, 2004; Rohrman & Rohrman, 2017; Behörde für Arbeit, Soziales, Familie & Integration (BASFI)(2012); Fthenakis, 2012). Die Analyse von Bildungsplänen für den Elementarbereich zeigt jedoch eine Unschärfe des Begabungs-

begriffs, und es fehlt deshalb auch an klaren Orientierungslinien dazu, wie Begabungen bzw. (Leistungs-)Potenziale in pädagogischen Kontexten zu sind (Rohrman & Rohrman, 2017). Für eine Sensibilisierung der Fachkräfte für frühe naturwissenschaftsbezogene Potenziale bei Kita-Kindern könnten u.E. insbesondere prozessorientierte Indikatoren hilfreich sein. Mit der hier vorgestellten Modellierung zum Erfassen früher naturwissenschaftsbezogener Potenziale werden Merkmale beschrieben, die sich auch durch pädagogische Fachkräfte in der Kita beobachten lassen (siehe Abbildung 1). Dazu gehört u.a. insbesondere das gezeigte Interesse an einem Gegenstand oder Phänomen.

In Modellen zur Beschreibung domänenspezifischer Begabungen wird das Interesse als Teilindikator von Kompetenz auch als mögliches Merkmal zur Erfassung von (Leistungs-)Potenzialen betrachtet (z.B. Fuchs, 2015; Wegner & Schmiedebach, 2017). Interesse zeigt sich insbesondere in der intensiven, ausdauernden und gegenstandsbezogenen Auseinandersetzung, in selbstintentionalen Handlungen (Prenzel et al., 1986, S. 168) sowie auch in emotionalen und kognitiven Äußerungen (Schiefele, 2008). Nölke et al. (2013) gehen davon aus, dass sich naturwissenschaftliches Interesse bereits im frühen Kindesalter zeigt. Als Hinweis auf ein frühes Potenzial deutet

Fuchs (2015) im Bereich der Mathematik auch ein ausgeprägtes Explorationsverhalten. Dieses Merkmal scheint uns auf den Bereich der Naturwissenschaften gut übertragbar (Köster, 2018; Fthenakis et al., 2009; Mehrstens et al., 2020) und zeigt sich insbesondere bei intensiver Beschäftigung mit naturwissenschaftsbezogenen Phänomenen (vgl. Köster, 2018; Fthenakis et al., 2009).

Geht man von frühen Potenzialen in Form von gezeigten Leistungen im Elementarbereich aus, kann hier zur Beschreibung dieser auf das Scientific Literacy Bildungskonzept zurückgegriffen werden (z.B. (Fthenakis et al., 2009; Gelman & Brennenman, 2004; Steffensky, 2017). Nach diesem Bildungskonzept wird naturwissenschaftliche Kompetenz in Teilbereiche untergliedert, die einerseits naturwissenschaftliches Wissen über Konzepte, Theorien und Wissen und andererseits Wissen über Naturwissenschaften, also Denk- und Arbeitsweisen sowie deren Fähigkeit zur Anwendung in Alltagssituationen beinhalten. Zudem schließt es affektive Aspekte mit ein, wie beispielsweise das Interesse, Einstellungen und Begeisterung für Naturwissenschaften (Anders, 2013a; Norris & Phillips, 2003; Weinert, 1999). Ausgehend von dem Scientific Literacy Konzept wurde durch Carstensen et al. (2011) ein theoretisch begründetes Modell zur Erfassung naturwissenschaftlicher Kompetenz empirisch überprüft. Naturwissenschaftliche Kompetenzen werden nach diesem Modell als Fähigkeit, Wissen in alltagsnahen Kontexten anzuwenden, verstanden, das über den Einsatz von Arbeits- und Denkweisen wie dem Beobachten, Vergleichen, Messen oder Dokumentieren erfasst werden kann (Carstensen et al., 2011, S. 655–656; Steffensky, 2017). Ausgehend von diesem Modell und in Anknüpfung an das Scientific Literacy Konzept können z.B. das Anwenden von basalen naturwissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweisen als auch das Erkennen erster Ursache- und Wirkungszusammenhänge als mögliche Indikatoren zur Beschreibung und Erfassung früher naturwissenschaftsbezogener Potenziale genutzt werden.

Ein weiteres Merkmal, welches zum prozessorientierten Erkennen von früher mathematischer Begabung beschrieben wird, sind Anzeichen auf reflexives Denken und auffällige Begriffs-, Abstraktions- und Übertragungsleistungen (Fuchs, 2015). Nach Dewey (1997) meint reflexives Denken das Nachdenken über Inhalte, Konzepte, Vorstellungen und Überzeugungen. Wird das oben genannte naturwissenschaftliche Kompetenzverständnis für die Potenzialerkennung herangezogen, können demnach auch für frühe naturwissenschaftsbezogene Potenziale Merkmale, wie Hinweise auf das Reflektieren sowie die Übertragung und Verknüpfung von naturwissenschaftlichen Begriffen und Konzepten auf alltagsnahe Phänomene zur möglichen Potenzialbestimmung herangezogen werden (Carstensen et al., 2011; Lück, 2015, 2018; Steffensky, 2017).

Frühe naturwissenschaftsbezogene Potenziale im Elementarbereich können demzufolge über ausgeprägte Fähigkeiten und Fertigkeiten sowie über affektive Aspekte wie beispielweise ein vertieftes Interesse, beschrieben werden. Eine zentrale Annahme, die sich theoretisch stützen lässt, ist somit das Heranziehen eines mehrdimensionalen Kompetenzverständnisses, welches neben kognitiven Dimensionen auch persönlichkeitsbezogene Facetten miteinbezieht (Käpnick, 2014; Weinert, 1999).

2.1 Naturwissenschaftsbezogene (Leistungs-) Potenziale im Übergang von der Kita in die Grundschule

In Hinblick auf die bildungspolitischen Zielvorgaben der JMK & KMK (2004) soll es zwischen dem Elementar- und Primarbereich zu einer institutionenübergreifenden Zusammenarbeit kommen. Die Gründe dafür liegen zum einen in der Gewährleistung von Anschlussfähigkeit, um individuelle Lern- und Entwicklungsprozesse zu unterstützen und zu fördern und andererseits, um einen ko-konstruktiven Transitionsprozess zu gestalten (Griebel & Niesel 2004; 2011).

Um eine Anschlussfähigkeit schulischer Angebote an die frühkindliche Bildungsbiographie sicherstellen zu können, kann unter anderem die Weitergabe von Bildungsdokumentationen als elementare Schlüsselkomponente angesehen werden (Knauf, 2019). Im naturwissenschaftlichen Bereich fehlt es aber für den Übergang von der Kita in die Grundschule an geeigneten Dokumentationsinstrumenten (Voigt & Köster, 2019). Aus einer Studie von Röbe et al. (2010) geht zudem hervor, dass etwa 50 Prozent der befragten Erzieher*innen für die Umsetzung von gezielten Beobachtungen und damit verbundenen Bildungsdokumentationen konkretere Umsetzungshinweise benötigen. Unterstützt wird diese Einschätzung durch Fried (2013, S. 840), der darauf aufmerksam macht, dass es „[...] die Wissenschaft versäumt [...]“ hat, „[...] ihr generiertes Wissen zur domänenspezifischen Entwicklung junger Kinder für die Entwicklung hochqualitativer frühpädagogischer Diagnoseverfahren zu nutzen. Alles in allem wird es also Erzieher*innen nicht leichtgemacht, die domänenspezifische Entwicklung junger Kinder angemessen zu diagnostizieren.“ Im Teilprojekt 3 des Projekts LemaS (s.o.) werden daher in enger Kooperation mit den teilnehmenden Kitas Dokumentationsinstrumente und Leitfäden entwickelt, die den Bedarfen in der Praxis gerecht werden können.

3. Modell naturwissenschaftlicher Leistungspotenziale im Kita- und Grundschulalter

In der nationalen und internationalen Literatur finden sich verschiedene Vorschläge zur Identifikation von ‚begabten‘ oder ‚gifted‘ Schüler*innen im Bereich der Naturwissenschaften, insbesondere auf die weiterführenden Schulstufen bezogen. Diese Vorschläge weisen wiederkehrende Elemente auf, die bezogen auf den Sachunterricht in ein erstes Modell (Mehrtens

et al., 2021) eingeflossen sind, welches die Grundlage für das hier vorgestellte Modell darstellt. Als zentrales Element eines hohen naturwissenschaftlichen (Leistungs-)Potenzials wird hierbei das gezeigte Interesse an naturwissenschaftlichen Inhalten angenommen (Abels & Brauns, 2021; Kircher, 2006; Taber, 2007; Wegner, 2014; Adamina, 2018, S. 312, Krapp, 2010, 20f). Auch in der internationalen Literatur finden sich Hinweise auf die Bedeutsamkeit des individuellen Interesses für die Entwicklung und Entfaltung von (Leistungs-)Potenzialen (Heilbronner & Renzulli, 2016; Taber, 2007). Ähnlich lässt sich auch die Neugier an neuen Erkenntnissen in diesem Themenbereichen fassen, die die Lernenden in eine produktive Unruhe versetzt, mehr über bestimmte Themenfelder zu erfahren (Taber, 2007, S. 10).

Während des Erkundens naturwissenschaftlicher Phänomene stoßen Wissenschaftler*innen wie auch Lernende häufig auf Herausforderungen und der naturwissenschaftliche Erkenntnisweg weist viele Ähnlichkeiten mit dem Prozess des Problemlösens auf (Höner et al., 2017, S. 10). Bei Kindern mit hohen (Leistungs-)Potenzialen geht man davon aus, dass sie diesen Prozess kreativ, selbstständig und teilweise unter zu Hilfenahme (für die Lehrkraft) unerwarteter Lösungsansätze verfolgen (Sumida, 2010; Taber, 2007). Die Nutzung eines naturwissenschaftlichen Erkenntnisweges und die Anwendung bereichsspezifischer Methoden der Erkenntnisgewinnung stellen weitere wesentliche Merkmale bzw. möglichen Indikatoren für das Vorliegen naturwissenschaftlicher Begabung bzw. eines naturwissenschaftlichen Leistungspotenzials dar (Wegner, 2014, S. 223).

Kinder mit hohen (Leistungs-)Potenzialen weisen zudem häufig ein spezialisiertes Fachwissen in einem oder mehreren naturwissenschaftlichen Bereichen auf, das sie oft mit bereits erlernter Fachsprache zum Ausdruck bringen (Taber, 2007, S. 11).

An letzter, allerdings nicht abschließender Stelle ist noch die Fähigkeit, vernetzend und abstrakt zu denken als angenommenes Merkmal naturwissenschaftlicher (Leistungs-)Potenziale zu benennen, welches für die Naturwissenschaften von großer Bedeutung ist (Abels & Brauns, 2021, S. 115). Aufgrund des Alters und des Entwicklungsstandes der Grundschul Kinder kann aber davon ausgegangen werden, dass sich dieses Denken eventuell nur in Ansätzen zeigt, da der Wechsel zwischen der konkreten und der abstrakten Ebene sehr herausfordernd sein kann (ebd., S.116). Im Projekt LemaS zeigen allerdings auch einige Kinder genau dieses Verhalten auf einem für ihre Altersgruppe überdurchschnittlichen Niveau.

4. Diskussion und Limitation

Die hier vorgestellte Modellierung und Beschreibung naturwissenschaftlicher (Leistungs-)Potenziale für Kinder im Kita- und Grundschulalter kann - wie andere Begabungsmodelle auch (Benölken & Veber, 2021, S. 49) - nur einen Ausschnitt und eine Vereinfachung des vielschichtigen Phänomens der

Entwicklung naturwissenschaftsbezogener (Leistungs-)Potenziale bis hin zur Begabung darstellen. Auch die Verkürzung komplexer Vorgänge, wie die Anwendung des naturwissenschaftlichen Erkenntnisweges, ist der Übersichtlichkeit geschuldet. Auf Grundlage dieses Modells werden im Projekt differenzierte diagnostische Formate entwickelt, die einerseits die Komplexität der hier aufgezeigten Merkmale detaillierter widerspiegeln und gleichzeitig die individuellen Ausprägungen für jede*n Lernende*n erfassen sollen. Das hier vorgeschlagene Modell erhebt zudem keinen Anspruch auf eine vollständige Repräsentation des Forschungsstandes naturwissenschaftlicher Begabung bzw. (Leistungs-)Potenziale, kann u.E. jedoch eine Orientierungshilfe in einem weiten und diversen Forschungsfeld sein.

Das Projekt LemaS-DiaMINT Sachunterricht ist Teil der LemaS-Initiative und wird mit Mitteln des BMBF finanziert (Förderkennzeichen 01JW1801B).

5. Literatur

- Abels, S., & Brauns, S. (2021). Inklusive Begabungsförderung im Chemieunterricht. In C. J. Kiso & S. Fränkel (Hrsg.), *Inklusive Begabungsförderung in den Fachdidaktiken Diskurse, Forschungslinien und Praxisbeispiele*. Julius Klinkhardt.
- Adamina, M. (2018). Interessen von Schülerinnen und Schülern am Fach und an Themen des Sachunterrichts bzw. Des Fachbereichs Natur, Mensch, Gesellschaft (NMG). In M. Adamina, M. Kübler, K. Kalcsics, S. Bietenhard, & E. Engeli (Hrsg.), „Wie ich mir das denke und vorstelle...“: Vorstellungen von Schülerinnen und Schülern zu Lerngegenständen des Sachunterrichts und des Fachbereichs Natur, Mensch, Gesellschaft. Verlag Julius Klinkhardt.
- Anders, Y. (2013a). Theoretische Vorannahmen. In Y. Anders, I. Hardy, S. Pauen, J. Ramseger, B. Sodian & M. Steffensky (Hg.), *Wissenschaftliche Untersuchungen zur Arbeit der Stiftung "Haus der Kleinen Forscher": Band 5. Wissenschaftliche Untersuchungen zur Arbeit der Stiftung "Haus der Kleinen Forscher"* (1. Aufl., S. 20–28). SCHUBI Lernmedien AG.
- Anders, Y. (2013b). Zieldimensionen Kinder. In Y. Anders, I. Hardy, S. Pauen, J. Ramseger, B. Sodian & M. Steffensky (Hg.), *Wissenschaftliche Untersuchungen zur Arbeit der Stiftung "Haus der Kleinen Forscher": Band 5. Wissenschaftliche Untersuchungen zur Arbeit der Stiftung "Haus der Kleinen Forscher"* (1. Aufl., S. 89–116). SCHUBI Lernmedien AG.
- Asbrand, B., & Martens, M. (2018). *Dokumentarische Unterrichtsforschung*. Springer VS.
- Behörde für Arbeit, Soziales, Familie & Integration (BASFI) (2012):. *Hamburger Bildungsempfehlungen für die Bildung und Erziehung von Kindern in Tageseinrichtungen*. Hamburg: Freie und Hansestadt Hamburg.

- Benölken, R., & Veber, M. (2021). Inklusion und Begabung von der Begabtenförderung zur Potenzialorientierung. In C. J. Kiso & S. Fränkel (Hrsg.), *Inklusive Begabungsförderung in den Fachdidaktiken Diskurse, Forschungslinien und Praxisbeispiele*. Julius Klinkhardt.
- Carstensen, C. H., Lankes, E.-M. & Steffensky, M. (2011). Ein Modell zur Erfassung naturwissenschaftlicher Kompetenz im Kindergarten. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 14(4), 651–669.
- Dewey, J. (1997). *How we think* (1. Aufl.). *Dover books on western philosophy*. Dover Publ.
- Faust, G. (2008). Übergänge gestalten–Übergänge bewältigen. Zum Übergang vom Kindergarten in die Grundschule. *Thole, W./Roßbach, H.-G./Föllig-Albers, M./Tippelt, R. (Hg.): Bildung und Kindheit. Pädagogik der Frühen Kindheit in Wissenschaft und Lehre. Opladen und Farmington Hills, S.* 225–240.
- Fischer, C. (2015). Potenzialorientierter Umgang mit Vielfalt. In Fischer, C. (Hrsg.) (Keine) Angst vor Inklusion. Herausforderungen und Chancen gemeinsamen Lernens in der Schule. Waxmann Verlag.
- Fränkel, S. (2019). Beliefs von Lehrkräften zu inklusiver Begabungsförderung im Biologieunterricht. https://pub.uni-bielefeld.de/download/2936526/2936527/Dissertation_Fränkel.pdf
- Fraundorfer, A. (2019). Begabung und ‚Begabte‘: Unumstößliche Realität oder soziales Konstrukt? In I. Schrittmesser (Hrsg.), *Begabungsförderung revisited: Begabungsförderung als Kinderrecht im Kontext von Diversität*. Klinkhardt, Julius.
- Fried, L. (2013). Frühkindliche Diagnostik domänenspezifischer Entwicklung – am Beispiel des naturwissenschaftlichen Entwicklungsbereichs. In M. Stamm & D. Edelmann (Hg.), *Handbuch frühkindliche Bildungsforschung* (S. 831–843). Springer Fachmedien Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-531-19066-2_57
- Fthenakis, W. E. (Hg.). (2012). *Frühe Kindheit. Der Bayerische Bildungs- und Erziehungsplan für Kinder in Tageseinrichtungen bis zur Einschulung* (5. Aufl.). Cornelsen.
- Fthenakis, W. E., Wendell, A., Eitel, A. & Deutsche Telekom-Stiftung, B. (2009). *Frühe naturwissenschaftliche Bildung. Handbuch. Natur-Wissen schaffen. Band 3*. Bildungsverlag Eins.
- Fuchs, M. (2006). Vorgehensweisen mathematisch potentiell begabter Dritt- und Viertklässler beim Problemlösen: Empirische Untersuchungen zur Typisierung spezifischer Problembearbeitungsstile. LIT
- Fuchs, M. (2015). *Alle Kinder sind Matheforscher: Frühkindliche Begabungsförderung in heterogenen Gruppen* (1. Aufl.). Klett Kallmeyer.
- Fuchs, M. (2018). Damit aus Übergängen Brücken und keine Bruchstellen werden–Entfaltung von Potenzialen im Übergang von der Kita in die Grundschule. *Fachtagung*, 15.
- Gelman, R. & Brenneman, K. (2004). Science learning pathways for young children. *Early childhood research quarterly*, 19(1), 150–158.
- Griebel, W. & Niesel, R. (Hg.). (2004). *Beiträge zur Bildungsqualität. Transitionen: Fähigkeit von Kindern in Tageseinrichtungen fördern, Veränderungen erfolgreich zu bewältigen* (1. Aufl.).
- Griebel, W. & Niesel, R. (2011). *Übergänge verstehen und begleiten: Transitionen in der Bildungslaufbahn von Kindern* (1. Aufl.). *Frühe Kindheit : Ausbildung & Studium*. Cornelsen.
- Griebel, W. & Sassu, R. (2013). Modul 3: Übergang in die Schule. *Übergang in die Schule und Mehrsprachigkeit–Ein Curriculum für pädagogische Fach- und Lehrkräfte/Transition to school and multilingualism–a curriculum for educational professionals*, 90–114.
- Heilbronner, N. N., & Renzulli, J. S. (2016). The schoolwide enrichment model in science: A hands-on approach for engaging young scientists. Prufrock Press Inc.
- Höner, K. (2015). Expedition Naturwissenschaften—Lernen über die Natur der Naturwissenschaften in Kindertagesstätten. In C. Fischer, C. Fischer-Ontrup, F. Käpnick, F.-J. Mönks, & C. Solzbacher (Hrsg.), *Giftedness Across the Lifespan - Begabungsförderung von der frühen Kindheit bis ins ALter. Forder- und Förderkonzepte aus der Forschung*. (Bd. 18). LIT.
- Höner, K., Eghtessad, A., Hilfert-Rüppell, D., & Kraeva, L. (2017). Naturwissenschaftliches Potential? Diagnose von Schülerfähigkeiten zum experimentellen Problemlösen. *Journal für Begabtenförderung - für eine begabungsfreundliche lernkultur*, 2/2017.
- JMK & KMK (2004). Gemeinsamer Rahmen der Länder für die frühe Bildung in Kindertageseinrichtungen; https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2004/2004_06_03-Fruehe-Bildung-Kindertageseinrichtungen.pdf
- Käpnick, F. (2014). Fachdidaktik Mathematik. *International Panel of Experts for Gifted Education (iPEGE)(Hrsg.): Professionelle Begabtenförderung: Fachdidaktik und Begabtenförderung, ÖZBF (Eigenverlag), Salzburg*, 199–215.
- Kircher, E. (2006). Talente entdecken und fördern (Bd. G5). IPN Kiel. <https://www.schulportal-thueringen.de/get-data/83d3895f-1878-4f93-849a-fb982435f4d4/N5.pdf>
- KMK (2009). Empfehlung der Kulturministerkonferenz zur Stärkung der mathematisch

- naturwissenschaftlich-technischen Bildung: Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 07.05.2009. https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2009/2009_05_07-Empf-MINT.pdf
- Knauf, H. (2019). *Bildungsdokumentation in Kindertageseinrichtungen*. Springer.
- Köster, H. (2018). Freies Explorieren und Experimentieren: Eine Untersuchung zur selbstbestimmten Gewinnung von Erfahrungen mit physikalischen Phänomenen im Sachunterricht (2., unveränderte Auflage). Logos-Verl.
- Krapp, A. (2010). Die Bedeutung von Interessen für die Lernmotivation und das schulische Lernen—Eine Einführung. In I. Hemmer (Hrsg.), *Schülerinteresse an Themen, Regionen und Arbeitsweisen des Geographieunterrichts: Ergebnisse der empirischen Forschung und deren Konsequenzen für die Unterrichtspraxis*. Selbstverl. des Hochschulverbandes für Geographie und ihre Didaktik.
- Lück, G. (2015). *Handbuch der naturwissenschaftlichen Bildung: Theorie und Praxis für die Arbeit in Kindertageseinrichtungen*. Verlag Herder GmbH.
- Lück, G. (2018). *Handbuch naturwissenschaftliche Bildung in der Kita* (1st ed.). Herder Verlag.
- Mehrtens, T., Köster, H., Rehfeldt, D., & Müller, F. (2021). Naturwissenschaftsbezogene Leistungspotenziale bei Grundschulkindern diagnostizieren. *Naturwissenschaftlicher Unterricht und Lehrerbildung im Umbruch?*, 41, 749–752.
- Nölke, C., Steffensky, M., Lankes, E.-M. & Carstensen, C. (2013). Naturwissenschaftliches Interesse bei Vorschulkindern - Welche Möglichkeiten und Schwierigkeiten ergeben sich bei der Erfassung? In E. Wannack, S. Bosshart, A. Eichenberger, M. Fuchs, E. Hardegger & S. Marti (Hg.), *4-bis 12-Jährige: Ihre schulischen und außerschulischen Lern- und Lebenswelten* (S. 248–259). Waxmann Verlag.
- Norris, S. P. & Phillips, L. M. (2003). How literacy in its fundamental sense is central to scientific literacy. *Science education*, 87(2), 224–240.
- Prenzel, M., Krapp, A. & Schiefele, H. (1986). Grundzüge einer pädagogischen Interessentheorie. *Zeitschrift für Pädagogik*, 32(2), 163–173.
- Reinmann, G. (2005). Innovation ohne Forschung? Ein Plädoyer für den Design-Based Research-Ansatz in der Lehr-Lernforschung. *Unterrichtswissenschaft*, 33(1), 52–69.
- Röbe, E., Huppertz, N. & Füssenich, I. (2010). WiBeOr—Wissenschaftliche Begleitung und Evaluation zur Implementierung des Orientierungsplans für Erziehung und Bildung in badenwürttembergischen Kindergärten. *Abschlussbericht. Internetfassung*.
- Rohrmann, S. & Rohrmann, T. (2017). *Begabte Kinder in der KiTa* (M. Holodynski, D. Gutknecht & H. Schöler, Hg.). Kohlhammer Verlag.
- Sauerhering, M. (2013). *Übergang KiTa-Grundschule*. Niedersächsisches Institut für frühkindliche Bildung und Entwicklung.
- Schiefele, U. (2008). Lernmotivation und Interesse. In W. Schneider, M. Hasselhorn & J. Bengel (Hg.), *Handbuch der Psychologie: / hrsg. von J. Bengel ... ; Bd. 10. Handbuch der pädagogischen Psychologie* (S. 38–49). Hogrefe.
- Sjuts, B. (2017). Mathematisch begabte Fünft- und Sechstklässler: Theoretische Grundlegung und empirische Untersuchungen. WTM Verlag für wissenschaftliche Texte und Medien.
- Steffensky, M. (2017). Naturwissenschaftliche Bildung in Kindertageseinrichtungen. *Weiterbildungsinitiative Frühpädagogische Fachkräfte, WiFF Expertisen, Bd. 48*.
- Sumida, M. (2010). Identifying Twice-Exceptional Children and Three Gifted Styles in the Japanese Primary Science Classroom. *International Journal of Science Education*, 32(15), 2097–2111
- Taber, K. (2007). Science education for gifted learners? In K. Taber (Hrsg.), *Science education for gifted learners*. Routledge.
- Voigt, J. & Köster, H. (2019). Naturwissenschaftsbezogene Potenziale im Übergang Kita-Grundschule beobachten, dokumentieren und weiterentwickeln. In S. Habig (Vorsitz), *Naturwissenschaftliche Kompetenz in der Gesellschaft von morgen*. Symposium im Rahmen der Tagung von Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik (GDCCP), Wien.
- Wegner, C. (2014). Fachdidaktik Biologie/Naturwissenschaften. In C. Fischer, F. Schmid, C. Perleth, F. Preckel, & International Panel of Experts for Gifted Education (Hrsg.), *Professionelle Begabtenförderung—Fachdidaktik und Begabtenförderung*. Eigenverl. Österr. Zentrum für Begabtenförderung und Begabungsforschung (ÖZBF).
- Wegner, C. & Schmiedebach, M. (2017). Begabungsförderung im naturwissenschaftlichen Unterricht. *Potenzialentwicklung. Begabungsförderung. Bildung der Vielfalt.: Beiträge aus der Begabungsförderung*, 118.
- Weigand, G. (Hrsg.). (2020). *Leistung macht Schule: Förderung leistungsstarker und potenziell besonders leistungsfähiger Schülerinnen und Schüler*. Beltz.
- Weinert, F. E. (Hg.) (1999). *Concepts of competence*. Citeseer.

Workshop: Hochschuldidaktische Konsequenzen aus zwei Semestern Krisenlehre

**Stefan Brackertz¹, Merten Dahlkemper², Andreas Drotloff³, Amr El Miniawy⁴,
Jeanette Gehlert⁵, Marie-Annette Geyer⁶, Lana Ivanjek⁶, Katarina Jeličić⁷, Jani Kotakoski⁸,
Daniela Kern-Michler³, Pascal Klein², Stefan Küchemann⁹, Manuel Längle⁸,
Morris J.J. Weimerskirch⁸, Peter Schilke¹⁰, Ana Susac¹¹, Wanda Witte¹²**

¹Universität zu Köln, Fachschaft Physik, Zülpicher Straße 77, 50937 Köln,

²Faculty of Physics, Physics Education Research, University of Göttingen,
Friedrich-Hund-Platz, 37077 Göttingen

³ZaPF e.V., c/o Goethe Universität Frankfurt, Raum __.208, Max-von-Laue-Str. 1, 60438 Frankfurt / Main,

⁴Humboldt-Universität zu Berlin, Fachschaft Physik, Newtonstraße 15, 12489 Berlin,

⁵Universität Hamburg, Fakultät für Rechtswissenschaften, Rothenbaumchaussee 33, 20148 Hamburg

⁶Faculty of Physics, Physics Education Research, Technische Universität Dresden,
Haeckelstraße 3, 01069 Dresden

⁷Department of Physics, Faculty of Science, University of Zagreb, Bijenička cesta 32, 10000 Zagreb

⁸Boltzmannngasse 5 1090 Wien

⁹Department of Physics, Physics Education Research Group, Technische Universität Kaiserslautern, Erwin-
Schrödinger-Str. 46, 67663 Kaiserslautern,

¹⁰Universität zu Köln, I. Physikalisches Institut, Zülpicher Straße 77, 50937 Köln

¹¹Faculty of Electrical Engineering and Computing, University of Zagreb, Unska 3, 10000 Zagreb, Croatia

¹²Universität Rostock, Fachschaft Physik, Albert-Einstein-Straße 24, Raum 107, 18059 Rostock

sbracker@smail.uni-koeln.de, merten.dahlkemper@uni-goettingen.de, stapf@zapf.in, amr.el.miniawy@physik.hu-berlin.de,
jeanette.gehlert@studium.uni-hamburg.de,
marie-annette.geyer@tu-dresden.de, ana.susac@fer.hr, wanda.witte@uni-rostock.de,
lanav@tu-dresden.de, kjelicic@phy.hr, jani.kotakoski@univie.ac.at,
kern-michler@posteo.de, pascal.klein@uni-goettingen.de, s.kuechemann@physik.uni-kl.de,
manuel.laengle@univie.ac.at, morris.weimerskirch@univie.ac.at,
schilke@ph1.uni-koeln.de, ana.susac@fer.hr, wanda.witte@uni-rostock.de,

Kurzfassung

Die Umstellung des Lehrbetriebs an den Hochschulen auf Online-Lehre hat nicht nur technische, sondern vor allem auch didaktische Herausforderungen mit sich gebracht, die vielfältig – und zum Teil sehr unterschiedlich – beantwortet wurden. An einer systematischen hochschulübergreifenden Auswertung fehlt es bislang aber noch. Im hier dokumentierten Workshop wurde der aktuelle Stand exemplarisch vorgestellt und diskutiert, wie es gelingen kann, dass die wertvollen Erfahrungen dieser Zeit nicht mit der Rückkehr zur Präsenzlehre verloren gehen.

1 Einleitung

Auf der Frühjahrstagung 2021 des DPG-Fachverbands Didaktik der Physik hat das Studienreform-Forum (Weitere Infos: www.studienreform-forum.de), eine Initiative, welche sich systematisch mit der Beschaffenheit von Studiengängen im deutschsprachigen Raum beschäftigt, einen Workshop veranstaltet, um die Auswirkungen der Coronakrise auf die akademische Lehre in der Physik zu diskutieren. Der Fokus lag dabei nicht auf technischen, sondern vor allem auf didaktischen Herausforderungen.

Die erste Hälfte des Workshops bestand aus fünf Inputs, die von Positionierungen zur aktuellen Corona-Situation an den Hochschulen über konkrete Beispiele für deren institutionelle und veranstaltungsbezogene Gestaltung bis zu ersten Evaluationen reich-

ten. Auf diese Inputs, die größtenteils von den Referenten selbst verschriftlicht wurden, folgte eine für alle Teilnehmer:innen offene Podiumsdiskussion.

Im Folgenden wird dieser Beitrag dokumentiert, wobei nach Möglichkeit auf die Verschriftlichungen der Referenten zurückgegriffen, die Reihenfolge der Beiträge aber teils minimal umgestellt wurde.

2 Inputs

2.1 Positionen der ZaPF zu Online-Lehre und Studienbedingungen während der Pandemie¹

Der Workshop begann mit einer Lagebewertung aus Studierendenperspektive. Einen Input dazu hielt Andreas Drotloff als Vertreter der Zusammenkunft aller

¹ Der Input wurde durch den Ständigen Ausschusses aller Physik-Fachschaften selbst verschriftlicht.

Physik-Fachschaften (ZaPF). In diesem Beitrag werden einige Beschlüsse der ZaPF angeführt, welche die Perspektiven und Forderungen der Studierenden auf den Punkt bringen:

Der Beginn der Corona-Pandemie brachte im März 2020 die komplette Gesellschaft und damit auch das Leben an den Hochschulen zu einem abrupten Stillstand. Auch in den Organisationen der Studierendenvertretung nahm das Thema Corona schnell überhand, denn die pandemisch bedingten Maßnahmen brachten für Studierende eine Vielzahl an neuen Problemen mit sich. Die Beschlüsse der Zusammenkunft aller Physik-Fachschaften (ZaPF) zu diesem Thema sollen an dieser Stelle einen Einblick in die Debatten geben, die auf studentischer Ebene im letzten Jahr stattgefunden haben.

2.1.1 Forderungskatalog des Solidarsemester-Bündnisses (März / April 2020)

Das Solidarsemester-Bündnis wurde im März 2020 auf Initiative des fzs (freier Zusammenschluss von student*innenschaften) ins Leben gerufen. Ziel war ein gemeinsamer Forderungskatalog an Politik und Hochschulen, der von möglichst vielen studentischen Organisationen mitgezeichnet werden sollte. Letztendlich schlossen sich 217 nationale, regionale und lokale Organisationen (u.a. die ZaPF) dem Bündnis an und gaben dem Katalog damit eine große Legitimation.

Eines der Kernthemen war dabei die Sicherung der Studienfinanzierung. Durch den unerwarteten Wegfall von Nebenjobs, bspw. in der Gastronomie, standen viele Studierende vor großen finanziellen Schwierigkeiten. Das Bündnis forderte deswegen neben einer grundsätzlichen Reform des BAföG unbürokratische Lösungen, insbesondere Soforthilfen und eine Öffnung des ALG II für Studierende. Um darüber hinaus sicherzustellen, dass keine Studierenden aufgrund der Pandemie zum Abbruch gezwungen werden, wurde die Aussetzung von Regelungen zur Zwangsexmatrikulation und eine Verringerung der Prüfungslast im Sommer gefordert – hier drohten die verschobenen Nachprüfungen eine Doppelbelastung zu erzeugen. Auch auf die große Bedeutung von digitalen Angeboten wurde eingegangen. Der Katalog beinhaltet hier Forderungen nach Qualitätsstandards für digitale Lehre, Fortbildungsangebote für Dozent*innen und eine grundlegende Barrierefreiheit, besonders in Hinblick auf die schlechte Abdeckung mit schnellem Internet an vielen Orten Deutschlands.

Leider wurden viele der Forderungen des Bündnisses nicht aufgegriffen, so dass sich in den kommenden Monaten die befürchteten Probleme einstellten und teilweise noch verschlimmerten. Als Reaktion veröffentlichte das Solidarsemester-Bündnis im November 2020 eine aktualisierte Version der Forderungen, in denen die Kernthemen – besonders die Studienfinanzierung – erneut enthalten waren.

2.1.2 „Aus der Krise lernen – Perspektiven der Hochschullehre für zukünftige Semester“ (Juni/Juli 2020)

Im Juni 2020 veranstaltete die ZaPF erstmalig eine digitale Tagung, in deren Rahmen unter anderem eine Resolution zur Lehre unter Corona-Bedingungen beschlossen wurde. Unter dem Eindruck sinkender Fallzahlen und Öffnungen in vielen Gesellschaftsbereichen war eine zentrale Forderung, Maßnahmen zu entwickeln, um den Präsenzbetrieb an den Hochschulen wieder aufnehmen zu können. Dem lag die Feststellung zugrunde, dass sich besonders gesellschaftliche Aspekte der Hochschule nicht in die digitale Welt übertragen lassen.

Darüber hinaus forderte die ZaPF den Beginn eines grundsätzlichen Reflexionsprozesses der Hochschuldidaktik auch über die Pandemie hinaus, da diese viele bestehende Herausforderungen nur verdeutlichte. Um diesen Prozess mitzugestalten, wurde eine Reihe von Leitfragen aufgestellt:

- Wie gelingt es, dass weniger vereinzelt oder sogar konkurrierend und stattdessen mehr kooperativ gearbeitet wird?
- Wie gelingt es, sich über Unverstandenes zu verständigen, statt darüber hinwegzugehen?
- Wie gelingt es, dass Studierende inhaltsorientiert und nicht auf formale Hürden optimiert studieren?

2.1.3 „Aus der Krise lernen – Perspektiven der Hochschullehre für zukünftige Semester“ (Juni/Juli 2020)

Das Thema Prüfungen wurde von der ZaPF in einem separaten Positionspapier aufgegriffen. Während Präsenz-Formate Studierende einem gesundheitlichen Risiko aussetzen und sie zum Teil ganz von der Prüfung ausschließen, verfügen manche Studierende nicht über die technische Ausstattung, um an einer Online-Prüfung ungehindert teilnehmen zu können. Die ZaPF sieht es in der Verantwortung der Hochschulen, Lösungen anzubieten und allen Studierenden eine Prüfungsteilnahme zu ermöglichen. Für Online-Formate wurde zusätzlich der Aspekt der Fairness mit aufgegriffen. Studierende sahen sich hier oftmals einem generellen Betrugsverdacht ausgesetzt, da eine herkömmliche Aufsicht nicht durchgeführt werden kann. Stattdessen wurde der Schwierigkeitsgrad der Prüfung erhöht oder auf technische Eingriffe in die Privatsphäre zurückgegriffen – Maßnahmen, die die ZaPF entschieden ablehnt. Stattdessen plädierte sie darauf, flexible Formate wie Open-Book-Klausuren oder Take-Home-Assignments zu nutzen.

2.2 Corona Lehre in Köln: Herausforderungen und Chancen²

Den zweiten Input hielt Peter Schilke, Vorsitzender der Physik-Bachelor-Prüfungsausschusses an der

² Der Input wurde von Peter Schilke selbst verschriftlicht.

Universität zu Köln, zudem Initiator und seit mehreren Jahren Hauptverantwortlicher für den „Dialog Lehre“. Er berichtete am Beispiel der Kölner Physik von den Herausforderungen, die die Umstellung der Lehre für den Fachbereich darstellte, die Bedeutung kooperativer und demokratischer Zusammenarbeit dabei und Vorbereitungen auf die schrittweise Rückkehr zur Präsenz:

2.2.1 Prä-Corona

Die meisten Vorlesungen in der Physik in Köln liefen klassisch ab: Präsenzvorlesungen im Hörsaal, entweder mit Kreide an der Tafel, oder mit Tablet und Beamer. Meist wurde ein Skript oder wenigstens Folienkopien zur Verfügung gestellt. Eine Videoaufzeichnung in den Hörsälen war technisch möglich, wurde aber kaum genutzt. Es gab eine E-learning Plattform (Ilias), die aber kaum oder nur zur Verteilung der Skripten benutzt wurde. Es gab natürlich einzelne Dozent*innen, die sowohl mit e-learning als auch mit Aufzeichnungen experimentiert haben, das allerdings meist in kleineren Master-Vorlesungen.

Für die Übungen, die auch klassisch in Präsenz, mit Übungsblättern und Vorrechnen durchgeführt wurden, gab es seit einigen Jahren eine physikspezifische Tutor*innenschule, die in Zusammenarbeit mit dem Kölner Zentrum für Hochschuldidaktik angeboten und auch rege genutzt wurde. Weiterhin gab es seit 2017 den Dialog Lehre, eine Kommunikationsplattform sowohl der Dozierenden untereinander, als auch der Dozierenden mit den Studierenden. Es gab einmal in Semester ein Treffen, in dem die Möglichkeit bestand, sich zu Inhalten, Formaten und Weiterentwicklungen auszutauschen. Die Existenz dieses Forums hat sich später als sehr wichtig herausgestellt.

2.2.2 Corona

Wie alle anderen wurden die Kölner Dozierenden von Corona und der Umstellung auf Online-Lehre fürs Sommersemester 2020 überrascht, es gab wenig Vorwarnung und Zeit für Planung. Hier zeigte sich, wie wichtig der Dialog Lehre war, denn aus den Teilnehmern dieser etablierten Plattform, und der Prüfungsausschüsse, hat sich relativ schnell eine ad-hoc Task Force gebildet, die diese Umstellung gestaltet hat.

Es wurde eine Online-Sammlung auf der Lernplattform Ilias angelegt, in der es Foren, Wikis und Anleitungen zu Themen wie der technischen (wie nimmt man zu Hause Videos auf/schneidet sie), organisatorischen (wie lädt man die dann auf der Lernplattform hoch, welche andere Methoden zur Kommunikation/e-Learning gibt es dort noch) und didaktischen Umsetzung (welche Online-Lehrformate gibt es, welche Vor- und Nachteile haben sie) gab.

Besonders wichtig war, dass diese Task Force sowohl Dozierende, Übungsgruppenleitende und Studierende umfasste, dass also alle Stimmen gehört wurden, und auch schnell auf Probleme und Defizite

reagiert werden konnte. Das Endergebnis war, dass zu Anfang des Semesters all diese Informationen bekannt waren, und die Umsetzung doch recht gut geklappt hat.

Parallel hat die Universität in die Infrastruktur investiert und neben Zoom- und später Mural-Lizenzen für alle Universitätsangehörigen auch die Infrastruktur der Lern- und Videoplattformen rasch ausgebaut, die von den Hardwareanforderungen nur auf die vorher mäßige Nutzung ausgelegt, und zunächst dem massiven Ansturm nicht gewachsen waren. Es gab auch auf Fakultätsebene Koordinierungstreffen, für uns waren aber die internen, physikspezifischen Maßnahmen die Entscheidenden.

2.2.3 Post-Corona

Wie wird die Lehre aussehen, wenn die Option Präsenz wieder voll verfügbar ist? Meine Vorhersage ist, dass die Uhr nicht komplett auf 2019 zurückgedreht wird, weil viele Dozierende in der Zwischenzeit Alternativen ausprobiert haben, die sie vorher nicht auf dem Schirm hatten, und die teilweise doch erstaunlich gut funktioniert haben, meist Varianten des inverted classrooms.

Zitat eines Kollegen: „das 2x90 min VI-Modell sehe ich für mich als überholt an, finde da gibt es kreativere Hybride“ und ein anderer „Von der Präsenz echt zu profitieren durch mehr Interaktion finde ich nur förderungswert.“

Einige werden sicherlich auf die klassische Vorlesung zurückgehen, aber viele andere werden solche Hybridmodelle implementieren. Das wird auch keine Fortsetzung von 2020 sein, weil die Präsenzkomponente sehr wichtig ist, sowohl für die soziale Interaktion als auch für den wissenschaftlichen Dialog. Wir werden in der Zukunft eine größere Diversität von Lehrformaten sehen, und es ist wichtig, das zu begleiten, um durch Rückmeldung herauszufinden, was gut funktioniert, und was nicht.

2.3 Von 0 auf 100 in drei Wochen: online ExII Vorlesung im SoSe 2020³

Im Anschluss ging es um die konkrete Realisierung von Online-Lehre:

In einem Input über die Experimentalphysik II an der TU Berlin im Sommersemester 2020 erläuterte Holger Eisele, wie dort Onlinelehre umgesetzt wurde, wie trotz teils schlechter technischer Voraussetzungen der Studierenden auf vielfältige Art synchrone und asynchrone Methoden vereint wurden. Insbesondere berichtete er auch, wie Experimente in eine abwechslungs- und lehrreiche Onlineveranstaltung integriert werden konnten und dennoch die Erfahrung geblieben ist, dass das Experiment nicht durch Onlinelehre ersetzbar ist:

Die Experimentalphysik II Vorlesung an der TU Berlin musste innerhalb kürzester Zeit auf ein online Format umgestellt werden. Dies gestaltete sich

³ Zusammengefasst nach einem Input von Holger Eisele.

schwieriger als bei Theorievorlesungen, da das Experiment ein essenzieller Teil der Veranstaltung ist.

Für die Studierenden wurde ein handschriftliches Skript zum Selbststudium ausgearbeitet, welches Experimente als kleine Videos enthält. Die nächste Einheit wurde jeweils einen Tag vor dem Vorlesungstermin online gestellt. In der Vorlesungszeit fand ein schriftlicher Chat für Fragen und Diskussionen statt, der von einem Tutor zusammengefasst und kurz darauf zur Verfügung gestellt wurde. Es gab zwei Vorlesungseinheiten in einer Woche und beim zweiten Termin wurden zusätzlich Übungsaufgaben und eine Woche versetzt ihre Lösungen zur Verfügung gestellt.

2.3.1 Herausforderungen

Herausforderungen bei solch einer Vorlesung sind einerseits konzeptionell, wie etwa die Vermeidung von Ermüdung oder Möglichkeiten zu finden, die Persönlichkeit der Dozierenden einzubringen, und andererseits technisch, wie z.B. die Reduktion auf kleine Datenpakete, um auch Studierenden mit schlechter Internetanbindung die Teilnahme zu ermöglichen.

All dies ist einerseits ein enormer zusätzlicher Zeitaufwand für den Lehrenden, gleichzeitig ermöglicht dies aber die zeitliche Entzerrung des Studiums und somit wird auf individuelle Lerngeschwindigkeiten besser eingegangen. Die Situation, als Lehrender Filme zu produzieren, ist eine völlig neue; man ist gleichzeitig Drehbuchautor, Hauptdarsteller und Regisseur. Besonders zu Beginn ist der Aufwand für das Aufzeichnen von Videos immens und es gibt viel zu lernen bezüglich Ton, Kameraposition und Positionierung zu Experiment und Kamera. Mit Kontrollmonitor und gutem Mikrofon geht alles dann gleich viel besser. Parallel zum Etablieren der nötigen Technik für die Videoaufnahmen wurden der erwähnte Chat geschaffen und zusätzliche E-books beschafft. Das gesamte Angebot war ausschließlich über die uneigene Lernplattform abzurufen.

2.3.2 Zwischenbilanz

Bei einer zwischenzeitlichen Evaluation gaben die Studierenden an, besonders die zeitliche Entzerrung in Kombination mit synchroner Diskussion zu schätzen; dennoch gab es einen starken Wunsch nach Rückkehr zur Präsenz.

Das Interesse an der Vorlesung war zu Beginn bei Studierenden sowie Kolleg*innen höher als in anderen Semestern. Der Schwund über das Semester war nicht anders als sonst.

Die wöchentliche Aktivität der Studierenden verteilte sich auf ca. 50% vor dem Chattermin, 20% währenddessen, 20% am gleichen Tag mit Zusammenfassung sowie 10 % zum Ende der Woche.

2.3.3 Weiterentwicklung

Im Laufe der Veranstaltung wurden die Angebote weiterentwickelt: Beispielsweise wurden auch theo-

retische Herleitungen aufgezeichnet und konnten so live mitverfolgt werden. Zudem wurden die physikalische Sammlung und Labore von Forschungsgruppen in die Videos eingebaut. Nicht funktionierende sowie ein gefälschtes Experiment (die Fälschung wurde später aufgelöst) wurden gezeigt, um Abwechslung in die Vorlesung zu bringen und kritisches Denken zu fördern.

Einige Aspekte der Experimente, die in Präsenz sehr viel einfacher darzustellen sind, waren in den Aufzeichnungen nicht zu sehen. Die Videos ermöglichten andererseits aber auch Dinge zu zeigen, die sich nicht einfach in einen voll besetzten Hörsaal holen lassen. Insgesamt ist es essenziell, sich auf das Medium einzulassen und sich daran anzupassen.

2.3.4 Fazit

Mit bis zu 250 Studierenden war die Lehrveranstaltung so schon machbar, bei mehr Studierenden hätte es zusätzliche Tutor*innen gebraucht, um die Chatgrößen zu verkleinern.

Die Erfahrung aus den Prüfungen zeigt, dass diese inhaltlich nicht schlechter als in früheren Semestern ausfielen, es jedoch am eigenständigen Darstellen des Erlernten fehlte.

Die Schere zwischen guten und schlechten Veranstaltungen wird durch die Krise größer und es bleibt zu sagen, dass ein Semester in Präsenz zu bevorzugen ist, besonders im Hinblick auf das Experiment.

2.4 Programming for Physicists⁴

Von Manuel Längle und Morris Weimerskirch wurde das Konzept der an die Coronalehre angepassten Veranstaltung „Programming for Physicists“ an der Uni Wien im Wintersemester 2020/2021 vorgestellt. Hier lag der Hauptfokus der Lehrenden darauf, den Studierenden Lernen im eigenen Tempo in einem Inverted Classroom Konzept zu ermöglichen und das so frei wie möglich zu gestalten. Außerdem wurde versucht durch Gruppenprojekte die Interaktion zwischen Studierenden zu fördern, was zum Teil auch gelang:

Das Modul Programming for Physicists (P4P) liegt im 3. Semester des Bachelors Physik. Es ist die einführende Programmierlehrveranstaltung und vermittelt Grundlagen, welche für den restlichen Bachelor notwendig sind, insbesondere für Scientific Computing oder Data Science im folgenden Semester. Als Programmiersprache wird Python3 gelehrt, abgestimmt mit den meisten anderen Lehrveranstaltungen des Bachelors. Es werden ausschließlich Open Source Werkzeuge verwendet, da diese öffentlich dokumentiert, gratis und anpassbar sind. Es wird Wert darauf gelegt, dass die Studierenden die verwendeten Werkzeuge auch über die Lehrveranstaltung hinaus weiter verwenden können.

⁴ Beitrag verschriftlicht von Manuel Längle, Morris J. J. Weimerskirch und Jani Kotakoski.

Zusätzlich zu normalen Herausforderungen, wie die sehr unterschiedlichen Voraussetzungen, die Studierende mitbringen, war im WiSe 2020/21 aufgrund der Corona-Pandemie ausschließlich „remote teaching“ erlaubt. Aus diesem Grund wurde das Lehrkonzept fast vollständig umgestellt, um es an die neue Situation anzupassen.

Ein Inverted Classroom Konzept wurde implementiert. Auf einer Webseite wurden die Programmierübungen, der Kern der Lehrveranstaltung, veröffentlicht sowie alle zu verwendenden Bibliotheken und Konzepte vorgestellt und mit Beispielen erklärt. Die Organisation der Programmierübungen wurde über einen speziell aufgesetzten Server mit dem version control system git durchgeführt. Bei den Beispielen wurde Wert auf einen spielerischen Zugang gelegt. Sie wurden in verschiedene Level unterteilt und der Fortschritt konnte permanent von den Studierenden überprüft werden. Videos zum Aufsetzen der Programmierumgebung sowie ein Ticketsystem, ein Forum, in dem Fragen gestellt werden konnten, wurden zur Verfügung gestellt. Wiederkehrendes wurde in den Übungsgruppen und der Vorlesungseinheit nochmal für alle besprochen.

Ab dem letzten Drittel des Semesters verschob sich der Fokus. Studierende bekamen nun die Aufgabe, in Dreiergruppen umfangreichere Projekte umzusetzen. Diese waren so entworfen, dass Studierende selbständig und kollaborativ an interessanten Fragestellungen arbeiten konnten. Es wurden 5 verschiedene Projekte zur Verfügung gestellt, aus welchen frei gewählt werden konnte. Die Anwendungen gingen von der Berechnung von Trajektorien von Planeten in einem Sonnensystem über die Simulationen von Virusinfektionen bis hin zu interaktiver Analyse von experimentellen Daten aus der Elektronenmikroskopie.

Es war uns besonders wichtig, auf die psychische Verfassung der Studierenden Rücksicht zu nehmen. Um maximale Flexibilität zu gewährleisten, gab es keine Deadlines während des Semesters, jedoch gab es wöchentlich Anleitungen mit den jeweiligen Aufgabenstellungen, um eine Struktur zu schaffen. Da wir git verwendeten, konnten wir nachvollziehen wann Studierende etwas an ihrem Code verändert haben, so genannte commits. Wir haben die zeitliche Entwicklung der commits analysiert und sind zum Schluss gekommen, dass über den gesamten Zeitraum des Semesters kontinuierlich an den Beispielen gearbeitet wurde, mit Ausnahme der Prüfungswoche und den Tagen rund um Weihnachten.

In einer unverbindlichen, anonymen Umfrage, welche den Studierenden im Anschluss zugeschickt wurde, wurde das Konzept zumindest von den 40 Respondent:innen für gut bis sehr gut in fast allen Kategorien beurteilt. Was uns besonders gefreut hat war, dass ein Drittel der Studierenden angab, durch die Gruppenprojekte neue Freund:innen gefunden zu

haben, wogegen etwa ein Fünftel unglücklich mit der Arbeitsaufteilung im Projekt war.

Den git-Daten nach zu urteilen, haben von den 150 Teilnehmer:innen 139 ein Konto errichten lassen, 103 haben mindestens einmal ihre Änderungen gepusht, 76 Teilnehmer:innen waren bis zum Schluss bei den (freiwilligen) Übungen dabei.

Am Ende des Semesters wurden die erlernten Fähigkeiten mittels Take-Home-Exam abgeprüft. In drei Terminen haben bisher 96 die Abschlussprüfung positiv abgeschlossen. Der positive Abschluss der Übungen (inkl. Projekte), wenngleich nicht verpflichtend, wurde als Zusatzleistung für die Prüfung honoriert. Um die Prüfung fair zu beurteilen, erfolgte die Überprüfung hier manuell. Viele Lösungen waren deutlich besser als gefragt und sehr detailreich umgesetzt. Bei der Korrektur konnte keine Gruppenarbeit beobachtet werden, weshalb wir schlussfolgern, dass dies eine sinnvolle Art ist, eine Prüfung abzuhalten. Das Feedback der Studierenden zu dieser Art der Prüfung war äußerst positiv. Die Aufgaben wurden als sinnvoll und fair empfunden, die schnellste Abgabe erfolgte deutlich unter der Gesamtprüfungsdauer. In der Umfragen gaben die Studierenden an, dass diese ausreichend lang war.

Die Fernlehreerfahrung war für alle Lehrenden neu. Eine Mischform zwischen präsenten Übungen und Tutorien und Online-Ressourcen scheint uns langfristig am sinnvollsten, da die Interaktion mit den Studierenden online sehr viel schwieriger ist. Besonders die Hemmschwelle bei Problemen nachzufragen ist sehr viel höher, trotz des Ticketsystems und großer Bemühungen der Lehrenden ansprechbar zu sein. Dennoch eignet sich die Programmierereinführung relativ gut für Fernlehre. Insbesondere die Aspekte des autonomen Arbeitens und selbständigen Explorierens ohne Leistungsdruck würden wir gerne künftig beibehalten.

2.5 Physik studieren während COVID-19⁵

Der abschließende Input von Merten Dahlkemper stellte eine der ersten systematischen Studien über das Physikstudium unter Corona-Bedingungen vor. Untersucht wurden darin die wahrgenommene Lerneffektivität von Studierenden, die Korrelation mit dem Studiensemester sowie Erfolgsfaktoren für Übungen und Praktika. Hier wurden vor allem Selbstorganisation und Einstellung zu Onlinelehre sowie ein funktionierender Feedback-Prozess als Schlüsselfaktoren für erfolgreiches Online-Studieren identifiziert.

Dieser Abschnitt ist eine Synopsis der Veröffentlichung [1]. Über den Artikel wurde auch in der Zeitschrift Physics in [2] berichtet:

Die Covid-19 Pandemie war im Frühjahr 2020 wenige Wochen vor dem Start des Sommersemesters eine

⁵ Beitrag verschriftlicht von Pascal Klein, Lana Ivanjek, Merten Dahlkemper, Katarina Jeličić, Marie-Annette Geyer, Stefan Küchemann und Ana Susac.

disruptive Erfahrung für das gesamte Hochschulsystem. Lehrende und Studierende mussten sich binnen sehr kurzer Zeit auf ein für viele weitestgehend unbekanntes Lehr- und Lernformat einstellen.

Diese Erfahrung war Motivation für ein Team aus Physikdidaktiker:innen von den Universitäten in Zagreb, Wien, Dresden, Kaiserslautern und Göttingen zu erforschen, wie genau die Umstellungen die Physikstudierenden beeinflusst.

Im einzelnen wurden folgende Forschungsfragen gestellt:

- Welchen Zusammenhang gibt es zwischen der wahrgenommenen Lerneffektivität während des COVID-19-Sommersemesters und den verschiedenen Aspekten, die in der digitalen Lehre wichtig sind?
- Welche Unterschiede gibt es zwischen Studierenden in verschiedenen Studienjahren hinsichtlich der wahrgenommenen Lerneffektivität?
- Welche Formate wurden für die Etablierung von Online-Übungen verwendet und wie wurden diese von den Studierenden hinsichtlich ihrer Effektivität bewertet?
- Welche Formate wurden für die Einrichtung von Online-Praktika verwendet und wie wurden sie von den Studierenden hinsichtlich ihrer Effektivität bewertet?

Um diese Fragen zu beantworten, wurde ein Fragebogen entwickelt, welcher zum Teil auf Literatur, zum Teil auf Erfahrungen aus semistrukturierten Interviews mit Studierenden beruhte.

Die Themen des Fragebogens umfassten die Bewertung von simultanen und asynchronen Aktivitäten, die Einstellung zum Online-Lernen, die Kommunikations- und Selbstorganisationsfähigkeiten der Stu-

dierenden, den wahrgenommenen Lernerfolg sowie technische und soziale Aspekte. Er wurde an insgesamt etwa 2700 Studierenden an den fünf o.g. Universitäten verteilt, von denen 578 Studierende ihn beantworteten.

Eine konfirmatorische Faktorenanalyse ergab eine hohe interne Konsistenz der sechs genannten Skalen (Cronbachs α von 0,7 bis 0,9).

Bezüglich der ersten Forschungsfrage fanden die Autor:innen positive Korrelationen der wahrgenommenen Lerneffektivität mit allen anderen untersuchten Aspekten. Die beiden Aspekte mit der stärksten Korrelation sind die Selbstorganisation während COVID-19 (Pearsons $r = 0,63$) sowie die Einstellung zur Online-Lehre ($r = 0,53$).

Bezüglich der zweiten Forschungsfrage wurde ein signifikanter Einfluss des Studienjahrs festgestellt. Insgesamt war die wahrgenommene Lerneffektivität der Online-Lehre bei Erstsemestern geringer als bei höheren Semestern. Auch das Praktikum nahmen sie als weniger effektiv wahr.

Unter den beobachteten Übungsformaten wurde das Format der „Rekonstruktion“, bei dem die Lösungen zu den Übungen während einer Live-Online-Sitzung in Echtzeit rekonstruiert werden, von den Studierenden als optimales Format beurteilt. Als effektivstes Format wurde das Format der „Abgabe“ empfunden, bei dem Studierende die Lösungen zu den Übungen einreichen, und diese von den Übungsleiter:innen bewertet und zurückgegeben wurden.

Bei den beobachteten Formaten für die Praktika hatte es einen signifikant positiven Einfluss auf das Erlernen experimenteller Fähigkeiten sowie von inhaltlichen Aspekten, wenn bei den Experimenten die Daten (z.B. per Video) selber aufgenommen wurden.

| Beobachtung | Implikation |
|--|--|
| Selbstorganisation spielt eine elementare Rolle für Lernerfolg | Anbieten spezieller Kurse für Studierende |
| Kommunikation zwischen den Studierenden korreliert mit wahrgenommenem Lernerfolg | Dozierende: Fragen stellen (mehr als üblich); interaktive Quizzes verwenden; periodisch unterbrechen, um Gruppendiskussionen anzuregen; Break-out-Räume verwenden Fakultäten: Plattformen zur Online-Kommunikation anbieten, Gruppen klein halten |
| Die Einstellung zum Online-Lernen korreliert mit wahrgenommenem Lernerfolg | Betonen Sie die positiven Aspekte des digitalen Lernens (Eigene Zeiteinteilung, Lernen im eigenen Tempo, Wegfall von Transportwegen,...) |
| Erstsemester leiden am meisten unter dem Online-Studium | Begrenzte Ressourcen auf dem Campus sollten primär für Erstsemester eingesetzt werden |
| Übungen: Benotetes Feedback wirkt sich positiv auf das Lernen aus | Do: Benotetes Feedback , Live-Diskussionen und Rekonstruktionen von Problemlösungen Don't: Reines Ausgeben von Lösungen |
| Praktika: Eigenes Sammeln von Daten korreliert mit höherem wahrgenommenem Lernerfolg | Lassen Sie die Studierenden selbst Daten sammeln , z.B. mit Videoexperimenten, Remote-Experimenten oder Smartphone-Experimenten |

Tabelle 1: Studienergebnisse Klein, P. et al.

Aus den Ergebnissen der Studie lassen sich verschiedene Implikationen ableiten, die in Tabelle 1 zusammengefasst werden.

Eine Folgestudie, welche auch das konzeptionelle Verständnis von Studierenden während der Online-Lehre in den Blick nimmt, ist derzeit in Arbeit. Über Updates zu dem Projekt wird unter anderem auf Researchgate informiert.

3 Podium

Auf die Vorträge folgte eine Diskussion zum Thema „Was haben wir aus der Onlinelehre gelernt? Wie gelingt es, dies langfristig fruchtbar zu machen?“ mit Lehrenden, Studierenden, Didaktiker_innen und Interessierten. Für das Podium waren Professorin Susanne Heinecke sowie die Studierenden Wanda Witte und Amr El Miniawy eingeladen. Weitere Diskutant*innen waren die Vortragenden der Impulsbeiträge sowie andere Anwesende.

3.1 Probleme

Direkt zum Anfang der Diskussion kam der Punkt der aktuell weitgehend fehlenden sozialen Ebene im Studium auf. Es wurde ausgiebig argumentiert, inwiefern diese nicht nur eben eine „Erlebniskomponente“ des Studiums sei, sondern ein wichtiger Bestandteil eines erfolgreichen (Lehr- und) Lernprozesses. Eine Gruppendynamik, z.B. innerhalb einer Übungsgruppe, sei online sehr schwierig zu etablieren. Die Beziehungsebene, im Rahmen derer auch Vertrauen zwischen Lehrenden und Lernenden entstehen kann, verschwinde. Diese sei aber die Ebene, auf der Studierende am meisten Feedback gäben, das wiederum für eine gelungene Lehre essenziell sei. Besonders auffällig sei dabei die oft zu beobachtende Verringerung an Kamera-aktiven Teilnehmer:innen im Laufe des Semesters.

Das Physikstudium sei, so war man sich einig, nur schwierig als „Alleingänger“-Studiengang sinnvoll zu gestalten oder auch nur zu bewältigen. Dies bedeute insbesondere für Studienanfänger:innen eine große Schwierigkeit. Fehlende Experimente, denen es im Videoformat an „Realismus“ mangelte, erwiesen sich zudem als spezifisches Problem der Physik (bzw. der Naturwissenschaften).

Neben der Frage der Kooperation, die sich nicht nur für Studierende stelle, wurde von massiv erhöhter Arbeitsbelastung der Lehrenden berichtet, die derzeit nötig sei, um überhaupt sinnvolle Lehre durchzuführen. Der Prozess sei von Dozierendenseite sehr von „Learning by Doing“ dominiert gewesen. Eine erhöhte Arbeitsbelastung sei aber auch bei den Studierenden zu verzeichnen.

3.2 Beantwortung der Probleme

Viele Ansätze für konkrete Veranstaltungen (die über eine reine Zoom-Vorlesung hinausgingen) beruhten auf „inverted classroom“-ähnlichen Formaten. Das „individuelle Nachbereiten“ des Inputs, was sonst aus den Lehrveranstaltungen ausgelagert worden sei, sei mehr ins Zentrum gerückt worden. Diese

Nachbereitung sei eben der Prozess der Vertiefung, in dem „das eigentliche Verstehen“ entstehe und der besonders vom Wegfall der sozialen Ebene und der informellen Begegnung betroffen sei. Diese Einschätzung traf auf Zustimmung und betete sich gut in eine allgemeine Diskussion über das „Lernen im eigenen Tempo“ ein. Denn die Varianz der für das Studium notwendiger Zeitinvestition sei groß in der Studierendenschaft. Die „Nachhaltigkeit des sonst nur gesprochenen Wortes“, insbesondere die Fähigkeit kurz in einem Video zurückzuspulen, sei eine favorisierte Eigenschaft von Vorlesungsvideos unter Studierenden.

Neben der Etablierung von asynchronen Formaten entwickelte sich der Anspruch „interaktiv wo auch immer möglich“ zu werden. Fragerunden zu schon aufgenommenen Vorlesungen, eine erhöhte Anzahl von Live-Übungen, digitale Sprechstunden zu den bereitgestellten Materialien seien entstanden. Da es eben am Sozialen mangelte, war es umso wichtiger, bewusst und gezielt über die Inhalte zu reden. Das erkläre zum Teil die Reduktion von Vorlesungen – sehr frontalen Formaten – zugunsten von Fragestunden und Tutorien (wobei „Fragestunden“ oft Studierende abschreckten, so mehrere Teilnehmer:innen).

Bei all dem würden sichtlich Anstrengungen unternommen möglichst inkludierend zu sein. Dies wurde z.B. an Versuchen festgemacht, Studierende mit suboptimaler Internetverbindung auch komprimierte Materialien zur Verfügung zu stellen.

Auch z.B. Projektarbeiten hätten diesbezüglich eine gewisse Bedeutung. Bei großen Studierendenzahl sei die feinschrittige Begleitung, die eigentlich für den Erfolg notwendig sei, aber oft nicht machbar. An diesem Beispiel zeige sich die wichtige Rolle des individuellen Feedbacks, die im Vortrag von Merten Dahlkemper betont worden war. Es sei „das Einzige was übrigbleibt“, wo nun das Nonverbale wegfallen, so eine Mitdiskutierende.

3.3 Individuelles versus soziales Lernen

Der Verlust der sozialen Komponente des Studiums in der Coronazeit sei schmerzlich, habe aber eine organische Weiterentwicklung des individuellen Studierens erlaubt. Angesichts dessen wurde als zentrale Frage erkannt: Wie gelingt die Balance zwischen Lernerfolgen, die über individuell angepasste Kanäle stattfinden können einerseits, und andererseits Gefühlen der Kohäsion und ein Bewusstsein der Relevanz, die entstehen, wenn man in einer Gruppe lernt?

Die Beantwortung dieser Frage blieb offen; in der Coronazeit habe man aber auf jeden Fall verstanden, was individuelle Räume ausmache und wie man sie schaffe. Dass die Unterstützung der Studierenden beim selbstständigen Lernen so in den Fokus genommen werde, sei eine neue Entwicklung.

3.4 Was soll bleiben?

Wenn der Zusammenhalt in der Studierendenschaft über synchrone Formate induziert wird, sei die Frage noch offen, wie das Gelernte über das Individuelle am besten in die Zeit nach der Pandemie zu übertragen wäre. Die Diskussion dieser Frage beinhaltete im Wesentlichen drei Punkte:

Vielleicht wäre es sinnvoll, nun die „Vorlesungszeit“ gar nicht mehr als die Zeit zu verstehen, in der die primäre Wissensvermittlung stattfindet, sondern vielmehr als „Kontaktzeit“, wo der Austausch und die Vertiefung („das echte Verstehen“, s.o.) ein Zuhause findet.

Ein weiterer Vorschlag bezog sich auf das Praktikum, deren Potenzial oft ungenutzt sei: Hier sei der Ort der Handlungsorientierung, wo Studierende Konzepte tatsächlich selbst anwenden, im Experiment bzw. im Protokoll, sie wiederholen und verinnerlichen könnten. Zwar sei dies auch jetzt schon theoretisch in den Konzepten berücksichtigt, könne aber innerhalb der Praktika viel mehr mit Leben gefüllt werden; zudem könnten die Praktika innerhalb der Studiengänge viel mehr als Scharnierveranstaltung ins Zentrum rücken, anstatt nur als „Extra“ betrachtet zu werden.

Es wurde in den Raum gestellt, ob „trockenere“ Schemata (VL-UE-Prüfung-Repeat) sich mit der Einführung des Bachelor-Master Systems etabliert hätten, und ob nicht die damit einher gehende Verschulung gegen die Etablierung modernerer Veranstaltungskonzepte wirke. Dies äußere sich z.B. stark in Prüfungsversuchsbeschränkungen und in einer allgemeinen Unterrepräsentanz nichtschriftlicher Prüfungsformate. Man habe verlernt, auf individuelle Lernbegebenheit einzugehen, so ein Mitdiskutierender. Man habe auch einfach Angst, Neues zu probieren, so ein Weiterer. In der Corona-Zeit sei aber ab einem gewissen Punkt üblich geworden, sich unter Lehrenden auszutauschen; über das Technische, aber auch über das Didaktische. Das gehe oft Hand-in-Hand und nehme die diese Angst.

Es wurde kurz die Frage aufgeworfen, ob diese Lernprozesse, die sich in Corona über die didaktische Landschaft der Universitäten entfaltet hätten, mit dem Ende der Pandemie unterbrochen würden. Man müsste und sollte etwas festhalten, bzw. konkrete, artikuliert Konsequenzen aus der Zeit ziehen. Man war zwar der Meinung, dass dieses Gelernte einen großen Stellenwert habe, aber es gab die Diskussion, ob das Gelernte sich nicht schon erfolgreich verbreitet habe oder es noch einen „Push“ brauche. Insbesondere Studierende artikulierten die Angst, dass man nach der Pandemie zu einem „status quo ante“ zurückkehre und Errungenes verloren gehen könnte. Das sei aber eher Pessimismus, so andere Mitdiskutierende. Umgekehrt wurde auch die Angst artikuliert, langfristig bei digitalen Formaten zu bleiben. Manche begründeten diese Furcht mit der Trägheit der jetzigen Lage, andere machten sie an Kapi-

tal- und Machtinteressen sowie eingeschränkten Möglichkeiten politischer Organisation fest. Aber eine Welt nur digital: darauf hatte keine:r Lust.

4 Ausblick

Die Corona-Pandemie hatte und hat massive Auswirkungen auf Lehre und Studium. Sie hat die größte Bildungsreform nach Bologna ausgelöst und musste zudem fast vollständig von Lehrenden und Studierenden ohne zusätzliche Unterstützung oder Ressourcen gemeistert werden.

Vieles ist dabei ausprobiert und verworfen worden; Altbekanntes wurde aktualisiert, Lernen und Verstehen als gemeinschaftlicher Prozess wurden ins Bewusstsein gerufen, neue Widersprüche wie Einzelzelle vs. individualisiertes Lernen wurden sichtbar, sind aber noch weitgehend unbeantwortet.

Dass solche Fragen überhaupt ernsthaft aufgeworfen werden, ist neu und eine Errungenschaft der Corona-Semester, die sich auch in unserem Workshop widerspiegelte. Die Fruchtbarkeit solcher Debatten steht aber in einem dissonanten Verhältnis zur Gesamtlage an den Hochschulen, die auch in einigen Inputs deutlich zur Sprache kam.

Nach Ansicht der Autor:innen zeigt dies, dass es nicht reicht, die durch die Pandemie aufgeworfenen Fragen im Rahmen einzelner Veranstaltungen, bestehender Prüfungsordnungen, auf Dienstwegen usw. zu beantworten. Entscheidend wäre ein Sprengen oder zumindest ernsthaftes Hinterfragen dieser Rahmenbedingungen, um der tatsächlichen Lage gerecht zu werden: Worauf soll es wirklich ankommen – im Studium und im Leben?

In jedem Fall ist es nun, wo die Hochschulen hoffentlich bald wieder öffnen, an der Zeit, einen intensiven Austausch über die individuellen Erfahrungen anzustreben und nicht nur aus den eigenen Erfolgen und Fehlern zu lernen, sondern auch aus denen von Kolleg:innen – und zwar gemeinsam. Es ist essenziell, dass nun, da Erfahrungen gemacht und individuell ausgewertet wurden, systematisch aufgearbeitet wird und gemeinsam Konsequenzen aus dem Gelernten gezogen werden.

Wir hoffen mit unserem Workshop hierfür einen Aufschlag gemacht zu haben und wünschen uns weitere Reflexion und Entwicklung.

5 Literatur

- 1 Klein, P. et al.: Studying physics during the COVID-19 pandemic: Student assessments of learning achievement, perceived effectiveness of online recitations, and online laboratories. *Physical Review Physics Education Research*, 17(1), 010117. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.17.010117>
- 2 Schirber, M. (2021). Students Evaluate Online Teaching. *Physics*, 14, 37. <https://physics.aps.org/articles/v14/37>

Wie sieht die Struktur des Physikstudiums aus?

Stefan Brackertz^{*}, Fabian Freyer[†], Daniela Kern-Michler[‡], Manuel Längle⁺, Lars Vosteen[%]

^{*}Universität zu Köln, Fachschaft Physik, Zülpicher Straße 77, 50937 Köln

[†]Technische Universität Berlin, Ini Physik, Raum EW023, TU-Berlin, Hardenbergstr. 36, 10623 Berlin

[‡]ZaPF e.V., c/o Goethe Universität Frankfurt, Raum __.208, Max-von-Laue-Str. 1, 60438 Frankfurt / Main,

⁺Universität Wien, Studierendenvertretung Physik, Boltzmanngasse 5 1090 Wien

[%]Universität zu Lübeck, Ratzeburger Allee 160, 23562 Lübeck, Gebäude 64

sbracker@smail.uni-koeln.de, fabian.freyer@physik.tu-berlin.de, kern-michler@posteo.de, manuel.laengle@univie.ac.at, lars.vosteen@student.uni-luebeck.de

Kurzfassung

Läuft das Physikstudium im deutschsprachigen Raum im Großen und Ganzen überall auf die gleiche Art ab oder sind die Strukturen von Standort zu Standort verschieden? Wie lässt sich die Ähnlichkeit von Studiengangsstrukturen feststellen?

Zur Beantwortung dieser Fragen lassen sich die von der Zusammenkunft der deutschsprachigen Physikfachschaften (ZaPF) und der jungen Deutschen Physikalisch Gesellschaft (jDPG) schon länger organisierten und durchgeführten Umfragen nutzen. Sie bieten unter anderem Informationen zu inhaltlichen Schwerpunktsetzungen der Studiengänge. Aus den Debatten des Studienreformforums ist nun die Notwendigkeit erwachsen, mehr noch die Struktur der Studiengänge in den Blick zu nehmen; zeitgleich ist ein Vorschlag für deren Darstellung entstanden.

Im letzten Jahr ist angesichts dessen ein öffentlich zugängliches Online-Tool entstanden, das es erlaubt, diese Darstellung halbautomatisiert aus den Informationen der Modulhandbücher zu erstellen. Die so erzeugten Darstellungen sollen nicht nur der Beforschung der Studiengänge dienen, sondern gleichzeitig für die Arbeit in den Fachbereichen nutzbar sein. Mittelfristig sollen die Datenerfassung der Umfragen und dieses Tools zusammenwachsen.

Dieser Beitrag beschreibt das Tool und die Ideen dahinter und regt hoffentlich zur Nutzung an.

1. Einleitung

Während der Reflexion der Reformprozesse von Physikstudiengängen im Rahmen des Studienreform-Forums¹ kam immer wieder die Frage auf, wie sich die Strukturen von Physikstudiengängen voneinander unterscheiden. Sind alle Physikstudiengänge im Großen und Ganzen gleich oder gibt es „Geschmacksrichtungen“ und verschiedene wiederkehrende Muster?

1.1. Hintergrund

Diese Frage wurde einerseits bereits vor Jahren durch die Kontroverse um das CHE-Ranking (vergl. z.B.: [1]) aufgeworfen. Andererseits gab es im Rahmen der Diskussion während des Studienreform-Forums 2019 auf der DPG-Frühjahrstagung in Aachen [2] einen Konsens, dass es wünschenswert wäre, wenn Physikstudiengänge unterschiedlich schnell studierbar wären. Dort wurde einerseits berichtet, dass mehrere Physikfachbereiche die Einführung eines weiteren Physik-Bachelor-Teilzeit-Studiengangs mit gleichem Inhalt, aber längerer Regelstudienzeit diskutierten. Dieses Modell sei aber tenden-

ziell nur in größeren Fachbereichen machbar und habe zudem den Nachteil, dass Studierende sich zu Beginn ihres Studiums festlegen müssen, obwohl sich typischerweise erst im Studienverlauf herausstelle, ob es für die jeweilige Person sinnvoll wäre, in Regelstudienzeit zu studieren oder nicht, und sich persönliche Rahmenbedingungen im Laufe des Studiums auch ändern können. Deshalb wurde von vielen ein Studiengang, der flexibel sowohl in Vollzeit als auch in Teilzeit studierbar ist, favorisiert, von anderen Teilnehmer:innen aber für unmöglich gehalten. Einigkeit herrschte aber wiederum darin, dass es gut sei, sich einen Überblick darüber zu verschaffen, welchen Konzepten die verschiedenen existierenden Studiengänge diesbezüglich folgen, und insbesondere auch solche Studiengänge genauer zu untersuchen, die weniger verbreiteten Ansätzen folgen.

2. Studiengang-Diagramme

Um sich der Struktur von Studiengängen anzunähern, gibt es verschiedene Möglichkeiten. Bereits seit mehreren Jahren befragen junge Deutsche Physikalische Gesellschaft (jDPG) und die Zusammenkunft aller Physikfachschaften (ZaPF) im Rahmen einer größeren Umfrage regelmäßig alle Fachschaften im

¹ Weitere Infos zum Studienreformforum und seinen Aktivitäten sowie ältere Beiträge finden sich auf der zugehörigen Webseite: www.studienreform-forum.de

deutschsprachigen Raum nach Art und Umfang der vorhandenen Lehrinhalte.

Hieraus lässt sich eine Art Inhaltsprofil eines Studienganges erstellen. Insgesamt wurden dabei bisher 36 Standorte erfasst. Aus den Ergebnissen lassen sich aber nicht unmittelbar Muster erkennen, insbesondere geben sie keine Auskunft über die im Studienreform-Forum aufgekommene Frage, wie flexibel die Studiengänge studierbar sind.

Deshalb wurde nun ein anderer Ansatz gewählt, sich der Struktur von Studiengängen zu nähern. Neben den Inhalten sind auch die Zusammenhänge relevant. Also wann welches Thema behandelt wird und welche Themen/Veranstaltungen voneinander abhängen. Um diese Zusammenhänge auswertbar zu machen, wurden einem Vorschlag aus einem Beitrag zum Studienreform-Forum 2019 [3] folgend grafi-

sche Darstellungen von Studiengängen wie in Abbildung 1 angefertigt.

Um solche Diagramme zu erstellen, wurde ein Web-tool entwickelt [4].

Im Webtool werden Module und / oder Veranstaltungen des Studienganges und ihre Verknüpfungen untereinander eingetragen und in einer MySQL-Datenbank auf dem Webserver gespeichert. Ein Pydot Skript zeichnet daraus eine entsprechende „Strukturformel“ des Studienganges, die unmittelbar angezeigt wird. Sie besteht aus beschrifteten Boxen für die einzelnen Veranstaltungen / Module, die durch Abhängigkeitspfeile miteinander verbunden sind. Ein Pfeil besagt dabei, dass die betreffenden Veranstaltungen / Module in der Reihenfolge der Pfeilrichtung oder zumindest gleichzeitig, aber nicht gegen die Pfeilrichtung zu studieren sind.

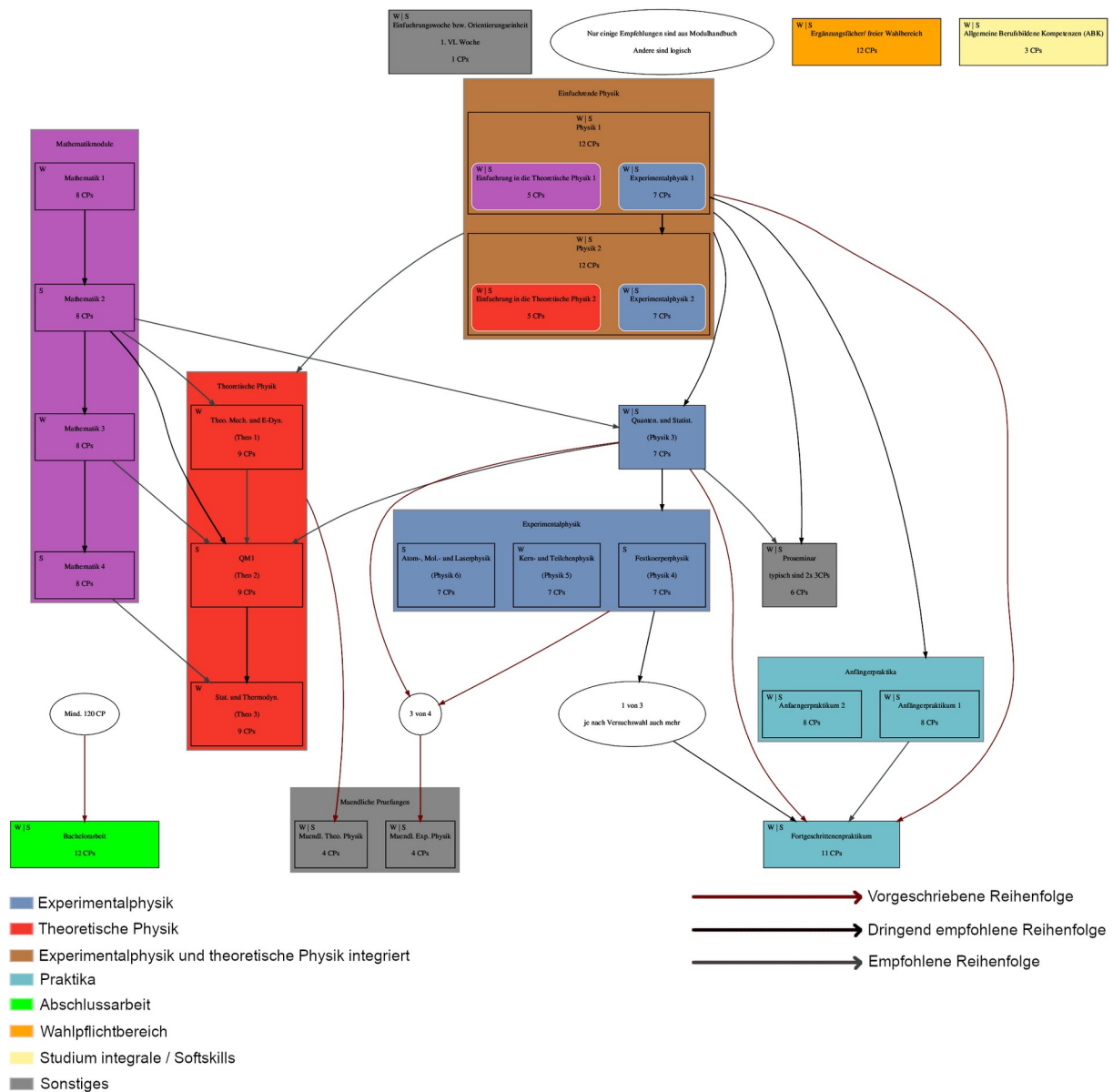


Abb. 1: Mit dem Webtool erstelltes Studiengang-Diagramm des Bachelor of Science Physik-Studiengangs an der Uni Hamburg. Die Breite der Boxen skaliert mit der Anzahl der Leistungspunkte.

Das Erheben der Studiengangsstrukturen durch das Webtool bietet mehrere Vorteile gegenüber einer herkömmlichen Umfrage. Zum einen fallen Missverständnisse beim Ausfüllen direkt auf, da die Angaben unmittelbar umgesetzt werden und damit von der ausfüllenden Person direkt überprüfbar sind.

Zum anderen liefert das Tool mit dem Schaubild des Studienganges, das direkt heruntergeladen werden kann, eine nützliche Basis zur Studienberatung oder als Grundlage für Diskussionen zur Studiengangs-entwicklung vor Ort. Damit geht der Aufwand, der

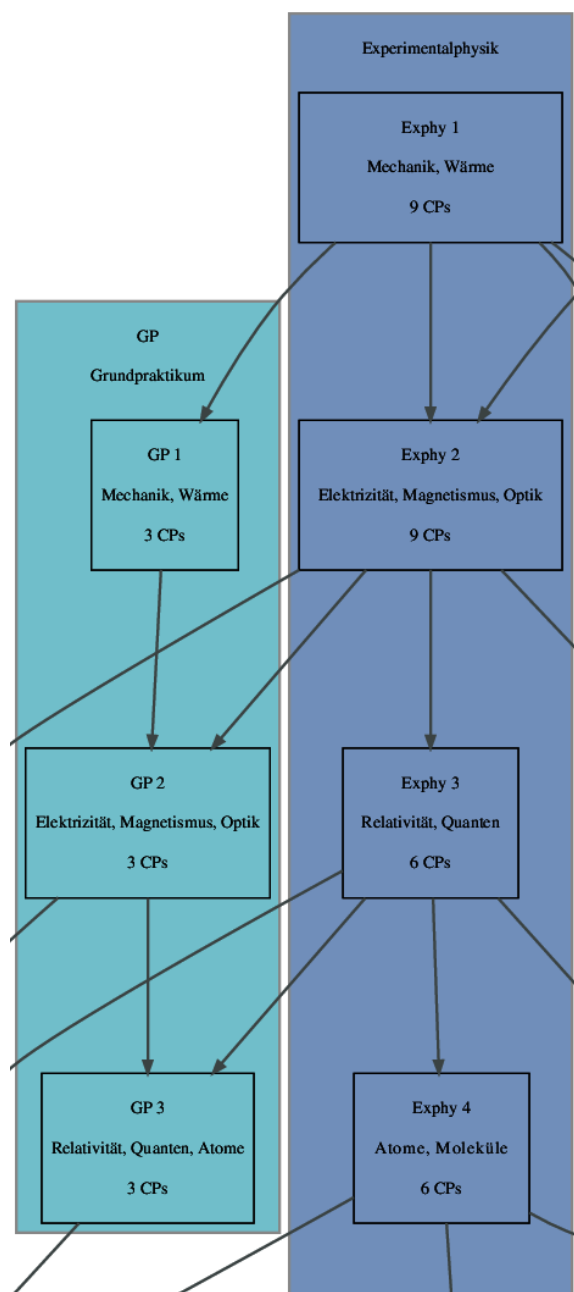


Abb. 2: Ausschnitt aus dem Diagramm des Bachelor of Science Studienganges an der Uni Rostock. Pfeile zeigen nur von der Experimentalphysik-Säule in die Grundpraktikums-Säule, aber nicht in die umgekehrte Richtung. Das Grundpraktikum kann im Studienverlauf flexibel nach hinten geschoben werden.

vor Ort durch das Erfassen von Daten zur Beforschung von Studiengängen entsteht, hoffentlich auch mit einem direkten Nutzen für die Akteure vor Ort einher, sodass mehr Rückläufe höherer Qualität generiert werden können. Gleichzeitig fällt direkt auf, wenn vor Ort etwas verändert wurde, aber das Diagramm noch nicht aktualisiert wurde. Die Webseite des Tools erlaubt es außerdem allen, selbst die Studiengänge an verschiedenen Standorten miteinander zu vergleichen.

2.1. Erste Analysen

Das Tool erlaubt einerseits die Zuordnung von Modulen und Veranstaltungen zu den klassischen Bereichen der Physik und Mathematik, wie sie in den meisten Modulhandbüchern, Studienverlaufsplänen und auch der eingangs erwähnten Umfrage vorkommt. Sie spiegelt sich in den Diagrammen durch verschiedene Farben wider.

Darüber hinaus ermöglicht das Tool Gruppierungen. Die Gruppierungen sollen so angelegt werden, dass Abhängigkeitspfeile möglichst zusammengefasst werden, sodass die Abhängigkeitsstruktur und somit der ‚geheime Studienverlaufsplan‘ und die Möglichkeiten, von den Muster-Studienverlaufsplänen abzuweichen, hervortreten. Als erste Faustregel hat sich bewährt: Eine Gruppierung ist dann sinnvoll, wenn sie die Zahl der einzelnen Pfeile, die notwendig sind, um alle Abhängigkeiten vollständig darzustellen, möglichst stark reduziert. Dieses Instrument ist sehr mächtig, wie etwa der Vergleich der beiden im Tool bereits hinterlegten Diagramm-Varianten des Wiener Bachelor of Science-Studienganges einmal mit und einmal ohne Gruppierungen demonstriert. Dabei gibt es oft verschiedene Möglichkeiten der Gruppierung.

Angesichts der Debatten beim Studienreform 2019 unterscheidet das Tool zwischen verschiedenen starken Abhängigkeiten. Diese Unterscheidung ist insbesondere relevant für die Studienberatung und -orientie-

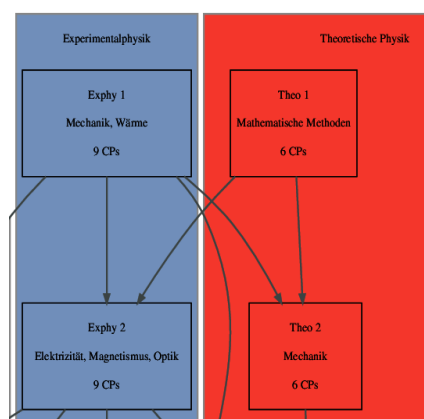


Abb. 3: Ausschnitt aus dem Diagramm des Bachelor of Science Studienganges an der Uni Rostock. Die Pfeile zwischen der Experimentalphysik- und der Theorie-Säule überkreuzen sich. Die Säulen können nicht gegeneinander verschoben werden.

rung in höheren Semestern: Für Spaß wie für Erfolg im Physikstudium ist es entscheidend, dass Studierende zu Beginn des Studiums Arbeitsgruppen bilden, die produktiv zusammenarbeiten können und auch darüber hinaus etwas miteinander anfangen können. Diese Erkenntnis ist nicht neu und viele Fachbereiche und Fachschaften unterstützen diesen Prozess aktiv. Eine bisher allerdings wenig adressierte Schwierigkeit, die sich gerade auch im Pandemie-Onlinebetrieb gezeigt hat, entsteht aber, wenn diese Gruppen später zerfallen. Dafür gibt es neben unterschiedlichen Schwerpunktsetzungen in Wahlpflichtbereichen vor allem zwei Gründe: Studienabbrüche und nicht bestandene Klausuren. Es ist eher der Regelfall als die Ausnahme, dass ein Teil einer gut funktionierenden Arbeitsgruppe eine Klausur knapp besteht und der andere Teil dieselbe Klausur knapp nicht besteht. In solch einem Fall wäre es eigentlich sinnvoll, dass die Gruppe, deren Mitglieder faktisch auf ähnlichem Stand sind, gemeinsam berät, wie sie weiter durch das Studium geht und ob sie es sich zutraut, gemeinsam im Folgesemester Veranstaltungen zu besuchen, die auf die Veranstaltung mit der fraglichen Klausur aufbauen. Dieser Prozess wird massiv erschwert, wenn Modulvoraussetzungen nicht nur einen empfehlenden Charakter haben (graue und schwarze Pfeile), sondern verbindlich in

den Studienordnungen festgeschrieben sind (rote Pfeile). Um im ersten Fall die Entscheidung zu erleichtern, ermöglicht das Tool, zwischen dringenden und sonstigen Empfehlungen (schwarze und graue Pfeile) zu unterscheiden.

Ebenfalls offensichtlich für die Studienberatung und -orientierung relevant und ein naheliegendes Merkmal für eine erste Beurteilung der Flexibilität eines Studiengangs sind *Säulen*, *Kreuzungen*, *Nadelöhr* und *Bremsen* in den Diagrammen.

Viele Studiengänge umfassen aufeinander aufbauende Veranstaltungsreihen wie etwa „Experimentalphysik I-VI“, „Theoretische Physik I-IV“ oder „Praktikum A-D“, die sich typischerweise als Säulen gleicher Farbe in den Diagrammen zeigen, vergleiche Abbildung 2. Abgesehen davon, dass in manchen Studiengängen bewusst Abhängigkeiten zwischen einzelnen Veranstaltungen einer Säule vermieden werden, um etwa wie in den Kölner Bachelor-Studiengängen den Studienbeginn im Winter und im Sommer zu ermöglichen (Experimentalphysik II setzt dort nicht Experimentalphysik I voraus), sind vor allem Abhängigkeiten zwischen diesen Säulen für die Flexibilität von Studiengängen interessant. In vielen Studiengängen gibt es beispielsweise Pfeile von der Säule der Experimentalphysik-Vorlesungen

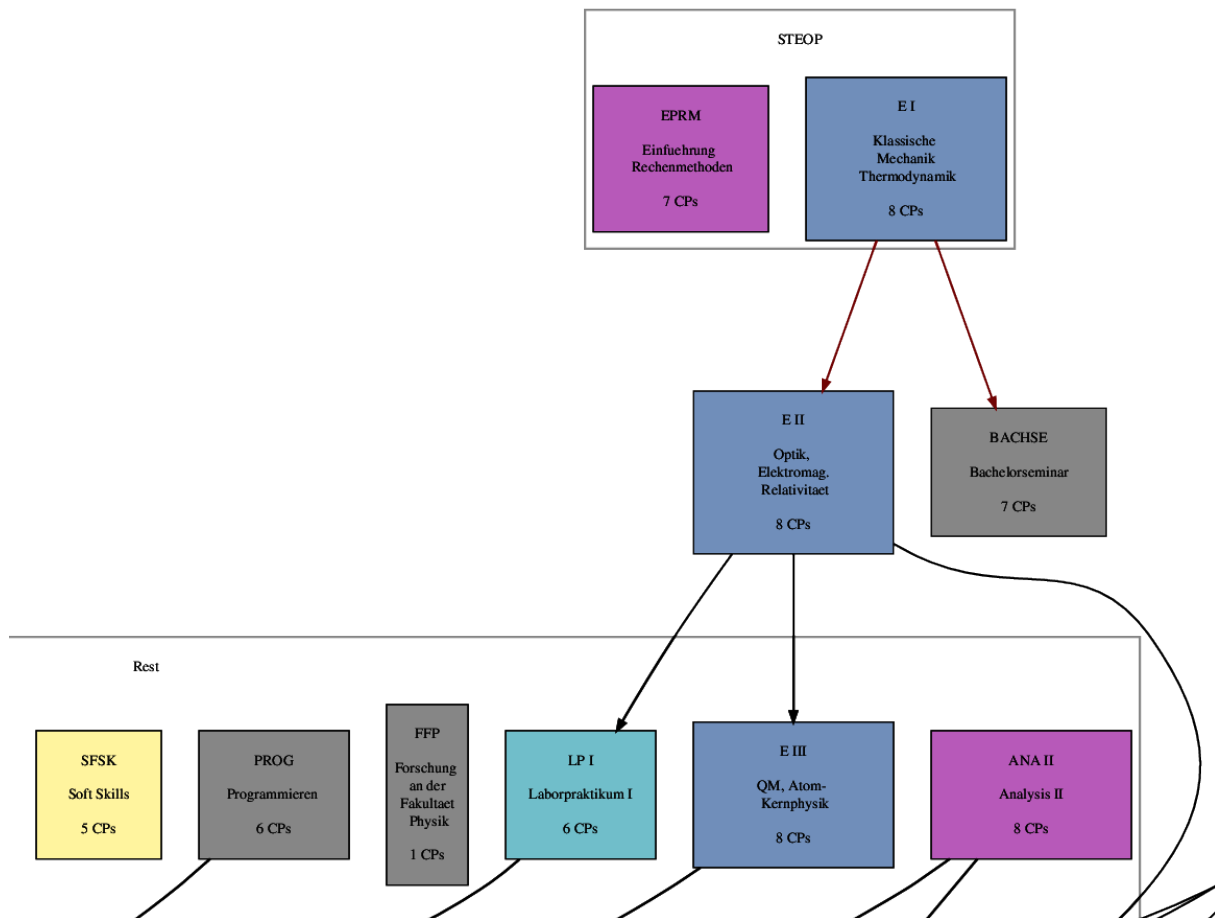


Abb. 4: Die gesetzlich vorgeschriebene „Studieneingangs- und Orientierungsphase (STEOP)“ des Wiener Bachelor-Studiengangs ist ein Extrembeispiel für ein Nadelöhr. Fast der gesamte Studiengang ist erst zugänglich, nachdem die Module dieser Phase bestanden wurden.

zu den Praktika, aber nicht umgekehrt. Daraus ist unmittelbar einsichtig, dass es für ein Teilzeitstudium unproblematisch ist, die Praktika insgesamt in spätere Semester zu verschieben und im Extremfall mit ihnen überhaupt erst nach den Experimentalphysik-Vorlesungen zu beginnen; umgekehrt ist es offensichtlich im Allgemeinen weniger sinnvoll, Experimentalphysik-Vorlesungen zu verschieben, wenn man feststellt, dass man sich zu viel vorgenommen hat.

In einigen Studiengängen gibt es eine solche Flexibilität auffallend weniger, was direkt an sich überkreuzenden Pfeilen, wie sie etwa in Abbildung 3 gezeigt sind, deutlich wird. Stichprobenartige Analysen und der Vergleich mit anderen Studiengängen haben gezeigt, dass es in solch einem Fall oft reichen würde und auch möglich sein müsste, wenige Inhalte zwischen den betreffenden Modulen zu tauschen, um die Überkreuzungen aufzuheben und den Studiengang erheblich flexibler studierbar zu machen.

Ein sehr eindrückliches Beispiel ist die „Studieneingangs- und Orientierungsphase (STEOP)“ an der Uni Wien, die den Studiengang, faktisch in zwei aufeinander aufbauende Studiengänge unterteilt, siehe Abbildung 4. Bei solchen Nadelöhren handelt es sich oft nicht um Abhängigkeiten, die sich aus der inneren Struktur des Studiengangs begründen ließen, sondern wie im genannten Beispiel um eine politisch gewollte Selektionshürde, die fächerübergreifend gesetzlich festgelegt ist.

Ein weiteres verbreitetes Strukturmerkmal sind Bremsen, die typischerweise vor der Abschlussarbeit eingebaut sind (vergleiche Abbildung 5): Sie stellen keine Abhängigkeit von bestimmten Modulen dar, sondern machen z.B. eine bestimmte Anzahl an erreichten Credit Points (in einem bestimmten Bereich) zur Voraussetzung für einen Teil des Studiengangs.

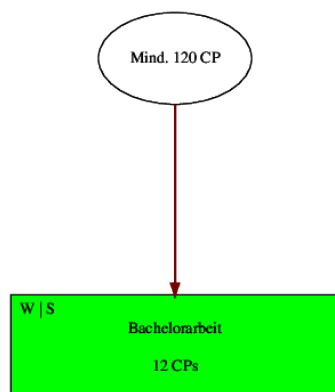


Abb. 5: Ausschnitt aus dem Diagramm des Bachelor of Science Studiengangs an der Uni Hamburg. Die Bachelorarbeit hat keine spezifischen Voraussetzungen, kann aber erst begonnen werden, wenn mindestens 120 CPs erworben wurden.

3. Stand der Entwicklung und Ausblick

Das Tool befindet sich zu dem Zeitpunkt, zu dem dieser Beitrag entsteht, noch in schneller Weiterentwicklung. Eine zentrale Frage ist dabei, wie sich wirkliche Unterschiede in der Struktur von Unterschieden in deren Darstellung unterscheiden lassen. In der bisherigen Nutzung zeigt sich, dass sehr unterschiedlich bei der Gruppierung von Inhalten vorgegangen wird und dadurch deutliche Unterschiede in der Wahrnehmung erzeugt werden können. Deshalb wird gerade diskutiert, ob es eine sinnvolle Möglichkeit gibt, die Gruppierungen zu automatisieren.

Zudem kann ein Studiengang aufgeräumter und ansprechender wirken, wenn er mehr Einschränkungen enthält, was ihn aber typischerweise schlechter und nicht besser macht.

Für eine weiterführende Auswertung ist ebenso wie für die Weiterentwicklung des Tools die Erfassung von mehr Studiengängen notwendig. Auch wenn das Tool noch weiterentwickelt wird, ist dies keine vergebliche Arbeit; die Abfrage der Informationen zu den Studiengängen ist bewusst so gestaltet, dass eine erneute Datenerfassung höchstwahrscheinlich auch dann nicht notwendig sein wird, wenn das Tool noch massiv weiterentwickelt wird.

Deshalb bitten wir alle Interessierten darum, das Tool zu nutzen und um weitere Studiengänge zu erweitern. Und das ist nach Erfahrung der Autor:innen nicht nur nützlich, sondern kann durchaus auch ein bisschen Spaß machen.

4. Literatur

- [1] Studis-Online, (2016): CHE-Hochschulranking im ZEIT Studienführer 2016/17: „Immer mehr Fachbereiche steigen aus:“ <https://www.studis-online.de/Studieren/art-1932-che-hochschulranking-2016.php> (Stand: 6/2021)
- [2] Brackertz, Stefan; Donocik, Niklas; Kern-Michler, Daniela; Längle, Manuel; (2019) Forum Studienreform 3: „Auf Vorrat lernen oder Fragen nachgehen?“ – Podiumsdiskussion: <https://www.dpg-verhandlungen.de/year/2019/conference/aachen/part/dd/session/27> (Stand: 6/2021)
- [3] Brackertz, Stefan et al. (2019). Forum Studienreform. In: PhyDid B – Didaktik der Physik – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung 2019. „Entschulung ist mehr als das Aufheben von Restriktionen“ Direktlink zum Einzelbeitrag: <https://studienreform-forum.de/de/forum-2019/beitraege-2019/2019/03/13/entschulung-ist-mehr-als-das-aufheben-von-restriktionen/> (Stand: 5/2021)
- [4] Studiengangsdigramm Tool: studiengang-diagramm.de/ (Stand: 5/2021)

Validierung eines Mindset-Fragebogens für Physik- (Lehramts-) Studierende mittels Interviewstudie

Malte Diederich, Verena Spatz

Didaktik der Physik, TU Darmstadt, Hochschulstraße 12, 64289 Darmstadt
malte.diederich@physik.tu-darmstadt.de

Kurzfassung

Kann man ändern wie intelligent man ist? Kann jede*r Physik verstehen, oder fehlt einigen dafür die Begabung? Die Mindset-Theorie nach Carol Dweck beschreibt die Auswirkungen, welche solche impliziten Überzeugungen haben können. Auf universitärer Ebene ist die Befundlage in der Mindset-Forschung heterogen. Eine mögliche Erklärung hierfür ist, dass bislang hauptsächlich fachübergreifende Mindsets erfasst wurden. Daher wurde für die Physik eine fachspezifische Skala entwickelt, welche die klassische Intelligenz-Skala ergänzen soll. In einem nächsten Entwicklungsschritt wurden beide Skalen nun anhand einer Kombination von Think-Aloud bei der Bearbeitung und anschließendem halbstrukturiertem Interview mit 11 Studierenden aus verschiedenen Bereichen und Phasen des Physik-(Lehramts-)Studiums validiert. Aus den erhobenen Daten wurde mittels qualitativer Inhaltsanalyse das Mindset bestimmt und mit den Ergebnissen des Fragebogens verglichen. Hierbei zeigte sich, dass die Ergebnisse in den einzelnen Skalen abhängig vom konzeptuellen Verständnis der Begriffe „Intelligenz“ und „Begabung“ sind. Für sich genommen führt daher weder die physikspezifische Skala noch die klassische Intelligenz-Skala zu validen Ergebnissen. Allerdings ist durch die Kombination beider Skalen eine valide Zuordnung möglich.

1. Mindset bei Studierenden

Nach der Mindset-Theorie von Carol Dweck werden zwei konkurrierende Mindsets zum eigenen Leistungsvermögen unterschieden: Menschen sind in bestimmten Situationen entweder davon überzeugt, dass eine bestimmte Eigenschaft (wie Intelligenz, Begabung für Physik oder Persönlichkeit) unveränderlich ist (Fixed-Mindset) oder sie sind davon überzeugt, dass sie formbar ist durch Anstrengung, gute Lernstrategien und Unterstützung von anderen (Growth-Mindset) (Dweck & Yeager, 2019).

Die Mindset-Theorie will hierbei nicht reale existierende Unterschiede in der Intelligenz bzw. Begabung oder Persönlichkeit absprechen. Vielmehr geht es darum, welche Sichtweise die praktischere ist und welche Konsequenzen aus einer bestimmten Sichtweise folgen (Dweck, 2000, S. 63).

Außerdem soll das Mindset selbst nicht als feststehender Charakterzug missverstanden werden. Vielmehr kann dessen Ausprägung in einem Spektrum vom Fixed zum Growth Mindset durch äußere Einflüsse ausgelöst und verändert werden. Dweck beschreibt das Erlernen eines Growth-Mindset als eine Reise, bei der man zunächst die Existenz des eigenen Fixed-Mindset anerkennen muss, um von dort aus Situationen identifizieren zu können, die dieses auslösen (Dweck, 2017, S. 257). Das Mindset zeigt sich besonders bei schwierigen Situationen in eher hilflosen (helpless response) oder produktiven Reaktionen (mastery-oriented response) (Dweck, 2000, S. 16).

Die Mindset-Theorie wurde bereits in umfangreichen Studien an der Schule erforscht. Schüler*innen, welche vermehrt Growth-Überzeugungen vertreten, haben im Durchschnitt bessere Schulleistungen und begegnen zum Beispiel Herausforderungen und Widerständen positiver. Bei jüngeren Schüler*innen wurden bereits Interventionen erfolgreich erprobt, mit denen Growth-Überzeugungen gefördert werden können (für eine Übersicht der bisherigen Forschung vgl. Dweck & Yeager, 2019). Bei Studierenden gibt es dagegen keine eindeutigen Ergebnisse. So konnten z.B. Ortiz Alvarado et al. (2019) einen positiven Zusammenhang zwischen Growth-Mindset und Studienerfolg ($r=0,292$) sowie Wohlbefinden ($r=0,097$) feststellen. In einer Meta-Studie von Sisk et al. (2018) wurden dagegen in einigen Studien gute Korrelationen zwischen Leistung und Growth-Mindset gefunden, in anderen dagegen keine oder sogar negative Korrelationen.

Eine mögliche Ursache könnte in den verwendeten Skalen zur Messung des Mindsets liegen, welche sich auf die Änderbarkeit der allgemeinen Intelligenz allein beziehen (Dweck, 2000, S. 177 ff.). Das konzeptuelle Verständnis von Intelligenz ist hierbei abhängig von kulturellen Faktoren und differenziert sich mit zunehmendem Alter weiter aus (Limeri et al., 2020), sodass mit der Intelligenz-Skala womöglich fachspezifische Überzeugungen nicht richtig identifiziert werden. An der TU Darmstadt und an der Goethe-Universität Frankfurt wurde deshalb in den letzten Jahren ein Mindset-Fragebogen speziell für das

Physik-(Lehramts-) Studium entwickelt (Rehberg et al., 2019). Ausgehend von Interviews mit Schüler*innen (Goldhorn, 2017) und Lehrkräften (Lippmann, 2018) wurden das Verstehen von Physik und ein physikspezifischer Begabungsbegriff als fachspezifische Elemente identifiziert, welche dann in mehreren Skalen operationalisiert wurden.

2. Forschungsziele der Arbeit

Der in der Studie untersuchte Fragebogen enthält neben dem klassischen Intelligenz-Fragebogen zusätzlich Items zur Rolle von Anstrengung und Begabung in Physik. Außerdem werden in dem Fragebogen auch weitere Konzepte erhoben (GRIT, fachspezifische Resilienz, Achievement Motive). Der Fokus dieser Arbeit liegt aber, nach einer bereits erfolgten statistischen Validierung, auf einer inhaltlich qualitativen Validierung der Mindset-Skalen (Tab. 1) des Fragebogens.

| Skala | # | α_c | Beispiel-Item |
|--|---|------------|--|
| Erfolg in Physik beruht auf Anstrengung (Rehberg et al., 2019) | 5 | .848 | Jede*r kann Physik verstehen. Man muss nur genug dafür tun. |
| Erfolg in Physik beruht auf Begabung (Rehberg et al., 2019) | 5 | .834 | Physiker*innen zeichnen sich durch eine besondere Begabung aus, die nur wenige Menschen haben. |
| Mindset Intelligenz (Dweck, 2017) | 4 | .825 | Man kann seine Intelligenz immer noch ein Stück weit ausbauen. |

Tab. 1: Mindset-Skalen des Fragebogens

Dabei wurden folgende Forschungsfragen formuliert:

1. Passt das Ergebnis des Mindset-Fragebogens zur Mindset-Zuordnung auf Basis eines vertiefenden qualitativen Interviews?
2. Auf welche Konzepte und Vorstellungen der Befragten lassen sich die Ergebnisse im Fragebogen zurückführen?
3. Gibt es Itemformulierungen, die wiederholt zu Missverständnissen oder inhaltlichen Differenzen führen?

3. Forschungsmethode

Zur Beantwortung dieser Fragen wurden qualitative Interviews (ca. 30 min) mit 11 Studierenden aus verschiedenen Phasen des Studiums (3 Physik, 7 Lehramt, 1 Nebenfach) geführt.

3.1. Datenerhebung: Lautes Denken und halbstrukturierte Einzelinterviews

In den Interviews wurden per Videokonferenz geführt und bestanden aus zwei Teilen. Im ersten Teil sollten die Personen den Fragebogen vollständig bearbeiten und dabei ihre Gedanken, die ihnen beim Ausfüllen durch den Kopf gingen, verbalisieren. Im zweiten Teil wurden in einem halbstrukturierten Interview

Aussagen zu folgenden Hauptkategorien gesammelt, aufbauend auf der Kategorisierung von Lippmann (2018):

1. Leistungszurückführung: Auf welche Faktoren wird die Leistung im Studium zurückgeführt? Welche Faktoren werden genannt, mit denen man den Studienerfolg vorhersagen könnte?
2. Begabung: Wie wird der Begabungsbegriff verwendet? Wie wird er definiert? Was ist eine Begabung insbesondere in Physik? Wird Begabung vererbt oder entwickelt sie sich im Laufe des Lebens?
3. Fähigkeitsentwicklung: Welche Aussagen und Prognosen werden über die Zukunft getroffen? Könnte jede*r Physik studieren, wenn man das wirklich will? Könnte jede*r auch wirklich gut werden in Physik, sowohl als Studierende*r als auch als Forschende*r? Gibt es eine Grenze, die man selbst mit größter Anstrengung nicht überschreiten kann? Können einige Physik einfach nicht verstehen?
4. Intelligenz: Wie wird der Begriff verwendet? Was umfasst er? Was umfasst er nicht? Wie könnte sich Intelligenz entwickeln? Was ist die Aussage eines IQ-Tests?
5. Reaktion: Wie werden schlechtere Leistungen trotz größerer Anstrengung erklärt? Wie würde auf eine schlechte Studienvorhersage reagiert? Wie würde sich die Person in Aufgabensituationen verhalten? Wie reagiert sie auf Rückschläge?

Für den letzten Punkt wurden die Studierenden dazu aufgefordert, sich in ein bestimmtes Szenario hineinzuversetzen, um direkte Reaktionen auf einen Rückschlag zu erfragen. Der komplette Interviewleitfaden ist auf Anfrage erhältlich.

3.2. Datenauswertung: Qualitative Inhaltsanalyse

Die oben gesammelten Daten wurden mit der inhaltlich strukturierenden qualitativen Inhaltsanalyse nach Udo Kuckartz ausgewertet (Kuckartz, 2012). Hierfür wurden zunächst die Interviews vollständig transkribiert. Im nächsten Schritt wurden die Transkripte anhand der oberen fünf Hauptkategorien codiert und daraus fallbezogene, thematische Zusammenfassungen erstellt. Es wurde auf eine Paraphrasierung verzichtet und möglichst nahe am Originalmaterial gearbeitet.

4. Auswertung

4.1. Mindsetbestimmung aus dem Fragebogen

Die Ergebnisse der Studierenden aus dem Fragebogen für die drei Mindset-Skalen liefern zunächst kein Eindeutiges Bild (Abb. 1). In der Grafik entsprechen hohe Werte immer einer starken Growth-Aussage. Aus den Ergebnissen konnten fünf Studierende direkt dem Growth-Mindset zugeordnet werden (durchgezogene Linien). Die weiteren Studierenden konnten aus den reinen Ergebnissen des Fragebogens nicht eindeutig einem Mindset zugeordnet werden, da sie jeweils in einer Skala hohe Werte und in einer anderen Skala niedrigere Werte zeigten.

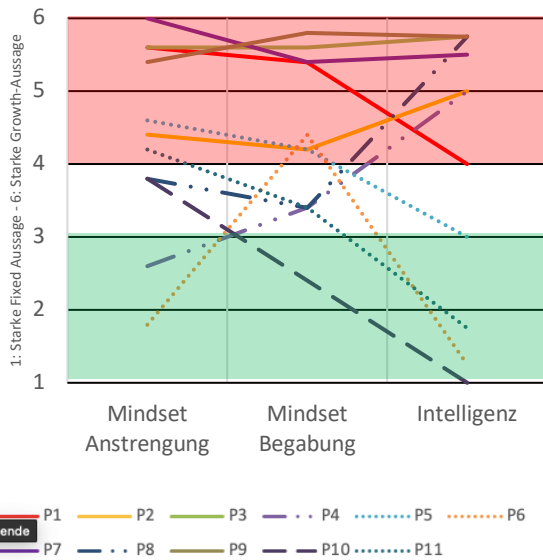


Abb. 1: Übersicht der Ergebnisse des Fragebogens zum physikalischen Mindset Anstrengung und Begabung sowie zum Intelligenz-Mindset.

4.2. Mindsetbestimmung aus dem Interview

Die codierten Aussagen wurden aufgeteilt nach den Hauptkategorien jeweils dem Growth- oder dem Fixed-Mindset zugeordnet. Dabei erfolgte die Zuordnung mit dem unteren Farbschema:

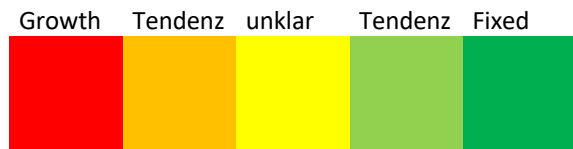


Abb. 2: Farbschema zur Codierung.

In Tab. 2 ist diese Codierung beispielhaft für den Bereich Leistungszurückführung dargestellt. Ausgehend von dieser Aufteilung wurde den einzelnen Personen zunächst in den einzelnen Hauptkategorien eine Tendenz zugeordnet (Abb. 3). Daraus folgend

| | P7 | P1 | P3 | P9 | P2 | P10 | P8 | P11 | P4 | P5 | P6 |
|--|-----|--------|--------|------|--------|-----------|--------|--------|--------|-------|--------|
| | LaG | LaG | LaG | Phys | Phys | Phys /Mat | LaG | LaG | LaG | LaG | ETIT |
| Leistungszurückführung | Red | Red | Red | Red | Red | Green | Green | Green | Green | Green | Green |
| Begabung | Red | Red | Red | Red | Yellow | Green | Green | Green | Green | Green | Green |
| Fähigkeitsentwicklung | Red | Red | Red | Red | Red | Yellow | Green | Green | Green | Green | Green |
| Reaktion: schlechtere Leistung trotz Anstrengung | Red | Yellow | Yellow | Red | Green | Red | Green | Green | Green | Green | Green |
| Reaktion: Aufgaben, Test | Red | Red | Yellow | Red | Yellow | Red | Yellow | Yellow | Green | Green | Yellow |
| Intelligenz | Red | Red | Red | Red | Red | Green | Yellow | Green | Yellow | Green | Green |

Abb. 3: Zuordnung der Studierenden zu den Mindsets.

wurde den Studierenden insgesamt eine Tendenz zugeordnet.

Leistungszurückführung: Welche Faktoren sind die entscheidenden, um in Physik erfolgreich zu sein? Welche Eigenschaften benötigt man?

- Veränderbare Erfolgsfaktoren: Durchhaltevermögen, Motivation, Fokus auf wichtige Veranstaltungen, Studienorganisation, Lernstrategien, Fleiß, Arbeitsmoral, realistische Selbsteinschätzung

- Erfolgsfaktoren (je nach Gewichtung): Vorwissen, Problemlösefähigkeit

- Nicht veränderbare Erfolgsfaktoren: Intelligenz, gute Auffassungsgabe, Begabung im mathematisch-physikalischem Denken, Transferfähigkeit, gute Professor*innen, logisches Denken, gutes Vorstellungsvermögen

Tab. 2: Mindsetzuordnung Leistungszurückführung.

Hierbei zeigte sich bei zehn der elf Personen ein weitgehend einheitliches Bild über die verschiedenen Hauptkategorien. Fünf Personen wurden einer Growth-Mindset-Gruppe zugeordnet (P7, P1, P3, P9, P2) und fünf Personen einer Fixed-Mindset-Gruppe (P8, P11, P4, P5, P6). Ein Vergleich mit zeigt, dass durch beide Methoden die gleichen fünf Studierenden dem Growth-Mindset zugeordnet wurden. Auch waren allgemeine fixe Aussagen zum Physikstudium immer begleitet von fixen oder neutralen Vorstellungen zur Intelligenz. Insgesamt waren nur wenige Widersprüche zwischen allgemeinen Aussagen und Reaktionen in spezifischen Situationen zu erkennen (bei P2 und P11). Nur Person 10 konnte kein eindeutiges Mindset zugeordnet werden. Der Studierende mit Doppelstudium Mathematik-Physik zeigte ein sehr elaboriertes Verständnis von der Rolle von Anstrengung und Intelligenz beim Studienerfolg zeigte. Dieser wird in den folgenden Auswertung nicht weiter berücksichtigt.

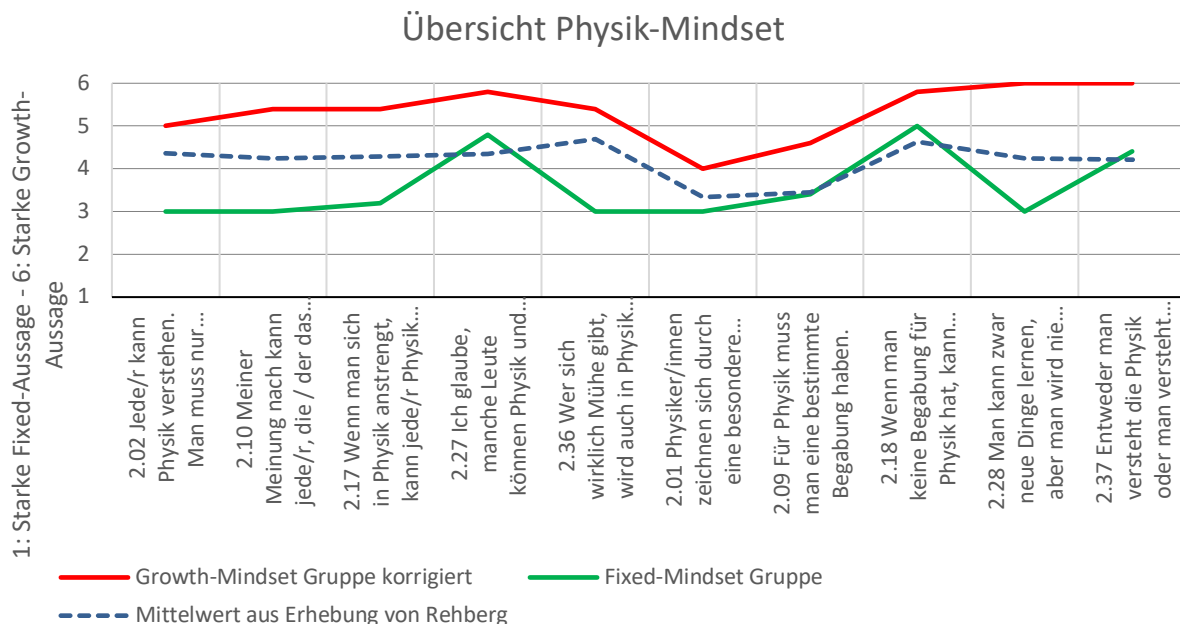


Abb. 4: Verlauf der Growth-Mindset-Gruppe (Rot) und der Fixed-Mindset-Gruppe (Grün) bei den beiden Skalen „Anstrengung“ (erste 5 Items) und „Begabung“ (Letzte 5 Items) des physikspezifischen Mindsets.

4.3. Analyse der einzelnen Items

Für die Analyse der einzelnen Items wurden aus allen Kommentaren wiederkehrende Formulierungen oder auch einzelne interessante Einwände gesammelt. Zusätzlich wurde die Einteilung aus den qualitativen Interviews genutzt, um die Items statistisch zu analysieren (Abb. 4). In der Abbildung wurden zusätzlich die Mittelwerte aus einer laufenden Befragung von Rehberg mit 541 Studierenden eingefügt (2020).

5. Diskussion

5.1. Auf welche Konzepte und Vorstellungen der Befragten lassen sich die Ergebnisse im Fragebogen zurückführen?

5.1.1. Growth-Mindset

Alle fünf Personen der Growth-Mindset-Gruppe nennen ausschließlich veränderbare Erfolgsfaktoren für den Studienerfolg. Sie lehnen die Existenz einer harten Grenze, die man durch angeborene Faktoren nicht überschreiten kann, vollständig ab. Eine Grenze entsteht höchstens durch eine zeitliche Limitation. Vier von fünf lehnen die Existenz einer besonderen physikalischen Begabung vollständig ab, die fünfte Person wehrt sich gegen die Vererbung einer solchen physikalischen Begabung. Dies spiegelt sich eindeutig in hohen Growth-Mindset-Werten wider.

5.1.2. Fixed Mindset

Alle fünf Personen der Fixed-Mindset-Grenze betonen zumindest teilweise die Bedeutung nicht veränderbarer Faktoren für den Studienerfolg (Intelligenz, Begabung). Alle nennen irgendeine Art von harter Grenze, welche man ohne angeborene Fähigkeiten nicht überschreiten kann. Allerdings ist die Überzeugung, wo diese Grenze liegt, sehr unterschiedlich.

Teilweise ist zumindest ein Grundverständnis für jeden möglich, weshalb bei einigen Items höhere Werte möglich wären. Ein Studium oder eine Karriere als Forscher*in wäre dann aber nicht möglich.

5.1.3. Begabung

Der Begriff der Begabung für Physik fällt zunächst vielen Personen schwer und wird sehr unterschiedlich verstanden, was sich in niedrigeren Werten bei den ersten Items zeigt (2.01, 2.09) (Abb. 4). Während die Growth-Mindset-Gruppe den Begriff höchstens als „Schnelleres Lernen“ oder als „Potenzial“ verwendet, bezieht die Fixed-Mindset-Gruppe diesen eher auf Fähigkeiten, welche man ohne Lernen von Geburt an hat (wie eine physikalische Intuition bzw. eine physikalische Transfer- oder Problemlösefähigkeit). Hierbei wird wieder sehr unterschiedlich wahrgenommen, wofür eine Begabung benötigt wird, was sich in mittleren Werten in der Begabungs-Skala bei der Fixed-Mindset-Gruppe spiegelt.

5.1.4. Intelligenz

Auch Intelligenz wird von den Personen sehr unterschiedlich verstanden. Einige betonen den Aspekt von Erfahrungen und Wissen, welche man per Definition erweitern kann. Alle Personen dieser Gruppe zeigen hohe Werte in der Skala, unabhängig von der Mindset-Zuordnung. Teilweise wird der Begriff auf die soziale Intelligenz bezogen. Andere beziehen sich nur auf die kognitiven Fähigkeiten (Problemlösefähigkeiten, Potenzial des menschlichen Gehirns, Anzahl der Neuronen) und schließen Wissen explizit aus. Zum Teil beziehen sich die Studierenden auf Vorwissen und formales (Halb-)Wissen.

5.2. Gibt es Itemformulierungen, die wiederholt zu Missverständnissen/ inhaltlichen Differenzen führen?

Wie in Abb. 4 zu erkennen ist, gibt es bei einigen Items keine großen Unterschiede zwischen der Growth- und der Fixed-Mindset Gruppe. Dies ist zum einen auf die Unsicherheit mit dem Begriff der Begabung besonders bei den ersten beiden Fragen zurückzuführen, welche zu mittleren Werten bei fast allen Personen führt. Zum anderen sind einige Items sehr extrem formuliert (z.B. 2.18 Wenn man keine Begabung für Physik hat, kann man nicht viel tun, um sich zu verbessern.), weshalb auch Personen mit vielen fixen Überzeugungen der Aussage widersprechen. Hierbei sind allerdings der hohe Anteil an Lehramtsstudierenden in der Stichprobe und die geringe Stichprobengröße zu beachten. Diese Neigung zu mittleren Werten (bei Items 2.01 und 2.09) und zu extremen Werten (bei Items 2.27, 2.18 und 2.37) findet sich zum Teil auch in den Mittelwerten der Befragung von Rehberg (Rehberg, 2020) wieder. Da beide Skalen in einer ersten Erhebung auf einen Faktor laden, wird hier eine verkürzte Skala „Physikspezifisches Mindset“ vorgeschlagen:

2.02 Jede*r kann Physik verstehen. Man muss nur genug dafür tun.

2.10 Meiner Meinung nach kann jede*r erfolgreich Physik studieren, wenn man das will und sich anstrengt.

2.17 Wenn man sich in Physik anstrengt, kann jede*r Physik verstehen.

2.28 Man kann zwar neue Dinge lernen, aber man wird nie ein*e gute*r Physiker*in, wenn man nicht eine bestimmte Begabung dafür geerbt hat.

2.37 Entweder man versteht die Physik oder man versteht sie nicht.

5.3. Passt das Ergebnis des Mindset-Fragebogens zur Mindset-Zuordnung auf Basis eines vertiefenden qualitativen Interviews?

Abb. 5 zeigt nochmals die Ergebnisse aus dem Fragebogen. Die gepunkteten Linien stellen Personen mit einer hohen Anzahl an fixen Aussagen dar. Weder das Intelligenz-Mindset nach Dweck noch eine der physikspezifischen Mindset-Skalen konnte die fixen Anteile von allen Personen identifizieren. Die Growth-Mindset-Gruppe dagegen hatte in allen Skalen immer klare Werte über 4. Werte unterhalb von 4 bedeuten, dass zumindest einmal einer Fixed-Mindset-Aussage zugestimmt wurde. Daraus wird folgende Regel für die Interpretation des Fragebogens vorgeschlagen:

Ein Skalenwert kleiner als 4 im Intelligenz-Mindset oder im physikspezifischen Mindset führt zu einer Zuordnung zum Fixed-Mindset. Skalenwerte, die in beiden Skalen immer größer als 4 sind, führen zu einer Zuordnung zum Growth-Mindset.

Mit dieser Regel können alle Personen der Stichprobe eindeutig zugeordnet werden.

Die Ausreißer nach oben können durch zwei unterschiedliche Mechanismen erklärt werden:

1. Eine harte (Leistungs-) Grenze, welche oberhalb eines Grundverständnisses von Physik liegt, kann zu einem falschen Growth-Mindset Wert in der physikspezifischen Skala führen.

2. Ein Verständnis von Intelligenz, welches Wissen und Erfahrung mit einbezieht, kann zu einem falschen Growth-Mindset Wert in der Intelligenz-Mindset Skala führen.

Dieser Zusammenhang ist in Abb. 6 in einem Venn-Diagramm dargestellt. Dieses stellt eine eindimensionale Verteilung der Personen dar, wobei die Anzahl fixer Überzeugungen von links nach rechts steigt. Die Untergruppen „Intelligenz = Wissen“ sowie „Hohe harte Grenze“ können jeweils zu einem falschen Growth-Mindset Score in einer der Skalen führen.

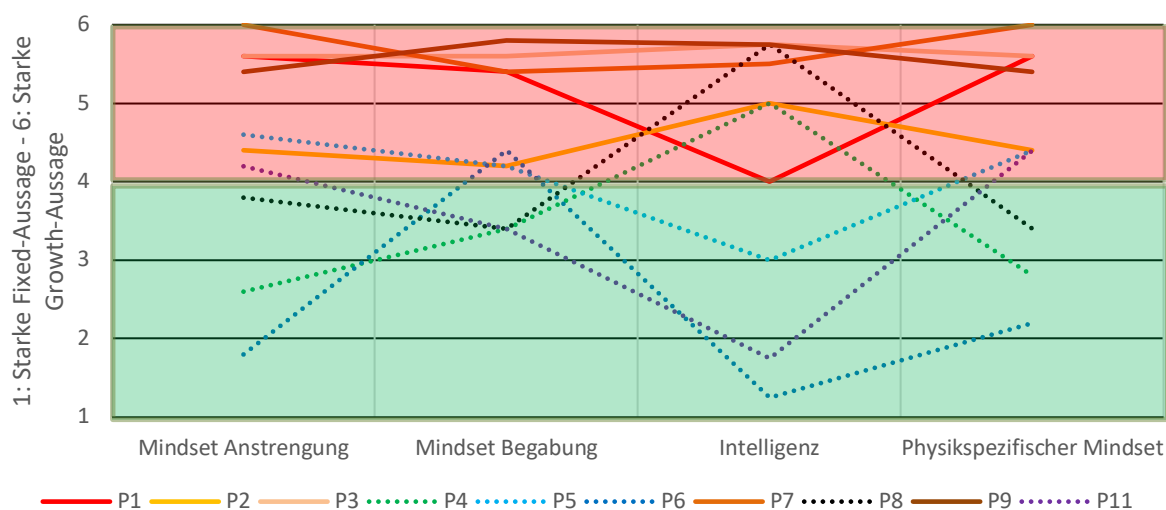


Abb. 5: Skalenwerte der Studierenden - Growth-Mindset-Gruppe als durchgezogene Linie und Fixed-Mindset-Gruppe als gepunktete Linie.

Da die beiden Mengen unabhängig voneinander auftreten können, würde nur die Schnittmenge zu einer falschen Zuordnung mit dem Fragebogen führen.

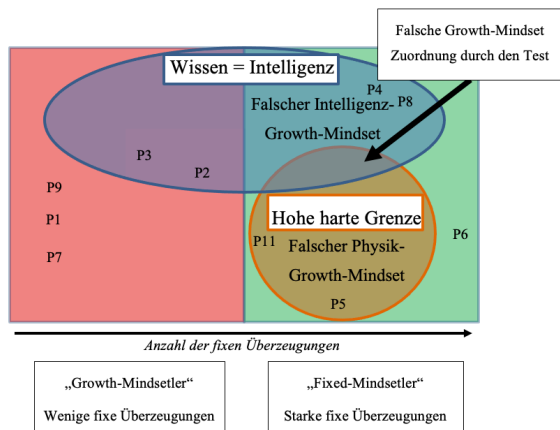


Abb. 6: Venn-Diagramm zum Mindset. In Rot ist die Gruppe der "Growth-Mindsetler", in Grün die Gruppe der "Fixed-Mindsetler" dargestellt.

5.4. Auswirkungen des Mindset auf das Lernverhalten im Studium

In den Interviews konnten einige lernhinderliche Verhaltensweisen identifiziert werden, die durch fixe Überzeugungen ausgelöst werden können. Dies wird in den folgenden Interviewausschnitten deutlich. Beispielsweise wird die Reaktionen auf ein schlechteres Prüfungsergebnis trotz großer Anstrengung beschrieben:

I: Und würde das irgendwie eine Bedeutung haben für dich in der Zukunft? Also das du dich anders vorbereitest?

P4: Ja, vor allen für die nähere Zukunft. [...] Für die nähere Zukunft würde ich wahrscheinlich meinen Lernplan irgendwie umstellen [...] in weniger zeitintensiv. [...] Also, weniger so wie ich denke, wie es erfolgreich ist, sondern eher so aus der Ernüchterung heraus, dass ich mir weniger Zeit dafür nehme.

Auch studienalltägliche Situationen werden anders beschrieben. Auf die Frage, wie man in einer Übung reagieren würde, wenn man merkt, dass eine zu Hause vorbereitete Aufgabe falsch ist, obwohl man zunächst von der Richtigkeit überzeugt war, beschreiben Personen der Fixed-Mindset-Gruppe Gefühle wie Verlegenheit, Scham oder Enttäuschung:

I: Okay. Und was würdest du in der Übung weiter machen?

P5: Naja, den Lösungsvorschlag wahrscheinlich abschreiben, abheften und erstmal nicht mehr angucken vor Enttäuschung.

Auch könnten fixe Überzeugungen im Studium mit unrealistischen Erwartungen zusammenhängen, die bei später auftretenden Schwierigkeiten im Studium zu Problemen führen können:

P8: Hm, ja dieses mathematische Denken, also eigentlich eine mathematische Begabung [...]. Dann

gehört man halt meines Erachtens so [zu] den Überfliegern, die das im Physikstudium alles direkt schaff[en]. [...] Ja, das logische Denken gehört für mich ein bisschen zu dieser mathematischen Begabung mit dazu. Also grundlegend, damit man gut durch das Physikstudium kommt, würde - glaube ich - schon so eine mathematische Begabung reichen. Dann kommt man ohne große Probleme durch. Da muss man sich hier und da mal ein paar Themen, wo man halt nicht so schnell durchsteigt, nochmal genauer angucken. Aber bei den meisten Themen hat man dann nicht so Probleme.

6. Fazit und Ausblick

Der Fragebogen kann durch eine Kombination der Intelligenz-Mindset-Skala und der physikspezifischen Mindset-Skala das Mindset valide ermitteln. Eine einzelne Betrachtung der Skalen kann fixe Überzeugungen im Physikstudium nicht zuverlässig identifizieren. Für Personen mit starken Growth-Überzeugungen ist dagegen kein Mechanismus bekannt, der in einer der Skalen zu einem Fixed-Mindset-Ergebnis führen würde. Bei der Interpretation der Ergebnisse ist zu beachten, dass in der Stichprobe ein hoher Lehramtsanteil in überwiegend fortgeschrittenen Semester interviewt wurde. Durch weitere Interview, insbesondere mit Studierenden aus den ersten Semestern, sollte das Bild, wie sich ein Mindset konkret im Studium auswirken kann, zukünftig noch erweitert werden. Des Weiteren wäre die Entwicklung einer einzelnen Skala wünschenswert, welche die hier identifizierten „falschen“ Growth-Mindset-Ergebnisse berücksichtigt. Ein Ansatz dazu könnte in der Gewichtung der Meinung Studierender zur Existenz oder Nicht-Existenz einer harten Leistungsgrenze liegen.

7. Literaturverzeichnis

- [1] Dweck, C. S. (2000). *Self-Theories Their Role in Motivation, Personality and Development*. Taylor and Francis Group, LLC. <https://doi.org/10.4324/9781315783048>
- [2] Dweck, C. S. (2017). *Mindset—Updated Edition: Changing The Way You Think To Fulfil Your Potential*. London, UK: Little, Brown Book Group.
- [3] 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>
- [4] Goldhorn, L. (2017). *Mindsets von Schülerinnen und Schülern im Fach Physik — Eine Interviewstudie*, Wissenschaftliche Hausarbeit für das Lehramt an Gymnasien, TU Darmstadt, unveröffentlicht.
- [5] Kuckartz, U. (2012). *Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung* (3. Aufl.). Weinheim und Basel: Beltz Juventa.
- [6] Limeri, L. B., Choe, J., Harper, H. G., Martin, H. R., Benton, A., & Dolan, E. L. (2020). *Knowledge or Abilities? How Undergraduates*

- Define Intelligence*. CBE—Life Sciences Education, 19(1), ar5.
<https://doi.org/10.1187/cbe.19-09-0169>
- [7] Lippmann, J., & Spatz, V. (2018). *Interviewstudie zu den Mindsets von Physiklehrkräften*. PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung, 1(0). <http://phydid.physik.fu-berlin.de/index.php/phydid-b/article/view/833>
- [8] Ortiz Alvarado, N. B., Rodríguez Ontiveros, M., & Ayala Gaytán, E. A. (2019). *Do Mindsets Shape Students' Well-Being and Performance?* The Journal of Psychology, 153(8), 843–859. <https://doi.org/10.1080/00223980.2019.1631141>
- [9] Rehberg, J. (2020). *Dissertation an der Goethe-Universität Frankfurt (unveröffentlicht)*.
- [10] Rehberg, J., Wilhelm, T., Spatz, V., & Goldhorn, L. (2019). *Pilotierung eines Mindsetfragebogens mit Physik-(Lehramts-) Studierenden*. <https://gdcp-ev.de/?p=3781>
- [11] 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>

Multiple Repräsentationen als fachdidaktischer Zugang zum Satz von Gauß

Qualitative Zugänge zur Interpretation der Divergenz von Vektorfeldern

Larissa Hahn*, Pascal Klein*

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

Kurzfassung

Die Divergenz ist ein zentrales Konzept der Vektoranalysis und relevant für viele Teilgebiete der Physik, in denen Vektorfelder z. B. zur Beschreibung von Bewegungen verwendet werden. Für die physikalische Anwendung ist dabei vor allem ein konzeptionelles Verständnis der Divergenz von Bedeutung, welches Studierenden jedoch im Gegensatz zu algebraischen Berechnungen häufig Schwierigkeiten bereitet. Bisherige Forschungsergebnisse betonen daher die Notwendigkeit zur Förderung des konzeptionellen Verständnisses u. a. durch den Einsatz multi-repräsentationaler, qualitativer Zugänge. Zu diesem Zweck stellt dieser Beitrag einen visuellen Zugang zum qualitativen Verständnis der Divergenz vor, der auf einer Beurteilung der partiellen Vektorableitungen anhand zweidimensionaler Vektorfelddiagramme beruht. Da insbesondere die Zerlegung von Vektoren in ihre Feldkomponenten - eine zur Beurteilung der partiellen Ableitungen essentielle Prozedur - eine Herausforderung für Studierende darstellt, werden zudem Anregungen für eine instruktionale Unterstützung durch Zeichenaktivitäten gegeben. Abschließend wird eine Studie zur Wirksamkeitsuntersuchung einer zeichenbasierten Instruktion vorgestellt.

1. Einleitung

Vektoren und Vektorfelder finden Anwendung in vielen Teilgebieten der Physik, so werden z. B. Gravitations- und Zentralfelder in der Mechanik sowie Strömungsfelder in der Elektrodynamik und Fluidmechanik häufig mithilfe von Vektorfeldern beschrieben. Typischerweise werden Vektorfelder graphisch mithilfe von Pfeilen dargestellt, welche die Richtung und den Betrag des Feldes repräsentieren. So kann z. B. jedem Teilchen einer sich bewegenden Flüssigkeit ein Geschwindigkeitsvektor zugeordnet werden, der die Schnelligkeit und die Richtung des sich bewegenden Teilchens indiziert. Die Geschwindigkeit der Flüssigkeit in jedem Punkt \vec{r} definiert dann ein Vektorfeld $\vec{v}(\vec{r})$. Ebenen Vektorfeldern im \mathbb{R}^2 liegt eine Orthonormalbasis aus den kartesischen Einheitsvektoren \hat{e}_x und \hat{e}_y zugrunde, sodass die Vektoren des Vektorfeldes mithilfe der Komponentenzerlegung

$$\vec{F}(x, y) = F_x(x, y)\hat{e}_x + F_y(x, y)\hat{e}_y \quad (1)$$

(x -Komponente F_x und y -Komponente F_y) als Linearkombination der kartesischen Einheitsvektoren dargestellt werden können. Während diese Darstellung als algebraische Gleichung für quantitative Berechnungen nützlich ist, bieten Vektorfelddiagramme den Vorteil, viele Eigenschaften des Feldes auf einen Blick darstellen zu können, so z. B. seine Divergenz oder Rotation – vorausgesetzt man weiß, wie diese Konzepte qualitativ zu verstehen sind. Divergenz und Rotation

sind integrale Bestandteile der Vektoranalysis, z. B. in Form des Gaußschen Integralsatzes, sowie verschiedener Erhaltungssätze (z. B. der Kontinuitätsgleichung), denen Physikstudierenden bereits in der Studieneingangsphase häufig begegnen. Dementsprechend hoch ist die Bedeutung eines fundierten Verständnisses vektorieller Konzepte für das Physikstudium. So ergab eine aktuelle Studie von Burkholder et al. (2021), dass eine umfangreiche Vorbereitung der Vektorrechnung signifikant mit der Leistung von Studierenden in einem Einführungskurs zum Elektromagnetismus zusammenhängt. Weitere Forschungsergebnisse zeigten allerdings auch, dass Studierende kaum Probleme mit den mathematischen Grundlagen der vektoranalytischen Konzepte hatten; konzeptionelle Hintergründe hingegen, welche insbesondere für das physikalische Verständnis relevant sind, bereiteten ihnen Schwierigkeiten (z. B. Bollen et al., 2015; Pepper et al., 2012; Singh & Maries, 2013). Da in der gängigen Praxis häufig formal-abstrakte, mathematische Erklärungsansätze genutzt werden (Smith, 2014), wird an dieser Stelle die Notwendigkeit neuer Zugänge zu vektoriellen Konzepten wie der Divergenz deutlich. In diesem Beitrag wird daher ein Ansatz für eine visuelle Interpretation der Divergenz eines Vektorfeldes \vec{F} (für ein Volumen ΔV mit der Oberfläche $\partial(\Delta V)$ und dem Flächendifferential $d\vec{n}$),

$$\operatorname{div}\vec{F} = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{1}{\Delta V} \oint_{\partial(\Delta V)} \vec{F} \cdot d\vec{n}, \quad (2)$$

anhand eines Vektorfelddiagramms vorgestellt.

Weiterhin werden Zeichenaktivitäten als fachdidaktische Methode zur Unterstützung und Einbettung dieses Ansatzes in gezielte Instruktionen erläutert.

2. Fachdidaktischer Hintergrund

2.1. Lernschwierigkeiten beim Umgang mit Vektorfeldern

Ein Überblick von Smith (2014) über verschiedene Lehrbücher zeigt, dass die Divergenz in einführenden Texten zur Physik in der Regel nicht oder nur unzureichend qualitativ erklärt wird (Smith, 2014). In weiterführenden Physiklehrbüchern findet ebenfalls kaum eine geometrische Erläuterung der Divergenz statt; so verwenden die meisten Texte entweder eine algebraische Beschreibung oder definieren die Divergenz nicht formal (Smith, 2014). Empirische Forschungsbefunde belegten wiederholt, dass Studierende Schwierigkeiten haben, zu beurteilen, ob ein Vektorfelddiagramm divergenzfrei ist oder nicht (Klein et al., 2018; 2019; Pepper et al., 2012; Singh & Maries, 2013). Analog zu Präkonzepten, die bei SchülerInnen auftreten, finden sich bei Studierenden z. T. Vorstellungen über Divergenz, die einer wörtlichen Übersetzung des Begriffs gleichkommen, z. B. ein „Auseinanderlaufen“ des Feldes (Pepper et al., 2012). Außerdem wird Divergenz lose mit Quellen und Senken assoziiert oder als globale Eigenschaft eines Feldes aufgefasst (Baily et al., 2016). Singh und Maries (2013) schlussfolgerten treffend, dass selbst Studierende mit Hochschulabschluss Schwierigkeiten mit dem Konzept der Divergenz haben, obwohl sie wissen, wie die Divergenz für ein gegebenes Vektorfeld mathematisch berechnet wird. Mehrere Studien vertieften diese Forschungslinie und identifizierten verschiedene Lernschwierigkeiten, die in engem Zusammenhang mit der kartesischen Darstellung der Divergenz stehen. Vor allem das Konzept der Kovariation zwischen Feldkomponenten und Koordinaten bereitet den Studierenden Schwierigkeiten; sie verwechseln die Komponenten mit den Koordinaten oder begehen Fehler bei der Zerlegung von Vektorpfeilen in ihre Komponenten (z. B. Barniol & Zavala, 2014; Bollen et al., 2017; Gire & Price, 2012). Darüber hinaus fanden Pepper et al. (2012) Probleme von Studierenden im Umgang mit partiellen Vektorableitungen; so verwechselten sie die Änderung eines Vektorpfeils mit seinem Betrag. Diese Schwierigkeiten konnten durch eine Analyse der Blickdaten von Studierenden bei der Betrachtung von Vektorfeld-Diagrammen mittels Eye-Tracking validiert werden (Klein et al., 2018; 2019). Verschiedene Studien im Kontext des Elektromagnetismus und der Elektrostatik gingen über die Untersuchung von mathematischen Problemlösenszenarien mit Vektorfeldern hinaus. Sie zeigten, dass konzeptionelle Lücken bezüglich vektoranalytischer Inhalte zu einem unsachgemäßen Verständnis grundlegender Prinzipien in der Physik

fürten, z. B. in Bezug auf die Maxwell'schen Gleichungen (Bollen et al., 2015; 2016) und den Gauß'schen Integralsatz (Li & Singh, 2017; Vienot, 1992).

Vor dem Hintergrund dieser Ergebnisse wird insbesondere die Relevanz und Notwendigkeit neuer Interventionen, die ein konzeptionelles Verständnis der Divergenz adressieren, deutlich. In den aufgeführten Arbeiten wird hierfür vor allem die Verwendung visueller Repräsentationen vorgeschlagen. Dies unterstützt den grundsätzlichen didaktischen Konsens einer Förderung der Repräsentationskompetenz, da dieser positive Auswirkungen auf den Wissenserwerb und die Problemlösefähigkeiten zugeschrieben wird (z. B. Nieminen et al., 2012; Rau, 2017). Vor diesem Hintergrund entwickelten Klein et al. (2018) explizite textbasierte Anweisungen zur visuellen Interpretation der Divergenz von Vektorfelddiagrammen, die sich auf verschiedene mathematische Konzepte der Divergenz beziehen; den Fluss durch eine Grenzfläche und die Kovariation von Komponenten und Koordinaten. In Folgestudien wie auch in diesem Beitrag wird letzterer Zugang in Form der kartesischen Darstellung der Divergenz fokussiert (siehe Kap. 3). In Interviews nach der Intervention äußerten Studierende überwiegend positives Feedback über die vermittelten Strategien; dies unterstreicht den quantitativ gemessenen Zuwachs des konzeptionellen Verständnisses. Trotzdem gaben einige ProbandInnen an, dass ihnen die Komponentenzerlegung schwer gefallen sei und zusätzliche visuelle Hilfsmittel, z. B. Skizzen der Komponentenzerlegung, ihre Leistung verbessert hätten (Klein et al., 2018). In einer experimentellen Folgestudie wurde gezeigt, dass das Hinzufügen von Hinweisen zur Komponentenzerlegung in die (nach wie vor rein text-bildbasierte) Instruktion tatsächlich zu besseren Lernergebnissen führte (Klein et al., 2019). Darüber hinaus betonen Bollen et al. (2016) die Notwendigkeit moderner Unterrichtsszenarien, da der traditionelle Unterricht nicht ausreichte, um ein vollständiges Verständnis von Differentialoperatoren zu ermöglichen. Diese These steht im Einklang mit Wiemans (2007) Forderung einer Implementierung moderner Technologie zur Förderung eines effektiven naturwissenschaftlichen Unterrichts.

2.2. Zeichnen als fachdidaktische Methode

Neben textbasierten Hilfsmitteln, die meist Schreib-, Lese- oder Sprachaktivitäten anregen, befürworten aktuelle Forschungsansätze die Unterstützung beim Lernen durch Zeichenaufgaben (Ainsworth & Scheiter, 2021). Abgesehen davon, dass Visualisierungen integraler Bestandteil des wissenschaftlichen Denkens sind, betonen Ainsworth et al. (2011) das Potential des Zeichnens als effektive Lernstrategie. Den AutorInnen folgend enthält der konstruktive Ansatz des Zeichnens Attribute, die den visuell-räumlichen Anforderungen des wissenschaftlichen Lernens entsprechen und somit

Lernenden helfen, Konzepte visuell zu verstehen (Wu & Rau, 2018). Werden Zeichenaktivitäten mit textbasierten Anweisungen kombiniert (z. B. Van Meter et al., 2006), basiert die generierte Zeichnung auf einem wahrgenommenen Bild, das durch das Vorwissen, die Ziele und das sich entwickelnde mentale Modell des/der Lernenden bestimmt wird und eine tiefe Auseinandersetzung mit dem Text ermöglicht (Ainsworth & Scheiter, 2021; Van Meter & Firetto, 2013). Außerdem können Zeichenaktivitäten die Belastung des Kurzzeitgedächtnisses reduzieren und so eine Erweiterung des Gedächtnisspeichers und eine effektive Nutzung seiner Kapazität unterstützen (Ainsworth & Scheiter, 2021; Zhang & Norman, 1994). Im Einklang mit den genannten theoretischen Überlegungen fanden Studien in verschiedenen Bereichen der Bildungsforschung und den disziplinären Didaktiken positive Lerneffekte bei der Unterstützung von Lernenden durch Zeichenaktivitäten (z. B. Kohnle et al., 2020; Leopold & Leutner, 2012; Wu & Rau, 2018). Kohnle et al. (2020) beispielsweise nutzte Zeichenaktivitäten sowohl zur Vorbereitung als auch begleitend zum Lernen mit zwei Simulationen aus dem Gebiet der Quantenmechanik. Die Konstruktion visueller Repräsentationen vor der Intervention diente hier vor allem der Aktivierung des Vorwissens und der Vorbereitung auf die Lernphase; Zeichnen während des Lernens mit der Simulation unterstützte das Verständnis der verwendeten Repräsentationen. Die Autorinnen betonen in diesem Zusammenhang vor allem die Relevanz der Passung von Design und Abfolge der Zeichenaktivitäten mit der pädagogischen Zielsetzung. Durch den Einfluss des Zeichnens auf das Lernverhalten wird insbesondere auch die kognitive Verarbeitung und damit die visuelle Aufmerksamkeit des Lernenden beeinflusst. So zeigten z. B. Hellenbrand et al. (2019) einen zunehmenden Anteil von Fixierungen auf relevanten Begriffen einer textbasierten Instruktion beim Einsatz zusätzlicher Zeichenaufgaben.

Im Folgenden soll nun basierend auf den vorgestellten theoretischen Grundlagen und empirischen Forschungsergebnissen zunächst eine Strategie vorgestellt werden, die einen visuellen Zugang zur kartesischen Darstellung der Divergenz beschreibt (Kap. 3). Anschließend wird eine Unterstützung der Strategie durch Zeichenaktivitäten skizziert (Kap. 4) und ein Ausblick für eine erste Wirksamkeitsstudie zu diesem Ansatz vorgestellt.

3. Divergenz visuell interpretieren

Die kartesische Koordinatendarstellung der Divergenz eines Vektorfeldes \vec{F} als Summe partieller Ableitungen,

$$\operatorname{div}\vec{F}(x,y) = \vec{\nabla} \cdot \vec{F} = \frac{\partial F_x}{\partial x} + \frac{\partial F_y}{\partial y}, \quad (3)$$

beruht auf einer lokalen Interpretation von Quellen und Senken an bestimmten Punkten des Feldes. Wird das Vektorfeld als Strömungsfeld einer Größe interpretiert, für die die Kontinuitätsgleichung gilt, dann entspricht die Divergenz der Quelldichte des Feldes. Für eine qualitative Beurteilung der Divergenz kann diese Interpretation auf Vektorfelddiagramme angewendet werden (Klein et al., 2018; 2019). Entsprechend didaktischer Prinzipien werden hierbei die nachfolgenden Elementarisierungen und Didaktisierungen durchgeführt (siehe Abb.1 und Abb.2 für zwei Beispiele):

1. Es werden ausschließlich ebene Vektorfelder in zwei Dimensionen betrachtet.
2. Es werden kartesische Koordinaten x und y verwendet und die Feldkomponenten F_x und F_y sind Funktionen von x und y .
3. Die Feldkomponenten hängen maximal linear von den Koordinaten x und y ab.
4. Die Betrachtung ist rein qualitativ; die Absolutwerte der Divergenz werden nicht fokussiert.
5. Es werden nur Vektorfelder mit räumlich konstanter Divergenz (divergenzfrei oder nicht divergenzfrei) betrachtet.

Es ist anzumerken, dass die nachfolgend erläuterte Strategie nicht auf Vektorfelder mit den genannten Vereinfachungen beschränkt ist. Insbesondere die didaktischen Vereinfachungen 3. und 5. können in einem fortgeschrittenen Stadium des Lernprozesses zurückgenommen werden, sodass ein Transfer zu komplizierteren Kovariationen sowie lokal variierender Divergenz möglich wird.

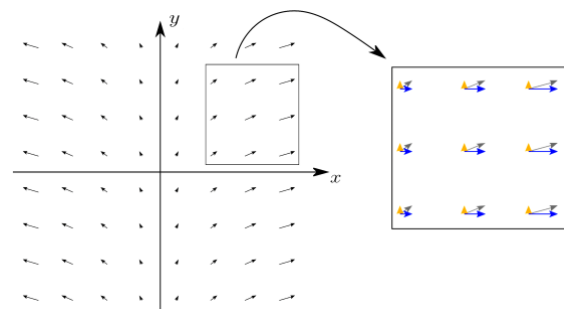


Abb.1: Graphische Darstellung des ebenen Vektorfeldes \vec{F}_1 (links). Das Rechteck hebt eine Region hervor, in der die Divergenz lokal anhand der partiellen Ableitungen ausgewertet wird (rechts). Die y -Komponente (F_y) ändert sich nicht in y -Richtung (orangefarbene Pfeile), es ist jedoch eine Zunahme der x -Komponente (F_x) in x -Richtung zu beobachten (blaue Pfeile). Daher ist das Vektorfeld nicht divergenzfrei.

Im Hinblick auf Gl. (3) kann die Divergenz visuell anhand der Kovariationen (d. h. Abhängigkeiten der Komponenten von den Koordinaten) identifiziert werden. Konkret gilt es die partiellen Ableitungen zu untersuchen, indem die Änderungen von F_x in x -

Richtung und die Änderungen von F_y in y -Richtung ausgewertet werden. Abb.1 zeigt ein Beispiel-Vektorfeld mit

$$\vec{F}_1(x, y) = \begin{pmatrix} x \\ 1 \end{pmatrix}. \quad (4)$$

Die y -Komponente des Feldes ist konstant in y -Richtung (orangefarbene Pfeile), daher gilt $\partial F_y / \partial y = 0$. Bei der Verfolgung der x -Komponente in x -Richtung wird eine Zunahme von F_x deutlich, sodass $\partial F_x / \partial x > 0$. Insgesamt gilt somit $\text{div} \vec{F}_1 \neq 0$; das Feld ist nicht divergenzfrei. Eine Wiederholung dieser Auswertung führt für jeden Punkt (x, y) des Feldes \vec{F}_1 zum gleichen Ergebnis; die Divergenz des Feldes ist daher in jedem Punkt ungleich Null. Im Allgemeinen zeigt die lokale Auswertung der Divergenz somit lokale Quellen und Senken des Vektorfeldes auf, über die für das gesamte betrachtete Gebiet summiert wird.

Wenn sich weder die x -Komponente in x -Richtung noch die y -Komponente in y -Richtung ändert, folgt entsprechend Gl. (3), dass es sich um ein divergenzfreies Vektorfeld handelt. Ein Beispiel hierfür ist das Vektorfeld mit

$$\vec{F}_2(x, y) = \begin{pmatrix} y \\ 1 \end{pmatrix} \quad (5)$$

(siehe Abb.2). Hier variiert ausschließlich die x -Komponente in y -Richtung, sodass $\partial F_x / \partial y > 0$; diese Kovariation besitzt für die Divergenz allerdings keine Relevanz (siehe Gl. 3). Der nicht-triviale Fall eines divergenzfreien Vektorfeldes, bei dem sich die Änderungen in x - und y -Richtung gerade aufheben, wird nicht betrachtet.

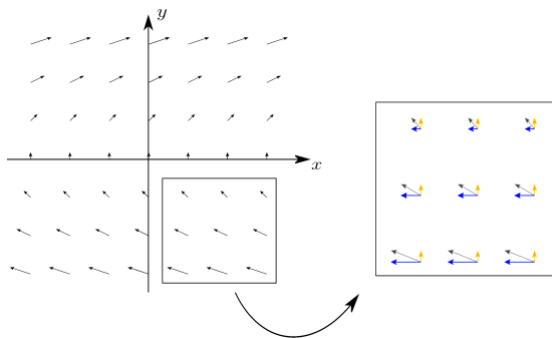


Abb.2: Graphische Darstellung des ebenen Vektorfeldes \vec{F}_2 (links). Es gibt keine Änderung der y -Komponente (F_y) in y -Richtung (orangefarbene Pfeile), und auch die x -Komponente (F_x) ist konstant in x -Richtung (blaue Pfeile). Daher ist das Vektorfeld divergenzfrei.

4. Unterstützung der visuellen Interpretation durch Zeichenaktivitäten

Wesentlicher Bestandteil der kartesischen Darstellung der Divergenz von Vektorfeldern sind die partiellen Ableitungen der Feldkomponenten (Gl. 3). Durch die mentale Zerlegung sowie Aufrechterhaltung der Komponenten erzeugt die visuelle Beurteilung der Kovariation jedoch eine hohe kognitive Belastung. Die in den Abbildungen 1

und 2 dargestellte Vektorkomponentenzerlegung stellt hierbei eine Unterstützung bei der Beurteilung der Komponentenänderungen dar. Es ist zu beachten, dass diese Hilfe bei typischen Aufgaben zu Vektorfeldern nicht vorhanden ist. Vor dem Hintergrund, dass, wie in Kap. 2.1 erläutert, die Komponentenzerlegung selbst bereits häufig für Probleme bei Lernenden sorgt, bietet sich an dieser Stelle eine Unterstützung des Evaluationsprozesses durch Zeichenaktivitäten an (Abb.3).

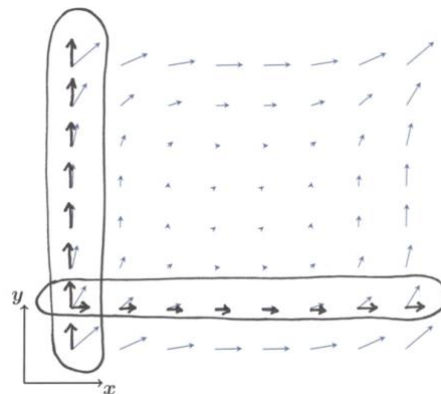
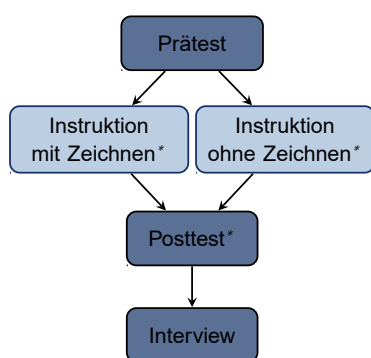


Abb.3: Zeichenaktivitäten zur Unterstützung der visuellen Interpretation der kartesischen Darstellung der Divergenz. Für eine visuelle Beurteilung der partiellen Ableitungen soll die x -Komponente entlang einer Zeile und die y -Komponente entlang einer Spalte des Vektorfeldes eingezeichnet und mit Boxen umrahmt werden. Beide Komponenten sind konstant und das Feld ist divergenzfrei.

Das Einzeichnen der einzelnen Komponenten ermöglicht eine Entlastung des Kurzzeitgedächtnisses, sodass sich die Lernenden auf die Komponentenzerlegung des aktuellen Vektors konzentrieren können, ohne zusätzlich die Zerlegungen vorangegangener Vektoren mental aufrechterhalten zu müssen. So kann eine detaillierte Beschäftigung mit der Komponentenzerlegung selbst stattfinden, bei der infolge der Aktivität der Lernenden zudem eine Reflexion der eigenen Fähigkeiten evoziert wird. Insgesamt fördert die Notwendigkeit aktiver Handlung durch die Lernenden eine tiefe Auseinandersetzung mit der vorgestellten Strategie und somit dem Konzept der Divergenz. Zudem erweisen sich Zeichenaktivitäten insbesondere dann als hilfreich, wenn hohe Aufgabenanforderungen an die visuell-räumlichen Fähigkeiten der Lernenden gestellt werden, wie es bei der Beurteilung der Divergenz der Fall ist. Da z. B. Leopold und Leutner (2012) zeigten, dass sich der Einsatz von Zeichnen vor allem bei Aufgaben eines höheren Anforderungsbereichs positiv auf den Lernprozess auswirkte, sind beim Einzeichnen der Feldkomponenten zur Anwendung der beschriebenen Strategie ebenfalls positive Lerneffekte zu antizipieren. Außerdem ist zu erwarten, dass eine vertiefte Auseinandersetzung mit der Strategie auch die kognitive Verarbeitung und damit das Blickverhalten beeinflusst.

5. Ausblick

Auf Basis der vorgestellten Strategie zur visuellen Interpretation der Divergenz und unter Einbeziehung der beschriebenen Zeichenaktivitäten wurde eine Instruktion entwickelt, welche in einem nächsten Schritt im Rahmen einer Studie evaluiert werden soll. Die Stichprobe wird dabei aus einer Grundlagenvorlesung akquiriert, in der Vektorfelder eine wichtige Rolle spielen. Da die Instruktionsstrategie in ähnlicher Form bereits in mehreren Studien verwendet wurde (Klein et al., 2018; 2019), soll der Schwerpunkt nun auf dem Einsatz der Zeichenaktivitäten liegen. Aus diesem Grund wird ein mixed-methods-Design verwendet, welches als Zwischensubjektfaktor die Gruppenzugehörigkeit (Intervention mit und ohne Zeichenaktivitäten) untersucht (Abb.4). Außerdem wird die Leistung und Antwortsicherheit der Studierenden vor und nach der Intervention analysiert. Der Prätest besteht aus konzeptionellen Fragen zu Vektoren und Vektorfeldern, die bereits in ähnlicher Form in anderen Studien eingesetzt wurden (Klein et al., 2018; 2019). Zusätzlich werden die räumlichen Fähigkeiten der Studierenden mithilfe eines standardisierten Tests ermittelt (Spatial Span Task; Shah & Miyake, 1996). Der Posttest enthält neben den Prätest-Fragen einige Assessment- sowie Transfer-Aufgaben, einen Fragebogen zur wahrgenommenen Aufgabenschwierigkeit und Instruktionsqualität (Leppink et al., 2013) sowie ein kurzes Interview. Neben den genannten Assessment-Instrumenten wird zusätzlich das Blickverhalten der Studierenden bei der Bearbeitung der Intervention (Zeichnen) sowie bei Teilen des anschließenden Posttests erfasst.



* Eye-Tracking Brille

Abb.4: Studiendesign. Der Posttest umfasst verschiedene Assessment-Aufgaben sowie einen Fragebogen zur (wahrgenommenen) Aufgabenschwierigkeit und Instruktionsqualität; * Eye-Tracking wird zur Erfassung der visuellen Aufmerksamkeit eingesetzt.

Perspektivisch soll die beschriebene Strategie im Rahmen einer Lehreinheit durch die Zeichenaktivitäten sowie ergänzend durch eine Vektorfeld-Simulation unterstützt werden. Letztere soll dabei bisherige Forschungsergebnisse zu Lernschwierigkeiten in Bezug auf Vektorfelder

aufgreifen und durch verschiedene interaktive sowie dynamische Funktionen eine aktive Auseinandersetzung mit der Strategie ermöglichen. Eine Implementation des Lehrmaterials in einführende Veranstaltungen der mathematischen Physik (Vorkurse, mathematische Methoden der Physik) steht bevor.

6. Literatur

- Ainsworth, Shaaron; Prain, Vaughan; Tytler, Russell (2011): Drawing to learn in science. In: *Science* 333(6046), S. 1096–1097. doi: [10.1126/science.1204153](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), S. 1–7. doi: [10.1177/0963721420979582](https://doi.org/10.1177/0963721420979582)
- 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. doi: [10.1119/perc.2015.pr.008](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. doi: [10.1103/PhysRevSTPER.10.010121](https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.10.010121)
- Bollen, Laurens; Van Kampen, Paul; De Cock, Mieke (2015): Students' difficulties with vector calculus in electrodynamics. In: *Physical Review Special Topics - Physics Education Research* 11(2), 020129. doi: [10.1103/PhysRevSTPER.11.020129](https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.11.020129)
- Bollen, Laurens; Van Kampen, Paul; Baily, Charles; De Cock, Mieke (2016): Qualitative investigation into students' use of divergence and curl in electromagnetism. In: *Physical Review Physics Education Research* 12(2), 020134. doi: [10.1103/PhysRevPhysEducRes.12.020134](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. doi: [10.1103/PhysRevPhysEducRes.13.020109](https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.13.020109)
- 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. doi: [10.1103/PhysRevPhysEducRes.17.010108](https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.17.010108)
- Gire, Elizabeth; Price, Edward (2012): Graphical representations of vector functions in upper-

- division E&M. In: *AIP Conference Proceedings* 1413(1), S. 27-30. doi: [10.1063/1.3679985](https://doi.org/10.1063/1.3679985)
- 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), S. 1147-1164. doi: [10.1002/acp.3559](https://doi.org/10.1002/acp.3559)
- 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. doi: [10.1103/PhysRevPhysEducRes.14.010116](https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.14.010116)
- Klein, Pascal; Viiri, Jouni; Kuhn, Jochen (2019): Visual cues improve students' understanding of divergence and curl: Evidence from eye movements during reading and problem solving. In: *Physical Review Physics Education Research* 15(1), 010126. doi: [10.1103/PhysRevPhysEducRes.15.010126](https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.15.010126)
- Kohnle, Antje; Ainsworth, Shaaron; Passante, Gina (2020). Sketching to support visual learning with interactive tutorials. In: *Physical Review Physics Education Research*, 16(2), 020139. doi: [10.1103/PhysRevPhysEducRes.16.020139](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. doi: [10.1016/j.learninstruc.2011.05.005](https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2011.05.005)
- Leppink, Jimmie; Paas, Fred; Van der Vleuten, Cees; Van Gog, Tamara; Van Merriënboer, Jeroen (2013): Development of an instrument for measuring different types of cognitive load. In: *Behavior Research Methods*, 45(4), S. 1058-1072. doi: [10.3758/s13428-013-0334-1](https://doi.org/10.3758/s13428-013-0334-1)
- 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. doi: [10.1088/1361-6404/aa8d55](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. doi: [10.1103/PhysRevSTPER.8.010123](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. doi: [10.1103/PhysRevSTPER.8.010111](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. doi: [10.1007/s10648-016-9365-3](https://doi.org/10.1007/s10648-016-9365-3)
- Shah, Priti; Miyake, Akira (1996): The separability of working memory resources for spatial thinking and language processing: An individual differences approach. In: *Journal of Experimental Psychology: General* 125(1), S. 4-27. doi: [10.1037/0096-3445.125.1.4](https://doi.org/10.1037/0096-3445.125.1.4)
- Singh, Chandralekha; Maries, Alexandru (2013): Core graduate courses: A missed learning opportunity? In: *AIP Conference Proceedings* 1513, S. 382-385. doi: [10.1063/1.4789732](https://doi.org/10.1063/1.4789732)
- Smith, Emily (2014): *Student & textbook presentation of divergence*. Master's thesis (Corvallis, OR: Oregon State University).
- Van Meter, Peggy; Aleksic, Maja; Schwartz, Ana; Garner, Joana (2006): Learner-generated drawing as a strategy for learning from content area text. In: *Contemporary Educational Psychology* 31(2), S. 142-166. doi: [10.1016/j.cedpsych.2005.04.001](https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2005.04.001)
- Van Meter, Peggy; Firetto, Carla (2013): Cognitive model of drawing construction: Learning through the construction of drawings. In: G. Schraw, M. T. McCrudden, & D. Robinson (Hrsg.), *Current perspectives on cognition, learning, and instruction. Learning through visual displays*, S. 247-280, IAP Information Age Publishing.
- Viennot, Laurence; Rainson, Sylvie (1992): Students' reasoning about the superposition of electric fields. In: *International Journal of Science Education* 14(4), S. 475-487. doi: [10.1080/0950069920140409](https://doi.org/10.1080/0950069920140409)
- Wieman, Carl (2007): Why not try a scientific approach to science education? In: *Change: The Magazine of Higher Learning* 39(5), S. 9-15. doi: [10.3200/CHNG.39.5.9-15](https://doi.org/10.3200/CHNG.39.5.9-15)
- Wu, Sally; Rau, Martina (2018): Effectiveness and efficiency of adding drawing prompts to an interactive educational technology when learning with visual representations. In: *Learning and Instruction* 55(3), S. 93-104. doi: [10.1016/j.learninstruc.2017.09.010](https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2017.09.010)
- Zhang, Jiajie; Norman, Donald (1994): Representations in distributed cognitive tasks. In: *Cognitive Science* 18(1), S. 87-122. doi: [10.1207/s15516709cog1801_3](https://doi.org/10.1207/s15516709cog1801_3)

Anhang

Interventions- und Assessment-Materialien können auf Anfrage zugesendet werden.

Unter welchen Bedingungen erachten Physiklehramtsstudierende ihr Physikfachstudium als relevant für ihren zukünftigen Physikunterricht?

- Eine retrospektive Interviewstudie -

Tilman John*, Erich Starauschek*

*PSE Stuttgart-Ludwigsburg, Reuteallee 46, 71634 Ludwigsburg
tilmann.john@ph-ludwigsburg.de

Kurzfassung

Das Physik-Lehramtsstudium sollte auf den Physikunterricht vorbereiten. Damit dies gelingt, fordert z. B. die DPG (2014) das Lehramtsstudium stärker zu professionalisieren. Ein Ansatz ist die sogenannte *kumulative Lehre*, die in Fachveranstaltungen des Grundstudiums der PH Ludwigsburg umgesetzt wurde. Er erwies sich in einer Evaluationsstudie als geeignet für den Erwerb von schulrelevantem Fachwissen. Mit dem hier vorgestellten Forschungsvorhaben soll mit Fallstudien untersucht werden, ob sich Effekte der *kumulativen Lehre* in der Schulpraxis im Master-Studium zeigen. Dazu werden acht Studierende in ihrem Schulpraxissemester forschend begleitet. Parallel wird eine Vergleichsgruppe einer anderen Hochschule forschend begleitet ($N=6$). Mit Leitfadenterviews und Fragebögen werden die Studierenden zu ihren Unterrichtserfahrungen und zu ihrem Studium befragt. Der Artikel stellt das Forschungsvorhaben und ein Zwischenstand der qualitativen Inhaltsanalyse vor. Die vorläufige Analyse zeigt: Die Professionsorientierung der kumulativen Lehre scheint zu einem schülerorientierten Unterricht zu führen. Demgegenüber führt die Wissenschaftsorientierung der „traditionellen“ universitären Fachvorlesungen eher zu inhaltsorientiertem Unterrichten.

1. Einleitung: Das Forschungsvorhaben

Fachveranstaltungen des Physik-Lehramtsstudiums sollten zu einem vertieften Verständnis der physikalischen Inhalte des Schulunterrichts führen. Hingegen lautet eine häufige Kritik, dass diese Inhalte im Lehramtsstudium kaum vorkommen (z. B. Merzyn 2004, S. 77, DPG 2014, S. 23). Dabei gelten das sogenannte *Schulwissen* und das *vertiefte Schulwissen* als professionsrelevant für Physiklehrkräfte (vgl. z. B. Vogelsang et al. 2019) – gelehrt wird aber überwiegend universitäres Spezialwissen (z. B. mathematische Formalismen), das in Anbetracht der kurzen Studienzeit im Zwei-Fächer-Lehramt kaum zu einem physikalischen Grundverständnis für die Durchführung von Schulunterricht beiträgt (DPG 2014, vgl. für das Mathematiklehramt Hoth et al. 2019). Daher wird u. a. von der DPG (2014) ein Lehramtsstudium *sui generis* gefordert, das gezielt auf die Profession des Physikunterrichtens vorbereitet. Hinzu kommt die Kritik, dass der Stil von typischen Physikvorlesungen eher auf einen Kenntniserwerb ausgerichtet sei und Eigenaktivitäten im Umgang mit physikalischen Inhalten verhindere (Merzyn 2004, S. 83, vgl. auch Brackertz et al. 2019). Daher sind in den letzten Jahren verschiedene Ansätze für ein professionsorientiertes Physik-Lehramtsstudium entstanden. Einige Konzeptionen setzen unter den Stichworten der „Kohärenz“ oder „Vernetzung“ daran an, die fachlichen, fachdidaktischen und erziehungswissenschaftlichen Studienanteile enger zu verzahnen (z. B. Glowinski et al. 2018, Kreutz et al. 2020; Oettle et al. 2019). Andere

Ansätze konzentrieren sich dagegen spezifisch auf die fachliche Lehrerinnenprofessionalisierung, die sich von der wissenschaftlichen Professionalisierung von Fachphysikerinnen unterscheidet (z. B. Woehlecke et al. 2017). Zu diesen Ansätzen zählt auch das Konzept des *kumulativen Lehrens und Lernens im Lehramtsstudium Physik* (Abschnitt 3, vgl. auch John & Starauschek 2020). Dieses Konzept wurde als Prototyp an der PH Ludwigsburg (Physik-Lehramt für die Sekundarstufe 1) in Lehrveranstaltungen zur Mechanik umgesetzt und evaluiert. Die Intervention erweist sich demnach als geeignet, um den Erwerb des als professionsrelevant geltenden *Schulwissens* und *vertieften Schulwissens* in der Mechanik zu unterstützen (vgl. Abschnitt 3).

Bislang wurde erst selten untersucht, welche Rolle das Fachwissen für die Professionalisierung von Lehrkräften spielt (vgl. Hericks 2020, S. 9), also ob z. B. ein gutes vertieftes Schulwissen zu besserem Physikunterricht führt. Das vorgestellte Forschungsvorhaben soll einen Beitrag zu diesem Fragefeld leisten, indem es langfristige Effekte der professionsorientierten Fachausbildung der *kumulativen Lehre* während des Schulpraxissemesters und des Referendariats untersucht. Zu erwarten wäre zum Beispiel, dass ein professionsorientiertes Fachwissen zu einem sicheren Umgang mit den physikalisch-fachlichen Herausforderungen des Schulunterrichts führt. Dies sollte wiederum dazu führen, dass sich die Studierenden besser auf andere Herausforderungen der Schulpraxis konzentrieren können (z. B. Umgang mit

pädagogischen Herausforderungen des Unterrichts, didaktische Strukturierung des eigenen Unterrichts, Zeitmanagement etc.). Da bisher noch keine vergleichbaren Studien vorliegen, ist das hier vorgestellte Forschungsvorhaben explorativ über Fallstudien angelegt. Mit der Studie soll die Leitfrage untersucht werden, welche möglichen Einflüsse die Professionsorientierung der kumulativen Lehre auf den Physikunterricht angehender Physiklehrkräfte haben könnte.

2. Stand der Forschung

2.1. „Professionsorientierung“ im Lehramtsstudium Physik

Ansätze, die ein professionsorientiertes Lehramtsstudium in der ersten Phase¹ der Lehramtsausbildung anstreben, sollen Studierende besser auf die Praxisphasen des Schulunterrichts vorbereiten und damit zur Professionalisierung der Studierenden beitragen. Der Begriff der Professionsorientierung wird in der Literatur unscharf verwendet (vgl. Giest 2013, S. 28, vgl. auch Terhart 2001). Grob kann das professionsorientierte Studium einerseits von einer Berufsausbildung und andererseits von einem Studium abgegrenzt werden, das zu den praktischen Aufgaben der zukünftigen Profession keine Beziehung hat (vgl. Giest 2013, S. 28). Der Unterschied zur Berufsausbildung besteht darin, dass eben nicht nur überwiegend „in definierten Situationen anwendbare Fähigkeiten“ gelehrt werden, die durch Übung zur Routine werden sollen. Ein professionsorientiertes Studium fordert den Erwerb eines abstrakten Professionswissens, das eine Lehrkraft auch auf unbekannte Situationen im Kontext des Schulunterrichts anwenden kann. Zum Beispiel sollte eine Physiklehrkraft eine neue Unterrichtseinheit selbstständig didaktisch strukturieren oder auf ihr noch unbekannte Schülerinnenvorstellungen angemessen reagieren können. Abstraktes Professionswissen sollte angehenden Lehrkräften also Handlungsalternativen für die Praxis und ihrer Reflexion zur Verfügung stellen (vgl. Neuweg 2011, S. 41). Dieser Transfer von Professionswissen in praktisches Unterrichtshandeln kann wiederum in Schulpraxisphasen geübt werden (z. B. Kulgemeyer et al. 2020). In diesen Prozess sind in der Regel die Reflexionsphasen integriert, um den Erfolg des Transfers selbstständig oder mit Unterstützung von außen zu bewerten und zu verbessern (z. B. Ulrich et al. 2020). Damit kann aus ungeübtem Handeln – das zwar theoriegeleitet sein kann, aber nicht für jede Unterrichtssituation gleichermaßen angemessen sein muss – professionelles oder kompetentes Handeln werden. Diese „Fähigkeit“ wird in der Literatur auch als „professionelle Selbstständigkeit“ oder „Autonomie“ bezeichnet (vgl. Giest 2013, S. 28, vgl. auch

Zeichner et al. 2012). Die Aufgabe der universitären Lehrerbildung besteht im Wesentlichen darin, das Professionswissen zu lehren, deren selbstständige Anwendung in den späteren Phasen der Lehrerbildung reflektierend geübt werden soll. Als relevantes Professionswissen einer Lehrkraft gelten das fachliche, fachdidaktische und pädagogische Wissen (vgl. z. B. Bromme 1992).

2.2. Fachliche Professionalisierung im physikalischen Lehramtsstudium

Im vorliegenden Artikel wird ein Forschungsanliegen vorgestellt, das die Wirkung der sogenannten professionsorientierten *kumulativen Lehre* auf die Schulpraxis der angehenden Physiklehrkräfte untersuchen soll. Der Fokus liegt dabei auf der fachlichen Komponente des Professionswissens. In Hinblick auf die fachliche Professionsorientierung im Lehramtsstudium stellt sich dabei die Frage, welches physikalische Fachwissen als professionsrelevant gilt und wie effektiv dieses Wissen im Lehramtsstudium erworben wird. Das gelehrte Fachwissen lässt sich grob in unmittelbar professionsrelevantes und nur indirekt professionsrelevantes Fachwissen einteilen. Unmittelbar relevant ist das sogenannte *Schulwissen*. Die Professionsrelevanz des Schulwissens ergibt sich aus Plausibilitätsgründen, weil es das schulcurriculare Fachwissen abbildet, das zu lehren ist (vgl. auch Riese 2009, Vogelsang et al. 2019). Das über dem Schulwissen stehende Fachwissen wird oft als *vertieftes Fachwissen* zusammenfassend bezeichnet (z. B. Krauss et al. 2008), wobei üblicherweise eine weitere Differenzierung in *vertieftes Schulwissen* und *universitäres Wissen* vorgenommen wird. Bei spezifischer Betrachtung des *universitären Wissens*, das keinen unmittelbaren Zusammenhang zum Schulcurriculum hat, lies sich bislang empirisch keine Relevanz für kompetentes Handeln im Unterricht nachweisen (z. B. Kulgemeyer & Riese 2018, Riese 2010). Demgegenüber kann für spezifische Unterrichtssituationen (z. B. das Erklären von Physik) die Relevanz eines *vertieften Schulwissens* (das im Vergleich zum *universitären Wissen* einen eindeutigen Bezug zu Inhalten des Schulcurriculums hat) für professionelles Handeln empirisch nachgewiesen werden (Kulgemeyer & Riese 2018). Daraus sollte nicht abgeleitet werden, dass *universitäres Wissen* irrelevantes Wissen für Physiklehrkräfte wäre, aber *Schulwissen* und *vertieftes Schulwissen* haben eine unmittelbare Professionsrelevanz. In diesem Zusammenhang erscheint es problematisch, dass das professionsrelevante *Schulwissen* und *vertieftes Schulwissen* einen sehr geringen Stellenwert in der universitären Lehramtsausbildung einnehmen (Merzyn 2017, S. 77). Ein Grund könnte sein, dass an Universitäten nach der sogenannten *trickle-down*-Annahme gelehrt wird:

Referendariat mit der schulpraktischen Ausbildung. Auch in der ersten Phase werden bereits Schulpraxisphasen angeboten, auf die sich der vorliegende Artikel bezieht.

¹ Das Lehramtsstudium besteht aus zwei Phasen (BMBF 2021). Als erste Phase wird das Studium der Unterrichtsfächer, ihrer Fachdidaktik und der Pädagogik bezeichnet, das an den Hochschulen oder Universitäten stattfindet. Die zweite Phase ist das

Beim Erwerb von *universitärem Wissen* wird implizit auch *Schulwissen* und *vertieftes Schulwissen* erworben werden (Hoth et al. 2019, Wu 2015). Für den Erwerb des professionsrelevanten Fachwissens wären nach dieser Annahme also keine spezifischen Lerngelegenheiten notwendig.

Für das Physiklehramtsstudium gibt es zu dieser Annahme noch keinen belastbaren Forschungsstand. Eine eigene Evaluationsstudie deutet jedoch darauf hin, dass diese *trickle-down*-Wirkung zwar vorhanden aber eher ineffektiv ist (John eingereicht). Für den Erwerb von schulrelevantem Fachwissen wären also spezifische, professionsorientierte Lerngelegenheiten geeigneter. Eine Studie von Hoth et al. (2019) aus dem Bereich der Mathematik bestätigt diesen Befund. Weitere Hinweise dafür, dass schulrelevantes Fachwissen im Grundstudium eher ineffektiv erworben wird, liefern Studien, wonach angehende Physiklehrkräfte das schulrelevante Fachwissen überwiegend erst im Referendariat oder in den ersten Berufsjahren (Borowski et al. 2017, Schödl & Göhring 2017) erwerben und häufig selbst typische Schülervorstellungen aufweisen (Abell 2007, van Driel et al. 2014).

Die Professionsorientierung des Physiklehramtsstudiums wird auch aus Sicht der studentischen Perspektive untersucht. Dabei zeigt sich, dass Lehramtsstudierende in den naturwissenschaftlichen Fächern mit der Professionsorientierung in ihrem Studium häufig unzufrieden sind (Merzyn 2004). Eine geringe Relevanzwahrnehmung gilt aber wiederum als ursächlich für Studienabbrüche (Albrecht 2011, Heublein et al. 2007). Damit trüge die universitäre Lehre der Physik selbst zu den Abbruchquoten im Lehramtsstudium Physik bei. Dieser Zusammenhang kann mit der Selbstbestimmungstheorie von Deci und Ryan (1993) begründet werden: Extrinsische Lernmotive müssen von Studierenden akzeptiert werden (sogenannte „identifizierte Regulation“, vgl. ebd. S. 228), damit Lernen erfolgreich ist. Dabei sind an institutionellen Lernumgebungen extrinsische Lernmotive die Regel, weil Dozierende aufgrund ihrer Expertise einschätzen müssen, welches Wissen für die Studierenden relevant wird und die Curricula des Grundstudiums i.d.R. fest vorgegeben sind. Diese extrinsischen Lernmotive müssen sich nicht notwendigerweise negativ auf die Lernmotivation der Studierenden auswirken. Sie werden von Studierenden aber eher akzeptiert, wenn die Relevanz für sie nachvollziehbar ist. Da Lehramtsstudierende häufig Fachveranstaltungen gemeinsam mit Fachphysikstudierenden besuchen, haben die Inhalte nicht immer eine wahrnehmbare Relevanz für das Lehramt. Studierende gehen dabei mit der wahrgenommenen Diskrepanz zwischen Erwartung und

Erfahrung sehr unterschiedlich um (vgl. z. B. Holmegaard et al. 2013)². Eine Strategie besteht darin, sich in der vorgefundenen Institution zu sozialisieren („Internalisierung“) und die persönlichen Lernmotive an die vorgefundenen extrinsischen Erwartungen anzupassen. Eine alternative, typische „Strategie“ besteht in der Resignation, die auf den wiederholten Versuch folgt, sich anzupassen zu müssen. Dem Lehramtsstudium fehlt dabei ein strukturelles und institutionelles Element über das sich die Studierenden als zukünftige Lehrkraft sozialisieren könnten. Somit wäre zu erwarten, dass den Physik-Lehramtsstudierenden unter den gegebenen Bedingungen nur die Sozialisierung in den Fachwissenschaften (und nicht als Lehrkraft) oder die Resignation und damit ein Studienabbruch übrigbleibt. Vorteile eines Lehramtsstudiums *sui generis* (DPG 2014) für die Relevanzwahrnehmung lassen sich empirisch nachweisen (Ludwig 2013, Massolt & Borowski 2020). Weiter führt ein höherer Anteil an fachdidaktischen Veranstaltungen im Studium zu einer höheren Relevanzwahrnehmung (Gries 2013). Eine Studie von Massolt und Borowski (2020) stellt zudem heraus, dass Lehramtsstudierende Physikaufgaben eher als relevant wahrnehmen, wenn konzeptuelle statt mathematischer Probleme behandelt werden. Die Autoren weisen aber darauf hin, dass dennoch nicht nur Aufgaben mit geringen mathematischen Anforderungen gestellt werden sollten, um die Lehrziele nicht zu verfehlen (ebd. S. 178). Zusammenfassend ergibt sich aus der Literatur ein Bild, in dem im Lehramtsstudium überwiegend Inhalte gelehrt werden, deren Relevanz für Studierende nicht wahrnehmbar ist.

2.3. Die Rolle der Schulpraktika für die Professionalisierung

Der Übergang vom Studium in die Schulpraxis ist häufig von einem sogenannten „Praxisschock“ begleitet (vgl. Kunter 2016, Dicke et al. 2016). Studierende berichten dabei von einem hohen Stresserleben. Zudem geben Referendare rückblickend häufig an, durch die fachwissenschaftlichen Studien nicht auf die Unterrichtspraxis vorbereitet worden zu sein (Merzyn 2004). Bislang gibt es keinen Forschungsstand dazu, wie sich eine frühzeitige professionsorientierte fachliche Lehramtsausbildung auf die Praxishase auswirkt. In Abschnitt 2.2 wurde entgegen der *trickle-down*-Annahme dargestellt, dass schulrelevantes Fachwissen nach dem Studium in der Schule oft nicht ausreichend verfügbar ist, wenn im Studium ausschließlich Lerngelegenheiten für universitäres Wissen angeboten werden. Daraus folgt, dass Lehramtsstudierende, die nach dem Fachstudium über ein universitäres Fachwissen verfügen, das notwendige schulrelevante Fachwissen während der Schulpraxis

² In der Studie von Holmegaard et al. (2013) wurden Studierende aus verschiedenen naturwissenschaftlichen Studiengängen untersucht, nicht jedoch aus dem Lehramt. Studien zum Umgang Lehramtsstudierender mit wahrgenommener Diskrepanz zwischen Erwartung und Erfahrung liegen jedoch nicht oder nur in

explorativer Form vor. Es wäre jedoch plausibel anzunehmen, dass die in Holmegaard et al. (2013) berichteten Strategien domänenspezifisch sind.

| | |
|-------------------------|--|
| Wiederholtes Aufgreifen | Bei der Erarbeitung neuer Inhalte werden die relevanten physikalischen Grundkonzepte nochmal explizierend aufgegriffen |
| Alltagsvorstellungen | Auf typische Alltagsvorstellungen, die die Studierenden häufig selbst zu den Grundkonzepten haben, wird in der Vorlesung eingegangen |
| Üben | Übungsphasen in der Vorlesung ermöglichen ein kontinuierliches Anwenden der Konzepte in variablen Kontexten. Der Fokus liegt auf qualitativen Aufgabenstellungen |
| Schulbezug | Fachliche Bezüge zur Schulphysik in der Vorlesung ermöglichen eine Vernetzung von universitärem Wissen mit Schulwissen und vertieftem Schulwissen. |

Tab. 1: Lehrprinzipien der kumulativen Lehre nach John und Starauschek (2020)

erwerben müssen. Dies dürfte jedoch eine Zusatzbelastung für die Studierenden in ihrem Schulpraxissemester bedeuten. Denkbar wäre deshalb, dass sich Studierende, die nach einer professionsorientierten fachlichen Lehramtsausbildung über ein hohes schulrelevantes Fachwissen verfügen, während der Schulpraxis besser auf die fachdidaktischen und pädagogischen Anforderungen der Praxisphase fokussieren können. Kulgemeyer et al. (2020) zeigen zudem, dass der Erwerb von Erklärfähigkeiten während der Praxisphase von der Verfügbarkeit von Professionswissen abhängt. Der Erwerb von professionellem Handlungswissen („*action-related skills*“, ebd.) in der Praxisphase ist also vorwissensabhängig. Umgekehrt sollte fehlendes *relevantes* Vorwissen eher zu einem kleineren Schritt in der Ausbildung während der Schulpraxis führen, aber zu einem höheren Stresserleben der Schulpraxis beitragen.

3. Die Intervention: Kumulatives Lehren und Lernen im Lehramtsstudium Physik

3.1. Merkmale des Lehransatzes

Das Konzept *kumulatives Lehren und Lernen im Lehramtsstudium Physik* (John & Starauschek 2020) stellt einen Ansatz dar, um physikalisches Fachwissen professionsorientiert zu lehren. Dieser Ansatz wurde aus lernpsychologischen Theorien zum kumulativen Lernen abgeleitet (u. a. Gagné 1968, Lee 2012) und weiterentwickelt. Der Kern liegt darin, schulrelevante Grundkonzepte (z. B. die Konzepte Kraft, Impuls, Energie) beim Lehren neuer Inhalte immer wieder zu explizieren. Beispielsweise kann für verschiedene physikalische Systeme explizit die Frage beantwortet werden, unter welchen Bedingungen der Impuls eines Systems erhalten ist (z. B. die Systeme „mathematisches Pendel“, „Venturi-Rohr“, „Elektron im elektrischen Feld eines Kondensators“). Dieses kumulative Lehrprinzip wird als *Wiederholtes Aufgreifen* bezeichnet (Tab. 1). Im Lernmodell hat diese Wiederholung dabei nicht nur den Zweck einer einfachen Repetition bereits gelernter Konzepte, sondern es wird angenommen, dass die Grundkonzepte im Kontext der neuen Lerninhalte explizit zu konkretisieren sind, damit innerfachliche Zusammenhänge erkannt werden können. Dem schließt sich das

Prinzip des *variablen Übens* an, welches besagt, dass Studierende die Konkretisierung und Abstraktion der Grundkonzepte unmittelbar und selbstständig durchführen sollten. Darüber hinaus sind Alltagsvorstellungen der Studierenden im Lehr- und Lernprozess zu berücksichtigen, um die Verfestigung fehlerhafter Vorstellungen entgegenzuwirken und Konzeptwechsel einzuleiten (Prinzip *Alltagsvorstellungen*). Das vierte Merkmal *Schulbezug* ist nicht aus den kumulativen Lernmodellen, sondern aus der Forderung nach mehr Professionsorientierung im Lehramtsstudium abgeleitet. Das Modell ist ausführlich in John & Starauschek (2020) sowie in Rubitzko et al. (2018, 2019 a,b) beschrieben.

3.2. Kurze Zusammenfassung der Ergebnisse der Evaluationsstudie

Die kumulativen Lehrprinzipien aus Tabelle 1 wurden an der PH Ludwigsburg in drei Lehrveranstaltungen (Vorlesung zur Mechanik, physikalisches Praktikum zu mechanischen Schulversuchen, Vorlesung zur Elektrodynamik) mit zwei Jahrgängen in einer Intervention umgesetzt. Diese Intervention wurde mit einer Mixed-Methods Studie evaluiert: Einer Untersuchung des Fachwissenserwerbs im längsschnittlichen, quasi-experimentellen Design sowie einer qualitativen Interviewstudie zum sogenannten *Lernzugang*³ der Studierenden in der Vorlesung. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass der Fachwissenserwerb im Bereich des Schulwissens und vertieften Schulwissens effektiver als bei der „traditionellen“ Physiklehramtsausbildung ist (John einget.). Aus einer Interviewstudie folgt zudem, dass einige Studierende trotz der studierendenorientierten Intervention eher oberflächlich lernen, weil sie die kumulativen Lehrangebote als Angebote für auswendig lernen interpretieren. Diese Studierenden weisen dabei geringere Fachwissenszuwächse als Studierende auf, die eher vertieft lernen. Dies deutet darauf hin, dass der Erfolg der Intervention stark von den Lernkonzepten der Studierenden abhängt.

³ Der Lernzugang bezeichnet das situationsspezifische Lernverhalten (Marton & Booth 2014). Er beschreibt dabei ein

Kontinuum mit den Polen Oberflächenzugang (Sprich: „Auswendiglernen“) und Tiefenzugang (Sprich: „Verstehen und Interpretieren“).

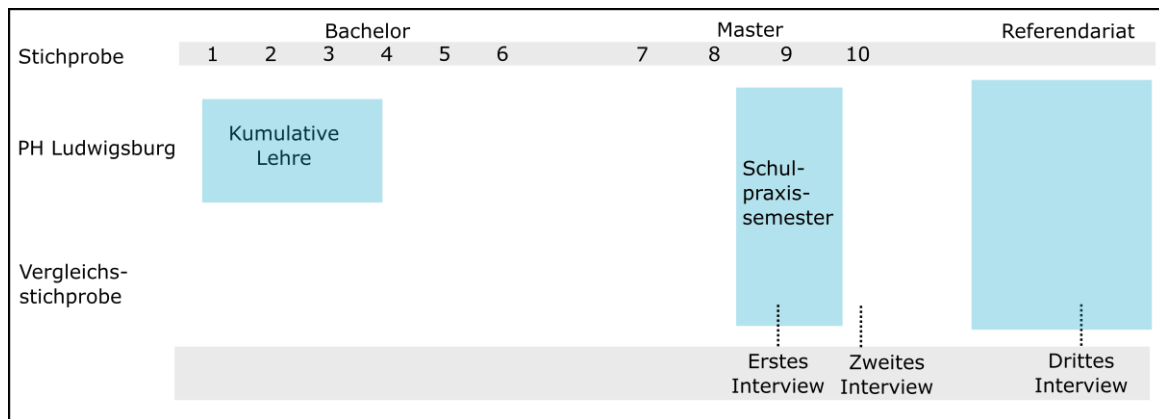


Abb. 1: Ablauf der Studie

4. Forschungsvorhaben

4.1. Fragestellung

Die Intervention der kumulativen Lehre (Abschnitt 3) hatte als professionsorientierte Lehramtsausbildung zwei Ziele: a) Den Erwerb des professionsrelevanten Fachwissens zu unterstützen sowie b) die Wahrnehmung der Relevanz für den zukünftigen Lehrerberuf. Im Schulpraktikum wäre damit plausibel zu erwarten, dass die Studierenden fachlich gut vorbereitet sind und sich deshalb besser auf andere Herausforderungen des Praktikums (z. B. pädagogische und didaktische) konzentrieren können. Zudem wäre u. U. zu erwarten, dass die Studierenden keinen oder einen kleineren „Praxischock“ erleben. Im vorgestellten Folgeprojekt soll explorativ untersucht werden, ob sich diese Erwartungen einstellen oder andere subjektive Beobachtungen zeigen. Dies wird anhand folgender Teilfragen analysiert:

1. *Wie gehen die Studierenden mit den fachlichen Herausforderungen ihres Physikunterrichts um?*

Mit dieser Frage soll untersucht werden, ob die Studierenden ihr Fachwissen dazu nutzen können, ihren Unterricht geeignet zu strukturieren (z. B. durch die Wahl von Beispielen) oder ob sie z. B. und welche fachlichen Schwierigkeiten haben.

2. *Hat das Physikstudium aus der Perspektive der Studierenden zur fachlichen Professionalisierung beigetragen?*

Mit der zweiten Frage sollen die Studierenden ihr Fachstudium retrospektiv bewerten. Auf Basis dieser subjektiven Bewertung sollen Hinweise gefunden werden, welche Relevanz die Intervention der kumulativen Lehre für die professionelle Entwicklung der Studierenden hatte.

4.2. Studiendesign und Methoden

Die Forschungsfragen sind offen formuliert; ein belastbarer Forschungsstand liegt bislang nicht vor. Deshalb wird die Studie als explorative Fallstudie durchgeführt. Mit den gewonnenen Daten sollen die obigen Plausibilitätshypothesen datenbasiert bestätigt

oder ggf. neue Hypothesen generiert werden. Die Forschungsfragen anhand der subjektiven Wahrnehmungsperspektive der Studierenden mit drei Leitfadeninterviews (Hopf 2013) untersucht, die inhaltsanalytisch ausgewertet werden (Mayring 2010).⁴ In beiden Kohorten findet der erste Kontakt im Schulpraxissemester im Masterstudium statt. Das erste Interview wird während des Schulpraxissemesters durchgeführt, unmittelbar nachdem die Studierenden ihren eigenen Unterricht durchgeführt haben (Abbildung 1). Um zu vermeiden, dass singuläre Ereignisse das Interview überdecken, wird nach dem Schulpraxissemester ein zweites Interview durchgeführt. Damit können die Studierenden ihre Erfahrungen mit etwas zeitlichem Abstand reflektieren. In der Analyse wird untersucht, ob sich dabei neue Aspekte ergeben. Ein drittes Interview soll während des Referendariats der Studierenden durchgeführt werden. Zudem wird ein Fragebogen zur Bewertung des Studiums eingesetzt (Bungartz & Wynands 1999). Zum jetzigen Zeitpunkt sind die Durchführung des ersten Interviews sowie die Erhebung mit dem Fragebogen abgeschlossen.

4.3. Stichprobe

Die Gesamtstichprobe der Studie besteht aus der Interventions- und der Vergleichsstichprobe (Tab. 2). Die Interventionsstichprobe setzt sich aus den Physik-Lehramtsstudierenden der ersten Kohorte der Sekundarstufe 1 der PH Ludwigsburg zusammen, die an der Intervention der kumulativen Lehre teilgenommen haben (vgl. Abschnitt 3). Diese Studierenden haben also eine professionsorientierte Lehre erfahren. Bei der Vergleichsstichprobe handelt es sich um eine Gelegenheitsstichprobe einer Universität mit Physik-Lehramtsstudierenden der Sekundarstufe 2. Die Studierenden beider Stichproben befinden sich zum Zeitpunkt der Studie im Master-Studiengang und absolvieren ihr Semesterpraktikum an einer Schule. Das Schulpraxissemester führen die Studierenden i.d.R. im 9. Fachsemester durch. Es ist geplant, dass weitere Kohorten der folgenden Jahrgänge an der Studie teilnehmen.

⁴ Der Leitfaden kann auf Wunsch beim Autor angefordert werden

| Stichprobe | N | Anteil weibl. | Semester MW (SD) | Abiturnote MW (SD) | Studiengang |
|------------|---|---------------|---------------------|-----------------------|-----------------|
| PH | 8 | 50% | 9 (1) | 2.5 (0.6) | LA Physik Sek 1 |
| Uni | 6 | 0% | 10 (1) | 1.6 (0.6) | LA Physik Sek 2 |

Tab. 2: Stichproben

5. Vorläufige Ergebnisse

5.1. Deskriptive Ergebnisse

Mit dem Fragebogen sollten die Studierenden ihr Studium bewerten. Der Fragebogen wurde auf einer vierstufigen Skala beantwortet (vgl. Tab. 3). Die daraus gewonnenen Daten dienen zur deskriptiven Beschreibung der Fälle. Die in Tabelle 3 dargestellte Gegenüberstellung der Stichproben hat daher nicht den Anspruch, repräsentativ zu sein.

Die Bewertungen fallen bei beiden Stichproben insgesamt positiv aus: Die Qualität des Physikstudiums wird als „eher gut“ oder „sehr gut“ bewertet. Zwischen den Stichproben ist kein wesentlicher Unterschied erkennbar. Unter der Stichprobe der Universität bewerten aber zwei der $N=6$ Studierenden den Berufsfeldbezug in ihrem Studium als eher negativ. Diese Haltung deckt sich mit der Literatur: Demnach bewerten Physik-Lehramtsstudierende ihr Physikstudium häufig als wichtigsten Studienteil (im Vergleich zu ihren fachdidaktischen und pädagogischen Studien), aber auch als irrelevant für ihren zukünftigen Beruf (Merzlyn 2004). Diese Ambivalenz findet sich ebenfalls in den bisher ausgewerteten Interviews (Abschnitt 5.2). Aufgrund der kleinen Stichprobengröße sind die hier vorgestellten Daten nicht repräsentativ.

5.2. Zwischenstand aus der qualitativen Inhaltsanalyse zu den Interviews

Bisher wurden vier Interviews (zwei der Interventions- und zwei der Vergleichsstichprobe) ausgewertet. Die Auswertung erfolgt in Anlehnung an die qualitative Inhaltsanalyse nach Mayring (2010). Für die Analyse wurde nach der Methode der Subsumtion ein induktives Kategoriensystem entwickelt. Bisher wurden die Interviews von vier Studierenden ausgewertet. Die hier gezeigten Ergebnisse bilden einen Zwischenstand der Kategorienentwicklung ab. Tabelle 4 fasst eine Auswahl der induktiv entwickelten Kategorien zusammen. Demnach bewerten alle vier Studierenden ihr Fachstudium im Interview rückblickend als positiv und für die Schule vorbereitend (analog zum Fragebogen, Tab. 3).

Im Folgenden wird anhand exemplarischer Interviewpassagen gezeigt, wie die Studierenden beider Hochschulen (PH und Uni) ihr Studium rückblickend beschreiben und wie sie sich auf das Unterrichten im Schulpraktikum vorbereitet fühlen. Dabei finden sich Unterschiede zwischen den Stichproben. Für die folgenden Interviewpassagen wurden den Studierenden folgende Pseudonyme zugeordnet: Paula und Patrick für die beiden Studierenden der PH sowie Uli und Uwe für die beiden Studierenden der Universität.

| Fragestellung | PH (N=8) | Uni (N=6) |
|--|---|---|
| Qualität des Physikstudiums | Sehr gut (8) Eher gut (0) Eher schlecht (0) Schlecht (0) | Sehr gut (3) Eher gut (2) Eher schlecht (1) Schlecht (0) |
| Fachliche Anforderungen | Genau richtig (7) Eher zu hoch (1) Eher zu niedrig (0) Zu hoch (0) | Genau richtig (3) Eher zu hoch (2) Eher zu niedrig (0) Zu hoch (1) |
| Berücksichtigung des Berufsfelds (allgemein im Studium) | Sehr gut (0) Ausreichend (6) Zu wenig (2) Gar nicht (0) | Sehr gut (0) Ausreichend (4) Zu wenig (2) Gar nicht (0) |
| Berücksichtigung des Berufsfelds (in Physikveranstaltungen) | Sehr gut (2) Ausreichend (6) Zu wenig (0) Gar nicht (0) | Sehr gut (2) Ausreichend (4) Zu wenig (0) Gar nicht (0) |
| Vermittlung physikalischer Kompetenz für die Durchführung von Physikunterricht | Sehr gut (1) Recht gut (7) Eher schlecht (0) Sehr schlecht (0) | Sehr gut (2) recht gut (2) Eher schlecht (2) Sehr schlecht (0) |

Tab. 3: Ergebnisse aus dem Fragebogen (4-stufige Items, absolute Häufigkeit in Klammern)

| PH (bisher zwei ausgewertete Interviews) | Uni (bisher zwei ausgewertete Interviews) |
|---|--|
| Alle vier Studierenden bewerten ihr Fachstudium grundsätzlich als positiv und vorbereitend für die Planung und Durchführung des eigenen Unterrichts | |
| Negative Aspekte: Andere Studienanteile sind nicht professionsbezogen (z.B. EW) | Negative Aspekte: Keine Identifikation als Lehrkraft möglich; Mathematik dominiert |
| Schulbezug: Heben die Bedeutung fachlicher Schulbezüge im Studium für den eigenen Unterricht hervor | Schulbezug: Schulphysik ist „triviale“ universitäre Physik, weshalb fachliche Schulbezüge im Studium nicht notwendig sind |
| Bedeutung tiefes Fachwissen: Gibt Sicherheit und Respekt im Unterricht, ist aber eher nicht interessant | Bedeutung tiefes Fachwissen: Gibt Sicherheit im Unterricht und ist interessant; zeigt Grenzen eigener Fähigkeiten auf |
| Eher schülerorientierter Unterricht: Suchen z.B. nach geeigneten Beispielen und nicht nach fachlich richtigen Herleitungen | Eher inhaltsorientierter Unterricht: mathematisch-deduktive Herangehensweise |

Tab. 4: Zusammenfassung einiger Kategorien der qualitativen Inhaltsanalyse (Zwischenstand)

Rückblickende Beurteilung der Professionsorientierung im Studium

Rückblickend beschreiben die Studierenden der PH drei Aspekte des Physikstudiums als professionsrelevant: die Berücksichtigung der Sprache in der Physik, die Behandlung von typischen Schülerinnenvorstellungen in Fachveranstaltungen sowie lebensweltliche Bezüge in Aufgabenstellungen:

Paula: „Im Fachstudium wurde auch viel Wert auf eine gute Sprache und Formulierungen im Unterricht gelegt. Das hat mir sehr geholfen.“

Paula: „Ich finde Schulbezüge wichtig. In der Mechanik wurden immer Schülervorstellungen behandelt. Dann wusste man, worauf man achten muss und wie Schülerinnen und Schüler denken.“

Paula: „Auch in der Aufgabenauswahl hat man einen Schulbezug gesehen. Das sieht man z.B. an einem Lebensweltbezug in der Aufgabe z.B. in der E-Dynamik. Das kann man auch als Beispiel für den Unterricht nehmen dann.“

Patrick: „Es wurde viel gelehrt, was man später nicht braucht oder unwichtig ist. Es ist gut, dass es ausführlich ist und man etwas darüber hinaus weiß. Aber z.B. Maxwell-Gleichungen brauche ich später nicht. Auch Moderne war viel und intensiv. [...] In den Fachvorlesungen hat man anhand der Diskussionen gesehen, dass das Wissen der Dozenten auch mal über das hinausgeht, was sie lehren. Das führt einem vor Augen, wie wichtig ein vertieftes Fachwissen ist, weil oft fragt man sich, wofür brauche ich das? So hat man das veranschaulicht bekommen.“

In der letzten Passage sagt Patrick, dass auch aus seiner Sicht Irrelevantes gelehrt wurde (Maxwell-Gleichungen). Das habe ihm aber veranschaulicht, warum ein vertieftes Fachwissen als Lehrkraft wichtig ist (der Dozent dient ihm dabei als Vorbild). Im Vergleich dazu beschreiben die Studierenden der

Universität deutlich häufiger und mit stärkerer Betonung, dass Irrelevantes gelehrt wurde, wofür folgende Passage typisch ist:

Uli: „Ich fühle mich fachlich sicher für die Schule. An der Uni haben wir noch mehr gelernt. Das habe ich teilweise wieder vergessen. Das brauche ich aber auch nie. [...] Ich denke oft mathematisch, aber das bringt dann nichts. Und ich muss mir in der Vorbereitung oft überlegen, wie ich das qualitativ hinkriege, das zu erklären. Die Themen sind zum Glück nicht schwer. Das habe ich im Studium vermisst, denn dort rechnet man nur. [...] Es war immer ein Kampf mit der Mathematik.“

Uli fühlt sich demnach fachlich auf das Unterrichten an der Schule vorbereitet. Dennoch habe er Vieles gelernt, das er nicht mehr brauche und bereits wieder vergessen habe. Vor allem scheint die Mathematik in der Physik problematisch für Uli gewesen zu sein. Eine typische Antwort bei den Universitätsstudierenden auf die direkte Nachfrage, ob mehr fachlicher Schulbezug in den Fachvorlesungen wünschenswert wäre, ist, dass dies nicht notwendig sei:

Uwe: „Das Fachstudium ist gut so, man sollte es nicht da schon auf die Schule herunterbrechen. Das ist dann aber die große Kunst. Da sollte man mehr in Fachdidaktik dazu machen. Aber die Fachdidaktik ist leider sehr theoretisch mit solchen Fragen wie: ‚Was ist Fachdidaktik?‘ [...] Universitäre Inhalte sind wichtig für den Unterricht mit Hochbegabten und weil es mich interessiert. Es wäre deshalb schade, wenn ich mich im Studium nur auf die Schulphysik konzentrieren würde.“

Während die Studierenden der PH Schulbezüge und die wahrgenommene Professionalisierung also rückblickend als positiv bewerten, scheinen die Studierenden der Uni keine fachlichen Schulbezügen zu vermissen. Das steht im Widerspruch zu der Aussage, dass an der Universität viel irrelevantes Fachwissen

gelehrt wurde. Statt fachlicher Schulbezügen wünschen sich die Studierenden der Universität mehr qualitative Physik in den Fachvorlesungen.

Lehrorientierung der Studierenden bei ihrem Schulunterricht

In einem zweiten Interviewabschnitt wurden die Studierenden zu ihren Unterrichtserfahrungen in der Schulpraxis befragt (z. B. „Beschreiben Sie bitte, wie Sie bei der Vorbereitung zu Ihrem Unterricht vorgegangen sind.“ Oder: „Was ist Ihnen beim Unterrichten besonders schwergefallen?“). Die qualitative Inhaltsanalyse zeigt, dass sich die Stichproben in einem Merkmal unterscheiden: der Lehrorientierung (Schülerinnen- vs. Inhaltsorientierung). Die Studierenden der PH sind dabei eher schülerinnenorientiert, wie sich folgender typischer Passage exemplarisch entnehmen lässt:

Paula: „Schwierig finde ich es immer, wenn man merkt, dass etwas nicht bei den Schülern ankommt und dann herauszufinden, woran das liegt. Oder das während dem Unterricht zu erkennen und darauf zu reagieren.“

Demgegenüber sind die beiden Studierenden der Universität sehr häufig versucht, physikalische Gesetze oder Zusammenhänge für den Unterricht axiomatisch herzuleiten. Daraus lässt sich vorläufig folgern, dass sich die Studierenden der Universität eher mit ihrem eigenen Wissenssystem als dem ihrer Schüler und Schülerinnen befassen. Die Studierenden der Universität reflektieren dem Interview zufolge aber auch, ob die Schülerinnen und Schüler diese Herleitungen verstehen können und weisen somit auch in Ansätzen eine Schülerinnenorientierung auf:

Uli: „Ich wollte Wellen mathematisch sauber einführen und musste nachlesen, ob es im Argument $(kx-wt)$ oder $(wt-kx)$ ist. Überall steht es anders, aber ich habe nicht herausgefunden, was richtig ist. Ich wollte den SuS deshalb sagen, es ist Definitionssache, um mich so rauszureden. Dann stellte sich aber heraus, dass ich die Gleichung letztlich nicht verwendet habe.“

Uli: „Ich musste nochmal nachlesen, wo die Lorentzkraft herkommt. Ich glaube man kann sie aus der Relativitätstheorie herleiten irgendwie.“

Uwe: „Mir fallen gerade noch ein paar andere Schwierigkeiten ein beim Unterrichten. An der Uni hinterfragt man alles, d.h. man beweist alles von Grund auf. Ich frage mich dann, wie weit kann man die didaktische Reduktion in der Schule treiben? Die Schülerinnen und Schüler haben ja noch kein Erfahrungswissen in der Physik. Glauben sie mir dann einfach, wenn ich das nur näherungsweise mache? Oder muss ich das denen auch beweisen, damit sie mir glauben? Aber da fehlt dann das mathematische Handwerkszeug.“

Die letzte Passage von Uwe deutet auf eine Schwierigkeit hin, die beim Übergang von der Universität an

die Schulpraxis entsteht. Die Studierenden scheinen den mathematischen Stil der Physikvorlesungen zu übernehmen und sich in dieser wissenschaftlichen Kultur sozialisiert zu haben. Besonders der vorletzte Satz von Uwe („O-der muss ich das denen auch beweisen, damit sie mir glauben?“) ist ein starker Hinweis darauf, dass aus Sicht des Studenten erst ein mathematischer Beweis dazu führt, dass die Schülerinnen und Schülern einen physikalischen Zusammenhang „glauben“. Dies ist ein gängiges Vorgehen in der Physik und im Jargon. Das Lehramtsstudium und die wissenschaftsorientierte Physikveranstaltungen der Universität befinden sich somit in einem Spannungsfeld. Dieses Spannungsfeld wird einerseits von der Erkenntnisgewinnung der theoretischen Physik und andererseits der individuellen Entwicklung von physikalischen Begriffen und Konzepten der Studierenden aufgespannt (z. B.: „Hat ein Individuum die Lorentzkraft ‚verstanden‘, wenn sie sie herleiten kann?“). Beide Aspekte universitärer physikalischer Bildung (Methoden der Erkenntnisgewinnung der theoretischen Physik sowie die individuelle Entwicklung physikalischer Begriffe) können für die Ausbildung einer gymnasialen Physiklehrkraft als relevant betrachtet werden; die Studierenden haben aber in der Schulpraxis die Schwierigkeit beide Aspekte zu trennen und für ihren Schulunterricht angemessen zu nutzen. Somit lässt sich vorläufig folgern, dass für diese Studierenden der wissenschaftsorientierte Stil überwiegt, worunter ihre Professionalisierung leiden könnte.

6. Zusammenfassung und Diskussion

In diesem Beitrag wurde ein Forschungsvorhaben vorgestellt, mit dem die Wirkung eines professionsorientierten physikalischen Fachstudiums auf die Schulpraxis angehender Lehrkräfte explorativ untersucht werden soll. Ein Zwischenstand der ersten Ergebnisse deutet darauf hin, dass die fachliche Professionsorientierung der kumulativen Lehre (d. h. das Prinzip des Schulbezugs) einen Einfluss auf das Unterrichten der Studierenden in der Schulpraxis hat. Dieser Einfluss zeigt sich darin, dass die Studierenden der PH angeben, ihren Unterricht eher schülerorientiert zu planen. Demgegenüber versuchen die Studierenden der Universität bei ihrer Unterrichtsplanung häufig, physikalische Zusammenhänge herzuleiten. Sie erwarten, dass ihnen die Schülerinnen und Schülern eher „glauben“, wenn sie eine gute, mathematische Herleitung anbieten. Sie reflektieren dabei offenbar nicht, dass die Schülerinnen und Schüler über die notwendigen mathematischen Fähigkeiten nicht verfügen (könnten).

Aus dem Vergleich der ersten Ergebnisse lässt sich hypothesengenerierend folgern, dass die Professionsorientierung eher zu einer Sozialisierung als Lehrkraft während des Grundstudiums führt, die sich auf die Unterrichtspraxis der Studierenden auswirkt. Zu dieser Sozialisierung könnte beitragen, dass an der PH überwiegend schulrelevantes Fachwissen gelehrt

wird, deren Professionsrelevanz wahrnehmbar ist. Zudem könnten die Vorlesungen für die Studierenden Vorbildcharakter für den eigenen Unterricht haben (vgl. auch die Thesen der DPG 2006, S. 7): Die kumulative Lehre ist selbst studierendenorientiert (z. B. durch das kumulative Lehrprinzip der Berücksichtigung der Alltagsvorstellungen der Studierenden). Demgegenüber sind die Fachvorlesungen der Universität typischerweise eher inhalts- und wissenschaftsorientiert, was den Interviews zufolge zu einer Inhaltsorientierung der Studierenden beim eigenen Unterrichten führt. Der institutionelle Kontext (PH oder Universität) könnte somit einen Einfluss auf den eigenen Schulunterricht der angehenden Physiklehrkräfte haben.

Zu diskutieren wäre auch, wie viel Wissenschaftsorientierung in einer Lehramtsausbildung wünschenswert ist. Neben dem Erwerb von unmittelbar schulrelevantem Fachwissen stellen die wissenschaftstheoretischen Methoden der theoretischen Physik ein eigenes Bildungsziel für Physiklehrkräfte dar (vgl. DPG 2006, S. 13). Die Interviews deuten aber darauf hin, dass an der universitären Lehramtsausbildung derzeit der wissenschaftsorientierte Anteil stark überwiegt und die besagte Inhaltsorientierung im eigenen Schulunterricht der Studierenden zur Folge hat. Die Studierenden schreiben der erkenntnistheoretischen Bedeutung einer theoretischen Herleitung eines physikalischen Zusammenhangs eine größere Bedeutung zu, als diesen zu „verstehen“. Das heißt, anstatt den Schülerinnen und Schülern z. B. geeignete Experimente anzubieten, damit sie mentale Modelle konstruieren können, bieten die Studierenden ihnen mathematische Herleitungen an. Zudem könnte eine zu starke Wissenschaftsorientierung im Studium auch auf Kosten eines konzeptuellen Verständnisses der Studierenden zu schulrelevanten physikalischen Konzepten gehen.

Zusammenfassend deuten sich bei diesen Fällen bekannte Unterschiede an (z. B. aus Merzyn 2004): Physik-Lehramtsstudierende werden an der Universität nicht gezielt auf ihre zukünftigen Aufgaben vorbereitet. Ein professionsorientiertes physikalisches Lehramtsstudium, wie es die DPG (2006, 2014) fordert, könnte dem entgegenwirken.

7. Literatur

- Abell, S. K. (2007). Research on science teacher knowledge. In S. K. Abell & N. G. Ledermann (Hg.), *Handbook of Research in Science Education* (S. 1105–1149). Taylor & Francis Inc.
- Albrecht, A. (2011). *Längsschnittstudie zur Identifikation von Risikofaktoren für einen erfolgreichen Studieneinstieg in das Fach Physik*. Dissertation.
- BMBF. (2021). *Qualitätsoffensive Lehrerbildung*. <https://www.qualitaetsoffensive-lehrerbildung.de/de/verbesserung-der-praxisbezeuge-im-lehramtsstudium-1749.html>
- Borowski, A., Kirschner, S., Liedtke, S. & Fischer, H. E. (2011). Vergleich des Fachwissens von Studierenden, Referendaren und Lehrenden in der Physik. *PhyDid A - Physik und Didaktik in Schule und Hochschule*, 1(10), 1–9.
- Brackertz, S., Christou, C., Donocik, N., ElMiniawy, A., Gaßen, T., Geisel-Brinck, J., Kern-Michler, D., Kristkeitz, S., Längle, M., Malz, M., Scheuch, M., Schulz, A., Stefanic, A. & Weck, H. (2019). Forum Studienreform. In V. Nordmeier & H. Grötzebauch (Hrsg.), *PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung Aachen 2019* (S. 331–349).
- Bromme, R. (1992). *Der Lehrer als Experte*. Bern: Huber.
- Bungartz, P. & Wynands, A. (1999). *Wie beurteilen Referendare ihr Mathematikstudium für das Lehramt Sek. II?* Internetdokument: <http://www.math.uni-bonn.de/people/wynands/Kurzbericht.html> [Letztes Abrufdatum 27.05.2021]
- Deci, E. L. & Ryan, R. M. (1993). Die Selbstbestimmungstheorie der Motivation und ihre Bedeutung für die Pädagogik. *Zeitschrift für Pädagogik*, 39(2), 223–238.
- Dicke, T., Holzberger, D., Kunina-Habenicht, O., Linninger, C. & Schulze-Stocker, F. (2016). „Doppelter Praxisschock“ auf dem Weg ins Lehramt? Verlauf und potenzielle Einflussfaktoren emotionaler Erschöpfung während des Vorbereitungsdienstes und nach dem Berufseintritt. *Psychologie in Erziehung und Unterricht*, 63(4), 244. <https://doi.org/10.2378/peu2016.art20d>
- DPG (2006). *Thesen für ein modernes Lehramtsstudium im Fach Physik: Eine Studie der Deutschen Physikalischen Gesellschaft e.V.* Bad Honnef.
- DPG (2014). Großmann, S. & Hertel, I. (Koordinatoren): *Zur fachlichen und fachdidaktischen Ausbildung für das Lehramt Physik*. Bad Honnef.
- van Driel, J. H., Berry, A. & Meirink, J. (2014). Research on science teacher knowledge. In N. Lederman & S. K. Abell (Hg.), *Handbook of Research on Science Education* (S. 862–884). Routledge.
- Gagné, R. M. (1968). Contributions of learning to human development. *Psychological review*, 75(3), 177–191.
- Glowinski, I., Gillen, J., Borowski, A., Schanze, S. & Meien, J. v. (Hg.). (2018). *Kohärenz in der universitären Lehrerbildung: Vernetzung von Fachwissenschaft, Fachdidaktik und Bildungswissenschaften*. Universitätsverlag Potsdam.
- Giest, H., Wendland, M. & Schönemann, L. (2013). Professionsorientierung im Blickwinkel der Lehramtsstrukturen. In J. Ludwig, W. Schubarth & M. Wendland (Hg.), *Lehrerbildung in Potsdam: Eine kritische Analyse* (S. 91–99). Universitätsverlag Potsdam.
- Hashweh, M. Z. (1987). Effects of subject-matter knowledge in the teaching of biology and physics. *Teaching and teacher education*, 3(2), 109–120.

- Hericks, U., Keller-Schneider, M. & Meseth, W. (2020). Fachliche Bildung und Professionalisierung empirisch beforschen – zur Einführung in den Band. In U. Hericks, M. Keller-Schneider, W. Meseth & A. Rauschenberg (Hg.), *Fachliche Bildung und Professionalisierung von Lehrerinnen und Lehrern* (S. 9–26). Klinkhardt.
- Heublein, U., Hutzsch, C., Schreiber, J., Sommer, D. & Besuch, G. (2007). Ursachen des Studienabbruchs in Bachelor- und in herkömmlichen Studiengängen. *Ergebnisse einer bundesweiten Befragung von Exmatrikulierten des Studienjahres*, 8(2).
- Holmegaard, H. T., Madsen, L. M. & Ulriksen, L. (2013). A journey of negotiation and belonging: understanding students' transitions to science and engineering in higher education. *Cultural Studies of Science Education*, 9(3), 755–786.
- Hopf, C. (2013). Qualitative Interviews - ein Überblick. In U. Flick, E. von Kardoff & I. Steinke (Hrsg.), *Qualitative Forschung: Ein Handbuch* (10. Aufl., S. 349–359). Rowohlt Taschenbuch Verlag GmbH.
- Hoth, J., Jeschke, C., Dreher, A., Lindmeier, A. & Heinze, A. (2019). Ist akademisches Fachwissen hinreichend für den Erwerb eines berufsspezifischen Fachwissens im Lehramtsstudium? Eine Untersuchung der Trickle-down-Annahme. *Journal für Mathematik-Didaktik*, 1–28.
- John, T. & Staraschek, E. (2020). Ein Modell für kumulatives Lehren im Lehramtsstudium Physik. *PhyDid A - Physik und Didaktik in Schule und Hochschule*, 19(1), 23–42.
- John, T. (eingereicht). *Kumulatives Lehren und Lernen im Lehramtsstudium Physik. Entwicklung und Evaluation eines Lehrkonzepts*. Dissertation PH Ludwigsburg.
- Krauss, S., Neubrand, M., Blum, W., Baumert, J., Brunner, M., Kunter, M. & Jordan, A. (2008). Die Untersuchung des professionellen Wissens deutscher Mathematik-Lehrerinnen und -Lehrer im Rahmen der COACTIV-Studie. *Journal für Mathematik-Didaktik*, 29(3-4), 233–258.
- Kreutz, J., Leuders, T. & Hellmann, K. A. (2020). *Professionsorientierung in der Lehrerbildung: Kompetenzorientiertes Lehren nach dem 4-Component-Instructional-Design-Modell*. Research. Springer VS; Ciando.
- Kulgemeyer, C. & Riese, J. (2018). From professional knowledge to professional performance: The impact of CK and PCK on teaching quality in explaining situations. *Journal of Research in Science Teaching*, 55(10), 1393–1418.
- Kulgemeyer, C., Borowski, A., Buschhüter, D., Enkrott, P., Kempin, M., Reinhold, P., Riese, J., Schecker, H., Schröder, J. & Vogelsang, C. (2020). Professional knowledge affects action-related skills: The development of preservice physics teachers' explaining skills during a field experience. *Journal of Research in Science Teaching*, 57(10), 1554–1582.
- Kunter, M. (2016). *Qualität der Lehrerbildung – Was sagt die empirische Forschung dazu?* Goethe-Universität Frankfurt. Keynote-Vortrag am 12. Oktober 2016 beim Programmkongress der Qualitätsoffensive Lehrerbildung, Berlin.
- Lee, J. (2012). *Cumulative Learning and Schematization in Problem Solving*, Dissertation. Universität Freiburg.
- Ludwig, J., Schubarth, W. & Wendland, M. (Hrsg.). (2013). *Lehrerbildung in Potsdam: Eine kritische Analyse*. Universitätsverlag Potsdam.
- Massolt, J. & Borowski, A. (2020). Perceived relevance of university physics problems by pre-service physics teachers: personal constructs. *International Journal of Science Education*, 42(2), 176–189.
- Mayring, P. (2010). *Qualitative Inhaltsanalyse: Grundlagen und Techniken* (11. Aufl.). Beltz.
- Merzyn, G. (2004). *Lehrerausbildung – Bilanz und Reformbedarf* (2. Aufl.). Schneider-Verlag Hohengehren.
- Merzyn, G. (2017). Auf den Lehrer kommt es an. *PhyDid A-Physik und Didaktik in Schule und Hochschule*, 1(16), 67–80.
- Neuweg, G. H. (2011). Distanz und Einlassung. Skeptische Anmerkungen zum Ideal einer "Theorie-Praxis-Integration" in der Lehrerbildung. *Erziehungswissenschaft*, 22(43), 33–45.
- Oettle, M., Brandenburger, M., Mikelskis-Seifert, S. & Schwichow, M. (2018). Schaffung vertikaler und horizontaler Kohärenz in der Lehrerbildung am Beispiel der Physik. In K. A. Hellmann, J. Kreutz, M. G. Schwichow & K. Zaki (Hg.), *Research. Kohärenz in der Lehrerbildung: Theorien, Modelle und empirische Befunde* (1. Aufl., Bd. 9, S. 167–182). Springer VS. https://doi.org/10.1007/978-3-658-23940-4_11
- Riese, J. (2009). *Professionelles Wissen und professionelle Handlungskompetenz von (angehenden) Physiklehrkräften*. Dissertation. Logos Verlag.
- Riese, J. (2010). Empirische Erkenntnisse zur Wirksamkeit der universitären Lehrerbildung-Indizien für notwendige Veränderungen der fachlichen Ausbildung von Physiklehrkräften. *PhyDid A-Physik und Didaktik in Schule und Hochschule*, 1(9), 25–33.
- Rubitzko, T., Laukenmann, M. & Staraschek, E. (2018). Kumulatives Lehren der Mechanik in der Lehramtsausbildung. In V. Nordmeier & H. Grötzebach (Hg.), *PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung Würzburg 2018* (S. 111–123). PhyDid B.
- Rubitzko, T., Laukenmann, M. & Staraschek, E. (2019a). Grundkonzepte der Mechanik in der Elektrodynamik kumulativ lehren. In C. Maurer (Hg.), *Naturwissenschaftliche Bildung als Grundlage für berufliche und gesellschaftliche Teilhabe*. Gesellschaft für Didaktik der Chemie

- und Physik Jahrestagung in Kiel 2018: Jahrestagung der GDGP in Kiel 2018 (S. 854–857). Universität Regensburg.
- Rubitzko, T., Laukenmann, M. & Starauschek, E. (2019b). Kumulatives Lehren und Lernen durch kognitiv aktivierende Aufgaben. In V. Nordmeier & H. Grötzebauch (Hg.), *PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung Aachen 2019* (S. 79–82).
- Schödl, A. & Göhring, A. (2017). FALKO-P: Fachspezifische Lehrerkompetenzen im Fach Physik. *Falko: Fachspezifische Lehrerkompetenzen: Konzeption von Professionswissenstests in den Fächern Deutsch, Englisch, Latein, Physik, Musik, Evangelische Religion und Pädagogik*, 201.
- Terhart, E. (2001). *Lehrerberuf und Lehrerbildung: Forschungsbefunde, Problemanalysen, Reformkonzepte*. Beltz.
- Ulrich, I., Klingebiel, F., Bartels, A., Staab, R., Scherer, S. & Gröschner, A. (2020). Wie wirkt das Praxissemester im Lehramtsstudium auf Studierende? Ein systematischer Review. In I. Ulrich & A. Gröschner (Hg.), *Edition ZfE. Praxissemester im Lehramtsstudium in Deutschland: Wirkungen auf Studierende* (Bd. 9, S. 1–66). Springer VS. https://doi.org/10.1007/978-3-658-24209-1_1
- Vogelsang, C., Borowski, A., Buschhüter, D., Enkrott, P., Kempin, M., Kulgemeyer, C., Reinhold, P., Riese, J., Schecker, H. & Schröder, J. (2019). Entwicklung von Professionswissen und Unterrichtsperformanz im Lehramtsstudium Physik. *Zeitschrift für Pädagogik*(4), 473–491.
- Woehlecke, S., Massolt, J., Goral, J., Hassan-Yavu, S., Seider, J., Borowski, A., Fenn, M., Kortenkamp, U. & Glowinski, I. (2017). Das erweiterte Fachwissen für den schulischen Kontext als fachübergreifendes Konstrukt und die Anwendung im universitären Lehramtsstudium. *Beiträge zur Lehrerinnen-und Lehrerbildung*, 35(3), 413–426.
- Wu, H. (2015). *Textbook School Mathematics and the preparation of mathematics teachers*. Internetdokument: https://math.berkeley.edu/%7Ewu/Stony_Brook_2014.pdf [Letztes Abrufdatum 1.4.2021]
- Zeichner, K., Payne, K., & Brayko, K. (2012). Democratizing knowledge in university teacher education through practice-based methods teaching and mediated field experience in schools and communities. *Harvard Educational Review*, 1-46.

Danksagung

Das diesem Beitrag zugrundeliegende Vorhaben wird im Rahmen der gemeinsamen „Qualitätsoffensive Lehrerbildung“ von Bund und Ländern mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 01JA1907B gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

Analyse von Experimentierhausaufgaben in der klassischen Mechanik

Andreas Kaps*, Theresa Schmid*, Helena Franke* und Frank Stallmach*

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

Kurzfassung

Im einführenden Mechanik-Kurs haben Studierende des 1. Fachsemesters Lehramt Physik eigenständig Experimentierhausaufgaben mit ihren Smartphones als digitales Messinstrument bearbeitet. Die von den Studierenden als Lösungen eingereichten Protokolle zu zwei Aufgaben aus der Lehrthematik Dynamik des Massenpunktes wurden einer systematischen Analyse bezüglich wiederkehrender Fehlermuster unterzogen. Es zeigte sich einerseits, dass die Studierenden den zielgerichteten Einsatz digitaler Messwerterfassung und Auswertung sehr schnell und sicher beherrschen. Andererseits fallen der Transfer und die Anwendung neuer physikalischer und mathematischer Lehrinhalte auf reale Problemstellungen ca. 2/3 der Studierenden schwer.

1. Einleitung

Smartphones stehen uns alltäglich als vielfach nutzbares Kommunikationswerkzeug zur Verfügung. Die enthaltene Sensorik ermöglicht darüber hinaus die Einbindung in die schulische und universitäre Physikausbildung. Mit der frei verfügbaren *phyphox*-App (RWTH Aachen, Deutschland) können beispielsweise Versuche zu verschiedenen Themengebieten der Physik sehr schnell und einfach durchgeführt werden. Die digitale Messtechnik ermöglicht es mit dem Smartphone, die Messwerte in Echtzeit, d.h. zeitsynchron zum Ablauf des Experiments aufzunehmen, zu protokollieren und in übersichtlichen Diagrammen darzustellen und zu protokollieren [1-4].

Diese leichte Bedienbarkeit, die damit einhergehende Vertrautheit des Experimentiermittels und die hohe Zahl an messbaren Größen macht sich das Projekt *Smartes Physiklabor* der Universität Leipzig zu nutze. Ebenso wie bereits an anderen Universitäten werden hier sogenannte Experimentierhausaufgaben ausgegeben, in denen die Studierenden im Fachbereich Physik selbstständig Experimente mit ihrem Smartphone durchführen. Dieses neue Aufgabenformat stellt eine Ergänzung zu den klassischen Übungsaufgaben in der universitären Physikausbildung dar [2,3].

In diesem Beitrag werden die im Rahmen des Lehr-Lern-Projekts zum *Smarten Physiklabor* von Studierenden des 1. Fachsemesters Lehramt Physik bearbeiteten Experimentierhausaufgaben zur Thematik „Bewegung des Massepunktes“ in der Mechanik untersucht. Dazu werden zuerst zwei smartphonebasierte Experimentieraufgaben aus diesem Lehrbereich ausführlich vorgestellt. Anschließend werden die Lösungen, welche die Studierenden in Form von Protokollen eingereicht haben, systematisch nach wiederkehrenden Fehlermustern und deren Ursachen analysiert. Aus den Ergebnissen dieser Analyse werden dann Anregungen zur Verbesserung der

Wissensvermittlung in der Mechanik mit Hauptaugenmerk auf die Vermeidung von Fehlerentstehung zu neu erlernten oder erweiterten Inhalten des Mechanikkurses abgeleitet.

2. Smartphonebasierte Experimentierhausaufgaben

2.1. Einbindung in den Mechanikkurs

Smartphonebasierte Experimentierhausaufgaben stellen ein neues Aufgabenformat dar, welches die klassischen physikalischen Übungsaufgaben erweitert und ergänzt. Seit dem Wintersemester 2018/2019 wurden diese neuen Aufgabenstellungen in den Mechanik-Kurs des 1. Fachsemesters der Studiengänge Lehramt Physik integriert. Ziel ist es eine Verbesserung und Unterstützung des Lernprozesses der Studierenden in der Studieneingangsphase zu erreichen. Dabei stellen wir die Ausbildung wichtiger experimenteller und fachlicher Kompetenzen der zukünftigen Physiklehrer ins Zentrum unserer Lehrtätigkeit. Die Studierenden werden durch dieses neue Aufgabenformat bereits zu Beginn ihres Studiums experimentell tätig. Sie üben sich im selbstständigen, praktischen Arbeiten anhand realer physikalischer Experimente, die sie in ihrem Studienalltag und in ihrer gewohnten Umgebung mit Smartphones bearbeiten können [3].

Ziel der Experimentierhausaufgaben ist es die Vertrautheit des Smartphones unter den Studierenden zu nutzen, um den Lernerfolg nach dem Modell des kontextbasierten Lernens zu verbessern. Dieses Modell beinhaltet zwei Aspekte: 1. inhaltliche Motivation und Zielerfassung durch alltagsnahe, greifbare, relevante Themen; sowie 2. dessen Einbindung in eine lernförderliche Umgebung [5].

Weitere Ziele ergeben sich aus dem Umgang mit den zu erfassenden Daten, die mit physikalischer und digitaler Kompetenz ausgewertet werden müssen [6-8]. Beim Einsatz digitaler Messgeräte wie z.B. auch beim

physikalischen Messen mit Smartphones, entstehen oft umfangreiche Datensätze, die von den Studierenden sortiert, aufbereitet und weiterverarbeitet werden müssen. Dabei treffen die Studierenden Entscheidungen bezüglich geeigneter Datenformate und deren Darstellung treffen. Dazu ist das Erlernen der Arbeit mit wissenschaftlicher Datenverarbeitungssoftware wie z.B. Microsoft Excel oder Origin notwendig. Die Studierenden müssen geeignete, fachgerechte Repräsentationsformen finden, um aus den umfangreichen Messreihen Ergebnisse ablesen, fehlerhafte Messungen erkennen und Messunsicherheiten diskutieren zu können [9-11].

Die hier untersuchten Experimentierhausaufgaben befassen sich ausschließlich mit der Kinematik und der Dynamik des Massenpunktes. Für beide Aufgaben wurden zehn Bewertungseinheiten (Punkte) vergeben, die sich folgendermaßen auf die Abschnitte der von den Studierenden einzureichenden Protokolle aufteilen: zwei Punkte auf die Planung des Experiments sowie einen auf die dabei formulierte Experimentierhypothese, für Messergebnisse und Datenanalyse drei Punkte, ebenso auf die Auswertung, einen Punkt auf die Diskussion samt kritischer Reflexion.

2.2. Aufgabe Fahrstuhlfahrt

Die erste Experimentierhausaufgabe dient zum vertraut machen der Studierenden mit dem Smartphone als Messinstrument und der Arbeit mit der *phyphox*-App. Sie wurde vom *phyphox*-Entwicklerteam konzipiert und kann unter dem Menüpunkt *Alltag* mit dem Experiment "Aufzug" von allen *phyphox*-Nutzern sofort beim Fahren mit einem Aufzug nachvollzogen werden [1]. Wir haben für unsere Experimentierhausaufgabe dieses Experiment "Aufzug" mit einer angepassten schriftlich formulierten Aufgabenstellung versehen und mit Hinweisen zur Durchführung ergänzt.

In der Aufgabe „Fahrstuhlfahrt“ (A1) überprüfen die Studierenden den differentiellen Zusammenhang zwischen den kinematischen Größen Weg, Geschwindigkeit und Beschleunigung. Die Studierenden messen mit dem Smartphone den Luftdruck und die Beschleunigung in Abhängigkeit von der Zeit t während einer Fahrstuhlfahrt. Die App berechnet aus den Daten die Abhängigkeit der Höhe und der Geschwindigkeit von der Zeit und stellt diese bereits in Diagrammform auf dem Smartphone gemeinsam mit der Beschleunigung dar. Basierend auf diesen Daten analysieren die Studierenden zwei Abschnitte und markante Punkte der Fahrstuhlfahrt (bspw. maximale Höhe und Geschwindigkeit). Dazu wird in unserer Aufgabenstellung verlangt, dass die Studierenden die Messdaten in ein ihnen zugängliches Programm zur wissenschaftlichen Datenanalyse importieren, dort in geeigneter Weise selbst darstellen und dann entsprechend analysieren.

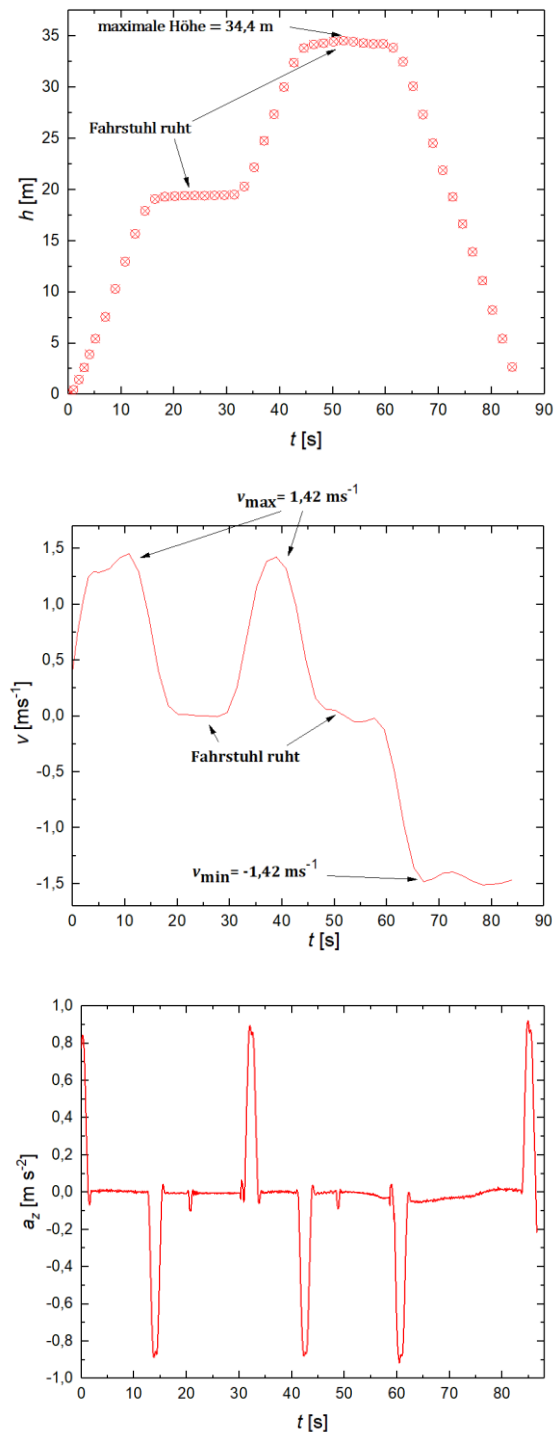


Abb. 1: Erwartungsbild der Aufgabe ‚Fahrstuhlfahrt‘. $h(t)$ -Diagramm aus den Daten des Barometers (oben), $v(t)$ -Diagramm (Mitte) und $a(t)$ -Diagramm der Fahrstuhlfahrt aus dem MEMS-Beschleunigungssensor (unten).

In Abbildung 1 ist unser Erwartungsbild für diese Aufgabe dargestellt. Es zeigt das Höhe-Zeit, das Geschwindigkeits-Zeit und das Beschleunigungs-Zeit Diagramm einer Fahrstuhlfahrt in einem auch den Studierenden zugänglichen Fahrstuhl am

Augustusplatz in Leipzig über 34 m Höhe mit einer Ruhephase bei der Aufwärtsfahrt und der Abwärtsfahrt ohne Zwischenstopp. Offensichtlich lässt sich eine solch komplexe Bewegung mit der *phyphox*-App in guter Qualität aufzeichnen. Damit können die entsprechenden realen Bewegungsvorgänge durch die Studierenden physikalisch ausgewertet werden.

2.3. Aufgabe Bewegung im Freien

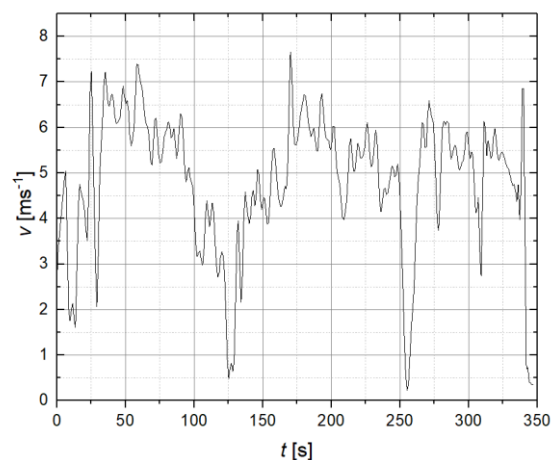
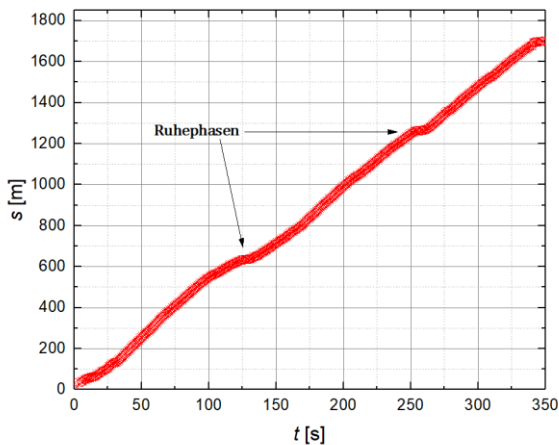
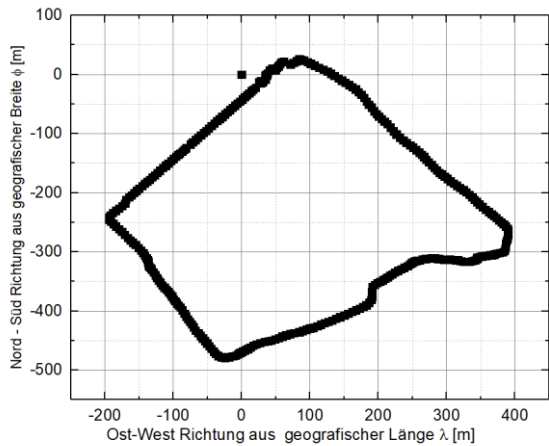


Abb. 2: Erwartungsbild der Aufgabe ‚Bewegung im Freien‘. Ermittelte Bahnkurve der Fahrradfahrt aus den geografischen Koordinaten (oben), $s(t)$ -Diagramm der Bewegung (Mitte) und $v(t)$ -Diagramm (unten).

In der zweiten Experimentierhausaufgabe (A2) zeichnen die Studierenden eine frei gewählte, selbst durchgeführte Bewegung im Freien mit dem GPS-Sensor ihres Smartphones auf und werten diese dann bezüglich der kinematischen Gesetzmäßigkeiten in eigenen Diagrammen aus. Die Messung selbst kann wieder mit der *phyphox*-App (Menü Sensoren, Standort (GPS)) oder mit einer anderen Geotracking-App, die den GPS-Sensor ausliest und als Rohdaten in Abhängigkeit von der Zeit zur Verfügung stellt, erfolgen.

Die Bearbeitung der Aufgabe ‚Bewegung im Freien‘ erfordert in der Planung des Experiments eine Herleitung zur Berechnung der zweidimensionalen Bahnkurve aus den Geokoordinaten und den daraus abzuleitenden Wegen und Geschwindigkeiten als Funktion von der Zeit. Dabei wird der Fokus auf das Erstellen der Bahnkurve und der Transformation dieser zweidimensionalen Darstellung auf das eindimensionale Weg-Zeit Diagramm gelegt. In diesem $s(t)$ -Diagramm diskutieren und analysieren die Studierenden wiederum zwei Bewegungsabschnitte im Detail. Dazu muss durch numerisches Differenzieren des $s(t)$ -Graphen das $v(t)$ -Diagramm erzeugt werden.

In Abbildung 2 ist das Erwartungsbild dieser Aufgabe dargestellt. Es zeigt das zweidimensionale Weg-Zeit-Gesetz einer 5-minütigen Fahrradfahrt durch einen öffentlichen Park in Leipzig über insgesamt ca. 1,8 km Länge und das daraus berechnete Weg-Zeit-Gesetz mit zwei kurzen Ruhephasen. Das Geschwindigkeits-Zeit-Gesetz, das durch die numerische Differenzierung des Weg-Zeit-Gesetzes sehr starken Schwankungen unterlegen ist, lässt die Ruhephasen gerade noch erkennen. Es ergibt jedoch mit einer Maximalgeschwindigkeiten von etwa $7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (ca. $25 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$) realistische Geschwindigkeiten für eine Fahrradfahrt.

3. Methodisches Vorgehen

Zur Analyse der Lern- und Transferleistungen der Studierenden für diese ersten beiden Experimentierhausaufgaben wurden alle eingereichten Protokolle aus dem Wintersemester 2018/2019 untersucht. Jeder Experimentiergruppe wurde zur Anonymisierung und eindeutigen Identifikation eine Identifikationsnummer zugeordnet, um die Lösungen beider Aufgaben eindeutig einer Gruppe zuweisen und eine mögliche Entwicklung der Fehler erkennen zu können.

Die Protokolle wurden nach typischen und häufig auftretenden Fehlermustern durchsucht. Dazu wurden die Abschnitte bzw. geforderten Inhalte des Protokolls (siehe Tab. 1, linke Spalte) separat betrachtet. Die in ihnen typischerweise auftretenden Fehlermuster sind in der rechten Spalte kategorisiert bzw. stichpunktartig beschrieben. Die Häufigkeit der Fehlermuster wurde für jede Experimentierhausaufgabe gezählt und dann statistisch ausgewertet.

| Protokollabschnitt | Typische Fehlermuster |
|--------------------|---|
| Theorie | <ul style="list-style-type: none"> • unvollständige Darstellung der notwendigen theoretischen Grundlagen • Gleichungen nicht auf das Experiment bezogen |
| Hypothese | <ul style="list-style-type: none"> • Experimentierhypothese falsch oder nicht im geplanten Experiment überprüfbar |
| Diagramme | <ul style="list-style-type: none"> • Beschriftung der Achsen bzw. der Achsen mit Einheiten fehlt • ungeeignete bzw. fehlerhafte Darstellung der physikalischen Größen • ungeeignete, fehlerhafte bzw. fehlende Diagramme |
| Auswertung | <ul style="list-style-type: none"> • mangelnder Rückbezug zu Experimentierhypothese • keine bzw. fehlerhafte graphische Auswertung |
| Diskussion | <ul style="list-style-type: none"> • fehlerhafte Diskussion • kein oder unzureichender Bezug zur Experimentierhypothese |
| Messunsicherheiten | <ul style="list-style-type: none"> • Betrachtung von Messunsicherheiten fehlt • Betrachtung nicht auf das eigene Experiment bezogen |
| Form | <ul style="list-style-type: none"> • Abgabetermin verpasst |

Tab. 1: Fehlermuster in den abgegebenen Protokollen.

4. Auswertung

4.1. Leistungsbewertung im Überblick

In den Abbildungen 3 und 4 sind als erstes die Häufigkeiten der Gesamtpunktzahlen für die Experimentierhausaufgaben "Fahrstuhlfahrt" (A1) und "Bewegung im Freien" (A2) dargestellt. Es ist ersichtlich, dass in beiden Aufgaben jeweils mehr als zwei Drittel der Kursteilnehmer eine ausreichende Leistung oder besser, d.h. 5 Punkte oder mehr, erzielen konnten.

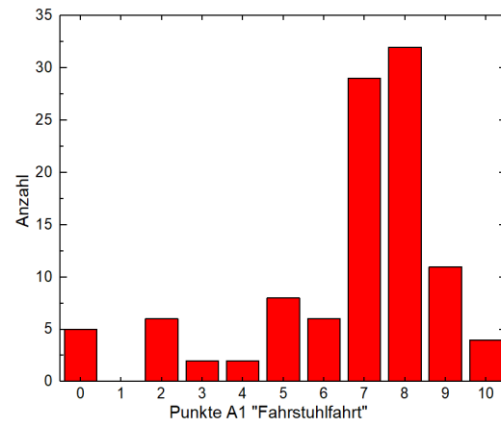


Abb. 3: Histogramm der Leistungsbewertung für Aufgabe 1 „Fahrstuhlfahrt“.

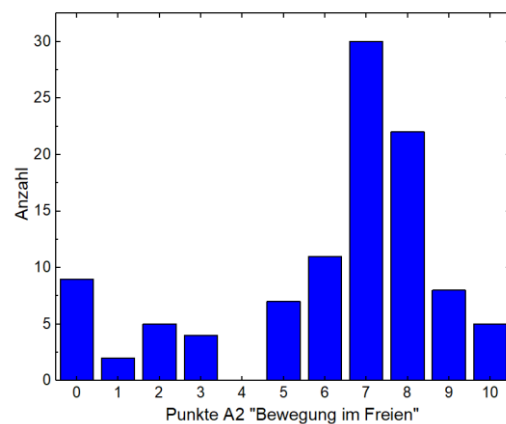


Abb. 4: Histogramm der Leistungsbewertung für Aufgabe 2 „Bewegung im Freien“.

Im Vergleich beider Aufgaben ist ebenfalls ersichtlich, dass die Aufgabe A2 im Durchschnitt etwas schlechter ausfällt als die Aufgabe A1. Dies ist mit dem gestiegenen Anforderungsniveau zu erklären, weil in der Aufgabe A2 die GPS-Messdaten in die geforderten Bewegungsdaten mit Hilfe einer Datenanalyse-Software umgerechnet werden müssen, während für die Aufgabe A1 der Datenexport aus der *phyphox*-App bereits alle Bewegungsdaten in digitalen Tabellen zur Verfügung stellt. Die Aufgabe „Bewegung im Freien“ erfordert deshalb schon in der Vorbetrachtung einen höheren Aufwand, da Geokoordinaten in die kartesischen Koordinaten der 2-dimensionalen Bewegung auf der Erdoberfläche umgerechnet werden müssen. Zusätzlich stellt der Transformationsprozess der zweidimensionalen Bahnkurve $\vec{r}(t)$ in das eindimensionale $s(t)$ -Diagramm die Studierende sehr häufig vor eine große Hürde. Diese Anforderungen, die Modulinhalt der Kinematik und Mechanik sind, gehen deutlich über das durchschnittliche Wissen der Studienanfänger aus der Sekundarstufe II hinaus und werden deshalb mit weniger Erfolg von den Studierenden bearbeitet.

Tabelle 2 zeigt zusätzlich die Entwicklung der Gesamtfehler von der ersten Aufgabe „Fahrstuhlfahrt“ hin zur zweiten Aufgabe „Bewegung im Freien“. Die Gesamtzahl an Fehlern sinkt in der zweiten Experimentierhausaufgabe trotz des gestiegenen Anforderungsniveaus um circa 15% im Vergleich zur ersten Aufgabe. Wie wir im folgenden Abschnitt zur detaillierten Analyse der typischen Fehlermuster zeigen werden, verschiebt sich der Schwerpunkt der Fehler von eher formalen Fehlern bzw. Unzulänglichkeiten in den Protokollen hin zu Fehlern, die offenbaren, dass mathematisch-physikalische Sachverhalte noch nicht verstanden wurden bzw. nicht auf die Auswertung realer, eigener Daten transferiert werden können.

| | Aufgabe A1 | Aufgabe A2 |
|---|------------|------------|
| Gesamtfehler | 321 | 272 |
| Abgegebene Lösungen | 99 | 97 |
| Durchschnittliche Fehlerzahl pro Studierenden | 3,24 | 2,80 |

Tab. 2: Entwicklung der Gesamtfehleranzahl in beiden Protokollen.

4.2. Analyse der Häufigkeiten der Fehlermuster

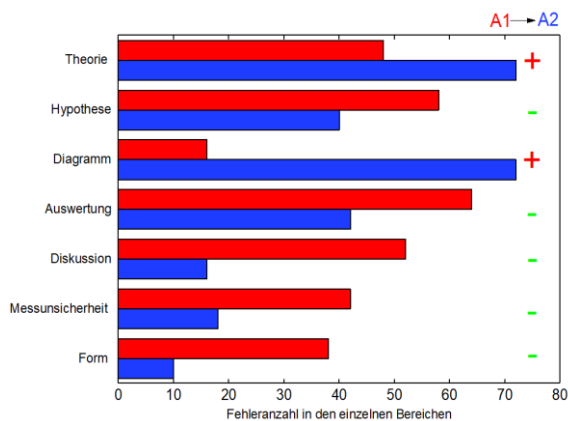


Abb. 5: Entwicklung der Fehlerhäufigkeiten von der Aufgabe A1 zur Aufgabe A. Mit "-" und "+" sind die Protokollbereiche markiert, in den die Fehlerhäufigkeit absank bzw. anstieg.

In Abbildung 5 sind die Häufigkeiten der Fehlermuster über die verschiedenen Protokollbereiche (vgl. Tab. 1) der ersten und der zweiten Experimentierhausaufgabe dargestellt. Für fünf der sieben Protokollbereiche sank, wie bereits in der Tab. 2 abgebildet, die Fehlerzahl für beide Experimentierhausaufgabe deutlich. Lediglich die theoretischen Betrachtungen sowie das Aufstellen und Auswerten der Diagramme zeigen einen deutlichen Anstieg der

Fehlerhäufigkeiten für die zweite Aufgabe (A2) im Vergleich zur ersten Aufgabe (A1). Diese stiegen für die Darstellung der notwendigen physikalisch-mathematischen Grundlagen des Experiments (Theorie) auf das Eineinhalbfache und bei der Erstellung und Auswertung der geforderten Diagramme sogar auf das Fünffache an.

In den theoretischen Betrachtungen traten bei fast der Hälfte aller Protokolle zur Aufgabe „Fahrstuhlfahrt“ und bei dreiviertel aller Protokolle zur Aufgabe „Bewegung im Freien“ Fehler auf. Die zweite Experimentierhausaufgabe zeichnet sich durch eine umfangreichere Erarbeitung von theoretischen Grundlagen aus. Es müssen nicht nur mehr Formeln als zuvor erarbeitet werden, sondern das Umstellen und ineinander Einsetzen erhöht den Eigenanteil der Studierenden am Theorieteil des Protokolls deutlich. Dies erklärt auch den Zuwachs von 48 hin zu 72 Fehlern in diesem Protokollbereich. Die theoretischen Betrachtungen der Aufgabe 2 werden von Fehlern zur Umrechnung der Geokoordinaten und dem Erstellen einer zweidimensionalen Bahnkurve dominiert. Dabei gehen viele Studierende fälschlicherweise davon aus, dass Geo- mit Kugelkoordinaten gleichgesetzt werden können, obwohl dies während der Lehrveranstaltungen (Vorlesung und Übung) zuvor behandelt wurde.

Häufig sind in beiden Aufgaben die Gleichungen zu den Umrechnungen der Messergebnisse in die Bewegungsdaten (Weg-Zeit- bzw. Geschwindigkeit-Zeit-Gesetz) unvollständig. Vor allem in der Aufgabe A2 fällt es vielen Studierenden schwer, in ihren Vorbetrachtungen einen eindeutigen Bezug zur Aufgabenstellung und zum durchzuführenden Experiment herzustellen. Etwa 10% der Studierenden nennen lediglich allgemein gültige Formeln und passen diese nicht an den Sachverhalt und die Messdaten bzw. Messprinzipien des speziellen Experiments mit ihren Smartphones als Messinstrument an.

Das Erstellen der Diagramme stellt vor allem bei der Bearbeitung der Aufgabe „Bewegung im Freien“ eine der größten Fehlerquellen dar. So wurden bei 16% der Protokolle zur Aufgabe A1, aber bei rund 75% der Aufgabe A2 während der Erarbeitung der Diagramme Fehler begangen. Eine Aufstellung der Häufigkeiten der drei Fehlermuster in diesem Protokollbereich findet sich in Tab. 3.

| | Aufgabe A1 | Aufgabe A2 |
|---|------------|------------|
| Die dargestellten Diagramme sind ungenau. | 84% | 12% |
| Beschriftung der Achsen und/oder Einheiten fehlt. | 16 % | 35% |
| Nicht alle geforderten Diagramme sind vorhanden. | - | 50% |

Tab. 3: Fehlerquellen beim Erstellen der Diagramme

Mit Hilfe der Daten in Tab. 3 lässt sich der Zuwachs von Fehlern vom ersten zum zweiten Protokoll erklären. Während zur Bearbeitung der Aufgabe „Fahrradfahrt“ lediglich einfache Weg-Zeit-Diagramme erstellt werden müssen, erfordert die Aufgabe „Bewegung im Freien“ das Erarbeiten einer zweidimensionalen Bahnkurve in Parameterdarstellung, welche oft nur unvollständig oder gar nicht in die Protokolle übernommen wurde. Auffällig in der Analyse war, dass die Bahnkurven einzeln als $x(t)$ – und $y(t)$ – Diagramm gezeichnet wurden. Die Berechnung der Positionen in Nord-Süd- und Ost-West Richtung auf der Erdoberfläche konnte von den Studierenden zwar nachvollzogen werden, jedoch fehlt der Schritt hin zur Eliminierung der Zeit in der 2-dimensionalen parameterfreien Darstellung der Bahnkurve. Als Folge kann dann auch die rekursive Herleitung des Weg-Zeit-Diagramms aus der Bahnkurve nicht geleistet werden.

Der Transfer des Lehrinhalts Parameterdarstellung von Bahnkurven, der in den Physik-Vorlesungen Mathematikseminaren des Kurses anhand des schiefen Wurfs zuvor ausführlich erklärt und behandelt wurde, konnte folglich von sehr vielen Studienanfängern an dieser Aufgabe mit realen Messdaten noch nicht angewendet werden. Andererseits sind ca. 25 bis 30 % der Studienanfänger nach Besuch der Lehrveranstaltungen zu dieser eigenständigen Transferleistung durchaus in der Lage.

Des Weiteren stellte die passende Unterteilung der untersuchten Bewegung in entsprechende Intervalle und deren physikalische Interpretation die Studierenden vor erhebliche Probleme. In den meisten Fällen wurde nicht versucht Rückschlüsse auf die Experimentierhypothese zu ziehen. Oft verharren die Studierenden in der Auswertung in der Terminologie der geradlinig, gleichförmigen Bewegung. Sie waren somit nicht in der Lage andere Bewegungsarten in den einzelnen Abschnitten zu finden, zu charakterisieren bzw. mit der physikalisch korrekten Terminologie zu bezeichnen.

5. Diskussion

Die Analyse der circa 200 abgegebenen Experimentierhausaufgaben zeigte, dass die Studierenden Grundfähigkeiten, wie die Handhabung digitaler Werkzeuge zur Messwertaufnahme und deren Analyse schnell entwickeln. Dabei ist die hohe Vertrautheit im Umgang mit den digitalen Endgeräten mit Sicherheit von großer Bedeutung. In der Auswertung der beiden Aufgaben wird zudem ersichtlich, dass die Studierenden einfache physikalische Zusammenhänge, welche nicht deutlich über die Lehrinhalte der Sekundarstufe II hinausgehen, sicher auswerten können. Im Gegensatz dazu fällt der Mehrzahl der Studienanfänger im Lehramt Physik der Transfer neuer physikalischer und mathematischer Konzepte und Begriffe auf reale experimentelle Problemstellungen

sehr schwer. In unserer Auswertung zeigte sich zudem, dass die Planung, die Durchführung und die detaillierte Auswertung von Experimenten vielen Studierenden in beiden Aufgaben sehr schwergefallen ist. Aufgrund der offen gestellten Experimentierhausaufgaben ist diese Tatsache jedoch durchaus zu erwarten gewesen.

Die konzipierten Experimentierhausaufgaben erfordern von den Studierenden eine hohe fachliche Expertise, Kreativität und erste grundlegende Kompetenzen in der Datenauswertung. In diesem Anforderungsprofil unterscheiden sich die Experimentierhausaufgaben sehr von den klassischen Rechenaufgaben, in denen die Studierenden in den meisten Fällen kochbuchartig Probleme bearbeiten und lösen. Besonders auffällig in den untersuchten Protokollen war, dass die Studierenden ihr eigenes experimentelles Handeln, im Sinne einer Reflexionskompetenz, nur schwer hinterfragen und einschätzen können.

6. Rückschlüsse für die Lehre

Die Ergebnisse unserer Untersuchung von zwei Aufgaben aus dem Lehrbereich Kinematik des Massenpunktes verdeutlichen, dass Experimentierhausaufgaben frühzeitig den Transfer von physikalischen Konzepten auf reale Problemstellungen fördern können. Sie zeigen klar auf, dass viele Studienanfänger in der Mechanik erhebliche Probleme beim Anwenden der mathematischen physikalischen Lerninhalte auf reale Experimente haben. Andererseits ist ca. 1/3 der Studierenden schon zu Beginn des Studiums in der Lage, diesen Transferprozess erfolgreich zu meistern. Der zielgerichtete Einsatz von Smartphones und Tablets als Messgeräte in diesen Aufgabenstellungen steigert insbesondere für diese Gruppe der Studierenden die Motivation, das Interesse und den kognitiven Lernerfolg beträchtlich. Als neues, lernerzentriertes Aufgabenformat unterstützen die Experimentieraufgaben somit die Ausbildung von experimenteller Handlungskompetenz schon während des ersten Semesters.

Es zeigte sich, dass zusätzlich extracurriculare Angebote, wie ein Experimentiertutorium, von den Studierenden gut angenommen wurde. Dieses neue Lehrformat ermöglicht den Studierenden gewinnbringend an den Experimentierhausaufgaben zu arbeiten und dabei in den kollaborativen Diskurs zu treten. Somit schaffen die Experimentierhausaufgaben ein lernförderliches Klima und ermöglichen frühzeitig im Studium die Ausbildung von physikalischer Kommunikationskompetenz.

7. Literatur

- [1] Die *phyphox*-Homepage der RWTH Aachen University. Verfügbar unter: <https://phyphox.org/de/home-de> (Stand: 15.05.2021)
- [2] Kaps, A., Rieger, P. und Stallmach F. (2020): Lehren und Lernen mit dem smarten Physiklabor. In: *PhyDid B, Didaktik der Physik*,

- Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung, 11 (2020), S. 69-76, Url: <http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/1015/1115> (Stand 4/2021)
- [3] Kaps, A., Splith, T. und Stallmach F. (2021): Implementation of smartphone-based experimental exercises for physics courses at universities, *Physics Education*, 56(3), 035004 <https://doi.org/10.1088/1361-6552/abdee2>
- [4] Stampfer, C., Heinke, H. und Staaks, S. (2020). A lab in the pocket. *Nature Review Materials*, 5(3), S. 169-170. <https://doi.org/10.1038/s41578-020-0184-2>
- [5] Kuhn, J., Müller, A., Müller, W. und Vogt, P. (2010): Kontextorientierter Physikunterricht - Konzeptionen, Theorien und Forschung zu Motivation und Lernen.
- [6] Bitzenbauer, P. und Meyn J.P. (2021): Fostering experimental competences of prospective physics teachers. *Physics Education*. 56 045020. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/abfd3f>
- [7] Baumert, J., Kunter, J. und Stichwort M. (2006): Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. *ZfE* 9, 469–520. <https://doi.org/10.1007/s11618-006-0165-2>
- [8] Kalthoff, B., Theysen, H. und Schreiber N. (2018): Explicit promotion of experimental skills. And what about the content-related skills? *International Journal of Science Education*, 40(11), p. 1305-1326 <https://doi.org/10.1080/09500693.2018.1477262>
- [9] Klein, P., Kuhn, J. und Müller, A. (2018): Förderung von Repräsentationskompetenz und Experimentbezug in den vorlesungsbegleitenden Übungen zur Experimentalphysik, In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 24, S. 17-34 <https://doi.org/10.1007/s40573-018-0070-2>
- [10] Klein, P., Gröber, S., Kuhn, J., Fouckhardt, H., von Freymann, G., Oesterschulze, E., Widera, A., Fleischhauer, A. und Müller, A. (2015): Teaching Experimental Physics by Using Mobile Technologies as Experimental Tools, In: *Physik und Didaktik in Schule und Hochschule*, S. 1-11, <http://www.phydid.de/index.php/phydid/article/view/571>
- [11] Walkowiak, M., Schneeweiß, N., Nehring, A. und Schanze, S. (2018): Potenziale von Mehrmesswerterfassungssystemen im Chemieunterricht. In: *Experimentieren im naturwissenschaftlichen Unterricht im Zeitalter der Digitalisierung*. S. 55-62.

Danksagung

Wir bedanken uns bei der ‚STiL-Laboruniversität‘ (10.2018-09.2020) und dem Doktorandenförderprogramm der Universität Leipzig (10.2020 - 09.2022)

für die finanzielle Unterstützung des smarten Physiklabors und des Promotionsvorhabens von Herrn Andreas Kaps.

Wir bedanken uns für die Unterstützung und Beratung bei Prof. Dr. Schöneburg-Lehnert (Didaktik der Mathematik, Universität Leipzig), sowie bei den Studierenden Lehramt Physik für das positive Feedback zu den Experimentierhausaufgaben mit dem smarten Physiklabor.

Lernwirksamkeitsanalyse smartphonebasierter Experimentierhausaufgaben

Andreas Kaps* und Frank Stallmach*

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

Kurzfassung

In diesem Beitrag werden das Design und die Ergebnisse einer Pilotstudie vorgestellt, welche die Lernwirksamkeit von Experimentierhausaufgaben mit Smartphones als Messinstrument in der Studieneingangsphase für das Fach Physik untersucht. Die experimentellen Aufgabenstellungen ermöglichen es den Studierenden schon in den ersten Vorlesungswochen selbstständig zu experimentieren, eigens generierte Daten zu analysieren und somit die theoretischen Konzepte aus der Vorlesung kontextorientiert anzuwenden. Die Lernwirksamkeit der Experimentierhausaufgaben wird exemplarisch für einen Themenbereich aus der Rotationsdynamik starrer Körper in der Mechanik mit einer Pre-Post-Test Studie im Interventions- und Kontrollgruppedesign untersucht. Die Ergebnisse der Pilotstudie zeigen, dass das neue Aufgabenformat für den untersuchten Themenkomplex einen größeren Lernzuwachs bewirkt, als es die klassischen physikalischen Übungsaufgaben ermöglichen.

1. Einleitung

In den letzten Jahren haben sich Smartphones und Tablets mit ihren internen Sensoren als wertvolles didaktisches Medium für physikalische Experimente an Schulen und Universitäten etabliert [1,2]. Der Einsatz von Smartphones als digitales Messinstrument bietet einen kontextorientierten Zugang zu komplexen physikalischen Problemstellungen aus dem realen und täglichen Leben. Durch den gezielten Einsatz von Smartphones und Tablets bietet sich den Lernenden die Möglichkeit ihren Lernprozess adaptiver und multimodaler zu gestalten [1,3]. Anhand dieser sogenannten materiellen Situierung soll im Zusammenspiel mit der erhöhten Authentizität der Problemstellung der kognitive Lernerfolg optimiert werden. Mit der Integration von Smartphones und Tablets in Lehr-Lernszenarien wird den Lernenden zusätzlich die Möglichkeit geboten, selbstständig ihre eigenen Experimente durchzuführen und wenn nötig zu wiederholen bzw. anzupassen [4,5].

Smartphonebasierte Aufgabenstellungen bieten den Lernenden die Chance zeitsynchron zum Experiment die digitale Aufnahme von Messdaten erfahrbar zu machen. Die Daten und Graphen der physikalischen Größen sowie deren Zusammenhänge in Form von Gleichungen sind teilweise sofort verfügbar und müssen nicht im Nachhinein, d.h. asynchron zum Experiment, entwickelt werden. Durch das zeitsynchrone Ablaufen von Experiment und der graphischen Darstellung der gemessenen physikalischen Größen werden die Lernenden kognitiv entlastet, sodass sie ihren Fokus auf die wesentlichen physikalischen Denkprozesse ausrichten können. Durch dieses Zusammenspiel von Theorie und Experiment kann der Lernprozess gewinnbringend unterstützt werden [6-8]. Aufbauend auf diesen lehr-lerntheoretischen

Erkenntnissen werden smartphonebasierte Experimentierhausaufgaben seit dem Jahr 2018 im Lehr-Lern-Projekt *Smartes Physiklabor* an der Universität Leipzig im Bereich Didaktik der Physik entwickelt und im Experimentalphysik-Kurs Mechanik (1. Studiensemester) erprobt. In diesem Projekt werden experimentelle Problemstellungen erarbeitet, welche von den Studierenden mithilfe von digitalen Verfahren mit unterschiedlicher Sensorik gemessen und anschließend ausgewertet werden. Somit werden die Studierenden vorlesungsbegleitend schon während der Experimentalphysik Grundausbildung und nicht erst in den Laborpraktika experimentell tätig. Sie erlernen mit diesen Experimentierhausaufgaben Experimente fachgerecht zu planen, durchzuführen und die erhaltenen Messwerte zu präsentieren sowie zu diskutieren [9,10].

In diesem Beitrag werden die ersten Ergebnisse zur Untersuchung der Lernwirksamkeit von smartphonebasierten Experimentierhausaufgaben vorgestellt. Am Beispiel einer Aufgabe aus dem Lernbereich Rotation starrer Körper wird in der präsentierten Pilotstudie eine Experimentierhausaufgabe mit einer klassischen physikalischen Übungsaufgabe verglichen. Mit einer Test- und einer Kontrollgruppe wird im Pre-Post-Test-Design die Lernwirksamkeit dieses neuen Aufgabenformates untersucht. Aus den Ergebnissen werden Rückschlüsse für den weiteren Einsatz von smartphonebasierten Experimentieraufgaben in der Lehre und für die Durchführung der Hauptstudie im Wintersemester 2021/2022 gezogen.

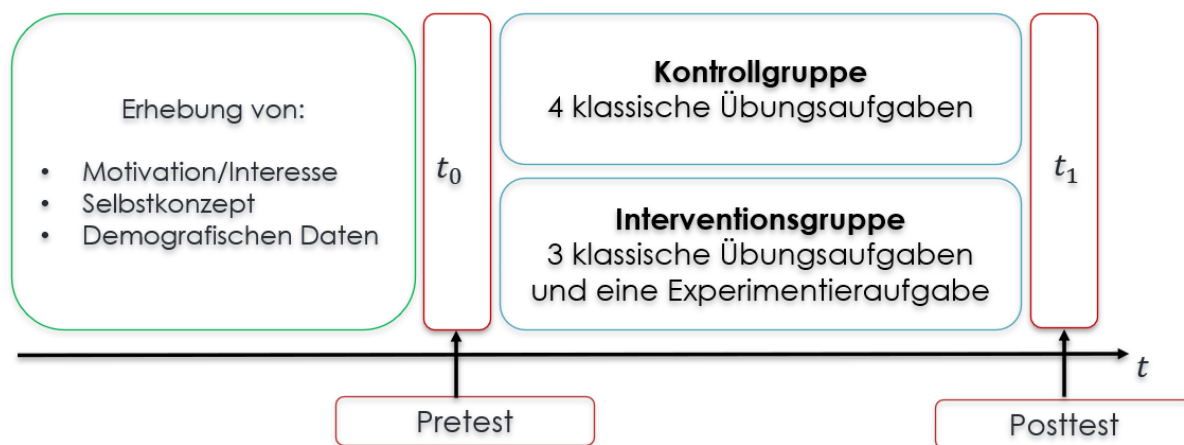


Abb. 1: Design der Pilotstudie aus dem Wintersemester 2020/2021

2. Design und Methoden der Pilotstudie

2.1. Stichprobe

Die Pilotstudie fand an der Universität Leipzig im Wintersemester 2020/2021 mit Studienanfängern in den Studiengängen Lehramt Physik, Physik und Meteorologie im Kurs Experimentalphysik 1 (Mechanik) statt. Aufgrund pandemiebedingter Schutzmaßnahmen wurden die Daten über die Lehr-Lern-Managementplattform MOODLE erhoben. Insgesamt nahmen 153 Studierende (112 männlich/41 weiblich) an allen Tests der Pilotstudie teil. Die Testgruppe setzte sich aus Studierenden des 1. Fachsemesters Lehramt Physik für Gymnasium, Oberschule und Sonderpädagogik zusammen. Die Kontrollgruppe besteht aus den Studierenden des 1. Fachsemesters Physik und Meteorologie.

2.2. Design der Pilotstudie

Das Design der Pilotstudie entspricht einer quasi-experimentellen Feldstudie mit zwei Kohorten und ist in Abb.1 dargestellt. Da die Pilotstudie in der Mitte des Semesters stattfand, war die Testgruppe im Umgang mit dem Smartphone als Messinstrument und der entsprechenden Auswertung der Messdaten schon vertraut. Zusätzlich wurde ein Tutorium angeboten, in dem Studierende Unterstützung bei der Lösung technischer Probleme für die Durchführung des Experiments angeboten wurde.

Die Thematik, um die es sich in dieser Pilotstudie handelt, ist die Rotationsbewegung und die Dynamik starrer Körper. Die Intervention fand in der 7.- 9. Vorlesungswoche statt. Bevor die entsprechenden Übungsblätter an die Studierenden ausgeteilt wurden, wurde ein Pretest zur Erhebung des Vorwissenstandes beider Gruppen durchgeführt (siehe Abb. 1). In der darauffolgenden Woche erhielten die Studierenden beider Gruppen ein Übungsblatt mit drei identischen klassischen physikalischen Übungsaufgaben. Die vierte Aufgabe war die entsprechende Interventionsaufgabe zum kippenden Smartphone. In der Testgruppe handelte es sich dabei um die experimentelle

Aufgabenstellung zum *Kippenden Smartphone* die im Detail in [12] beschrieben ist (siehe Abb. 2). Die Kontrollgruppe bekam einen ausgewerteten Datensatz mit den entsprechenden Aufgaben gestellt. Die Übungsblätter wurden in der Test- und Kontrollgruppe in Einzelarbeit erledigt. Lediglich das smartphonebasierte Experiment in der Testgruppe durfte auch in Partnerarbeit bearbeitet werden.

Die Lösungen wurden von den Studierenden in MOODLE hochgeladen, von den Lehrkräften kontrolliert und bewertet und anschließend in den entsprechenden Übungsgruppen besprochen. Um in der von uns konzipierten Untersuchung den Einfluss der Lehrenden möglichst gut zu kontrollieren, wurden vor der Durchführung konkrete inhaltliche Absprachen bezüglich des Manuskripts und der Experimente in der Vorlesung getroffen. Zugleich wurde der Inhalt der zu bearbeitenden klassischen Übungsaufgaben abgesprochen.

2.3. Instruktionsmaterial

Bei der Konstruktion des Aufgabenpaares (siehe Abb. 2) wurde darauf geachtet, dass an beide Gruppen vergleichbare Anforderungen gestellt werden und sich beide Aufgaben jeweils auf dasselbe physikalische Konzept beziehen und ähnliche mathematische Anforderungen stellen [1-3,10]. Der größte Unterschied zwischen der smartphonebasierten Experimentieraufgabe und der klassischen Übungsaufgaben besteht darin, dass die Studierenden der Testgruppe selbstgenerierte experimentelle Daten nutzen und entsprechend auswerten, während für die Studierenden der Kontrollgruppe das eigenständige Experimentieren entfällt. Sie erhalten einen vorgegebenen Messdatensatz zum Experiment und werten diesen wie eine klassische physikalische Übungsaufgabe aus.

Experimentierhausaufgabe für die Testgruppe:

Zeichnen Sie mit Hilfe des Drehratensensors Ihres Smartphones (z.B. mit der *phyphox*-App-Rohdaten des Gyroskops) die Kippbewegung Ihres Smartphones auf und bearbeiten Sie folgende Aufgaben:

1. Leiten Sie eine Gleichung her, mit der Sie aus den Messdaten das Trägheitsmoment des Smartphones ermitteln können.
2. Beschreiben Sie Ihr experimentelles Vorgehen. Ermitteln und interpretieren Sie das $\omega_y(t)$ -Diagramm der Kippbewegung Ihres Smartphones um die von Ihnen gewählte Kippkante.
3. Berechnen Sie aus den Messdaten das Massenträgheitsmoment J_y Ihres Smartphones.
4. Vergleichen Sie Ihr Ergebnis mit der Berechnung von J_y aus der Geometrie und der Masse Smartphones. Diskutieren Sie kurz mögliche Messunsicherheiten und führen Sie eine Größtfehlerabschätzung durch.

Übungsaufgabe für die Kontrollgruppe:

Mit Hilfe eines Drehratensensors wurde die Kippbewegung eines homogenen Quaders (Abmessungen siehe Tabelle) um eine Achse untersucht. Die Abbildungen zeigen den schematischen Aufbau, sowie das $\omega_y(t)$ -Diagramm der Kippbewegung. Bearbeiten Sie folgende Aufgaben:

1. Leiten Sie eine Gleichung her, mit der Sie aus den Messdaten des $\omega_y(t)$ -Diagramms das Trägheitsmoment des Quaders experimentell ermitteln können.
2. Interpretieren Sie das Diagramm der Kippbewegung des Quaders um die gewählte Kippkante. Geben Sie die maximale Winkelgeschwindigkeit an.
3. Wie in Testgruppe.
4. Wie in Testgruppe.

Abb. 2: Aufgaben für die Kontroll- und die Testgruppe im Vergleich.

2.4. Testinstrumente

Die Instrumente für die in der Pilotstudie erhobenen Daten sind in der Tab. 1 aufgeführt. Zur Messung der kognitiven Variablen des physikalischen Konzeptverständnisses wurde zum Teil auf die Fragen ‚Student understanding of rotational and rolling motion concepts‘ zurückgegriffen [13]. Zusätzlich wurden eigene Fragen aufbauend auf Lehrbüchern konzipiert [14,15]. Die in der Pilotstudie untersuchte Thematik wurde von uns in zwei inhaltliche Schwerpunkte untergliedert, die in den Aufgaben der Test- und Kontrollgruppe (siehe Abb. 2) als inhaltlich neue physikalische Konzepte verstanden und angewendet werden müssen. Den ersten Schwerpunkt stellten die energetischen Betrachtungen bei der Rotation starrer Körper dar. Den zweiten Schwerpunkt bildete die Anwendung des Satz von Steiner zur Bestimmung der relevanten Trägheitsmomente bei Rotationsbewegungen. Sowohl im Pre- als auch im Posttest wurden jeweils 4 Items pro Schwerpunkt eingesetzt.

Die drei nicht-kognitiven Variablen Motivation [16], Interesse [17] und Selbstkonzept [18] wurden über einen online Fragebogen mit einer sechsstufigen Likert Skala gemessen. Zusätzlich wurden die schulischen Vorleistungen, wie die Gesamtnote im Abitur, Teilnahme an Grund- oder Leistungskursen in Mathematik und Physik, sowie die Mathematik- und Physikvornote in der Schule und weitere Daten wie das Geschlecht und das Herkunftsbundesland abgefragt.

| Variable | Anzahl | Einsatz |
|-----------------------------------|--------|-------------------|
| Motivation | 5 | Pretest |
| Interesse | 4 | Pretest |
| Selbstkonzept | 5 | Pretest |
| Physikalisches Konzeptverständnis | 16 | Pre- und Posttest |

Tab. 1: Erhobene Variablen der Pilotstudie

2.5. Analysemethoden

Um die erhobenen Daten auszuwerten, wurden Kovarianzanalysen und t -Tests eingesetzt. Zusätzlich wurde der Lernzuwachs g zwischen Pre- und Posttest berechnet. Dieser als Hake-Index bezeichnete Lernzuwachs setzt den Wert der richtig beantworteten Antworten zu den Zeitpunkten des Pre- und Posttests ins Verhältnis zum maximal möglichen Lernzuwachs zum Zeitpunkt des Pretests (für weitere Informationen dazu siehe Quelle [7] und [9]). Um zu überprüfen, ob die in Kontroll- und Testgruppe unterschiedlichen Aufgabentypen einen nachweisbaren Einfluss auf den Lernzuwachs haben, wurden der Lernzuwachs g mit einer Kovarianzanalyse unter Einbeziehung des Faktors Gruppenzugehörigkeit untersucht [7,19].

| Variable | Testgruppe (Teilnehmer: 58) | | Kontrollgruppe (Teilnehmer: 95) | | t | p |
|----------------|--------------------------------|------|------------------------------------|------|-------|------|
| | MW | SD | MW | SD | | |
| Abiturschnitt | 1,99 | 0,58 | 1,92 | 0,58 | 0,67 | 0,51 |
| Vornote Physik | 11,71 | 2,74 | 11,68 | 3,19 | 0,109 | 0,91 |
| Vornote Mathe | 10,32 | 2,89 | 11,10 | 2,88 | 1,57 | 0,11 |

Tab. 2: Analyse und Vergleich der schulischen Vorleistungen beider Gruppen über einen zweiseitigen *t*-Test (*df*= 151).

3. Ergebnisse

3.1. Vergleichbarkeit der beiden Gruppen

| | Testgruppe | Kontrollgruppe |
|-----------|------------|----------------|
| Männlich | 81 % | 68 % |
| Weiblich | 19 % | 31 % |
| LK Mathe | 71 % | 72 % |
| LK Physik | 48 % | 54 % |

Tab. 3: Vergleich der demografischen Daten der beiden Gruppen

Die Ergebnisse der Erhebung der demographischen Daten beider Gruppen aus einer Umfrage (gemäß Selbstauskunft) sind in Tab. 3 dargestellt. Die Daten zeigen, dass die große Mehrheit der Studierenden beider Gruppen einen Matheleistungskurs besuchte (> 70%). Etwa jeder Zweite hat an einem Leistungskurs im Fach Physik teilgenommen. Damit sind die durchschnittlichen Vorkenntnisse aus der Sekundarstufe II für beide Kohorten als vergleichbar einzuschätzen. Lediglich in der Zusammensetzung unterscheiden sich beide Gruppen stärker. So sind in der Testgruppe 81 % der Studierenden männlich. In der Kontrollgruppe im Gegensatz dazu nur 68%.

| | Motivation/ Interesse | | Selbstkonzept | |
|----------------|--------------------------|------|---------------|------|
| | MW | SD | MW | SD |
| Testgruppe | 4,52 | 1,15 | 4,29 | 1,09 |
| Kontrollgruppe | 4,38 | 1,16 | 4,43 | 1,08 |
| <i>t</i> | 0,72 | | 1,46 | |
| <i>p</i> | 0,57 | | 0,29 | |

Tab. 4: Vergleich beider Gruppen hinsichtlich Motivation, Interesse und Selbstkonzept. Gemessen mit 6-stufiger Likert Skala.

In Tab.2 wurden die Daten der Studierenden zu ihren Gesamtqualifikationen aus dem Abitur verglichen. Die Studierenden beider Gruppen weisen in der Gesamtqualifikation und in den Mathematik- sowie Physiknoten ähnlich gute bis sehr gute Vorleistungen auf. Es zeigte sich, dass entsprechend unseren Annahmen beide Gruppen bezüglich ihrer schulischen

Vorleistungen als homogen anzusehen sind und kein signifikanter Gruppenunterschied besteht. Auch aus der Analyse zu den Variablen Motivation, Interesse und Selbstkonzept ergibt sich kein systematischer Gruppenunterschied, wie die Daten in Tab. 4 zeigen.

3.2. Lernwirksamkeit

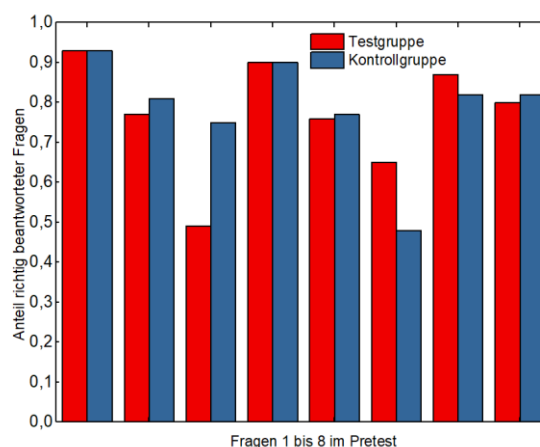


Abb. 3: Anteil richtig beantworteter Fragen der Studierenden beider Gruppen im Pretest.

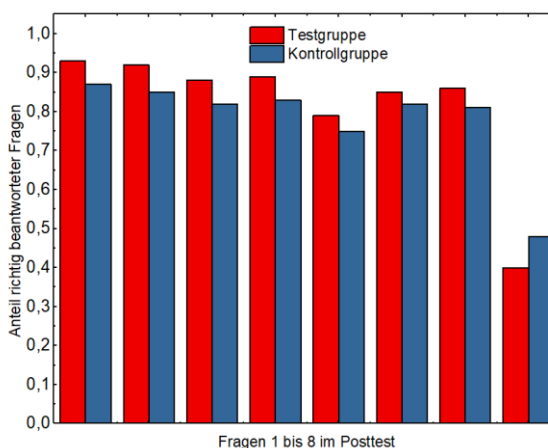


Abb. 4: Anteil richtig beantworteter Fragen der Studierenden beider Gruppen im Posttest.

Abb. 3 und Abb. 4 vergleichen die Anteile der jeweils richtigen Antworten beider Gruppen im Pre- und Posttest für die acht Testitems. Während im Pretest der Testgruppe 78 % richtige Antworten gegeben wurden, sind es in der Kontrollgruppe mit 79 % im Mittel etwa genauso viele. Im Posttest erhöht sich die Wahrscheinlichkeit einer richtigen Antwort auf 83%

für die Testgruppe und auf 81% für die Kontrollgruppe. Aus den Daten wird ersichtlich, dass beide Gruppen ihre Leistung steigern konnten. Die Kontrollgruppe erreichte jedoch einen etwas größeren Lernzuwachs als die Testgruppe.

Um die Lernwirksamkeit der smartphonebasierten Experimentierhausaufgaben zu untersuchen, wurde aus den Daten des Pre- und Posttests der Hake-Index g_i für jeden Teilnehmer der Studie gebildet. Tab. 5 stellt den gemittelten Lernzuwachs g beider Gruppen dar. Für die Testgruppe ergibt sich ein doppelt so großer Lernzuwachs wie für die Kontrollgruppe. Der errechnete Lernzuwachs wurde zusätzlich mittels einer Kovarianzanalyse untersucht ($p < 0,05$). Als einziger Faktor wurde dabei die Gruppenzugehörigkeit mit in Betracht gezogen. Es zeigte sich, dass sich der Lernzuwachs beider Gruppen signifikant unterscheidet (siehe Tab. 5).

| | Testgruppe | Kontrollgruppe |
|-----------------|------------|----------------|
| Hake Index g | 0,19 | 0,09 |
| Signifikanz p | 0,027 | |

Tab. 5: Vergleich des Lernzuwachses beider Gruppen mittels Kovarianzanalyse und dem Faktor der Gruppenzugehörigkeit

4. Diskussion

Die Pilotstudie zu den smartphonebasierten Experimentierhausaufgaben zeigte, dass das neue Aufgabenformat eine gute Alternative zu den klassischen physikalischen Übungsaufgaben darstellt. Der erzielte Lernzuwachs g der Testgruppe steht in einem guten Verhältnis zu dem für traditionelle Lehrformate ($g \approx 0,2$). Es hat sich gezeigt, dass der große Vorteil der vorgestellten Experimentierhausaufgabe darin besteht, dass sie es ermöglicht erste praktische experimentelle Tätigkeiten schon während des Semesters zu integrieren. Die Studierenden werden somit schon frühzeitig mit den integralen experimentellen Fähigkeiten und Fertigkeiten konfrontiert, welche sie in den späteren Modulen und Veranstaltungen immer wieder benötigen werden [7,20].

Der größte Unterschied zwischen der smartphonebasierten Experimentierhausaufgabe der Testgruppe und der klassischen Übungsaufgabe für die Kontrollgruppe besteht darin, dass die Studierenden der Testgruppe selbstgenerierte experimentelle Daten nutzen und entsprechend auswerten, während für die Studierenden der Kontrollgruppe das eigenständige Experimentieren entfällt. Sie erhalten einen vorgegebenen Messdatensatz zum Experiment und werten diesen wie eine Übungsaufgabe aus (siehe Abb. 2). Als großen Vorteil zeigt sich hier, dass das Zusammenspiel von Theorie und Experiment für die Testgruppe zeit-synchron einhergeht und so die Studierenden sofort erkennen können, ob mögliche Modelle und Gleichungen an ihre Daten passen oder nicht. Dieser

praxisgeleitete Erkenntnisprozess findet für die Kontrollgruppe in der klassischen Übungsaufgabe so nicht statt.

Die smartphonebasierten Experimentierhausaufgaben können aufgrund einer weiten Verbreitung von Smartphone und Tablets eine gute methodische Alternative für den Einsatz in der Lehre an Hochschulen und auch Schulen sein. Sie haben den Vorteil, dass sie nahezu problemlos in die regulären Übungsblätter und den regulären Übungsbetrieb an den Universitäten eingebunden werden können.

5. Ausblick

Im kommenden Wintersemester 2021/2022 wird die Hauptstudie zu der hier vorgestellten Pilotstudie stattfinden. Sie wird auf zwei weitere Themenkomplexe mit smartphonebasierten Experimentierhausaufgaben ausgeweitet. Zudem werden wir die eingesetzten Items inhaltlich überarbeiten, um die Reliabilität und die Güte der von uns erhobenen Daten zu stärken.

6. Literatur

- [1] Kuhn, J. und Vogt, P. (2019): Physik ganz Smart, Springer-Verlag GmbH Deutschland
- [2] Bastian, J. und Aufenanger, S. (2017): Tablets in Schule und Unterricht, Springer Fachmedien Wiesbaden
- [3] Kuhn, J., Müller, A., Müller, W. und Vogt, P. (2010): Kontextorientierter Physikunterricht: Konzeptionen, Theorien und Forschung zu Motivation und Lernen. *Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule*, 5(59), 13–25.
- [4] Klein, P., Kuhn, J. und Müller, A. (2017): Experimente mit Smartphone und Tablet-PC: Analyse leistungsbezogener Antwortsicherheiten im Physikstudium. In: Bastian, J., Aufenanger, S. (2017): *Tablets in Schule und Unterricht*, Springer Fachmedien Wiesbaden
- [5] Ryan, R. M. und Deci, E. L. (2000). Self-determination theory and the facilitation of intrinsic motivation, social development, and well-being. *American Psychologist*, 55(2000), 68–78
- [6] Klein, P., Kuhn, J., Müller, A. und Gröber, S. (2015). Video analysis exercises in regular introductory mechanics physics courses: Effects of conventional methods and possibilities of mobile devices. In Schnotz, W., Kauertz, A., Ludwig, H., Müller, A. und Pretsch, J.: *Multidisciplinary research on teaching and learning* (S. 270–288). Basingstoke: Palgrave Macmillan
- [7] Klein, P., Kuhn, J. und 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.
- [8] Becker, S., Klein, P., Gößling, A. und Kuhn, J. (2019). Förderung von Konzeptverständnis und Repräsentationskompetenz durch Tablet-PC-

- gestützte Videoanalyse: Empirische Untersuchung der Lernwirksamkeit eines digitalen Lernwerkzeugs im Mechanikunterricht der Sekundarstufe 2. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 25(1), 1–24
- [9] Kaps, A., Splith, T. und Stallmach F. (2021): Implementation of smartphone-based experimental exercises for physics courses at universities, *Physics Education*, 56(3), 035004
- [10] Kaps, A., Rieger, P. und Stallmach F. (2020): Lehren und Lernen mit dem smarten Physiklabor. In: *PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*, 11 (2020), S. 69-76, Url: <http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/1015/1115> (Stand 4/2021)
- [11] Staacks, S., Hütz, S., Heinke, H. und Stampfer, C. (2018): Advanced tools for smartphone-based experiments: phyphox. *Physics Education*. 53(2) 045009
- [12] Kaps, A. und Stallmach, F. (2020) Tilting motion and the moment of inertia of the smartphone. *The Physics Teacher*, 58(3), 214 – 215
- [13] Rimoldini, L., und Singh, C. (2005). Student understanding of rotational and rolling motion concepts. *Physical Review Special Topics: Physics Education Research*. 1. 10.1103/PhysRevSTPER.1.010102.
- [14] Tipler, P.A. und Mosca, G. (2018): *Physik für Wissenschaftler und Ingenieure*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg
- [15] Demtröder W. (2018): *Experimentalphysik I - Mechanik und Wärme*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg
- [16] Kuhn, J. und Müller, A. (2014): Context-based science education by newspaper story problems: a study on motivation and learning effects. *Perspectives in Science*, 2(1–4), 5–21.
- [17] Litman, J. A., und Spielberger, C. D. (2003): Measuring epistemic curiosity and its diversive and specific components. *Journal of Personality Assessment*, 80(1), 75–86
- [18] Helmke, A. (1992). Determinanten der Schulleistung: Forschungsstand und Forschungsdefizit. In Nold G. (Hrsg.), *Lernbedingungen und Lernstrategien* (S. 23–34). Tübingen: Gunter Narr Verlag.
- [19] Döring, N. und Bortz, J. (2016): *Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg
- [20] Coletta, V.P., Phillips, J. A. und Steinert, J. J. (2007): Interpreting force concept inventory scores: normalized gain and SAT scores. *Physical Review Physics Education Research*.

Wir bedanken uns bei der ‚STIL-Laboruniversität‘ (10.2018-09.2020) und dem Doktorandenförderprogramm der Universität Leipzig (10.2020 - 09.2022) für die finanzielle Unterstützung des smarten Physiklabors und des Promotionsvorhabens von Herrn Andreas Kaps.

Wir bedanken uns für die Unterstützung dieser Studie bei Prof. Dr. Schöneburg - Lehnert (Didaktik der Mathematik, Universität Leipzig), Frau Prof. Dr. Schnohr, Herrn PD Dr. von Wenckstern (beide Felix-Bloch-Institut für Festkörperphysik, Universität Leipzig), sowie bei den Studierenden des 1. FS Lehramt Physik und Bachelor Physik für die aktive Teilnahme an der Studie und das positive Feedback zu den Experimentierhausaufgaben mit dem smarten Physiklabor.

Danksagung

Ansätze zur Diagnose und Förderung von Problemlösefähigkeiten in der Studieneingangsphase Physik

Simon Lahme*, Anna B. Bauer*, Peter Reinhold*

*Universität Paderborn, Didaktik der Physik, Warburger Str. 100, 33098 Paderborn
slahme@mail.upb.de; anna.bauer@uni-paderborn.de

Kurzfassung

Fast die Hälfte aller Studierenden bricht ihr Physikstudium in der Studieneingangsphase ab. Eine der häufigsten Ursachen stellt die unzureichende Bewältigung fachlicher Anforderungen dar. Im ersten Semester wird besonders die Bearbeitung der Übungsaufgaben zur Vorbereitung auf die Modulklausuren als herausfordernd wahrgenommen. Hierzu werden vor allem fachspezifische Problemlösefähigkeiten benötigt, die die Studierenden noch nicht auf nötigem Niveau beherrschen. Resultierende Fehler und Schwierigkeiten können zu Motivationsverlust und Studienabbruch führen. Die Analyse von Problemlösefähigkeiten und das Ableiten passgenauer Unterstützungsangebote stehen daher im Fokus der Begleitforschung zum Lernzentrum *Physiktreff* der Universität Paderborn. Aus Aufgabebearbeitungen im Themenfeld Mechanik werden Fehler und Schwierigkeiten rekonstruiert und Bearbeitungstypiken identifiziert. Diese Typiken erlauben eine passgenaue Diagnostik sowie individuelle Förderung fachspezifischer Problemlösefähigkeiten.

1. Ausgangslage

Die Studieneingangsphase Physik stellt Studierende vor große Herausforderungen, was sich in der hohen und in den letzten Jahren gestiegenen Studienabbruchquote von 49% der Studienanfänger:innen in der Fächergruppe Physik/Geowissenschaften an deutschen Universitäten zeigt (Heublein et al., 2020). Dabei erfolgt der Abbruch in der Fächergruppe Mathematik und Naturwissenschaften in 45% der Fälle bereits im ersten Studienjahr, der Studieneingangsphase (Heublein et al., 2017). Als häufigste Ursache nennen Abbrechende fächerübergreifend Leistungsprobleme, also das Scheitern an inhaltlichen Anforderungen (Heublein et al., 2017), zu denen im Physikstudium vor allem die physikalische Problemlösefähigkeit beim Lösen typischer fachlicher Übungs- und Klausuraufgaben zählt (Woitkowski, 2019).

Die Lehrenden stellen die hohen Abbruchquoten vor Herausforderungen. Es stellt sich die Frage, wie Lehre in all ihren Facetten (Vermittlung sowie Unterstützungs- und Feedbackstrukturen) gestaltet werden muss, um möglichst viele Lernende beim Erwerb fachlicher Kompetenzen zu unterstützen. Dieser Frage widmet sich an der Universität Paderborn das Projekt *Paderborner Studieneingangsphase Physik PSΦ* (Bauer et al., 2019). Das Projekt stellt einen Zusammenschluss des Lehr-Lernzentrums *Physiktreff* mit mehreren Forschungsprojekten (*Physiktreff*, *KEMΦ* (Woitkowski, 2019), *Profile P+* (Vogelsang et al., 2019) und *3P* (Sacher & Bauer, 2021)) dar. Ziel ist die evidenzbasierte Weiterentwicklung zu einer abgestimmten Studieneingangsphase „aus einem Guss“. Der *Physiktreff* fungiert in dem Projekt auf mehreren Ebenen als Katalysator für die

Weiterentwicklung: Auf Basis der Evidenzen der Forschungsprojekte werden Lehr-Lernumgebungen unterschiedlicher Ausprägung (von punktuellen Angeboten über die Überarbeitung ganzer Lehrveranstaltungen bis hin zur Neuentwicklung von Veranstaltungen und Unterstützungsmaterialien) unter Mitwirkung der Lehrenden und Lernenden bei der Überarbeitung, Implementation und Evaluation realisiert. Bisher wurde durch die flächendeckende Einführung von Präsenzübungen, durch komplexitätsgestaffelte Aufgaben (Woitkowski, 2020) sowie die Implementation einer umfangreichen Beratungsstruktur erfolgreich die grundlegende Struktur des ersten Semesters (Vorkurs, Orientierungswoche, Experimentalphysik A) weiterentwickelt. Die Evaluation zeigt, dass diese Änderungen zu einer Motivationssteigerung, jedoch zu keinem messbaren Anstieg der fachlichen Fähigkeiten geführt haben (Bauer et al., 2021).

Im nächsten Schritt sollen passgenaue Unterstützungsmaßnahmen für den systematisch begleiteten Erwerb physikalischer Problemlösefähigkeiten entwickelt werden. Dazu werden zum einen *Unterstützungsmaterialien für Lernende* (Erklärvideos, Worked-out-Examples, ...) entwickelt, die einen schrittweisen Erwerb der Fähigkeiten ermöglichen. Zum anderen werden die *Lehrenden bei der Diagnose und Förderung* studentischer Lernschwierigkeiten unterstützt.

In diesem Beitrag wird das Fundament für die Entwicklung dieser Unterstützungsmaßnahmen vorgestellt: Basierend auf durch Studierende bearbeitete Aufgaben ist ein Kategoriensystem für typische Fehler und Schwierigkeiten beim physikalischen Problemlösen entwickelt worden. Das Kategoriensystem

ermöglicht die Operationalisierung der Fehler und Schwierigkeiten in Form eines Beobachtungsbogens, der die Lehrenden beim Einschätzen der Qualität der Lösungen und Geben differenzierten Feedbacks in Übungen unterstützt. Weiterhin können auf Basis der kategorisierten Fehler und Schwierigkeiten studentische Aufgabenbearbeitungstypiken abgeleitet werden, die die Entwicklung passgenauer Unterstützungsmaßnahmen für die Lernenden ermöglichen.

2. Erwerb physikalischer Problemlösefähigkeiten in der Studieneingangsphase

Der Erwerb *physikalischer Problemlösefähigkeiten* ist ein zentrales Ziel des Bachelorstudiums Physik. So formuliert die Konferenz der Fachbereiche Physik KFP (2010) unter anderem als Studienziele, dass die Studierenden bis zum Studienende „wichtige, in der Physik eingesetzte mathematische Methoden [kennen] und [...] diese zur Lösung physikalischer Probleme einsetzen“ können und „ihr Wissen exemplarisch auf physikalische Aufgabenstellungen angewandt und teilweise vertieft und damit einen Grundstein für eine Problemlösekompetenz erworben“ (S.3) haben sollen. Die Zielerreichung ist aus didaktischer Sicht gemäß KFP besonders im Übungsbetrieb zu erfolgen.

An der Universität Paderborn wird dieses Ziel im ersten Semester im Modul „Experimentalphysik A“ adressiert. Gemäß Modulhandbuch (Präsidium der Universität Paderborn, 2017) haben die Studierenden nach der Teilnahme an Vorlesung und Übung „erste Fähigkeit erworben, physikalische Probleme mathematisch zu formulieren und quantitative Ergebnisse zu erzielen“ und „können die Gesetzmäßigkeiten aus den Bereichen Mechanik und Thermodynamik auf einfache Problemstellungen anwenden und quantitative Vorhersagen machen“ (S.28).

Die hierfür in der Lehre genutzten *Problemlöseaufgaben* kennzeichnet, dass keine einfache Wissensreproduktion stattfindet, sondern Analysen und Schlussfolgerungen auf Basis domänenspezifischen Wissens vollzogen werden müssen (Smith, 1991). Dieses *wissenszentrierte Problemlösen* ist typischerweise in vier Prozessschritte strukturiert: 1. die Repräsentation eines physikalischen Problems etwa durch Skizzen und Idealisierungen, 2. die Auswahl bzw. Erarbeitung eines Problemschemas/Lösungswegs, 3. die Erarbeitung einer Lösung oftmals durch mathematisches Operieren sowie 4. die Evaluation der Lösung auf Richtigkeit (Friege, 2001).

Evidenzen (s. u. a. Woitkowski, 2019) zeigen, dass Studierende am Ende des ersten Semesters noch nicht über physikalische Problemlösefähigkeiten auf gefordertem Niveau verfügen. Ursächlich hierfür sind tradierte Formen der Wissensvermittlung, bei denen der Fokus auf dem Erwerb von Fachwissen liegt und eine eher implizite Vermittlung physikalischer Problemlösefähigkeiten durch das Bearbeiten von Problemlöseaufgaben im Übungsbetrieb erfolgt. Durch die implizite Vermittlung der Problemlösefähigkeiten stehen

vor allem leistungsschwächere Studierende vor zwei Herausforderungen (Chi et al., 1982): Zum einen fällt es ihnen als Anfänger:innen schwer, die grundsätzliche Vorgehensweise beim Lösen physikalischer Problemstellungen in verschiedenen Themengebieten zu abstrahieren, was einen elaborierten Erwerb physikalischer Problemlösefähigkeiten behindert. Zum anderen sind im klassischen Vorlesungs-Übungsbetrieb kaum systematische Feedbackstrukturen angelegt, die es den Studierenden erlauben würden, Lücken zielgerichtet und selbstständig nachzubereiten. Das derzeitige Feedback endet oftmals bei der Einschätzung der Aufgabenbearbeitung als richtig oder falsch, teilweise ergänzt durch Hinweise dazu, ob es Fehler beim Ansatz oder der mathematischen Ausführung gab. Diese Hinweise reichen oftmals nicht aus, damit die Studierenden die Ursachen ihrer Fehler sowie die korrekte Lösung verstehen und wissen, wie sie sich konkret weiterentwickeln können. Für die Bewältigung dieser Herausforderungen bedarf es der Entwicklung geeigneter Instrumente für die Diagnose und Förderung physikalischer Problemlösefähigkeiten.

3. Untersuchungsdesign

In diesem Projekt werden differenzierte Unterstützungsmaßnahmen für Lehrende und Lernende im Bereich des physikalischen Problemlösens in der Studieneingangsphase entwickelt. Die Strukturierung sowie konkrete Maßnahmen werden auf Basis der Analyse studentischer Bearbeitungen von Problemlöseaufgaben realisiert.

3.1. Methodisches Vorgehen

Eine Möglichkeit sich studentischen Problemlösefähigkeiten zu nähern, stellt die qualitative Analyse (Mayring, 2016) bearbeiteter Problemlöseaufgaben in Form einer Produktanalyse dar. Hierbei können zwar kaum Aussagen zum Handeln der Studierenden während des Lösungsprozesses getätigt werden, jedoch können anhand der Qualität der Aufgabenbearbeitungen Hinweise zu schwierigen Stellen im Problemlöseprozess abgeleitet werden. Dies ist in diesem Projekt für die Entwicklung passgenauer Unterstützungsmaßnahmen für Lehrende von Bedeutung, da diese in Leistungssituationen lediglich die Produkte, d. h. fertige Aufgabenbearbeitungen hinsichtlich der Qualität einschätzen.

Die unzureichende Ausprägung fachspezifischer Problemlösefähigkeiten äußert sich bei dieser Produktanalyse in Fehlern und Schwierigkeiten in der Aufgabenbearbeitung. Unter einem *Fehler* wird nach Oser et al. (1999) eine fälschliche Abweichung von einer Norm oder Regel verstanden, wie sie beispielsweise für das algebraische Umformen von Gleichungen gelten. *Schwierigkeiten* bezeichnen dagegen das übergeordnete Scheitern an jener Barriere, die nach Dörner (1976) zwischen dem unerwünschten Anfangs- und dem erwünschten Endzustand eines Problems liegt und sich zum Beispiel im Scheitern daran äußert, einen zielführenden Lösungsansatz zu finden.

In der Literatur finden sich hierzu diverse Arbeiten: Einige beschäftigen sich mit sehr spezifischen Aufgaben- und Fehlerarten, etwa López und Pintó (2017) mit Schwierigkeiten beim Lesen visueller Repräsentationen in physikalischen Simulationen oder Forster (2004) mit Fehlern beim Zeichnen von Graphen im Physikunterricht. Andere Arbeiten betrachten den gesamten Lösungsprozess von Physikaufgaben, entweder aus eher mathematikdidaktischer Perspektive der mathematischen Modellierung physikalischer Situationen (Pospiech, 2019; Uhden, 2016), aus physikdidaktischer Perspektive des wissenszentrierten Problemlösens (Brandenburger, 2016; Niss, 2012) oder durch den Transfer aus Disziplinen wie der Ingenieur-/Computerpsychologie (Müller, 2003).

Es besteht jedoch besonders im universitären Bereich noch Forschungsbedarf sowohl hinsichtlich der „Untersuchung auftretender Fehlertypen als eine sinnvolle qualitative Ergänzung zur Analyse des Erfolgs beim Problemlösen“ (Brandenburger, 2016, S. 281) als auch hinsichtlich der zielführenden Förderung erfolgreichen Problemlösens (Brandenburger, 2016).

An dieser Stelle setzt das hier vorgestellte Projekt an, das aus physikdidaktischer Perspektive des wissenszentrierten Problemlösens die ausdifferenzierte Kategorisierung auftretender Fehler und Schwierigkeiten zur Diagnose und Förderung physikalischer Problemlösefähigkeiten zum Ziel hat. Die Kategorisierung studentischer Fehler und Schwierigkeiten beim physikalischen Problemlösen wird mittels *qualitativer Inhaltsanalyse* (Mayring, 2016) basierend auf Bearbeitungen der Probeklausur zur Experimentalphysik A im ersten Semester realisiert. In zyklischen Materialdurchgängen ist *induktiv* ein hierarchisches Kategoriensystem mit elf Hauptkategorien (siehe Abb. 2) und 28 Subkategorien, die durch Indikatoren präzisiert werden, entstanden.

Die mit diesem Kategoriensystem kodierten Aufgabenbearbeitungen werden auf zweierlei Weise ausgewertet: Eine aufgabenweise Auszählung der Kodierungen gibt Auskunft über den Zusammenhang zwischen der unter Nutzung von Bernholt et al. (2009) eingeschätzten *Aufgabenkomplexität* und den *Auftretenshäufigkeiten* der Fehler/Schwierigkeiten. Eine probandenweise Auszählung der Kodierungen ermöglicht die Identifizierung von *Bearbeitungstypiken* anhand von *Bearbeitungsraten*, *Fehlerhäufigkeiten* und *charakteristischen Fehlern/Schwierigkeiten*. Diese Typiken erlauben eine praxisnahe Diagnostik und individuelle Förderung der Studierenden beim Erwerb physikalischer Problemlösefähigkeiten.

Für die Generierung der Datengrundlage ist bewusst auf die *Methode des lauten Denkens* verzichtet worden. Lautes Denken soll Zugriff auf die kognitiven Prozesse bei der Bewältigung einer Aufgabe ermöglichen. Es hat sich jedoch gezeigt, dass vor allem Novizen von der Bearbeitung der Aufgaben kognitiv so belastet sind, dass der Einsatz der Methode zu

geringerem Problemlöseerfolg führen kann (Sandmann, 2014).

3.2. Datengrundlage

Die Datenbasis für die Typikenbildung muss eine realistische Einschätzung der Problemlösefähigkeiten der Erstsemesterstudierenden erlauben. Dieses Kriterium wird in der angebotenen Probeklausur im Rahmen der Vorlesung zur Experimentalphysik A in der Mitte des ersten Semesters erfüllt. Die Datengrundlage umfasst die Probeklausuren des WiSe 19/20 und WiSe 20/21. Die beiden Jahrgänge sind vergleichbar auswertbar, da die Probeklausur nicht verändert wurde. Im WiSe 19/20 nahmen insgesamt 33 Studierende an der Probeklausur teil, die diese unter Klausurbedingungen in Präsenz im Rahmen der regulären Vorlesungszeit bearbeiteten. Im Dezember 2020 erfolgte die Bearbeitung der Probeklausur aufgrund der Covid-19-Pandemie innerhalb eines Zeitraums von wenigen Tagen von zuhause. Von diesem Angebot machten 14 Studierende Gebrauch.

Die Probeklausur enthält vier Aufgaben (13 Teilaufgaben), die zumeist vollständige Problemlöseprozesse erfordern und auf Klausurniveau anzusiedeln sind. Die Aufgaben adressieren die Inhalte der ersten Vorlesungshälfte (lineare/zweidimensionale Bewegungen, Kreisbewegungen, Dreh- und Trägheitsmomente) und weisen eine zunehmende *Komplexität* (Terminologie nach Bernholt et al., 2009) auf: Die erste Aufgabe fragt lediglich reines *Faktenwissen* zu Reibungskoeffizienten, relativistischen Bewegungen, Trägheitsmomenten und dem Dopplereffekt bzw. der Kräftesuperposition in Form von vier Single-Choice-Fragen ab. Die zweite Aufgabe erfordert das *Herstellen linearer Kausalitäten*, indem aus gegebenen Größen Geschwindigkeiten und Beschleunigungen bei linearen Bewegungen zu bestimmen sind. In der dritten Aufgabe sind Anfangsgeschwindigkeiten bei schrägen Wurfbewegungen zu berechnen, weshalb diese Aufgabe bereits durch eine *multivariate Interdependenz* auf niedrigem Niveau zu charakterisieren ist. Auf hohem Niveau ist dies dann in der vierten Aufgabe zu finden, bei der in einem komplexen System aus einem Hebel sowie zwei Zahnrädern unter Berücksichtigung von Drehmomenten, Trägheitsmomenten und Drehimpulsen Winkelbeschleunigungen/-geschwindigkeiten und Energien zu betrachten sind.

Weiterhin haben Studierende des Vorkurses (N = 24) zu Beginn des WiSe 20/21 einen Fragebogen ausgefüllt. Dessen Ziel ist, einen differenzierteren Einblick in die vorhandenen Wissensbestände der Studierenden zu Beginn ihres Studiums bezüglich des strategischen Metawissens für das Lösen physikalischer Problemlöseaufgaben zu erhalten. Die Probanden sollen aus zehn aufgeführten Kriterien, unter denen allgemeinverständlich formuliert auch die vier Prozessschritte des Problemlösens nach Friege (2001) aufgeführt sind, vier Kriterien auswählen, die ihrer

Meinung nach eine gute Aufgabenbearbeitung auszeichnen.

4. Ergebnisse & Diskussion – Aufgabenspezifische Kodierungen und Typikenbildung

Im Folgenden werden die Ergebnisse der verschiedenen methodischen Schritte dargestellt und diskutiert. Im Unterkapitel 4.1 wird zunächst analysiert, inwieweit die Studierenden zu Studienbeginn bereits über das strategische Metawissen zum physikalischen Problemlösen verfügen. In Kapitel 4.2 steht die Auftretenshäufigkeit der einzelnen Fehler und Schwierigkeiten im Vordergrund, die von der Aufgabenkomplexität mediiert werden. Die Beschreibung der identifizierbaren Bearbeitungstypiken in Vorbereitung auf die Diagnose und Förderung fachspezifischer Problemlösefähigkeiten erfolgt in Kapitel 4.3.

4.1. Metawissen zum physikalischen Problemlösen

Erfolgreiches Problemlösen erfordert Metawissen über die Schritte des Problemlöseprozesses und damit verbundene Problemlösestrategien. Abb. 1 zeigt die Ergebnisse aus dem entsprechenden Fragebogen, der zu Beginn des ersten Semesters eingesetzt wurde. 16 von 24 Studierenden identifizierten nur ein bis zwei der vier nach Friege (2001) relevanten Problemlöse-schritte korrekt; alle vier relevanten Schritte identifizierte niemand. Stattdessen dominieren aus der Schule bekannte Oberflächenmerkmale wie das Notieren der gegebenen und gesuchten Größen (14 von 24), das Durchführen einer korrekten Einheitenrechnung (13 von 24) und das Notieren allgemeiner Formeln (10 von 24). Die Studierenden verfügen zu Studienbeginn also nicht in ausreichendem Maße über notwendiges Metawissen. Für Lehrende bedeutet dies, dass auch das für das erfolgreiche Problemlösen benötigte Metawissen explizit gelehrt werden muss.

4.2. Fehler/Schwierigkeiten in Abhängigkeit von der Aufgabenkomplexität

Nach der Entwicklung des Kategoriensystems werden die Fehler und Schwierigkeiten in den

bearbeiteten Aufgaben jeweils einer Kategorie zugewiesen und im Anschluss die Kodierungen ausgewertet. Ziel ist, einen Einblick in die Verteilung der Fehler und Schwierigkeiten pro Aufgabe zu erhalten, um darauf aufbauend im Anschluss die Typikenbildung durchführen zu können. Da es über alle Aufgaben betrachtet zwischen den beiden untersuchten Jahrgängen trotz des unterschiedlichen Settings (Präsenz vs. digital) keine signifikanten Unterschiede in den Häufigkeiten der Kodierungen mit den einzelnen Hauptkategorien gibt, werden diese gemeinsam betrachtet.

Abb. 2 zeigt für die vier Aufgaben (mit jeweils zwei bis vier Teilaufgaben) den Anteil an Teilaufgaben, der mindestens einmal mit einer zur jeweiligen Hauptkategorie gehörenden Subkategorie kodiert wurde. Es zeigt sich, dass bei den unterschiedlich komplexen Aufgaben die Auftretenshäufigkeiten der Kategorien variieren. So gehen die Single-Choice-Fragen in Aufgabe 1 (A1), welche lediglich reines Faktenwissen erfordern, vor allem mit Fehlern im Bereich *physikalisches Fachwissen* oder *unklare Schwierigkeiten/Fehler* einher, falls aus falschen bzw. fehlenden Antworten keine zugrundeliegenden Schwierigkeiten/Fehler rekonstruiert werden können. Aufgabe 2 (A2), die das Denken in linearen Kausalitäten erfordert, zeichnet sich dagegen besonders durch formale Fehler im *Einhalten von Konventionen*, *mathematische Fehler* und *unzureichende Evaluationen der Ergebnisse* aus. Bei Aufgabe 3 (A3), bei der *multivariate Interdependenzen auf geringem Niveau* zu berücksichtigen sind, nimmt hingegen die Häufigkeit von Fehlern in den Bereichen *physikalisches Fachwissen*, *Erstellen von Skizzen* und *Aufstellen von zielführenden Lösungsansätzen* zu, wobei *mathematische Fehler* ebenfalls sehr häufig auftreten. Aufgabe 4 (A4), bei der *multivariate Interdependenzen auf hohem Niveau* zu beachten sind, zeichnet sich durch häufige *Nichtbearbeitung* der Aufgaben und Fehler im Bereich *physikalisches Fachwissen* aus,

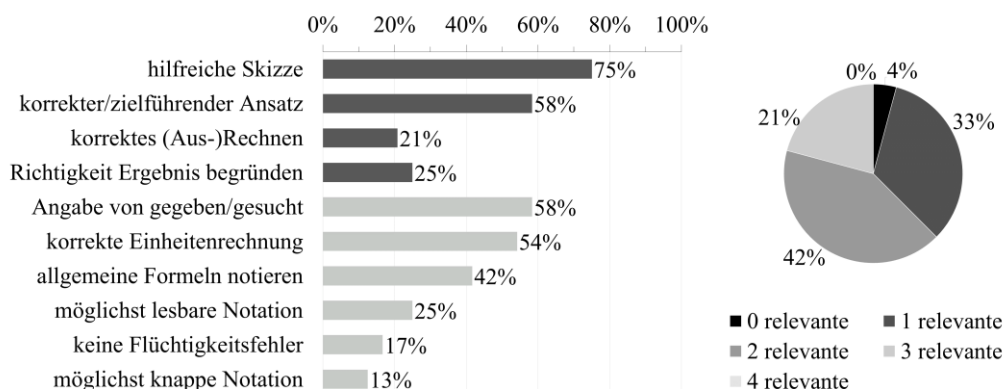


Abb. 1: Darstellung der Ergebnisse der Fragebogenerhebung zum Metawissen: Das Balkendiagramm zeigt die anteiligen Einschätzungen der Studierenden (N=24), welche Kriterien eine gute Aufgabenbearbeitung ausmachen (dunkel=relevant; hell=weniger relevant). Das Kreisdiagramm zeigt, von wie vielen Probanden die jeweils angegebene Anzahl relevanter Kriterien identifiziert wurden.

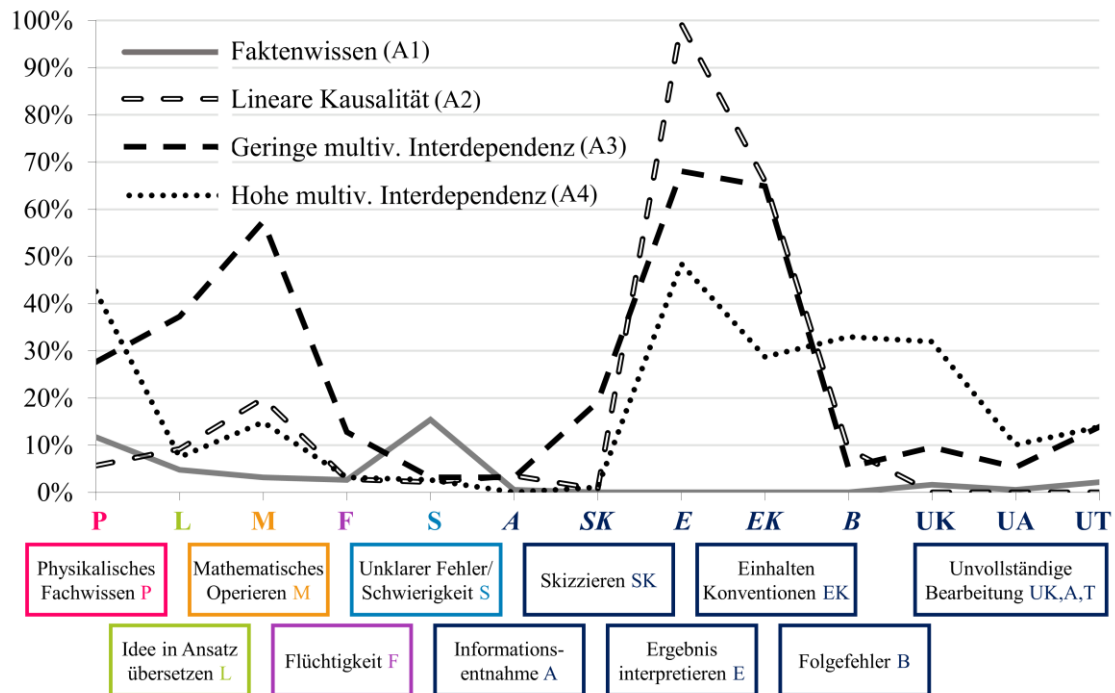


Abb. 2: Im Diagramm ist abhängig von der Aufgabenkomplexität (Aufgabe 1-4) die Häufigkeit aufgetretener Fehler und Schwierigkeiten (Hauptkategorien des Kategoriensystems) bei der Bearbeitung der Probeklausur zur Experimentalphysik A dargestellt.

weil die Studierenden bereits an der korrekten Problemrepräsentation scheitern und in den nachfolgenden Prozessschritten kaum weitere Fehler zeigen können. Insgesamt kann also mit Hilfe des Kategoriensystems die erwartete Fehler- und Schwierigkeitsverteilung abhängig von der Aufgabenkomplexität plausibel abgebildet werden.

4.3. Typikenbildung

Ziel der Typikenbildung ist die Beschreibung unterscheidbarer studentischer Bearbeitungstypiken, die eine Diagnose physikalischer Problemlösefähigkeiten und eine darauf aufbauende Förderung ermöglichen. Hierzu wird ein gestapeltes Balkendiagramm erstellt, in dem je Probanden ein Balken die Anzahl der insgesamt 13 Teilaufgaben angibt, die mit den jeweiligen Subkategorien mindestens einmal kodiert wurden. Für den Bearbeitungserfolg irrelevante Subkategorien, wie das *Einhalten von Konventionen*, werden dabei nicht berücksichtigt. Auch die Kategorie zur *Interpretation des Ergebnisses* wird nicht berücksichtigt, da dieser Problemlöseschritt im Studium nicht explizit vermittelt wurde und somit kein Proband eine angemessene Evaluation vornahm.

Die Probanden werden gemäß den Kodierungen anhand dreier Kriterien gruppiert: die *Bearbeitungsrate* als Maß für die Zahl der unvollständig/nicht bearbeiteten Aufgaben (Kodierungen mit UK, UA oder UT), die *globale Fehlerhäufigkeit* als Summe aller übrigen Kodierungen und die *charakteristische Häufung kodierter Kategorien*. Auf diese Weise lassen sich sechs Bearbeitungstypiken identifizieren, die in Abb. 3: In der Abbildung und Tab. 1 gegenübergestellt werden.

Typik A bearbeitet alle Aufgaben vollständig, macht dabei kaum Fehler, die dann sehr vereinzelt Flüchtigkeitsfehler oder ein Fehler im physikalischen Fachwissen sind. *Typik B* zeichnet sich durch Fehler besonders in den Bereichen physikalisches Fachwissen und Mathematik (s. Problemlöseschritte 1 und 3) aus. *Subtypik B.1* hat zwar im Vergleich zu *Subtypik B.2* eine geringere Fehlerrate, bearbeitet dafür jedoch nicht alle Aufgaben, besitzt also eine geringere Bearbeitungsrate. *Typik C* zeichnet sich im Gegensatz zu *Typik B* durch zusätzliche Fehler auch im Bereich des Aufstellens von Lösungsansätzen (s. Problemlöseschritte 1-3) aus. Auch hier unterscheiden sich die Subtypiken darin, dass *Subtypik C.1* zwar eine höhere Fehlerrate als *Subtypik C.2* aufweist, dafür jedoch einen höheren Anteil an Aufgaben bearbeitet. *Typik D* unterscheidet sich vom *Typik C* durch eine im Allgemeinen deutlich geringere Bearbeitungs- und/oder höhere Fehlerrate, wenngleich Bearbeitungs- und Fehlerraten auf individueller Ebene sehr unterschiedlich sind. Insbesondere zählen auch jene Probanden zu dieser *Typik*, die zwar (fast) alle Teilaufgaben vollständig bearbeiten, jedoch mit 19 und mehr Fehlern auf 13 Teilaufgaben hohe Fehlerraten aufweisen.

Eine anhand der Kodierungen vorgenommene Bewertung der Probeklausur zeigt außerdem, dass zwischen der Zuordnung eines Probanden zu einem der sechs Typiken (kodiert mit 1 für *Typik A*, 2 für *Typik B.1*, ..., 6 für *Typik D*) und der erreichten Gesamtpunktzahl eine hoch signifikante Korrelation (Pearson-Korrelation von $-0,789$; $p < 0,000$) besteht. Unabhängig von den Kodierungen kommt auch ein Team

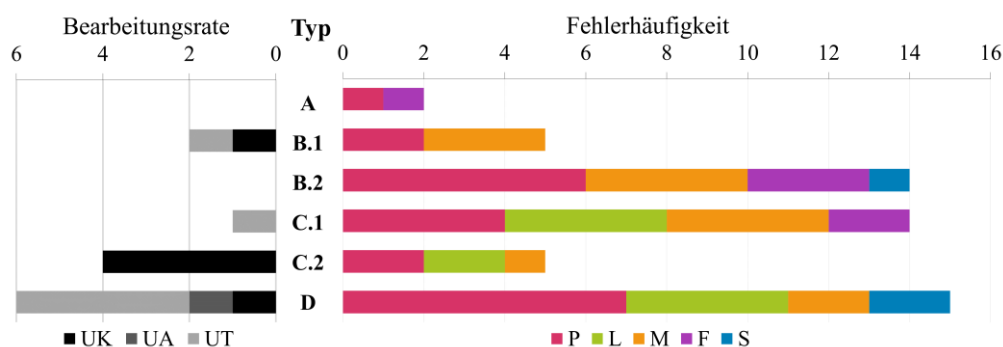


Abb. 3: In der Abbildung sind die sechs anhand der Bearbeitungsrate, globalen Fehlerhäufigkeit und charakteristischen Häufung von Kodierungen identifizierten Bearbeitungstypiken anhand beispielhafter Kodierungen dargestellt.

| Typ | Bearbeitungsrate | Fehlerhäufigkeit | Charakteristische Fehlerbereiche | %-Punkte MW (SD) | Häufigkeit des Typs |
|-----|------------------------|------------------|---|---------------------|------------------------|
| A | Vollständig | Sehr gering | Flüchtigkeit oder physikalisches Fachwissen (sehr vereinzelt) | 90% (±0%) | 1 von 47 bzw. 2% |
| B.1 | Weitgehend vollständig | Gering | physikalisches Fachwissen & Mathematik | 66% (±10%) | 7 von 47 bzw. 15% |
| B.2 | Vollständig | Mittel | physikalisches Fachwissen & Mathematik | 61% (±8%) | 8 von 47 bzw. 17% |
| C.1 | Weitgehend vollständig | Mittel | physikalisches Fachwissen, Lösungsansätze aufstellen & Mathematik | 47% (±5%) | 8 von 47 bzw. 17% |
| C.2 | Gering | Gering | physikalisches Fachwissen & Lösungsansätze aufstellen (u. a.) | 46% (±11%) | 12 von 47 bzw. 26% |
| D | i. A. gering | Mittel bis hoch | physikalisches Fachwissen, Aufstellen Lösungsansätze & Mathematik | 32% (±12%) | 11 von 47 bzw. 23% |

Tab. 1: Aufschlüsselung der Charakteristika der sechs identifizierten Bearbeitungstypiken.

aus vier bzw. acht Korrektoren (studentische Hilfskräfte, Doktoranden) im Mittel über alle Probanden und die einzelnen Typiken zu gleichen Bepunktungen (maximale Abweichung um zwei Prozentpunkte). Daher erlauben die auf den Kodierungen basierende Typikenzuordnung und Bepunktung eine realistische Einschätzung der allgemeinen Problemlösefähigkeiten: Die Typiken A und B sind als (eher) erfolgreiche Problemlöser zu bezeichnen, während die Typiken C und D (eher) geringe Problemlösefähigkeiten besitzen. Das Erreichen von im Mittel weniger als 50% der Punkte bei den Typiken C und D ist dabei als Hinweis dafür anzusehen, dass diese Studierenden die Modulabschlussprüfung nicht bestehen könnten. Mit 31 von 47 Studierenden zählen etwa 66% der Studierenden zum Zeitpunkt der Probeklausur zu dieser Risikogruppe.

Bemerkenswert ist, dass sich die sechs identifizierten Typiken nicht nur anhand der eher normativen Kriterien Bearbeitungsrate und Fehlerhäufigkeit differenzieren lassen, sondern auch mit charakteristischen Fehler- und Schwierigkeitsbereichen sowie einer korrelierenden Gesamtpunktzahl einhergehen. Dies spricht für die Zweckmäßigkeit der Typikenzuordnung, da eine Zuordnung der Studierenden zu den sechs Typiken diagnostisches Potenzial besitzt, die Risikogruppe (Typiken C und D) zu identifizieren, um mit

passgenauen Fördermaßnahmen den erfolgreichen Modulabschluss und somit Studierfolg in der Studiengangphase zu sichern.

4.4. Implikationen für die Lehre

Basierend auf dem Kategoriensystem und den gefundenen Typiken können unterschiedliche Unterstützungsmaßnahmen für Lehrende und Lernende abgeleitet werden. Zur *Unterstützung der Lehrenden* in den Bereichen Diagnose studentischer Fähigkeiten, Geben differenzierten und lernförderlichen Feedbacks sowie Empfehlen passgenauer Unterstützungsmaßnahmen soll ein Beobachtungsbogen für die Diagnose individueller Problemlösefähigkeiten entwickelt werden. Hierfür können die Haupt- und Subkategorien des Kategoriensystems sowie die jeweils zugeordneten Indikatoren verwendet werden. Abhängig vom so diagnostizierten, individuellen Fähigkeitsstands können die Lehrenden basierend auf den gebildeten Typiken den Studierenden passgenaue Unterstützungsmaterialien für das Selbststudium empfehlen. Für die Implementation und korrekte Verwendung des Beobachtungsbogens sowohl als Diagnose-Tool für Aufgabenlösungen als auch für die Diagnose der studentischen Fähigkeiten während des Lösens von Aufgaben in den Übungen soll eine Kurzschulung für Übungsleiter:innen entwickelt werden.

Die geplanten *Unterstützungsmaterialien für die Lernenden* sollen unterschiedliche Herausforderungen beim Lösen physikalischer Problemaufgaben adressieren. Für die inhaltliche und strukturelle Gestaltung der Materialien kann das Kategoriensystem zu den Fehlern und Schwierigkeiten beim physikalischen Problemlösen genutzt werden. Methodisch soll bei der Materialentwicklung eine Kombination aus Erklärvideos, unterschiedlich komplexer Worked-Out-Examples, handlungsorientierter Leitfäden und Selbstlernkurse (z. B. OMB+; Seiler & Kreft, o. J.) genutzt werden. Für die Unterstützung der Studierenden beim Erlernen des Erstellens physikalischer Problemrepräsentationen sollen Erklärvideos entwickelt werden. Diese würden neben dem Metawissen für das Problemlösen anhand diverser, unterschiedlich komplexer Beispiele der klassischen physikalischen Themengebiete auch die Herangehensweisen an physikalische Problemstellungen vermitteln. Studierende, die eher Schwierigkeiten bei der Mathematisierung der Lösungsidee haben, sollen mit Hilfe von Erklärvideos in Kombination mit Worked-Out-Examples unterstützt werden.

5. Implementations- und Evaluationsstrategie

Die unterschiedlichen Ansätze zur Diagnose und Förderung physikalischer Problemlösefähigkeiten werden schrittweise in die Lehrveranstaltungen der ersten zwei Semester implementiert und evaluiert. Im WiSe 21/22 werden der Beobachtungsbogen und die Übungsleiterkurzschulung eingeführt. Die Schulung wird zu Beginn des Semesters stattfinden. Der Beobachtungsbogen wird in den Präsenzübungen und in der Probeklausur eingesetzt. Die Übungsleiter:innen werden dabei eng begleitet. Die Evaluation erfolgt auf Basis direkter Beobachtung der Übungsleiter:innen beim Einsatz sowie durch Befragungen dieser und der Studierenden zum wahrgenommenen Nutzen. Weiterhin werden im Verlauf des Semesters die weiteren Unterstützungsmaßnahmen entwickelt und falls möglich mit Studierenden erprobt und überarbeitet. Im Verlauf des Sommersemesters 2022 sollen alle Unterstützungsmaterialien entwickelt, erprobt und evaluiert werden, sodass sie ab dem Wintersemester 2022/23 im Regelbetrieb eingesetzt werden können.

6. Fazit und Ausblick

In diesem Beitrag wurde die Entwicklung von Ansätzen zur Diagnose und Förderung physikalischer Problemlösefähigkeiten für Studierende der Studieneingangsphase dargestellt. Ziel des Projektes ist die Reduzierung der Abbruchquoten im Fachbereich Physik der Universität Paderborn sowie die passgenaue Unterstützung Lehrender und Lernender. Die hier vorgestellte Entwicklung eines Kategoriensystems sowie der Ableitung unterschiedlicher Bearbeitungstypiken ist nun Ausgangspunkt für eine umfangreiche Lehr-Lernmaterialentwicklung und -evaluation mittels eines validen Fachwissenstests (Woitkowski, 2015) sowie studentischer Gruppendiskussionen (Bauer et al.,

2019). Basierend auf den Ergebnissen sollen Gelingensbedingungen für die Entwicklung und Implementation umfassender Unterstützungsmaßnahmen in der Studieneingangsphase im Fach Physik abgeleitet werden.

Ausgehend von den Erkenntnissen aus der Implementation und Evaluation im ersten Semester soll künftig einerseits mit einem ähnlichen Vorgehen eine Unterstützungsstruktur für die von den Studierenden als besonders herausfordernd empfundene Theoretische Physik entwickelt werden. Hierzu soll auf Basis der Evaluation für eine Anreicherung der Gelingensbedingungen der Materialentwicklung analysiert werden, welche Aspekte bei der Lehr-Lernmaterialentwicklung inhaltsabhängig und welche inhaltsunabhängig sind. Hiernach wäre dann ein logischer weiterer Schritt die Implementation der Materialien in einen Studiengang einer anderen Universität, um die Gelingensbedingungen auch hinsichtlich der Standortabhängigkeit anzureichern. Andererseits steht hinsichtlich der didaktischen Gesamtstruktur der klassischen Vorlesungs-Übungs-Veranstaltungen in der Physik der Universität Paderborn die Einführung von Konzeptverständnis fördernden Aufgaben aus.

7. Literatur

- Bauer, A. B., Lahme, S., Woitkowski, D., Vogelsang, C. & Reinhold, P. (2019). PSΦ: Forschungsprogramm zur Studieneingangsphase im Physikstudium. In V. Nordmeier & H. Grötzebach (Hg.), *PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung Aachen 2019* (S. 53–60). <http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/934/1061>
- Bauer, A. B., Woitkowski, D., Reuter, D. & Reinhold, P. (2021). Fachliche und überfachliche Herausforderungen in der Studieneingangsphase Physik: Das Forschungs- und Entwicklungsprogramm PSΦ. In U. Fahr, R. Zacherl, H. Angenent, A. Eßer, D. Kergel & B. Kergel-Heidkamp (Hg.), *Hochschullehre erforschen!*. Springer.
- Bernholt, S., Parchmann, I. & Commons, M. L. (2009). Kompetenzmodellierung zwischen Forschung und Unterrichtspraxis. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 15, 219–245.
- Brandenburger, M. (2016). Was beeinflusst den Erfolg beim Problemlösen in der Physik? Eine Untersuchung mit Studierenden. Dissertation. Studien zum Physik- und Chemielernen: Bd. 218. Logos.
- Chi, M., Glaser, R. & Rees, E. (1982). Expertise in Problem Solving. In R. J. Sternberg (Hg.), *Advances in the psychology of human intelligence: Volume 1* (S. 7–75). Lawrence Erlbaum Associates.
- Dörner, D. (1976). *Problemlösen als Informationsverarbeitung* (1. Aufl.). Kohlhammer.
- Forster, P. A. (2004). Graphing in Physics: Processes and Sources of Error in Tertiary Entrance Examinations in Western Australia. *Research in Science Education*, 34, 239–265.

- Friege, G. (2001). Wissen und Problemlösen: Eine empirische Untersuchung des wissenszentrierten Problemlösens im Gebiet der Elektrizitätslehre auf der Grundlage des Experten-Novizen-Vergleichs. *Studien zum Physiklernen*: Bd. 19. Logos.
- Heublein, U., Ebert, J., Hutzsch, C., Isleib, S., König, R., Richter, J. & Woisch, A. (2017). Zwischen Studiererwartungen und Studienwirklichkeit: Ursachen des Studienabbruchs, beruflicher Verbleib der Studienabbrecherinnen und Studienabbrecher und Entwicklung der Studienabbruchquote an deutschen Hochschulen. Hannover. https://www.dzhw.eu/pdf/pub_fh/fh-201701.pdf
- Heublein, U., Richter, J. & Schmelzer, R. (2020). Die Entwicklung der Studienabbruchquoten in Deutschland. *DZHW Brief* 3|2020. Hannover. DZHW.
- Konferenz der Fachbereiche Physik (Hg.). (2010). Zur Konzeption von Bachelor- und Master-Studiengängen in der Physik: Handreichung der Konferenz der Fachbereiche Physik (KFP). Berlin. https://www.kfp-physik.de/dokument/KFP_Handreichung_Konzeption-Studiengaenge-Physik-101108.pdf
- López, V. & Pintó, R. (2017). Identifying secondary school students' difficulties when reading visual representations displayed in physics simulations. *International Journal of Science Education*, 39(10), 1353–1380.
- Mayring, P. (2016). Einführung in die qualitative Sozialforschung: Eine Anleitung zu qualitativem Denken (6., überarbeitete Auflage). Beltz.
- Müller, A. (2003). Fehlertypen und Fehlerquellen beim Physiklernen: Was weiß die Denkpsychologie? *Praxis der Naturwissenschaften - Physik in der Schule*, 52(1), 11–17.
- Niss, M. (2012). Towards a conceptual framework for identifying student difficulties with solving Real-World Problems in Physics. *Latin-American Journal of Physics Education*, 6(1), 3–13.
- Oser, F., Hascher, T. & Spychiger, M. (1999). Lernen aus Fehlern: Zur Psychologie des "negativen Wissens". In W. Althof (Hg.), *Fehlerwelten: Vom Fehlermachen und Lernen aus Fehlern*. Beiträge und Nachträge zu einem interdisziplinären Symposium aus Anlaß des 60. Geburtstags von Fritz Oser (S. 11–41). Springer Fachmedien.
- Pospiech, G. (2019). Framework of Mathematization in Physics from a Teaching Perspective. In G. Pospiech, M. Michelini & B.-S. Eylon (Hg.), *Mathematics in Physics Education*, 1–33. Springer Nature Switzerland.
- Präsidium der Universität Paderborn (Hg.). (2017). Prüfungsordnung für den Bachelorstudiengang Physik der Fakultät für Naturwissenschaften an der Universität Paderborn: Vom 16.06.2017. Paderborn. <https://digital.ub.uni-paderborn.de/hs/download/pdf/2471141?originalFilename=true>
- Sacher, M. D. & Bauer, A. B. (2021). Kompetenzförderung im Laborpraktikum. In C. Terkowsky, D. May, S. Frye, T. Haertel, T. R. Ortelt, S. Heix & K. Lensing (Hg.), *Labore in der Hochschullehre: Didaktik, Digitalisierung, Organisation*. Hochschule und Wissenschaft, 51–66. wbv Media.
- Sandmann, A. (2014). Lautes Denken - die Analyse von Denk-, Lern- und Problemlöseprozessen. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hg.), *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 179–188). Springer Verlag.
- Seiler, R. & Kreft, C. (o. J.). Online Mathematik Brückenkurs OMB+. integral-learning GmbH Berlin. <https://www.ombplus.de/ombplus/public/index.html>
- Smith, M. U. (1991). A view from biology. In M. U. Smith (Hg.), *Toward a Unified Theory of Problem Solving: Views From the Content Domains* (S. 1–19). Lawrence Erlbaum Associates.
- Uhden, O. (2016). Verständnisprobleme von Schülerinnen und Schülern beim Verbinden von Physik und Mathematik. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 22(1), 13–24.
- Vogelsang, C., Riese, J., Borowski, A. & Kulgemeyer, C. (2019). Profile-P+: Kompetenzmessung und Performanztests im Lehramtsstudium Physik. In C. Maurer (Hg.), *Naturwissenschaftliche Bildung als Grundlage für berufliche und gesellschaftliche Teilhabe: Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Kiel 2018*, 345–348.
- Woitkowski, D. (2015). Fachliches Wissen Physik in der Hochschulausbildung: Konzeptualisierung, Messung, Niveaubildung. *Studien zum Physik- und Chemielernen*: Bd. 185. Logos-Verl.
- Woitkowski, D. (2019). Erhebung der Problemlösefähigkeit im Physikstudium – Vorstellung eines Erhebungsverfahrens –. In C. Maurer (Hg.), *Naturwissenschaftliche Bildung als Grundlage für berufliche und gesellschaftliche Teilhabe: Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Kiel 2018*, 492–495.
- Woitkowski, D. (2020). Komplexitätsgestaffelte Übungsaufgaben zur Unterstützung im ersten Semester Physik. In V. Nordmeier & H. Grötzebauch (Hg.), *PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung Bonn 2020*, 85–90. <http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/1037>

Evaluation eines online Begleitkurses „Physik für Elektrotechnik“ im Hinblick auf die Nutzung durch die Studierenden

Kevin Schmitt, Verena Spatz

Physikdidaktik, Fachbereich Physik
Technische Universität Darmstadt
Hochschulstraße 12
64289 Darmstadt

kevin.schmitt@tu-darmstadt.de,
verena.spatz@tu-darmstadt.de

Kurzfassung

Die Lehrveranstaltung „Physik für Elektrotechnik“ wurde im Wintersemester 20/21 durch ein fakultatives Lernangebot angereichert, das sich in Form eines digitalen Begleitkurses unmittelbar in die Plattform *Moodle* integrieren ließ. Zum einen wurde den Studierenden die Möglichkeit gegeben, mathematische und physikalische Grundlagen vor der Lehrveranstaltung aufzuarbeiten. Zum anderen wurden wöchentlich zu den Inhalten der Vorlesung Aufgaben zur Verfügung gestellt. Durch den Einsatz des Plugins *STACK* konnten die Aufgaben des Begleitkurses in unterschiedlichen Formaten mit automatisiertem individualisiertem Feedback gestaltet werden. So konnten die Studierenden ihren Wissensstand überprüfen und ggf. gleichzeitig Lücken im (Vor-)wissen schließen. Im Anschluss an den Vorlesungsbetrieb wurde die Nutzung dieses Begleitkurses durch die Studierenden in einer Selbstauskunft evaluiert um zu untersuchen, welche Einsatzszenarien sich aus deren Perspektive besonders eignen. Dabei wurde erhoben, in welchem Umfang und in welchen Phasen der Lehrveranstaltung auf das fakultative Angebot zurückgegriffen wurde, sowie welche Intention (Überprüfung und/oder Aufarbeitung des Wissensstandes) die Studierenden damit vorrangig verfolgten. Auch die Einschätzung des eigenen Lernzuwachs wurde erfragt.

Im Beitrag wird zunächst das Projekt und die Ausgangslage beschrieben sowie die Gestaltungsgrundlagen des Begleitkurses skizziert. Anschließend werden die einfließenden Evaluationselemente und Ergebnisse dargestellt und Konsequenzen für mögliche Optimierungen gezogen.

1. Einleitung

Im Rahmen des Projekts *digLL – digital gestütztes Lehren und Lernen in Hessen* [1] werden an der Technischen Universität Darmstadt seit dem Sommersemester 2020 qualitätsgesicherte digitale Lerninhalte in Form eines digitalen Vor- und Begleitkurses für Physik-Servicelehrveranstaltungen, die sich an Studierende mit Nebenfach Physik richten, von der AG Didaktik der Physik angeboten [2]. Bisher wurden die Lehrveranstaltungen „Physik für Bauingenieure“ im Sommersemester 2020 und „Physik I für Elektrotechnik“ im Wintersemester 2020/21 durch den digitalen Vor- und Begleitkurs auf der Lernplattform *Moodle* angereichert.

Die Motivation für die Konzeption dieses digitalen Kurses liegt in hohen Misserfolgsquoten in den genannten Veranstaltungen sowie in generell hohen Studienabbruchquoten in diesem Bereich. Die Analyse von deutschlandweiten Zahlen aufeinanderfolgender Jahrgänge zeigt, dass besonders in naturwissenschaftlichen Studiengängen hohe Studienabbruchquoten von bspw. bis zu 45% für den Absolventenjahrgang 2016 in Physik auftreten [3].

Für verschiedene ingenieurwissenschaftliche Studiengänge ergibt sich eine zusammengefasste Abbruchquote von 36% im Absolventenjahrgang 2016. Eine genauere Untersuchung des Problemspektrums zeigt aus Sicht der Studierenden besonders hohe Studienanforderungen in der Studieneingangsphase [4]. Dabei sehen Studierende neben personalen, sozialen und organisatorischen Anforderungen vor allem auch inhaltliche Studienanforderungen als kritischen Faktor an [5]. Aus den hohen Misserfolgsquoten, die auch in Physik-Servicelehrveranstaltungen in den ersten Studiensemestern zu verzeichnen sind, lässt sich vermuten, dass diese hierzu beitragen. Als eine Unterstützungsmaßnahme soll daher der konzipierte Vor- und Begleitkurs dienen.

Um diesen Vor- und Begleitkurs möglichst effektiv zu gestalten, werden Prädiktoren, die für den Studienerfolg im Fach Physik als relevant gelten, bei der Konzeption berücksichtigt. In dieser Hinsicht zeigen empirische Untersuchungen, dass mathematische Vorkenntnisse valide Prädiktoren für den Studienerfolg in Physik darstellen [6,7]. Der in diesem Zusammenhang definierte Studienerfolg setzt

sich dabei aus verschiedenen Kriterien wie Studienabbruch, Studiendauer, Noten oder Studienzufriedenheit zusammen [8]. In bisherigen Vor- und Brückenkursen für das Physikstudium lag der Fokus daher besonders auf der mathematikbezogenen Studienvorbereitung [9]. Obwohl vorhandenem physikalischen Fachwissen vor dem Studium aus Sicht vieler Lehrender eine untergeordnete Rolle zugeschrieben wird, lässt sich auch dieser Prädiktor für die Erfolgsprognose im Fach Physik empirisch nachweisen [7]. Auch bei der Untersuchung von Unterschieden naturwissenschaftlicher und mathematischer Studienvoraussetzungen zwischen Studienabbrecher*innen und Studienabsolvent*innen zeigt sich eine deutliche Diskrepanz der Vorkenntnisse bei Studienbeginn [10]. Gerade bei Nebenfachstudierenden z. B. in den ingenieurwissenschaftlichen Studiengängen lässt sich in dieser Hinsicht wegen der sehr unterschiedlichen Bildungsbiographie, wie in den demographischen Daten ersichtlich, eine große Heterogenität vermuten. Der Schwerpunkt des Vor- und Begleitkurses an der TU Darmstadt liegt daher, ergänzend zur Aufarbeitung elementarer mathematischer Voraussetzungen im Vorkurs-Modul, im Aufarbeiten physikalischen Vor- und Grundwissens entlang des begleitenden Moduls. Angestrebt wird dabei eine mittlere Komplexitätsstufe im Anforderungsniveau, die eine Brücke von Schulniveau zum universitären Niveau schaffen soll, da diese Kluft für Studienanfänger*innen besonders schwer zu überwinden scheint [11].

In diesem Beitrag werden die kumulierten Evaluationsergebnisse zum Vor- und Begleitkurs der Lehrveranstaltung „Physik I für Elektrotechnik“ aus dem Wintersemester 20/21 im Hinblick auf die folgenden drei Fragestellungen dargestellt:

I. Wie bewerten Studierende das digitale Lernangebot, insbesondere hinsichtlich ihres erreichten Lernzuwachses?

II. Wie bewerten Studierende die Nutzungsmöglichkeiten des digitalen Lernangebotes und wie nehmen sie diese wahr?

III. Welche Folgerungen können aus der Einschätzung der Studierenden für eine Weiterentwicklung des Lernangebotes gezogen werden?

Für die Darstellung dieser Ergebnisse werden zunächst die Gestaltungsgrundlagen und der vorliegende Anwendungsrahmen des digitalen Zusatzangebotes dargestellt.

2. Gestaltungsgrundlagen und Anwendungsrahmen

2.1. Gestaltungsgrundlagen

Um eine möglichst gute Passung zwischen der Lehrveranstaltung und dem Vor- und Begleitkurs zu

erreichen, deckt das digitale Zusatzangebot die gesamten Inhalte der entsprechenden Physik-Servicelehrveranstaltungen ab. Für das Wintersemester 20/21 waren dies Inhalte aus den Themengebieten „physikalische Größen“, „Mechanik“ sowie „Schwingungen und Wellen“. Insgesamt wurden dazu in 15 Sequenzen Tests bestehend aus drei bis sechs Aufgaben online auf der Lernplattform *Moodle* bereitgestellt. Durch den Einsatz des Plugins *STACK* konnten mehrstufige Multiple-Choice-Fragen, Rechenaufgaben und grafische Darstellungen integriert werden [12]. Neben der Erstellung variabler Aufgabenformate, ermöglicht *STACK*, die Eingaben der Studierenden durch ein Computer-Algebra-System auf mathematische Eigenschaften zu untersuchen und ein angepasstes, spezifisches Feedback zu geben.

Da der Vor- und Begleitkurs keine regelmäßige tutorielle Betreuung beinhaltet, sind die Aufgaben in einem selbstgesteuerten Lernprozess zu bearbeiten. Studierende überprüfen bei der Bearbeitung der Aufgaben dabei zuerst ihren eigenen Wissensstand und können erkannte Defizite im Anschluss selbstständig aufarbeiten. Dazu werden in einem allgemeinen Aufgabenfeedback die physikalischen Grundlagen der entsprechenden Aufgabe elementarisiert dargestellt. Um die Nutzung möglichst flexibel zu gestalten, stehen diese Aufgaben und Feedbacks über das gesamte Semester hinweg zur Verfügung.

Eine weitere fachdidaktische Überlegung, die in die Gestaltung der Aufgaben einfließt, liegt in der Identifikation und Adressierung von Präkonzepten [13], wodurch das Konzeptverständnis gefördert werden soll.

Neben fachdidaktischen Vorüberlegungen wurden empirische Erkenntnisse in die Erstellung der Lerninhalte einbezogen, die sich aus einer Befragung von Studierenden und Dozierenden der Fachbereiche Elektrotechnik und Bauingenieurwesen an der TU ergaben. Aus diesen Angaben zu den Anforderungen und Erwartungen wurden fünf relevante Anforderungsdimensionen für die Aufgabensets, die in unterschiedlicher Gewichtung im Vor- und Begleitkurs vertreten sind, abgeleitet [14]: Diese Anforderungsdimensionen der Aufgaben setzen sich zusammen aus „Basis- und Vorwissen“, „Verständnis physikalischer Zusammenhänge“, „Rechenfertigkeiten“, „Experimente und Phänomene“ und „physikalische Herleitungen“.

2.2. Anwendungsrahmen

In diesem Artikel wird ausschließlich der Einsatz in der Physik-Servicelehrveranstaltung „Physik I für Elektrotechnik“ betrachtet. Dabei handelt es sich um die erste von zwei aufeinanderfolgenden Lehrveranstaltungen, die in der Studienordnung für Elektrotechnik an der TU Darmstadt als Modul des Pflichtbereichs enthalten sind. Vorgesehen ist das Belegen des Moduls im ersten („Physik I für

Elektrotechnik“) und zweiten Fachsemester („Physik II für Elektrotechnik“). Bedingt durch die andauernde Corona Pandemie, hat die Lehrveranstaltung im Anwendungszeitraum rein digital stattgefunden. Dabei wurde vom verantwortlichen Dozenten das Format eines Flipped Classrooms gewählt [15]. Insgesamt waren im Moodle Kurs 300 Teilnehmer*innen zur Veranstaltung eingeschrieben und auf mehrere Übungs-Kleingruppen zugeteilt. Bei der Prüfungsleistung des Moduls handelt es sich um eine Klausur am Ende des Semesters. Die Studienleistung konnte in Form eines Lerntagebuchs über den Veranstaltungszeitraum erbracht werden, wodurch eine Verbesserung der Abschlussnote erreicht werden konnte.

Der Einsatz des digitalen Zusatzangebots unterteilt sich in einen Vorkurs, der zwei Wochen vor Beginn der Lehrveranstaltung für die Studierenden freigeschaltet wurde, und einen Begleitkurs, der in die Wochenansichten der Vorlesung integriert war. Dabei umfasst der Vorkurs insgesamt fünf Tests zu verschiedenen Inhalten: zwei rein mathematische Inhalte zu den Grundlagen der Vektor-, der Differential- und Integralrechnung und drei Inhalte zu physikalischen Grundlagen. Das semesterbegleitende Angebot besteht hingegen aus 11 Tests mit Aufgaben, welche die physikalischen Grundlagen zu den wöchentlichen Vorlesungsinhalten abdecken.

3. Datenerhebung

Die Datenerhebung umfasst die Ergebnisse der Evaluation von Vorlesungs- und Übungsbetrieb sowie die Ergebnisse der separaten Evaluation des Vor- und Begleitkurses. Die Teilnahme an dieser Evaluation war freiwillig. Außerdem wurde die Entwicklung der Teilnehmer*innenzahlen über den Verlauf des Semesters anhand der Kursaktivitäten in Moodle erhoben und analysiert.

3.1. Evaluation der Vorlesung und Übung

Die Evaluationen der Vorlesung und der Übung fanden in zwei getrennten online Fragebögen über die Befragungssoftware EvaSys nach etwa der Hälfte des Vorlesungsbetriebs während des Semesters statt. In die Vorlesungsevaluation gehen insgesamt 58, in die Übungsevaluation 41 erfasste Fragebögen ein.

Die Items der Fragebögen sind nach den Kategorien „persönliche Angaben“, „Bewertung der Veranstaltung“, „Bewertung der Lehrenden“ und „Gesamtbewertung“ aufgeteilt. Da, bis auf die Kategorie „Gesamtbewertung“, keine der Kategorien Bewertungen bezüglich des Vor- und Begleitkurses enthalten, soll sich in diesem Beitrag auf die Betrachtung des offenen Feedbacks in der Kategorie „Gesamtbewertung“ beschränkt werden.

3.2. Evaluation des Vor- und Brückenkurses

Der Vor- und Begleitkurs wurde am Ende des Vorlesungsbetriebs in einem Fragebogen innerhalb des Moodle Kurses evaluiert. Studierende, die das

digitale Zusatzangebot zur Vorbereitung auf die Klausur nutzen, hatten die Möglichkeit, die Evaluation bis zu einem Tag vor der Klausur durchzuführen. Insgesamt gehen in die Datenerhebung 35 ausgefüllte Evaluationsbögen ein.

Da diese für die Beantwortung der Fragestellungen I-III besonders relevant sind, wird dieser Fragebogen im Detail beschrieben.

Insgesamt ist der Fragebogen aus fünf Kategorien zusammengesetzt: drei Kategorien, „Anwendungsrahmen“ (AWR), „Nutzung“ (N) und „Gesamturteil“ (GU) wurden anhand von ausgewählten Items der entsprechenden Skalen aus einem „modularen Fragebogen zur Evaluation von digitalen Lehr-Lern-Szenarien“ des Projekts digLL [16] erfasst. Zusätzlich wurden die Kategorien „demografische Angaben“ und „Offenes Feedback“ ergänzt.

Die erhobenen demografischen Angaben werden durch Angaben zur Häufigkeit der Nutzung und durch eine Selbsteinschätzung der Physikkenntnisse vor Beginn der Lehrveranstaltung ergänzt. Der Anwendungsrahmen wird anhand von fünf Items bezüglich der Benutzerfreundlichkeit (AWR1), der inhaltlichen und optischen Umsetzung der online Aufgaben (AWR2), der zeitlichen und inhaltlichen Einbettung in die Lehrveranstaltung (AWR3), der Verständlichkeit der Aufgabenstellungen und Formulierungen (AWR4) und der Verfügbarkeit von Hilfsmitteln in Form von Anleitungen und Feedbacks (AWR5) bewertet.

Weiterhin bewerten die Studierenden die Nutzung des Vor- und Begleitkurses anhand der Beurteilung von sieben Aussagen zu

- dem Beitrag zum Verständnis der Inhalte aus der Lehrveranstaltung (N1),
- der klaren inhaltlichen Zielsetzung (N2),
- der eigenen Lernstandseinschätzung (N3),
- dem selbstständigen Bearbeiten (N4),
- dem spezifischen Feedback (N5),
- dem allgemeinen Feedback bezüglich der Förderung des Grundlagenwissens (N6) und
- der Vorbereitung auf die Vorlesung und Übung (N7).

Diese werden durch die Angabe des vorrangigen Nutzungszwecks ergänzt (z. B. Vor- oder Nachbereitung der Vorlesung/ Übung oder Klausurvorbereitung).

Das Gesamturteil beurteilen die Studierenden durch das Vergeben einer Schulnote (GU1), der persönlichen Einschätzung des Stoffumfangs (GU2) und der Aufgabenschwierigkeit (GU3) sowie der Angabe, ob sie den Kurs an Kommiliton*innen weiterempfehlen würden (GU4).

Bis auf zwei Items zum Stoffumfang und zur Aufgabenschwierigkeit, die auf einer Verhältnisskala

von 1: „viel zu gering“ bis 5: „viel zu hoch“ eingestuft werden, erfolgt die Bewertung anhand fünfstufiger Likert-Skalen mit den, von der Frage abhängigen, Skalenniveaus von 1: „trifft gar nicht zu“ bzw. „sehr schlecht“ bis 5: „trifft vollständig zu“ bzw. „sehr gut“.

4. Ergebnisse

Zu Beginn der Lehrveranstaltung waren 300 Studierende in den *Moodle* Kurs der Vorlesung und die Kleingruppen zu den begleitenden Übungen eingeschrieben. Hiervon haben am Vorkurs im Schnitt 103 Studierende in einem Zeitraum von zwei Wochen vor bis vier Wochen nach Vorlesungsbeginn teilgenommen. Der Wert berechnet sich dabei aus dem Mittelwert der Teilnehmer*innenzahlen der fünf Tests. Der Vorkurs wird demnach, trotz des erstmaligen Einsatzes in der Lehrveranstaltung und des geringen Bekanntheitsgrades, von vielen Studierenden genutzt. Die Zahl der Studierenden, die am Vorkurs teilnimmt, ist dabei etwa halb so groß wie die Anzahl an Abgaben der ersten Hausübung und des ersten Lerntagebucheintrages ($M=230$).

Im Laufe des Semesters lassen die Bearbeitungen der Hausübung und besonders des Begleitkurses nach. Dabei liegt der Mittelwert der Teilnehmer*innenzahl des Begleitkurses über die insgesamt elf wöchentlichen Tests bei $M=40$. Die Zahl der abgegebenen Übungen und Lerntagebucheinträge beträgt im Schnitt über das gesamte Semester betrachtet $M=144$. Bei dem Vergleich ist zu beachten, dass es sich bei der Abgabe der Übungen und Lerntagebucheinträge, im Gegensatz zum Vor- und Begleitkurs, um eine Studienleistung handelt, die sich positiv auf die Abschlussnote auswirken kann.

Die verhältnismäßig geringe Zahl an Teilnehmenden des Begleitkurses wird in Bezug auf die Ergebnisse aus der Vorlesungs- und Übungsevaluation noch einmal aufgegriffen.

4.1. Ergebnisse aus Vorlesungs- und Übungsevaluation

Die wichtigsten Ergebnisse in Bezug auf die Fragestellungen I-III folgen aus den freien Kommentaren am Ende der Vorlesungs- und Übungsevaluation. Da die restlichen Items nur wenige Informationen zur Bewertung des Vor- und Begleitkurses enthalten, soll eine genauere Betrachtung daher an dieser Stelle nicht erfolgen. Insgesamt ist jedoch erkennbar, dass die Lehrveranstaltung von den Studierenden positiv bewertet wird. Einzig in der Bewertung der Übungen bzw. Übungsaufgaben sind einzelne Aspekte etwas schlechter bewertet worden. Anhand des offenen Feedbacks kann dies auf den Wunsch nach Musterlösungen und weiteren Übungsaufgaben zurückgeführt werden.

Der Vor- und Begleitkurs wird in den freien Kommentaren als „super gestaltet“ beschrieben. Studierende schätzen dabei besonders das spezifische

Feedback zu falschen Aufgabenantworten als „sehr hilfreich“ ein. Hinsichtlich des selbstregulierten Lernens wird in einem Kommentar die zeitliche Flexibilität und Anpassungsfähigkeit auf das eigene Lerntempo positiv bewertet. Auch die Möglichkeit, Schulwissen wiederholen und aufarbeiten zu können, sowie die Möglichkeit, die Aufgaben mehrfach zu nutzen, werden als hilfreich angeführt.

Weiterhin nennen Studierende im offenen Feedback zur Veranstaltung z. B. den Mangel an fehlenden Grundagentexten zu physikalischen Inhalten oder den großen „Sprung“ der Schwierigkeitsstufe von Vorlesung zu Übungsaufgaben. Dies bestätigt zunächst die Berücksichtigung dieser Aspekte bei der Gestaltung des Vor- und Begleitkurses. Andererseits lässt sich, vor dem Hintergrund der niedrigen Teilnehmer*innenzahlen am Begleitkurs, darauf schließen, dass der Bedarf an Grundagentexten bzw. weiteren Schwierigkeitsstufen durch die digitalen Inhalte noch nicht gedeckt oder der Vor- und Begleitkurs noch nicht allen Studierenden bekannt ist.

4.2. Ergebnisse der Evaluation des Vor- und Begleitkurses

Die Ergebnisse der insgesamt 35 ausgefüllten Fragebögen zur Evaluation des Vor- und Begleitkurses werden quantitativ in den Abbildungen 1 und 2 dargestellt und im Folgenden beschrieben.

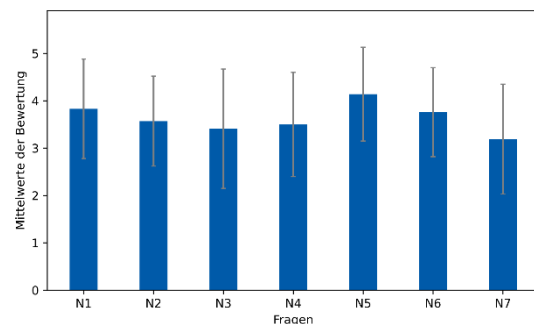


Abb.1: Grafische Darstellung der Mittelwerte inklusive Standardabweichungen bezüglich der Kategorie „Nutzen“ (N).

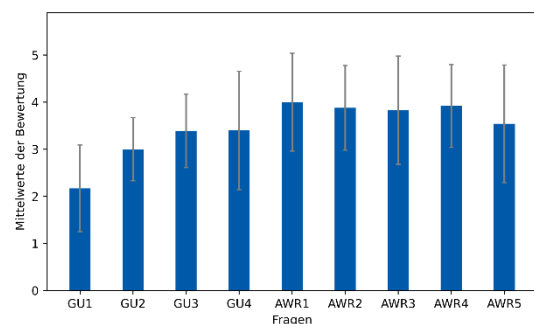


Abb.2: Grafische Darstellung der Mittelwerte inklusive Standardabweichungen bezüglich der Kategorien „Gesamturteil“ (GU) und „Anwendungsrahmen“ (AWR).

Aus der Erhebung geht hervor, dass durchschnittlich fünf Testinhalte des Vor- und Begleitkurses von den Teilnehmenden über das gesamte Semester bearbeitet wurden. Dies deckt sich mit den statistischen Werten

der Teilnehmer*innenzahlen im *Moodle* Kurs. Bei der Selbsteinschätzung der Physikkenntnisse vor der Lehrveranstaltung geben insgesamt 35% der Befragten an, sehr gute Physikkenntnisse auf dem Niveau eines Physik-Leistungskurses, einer technischen Ausbildung oder eines technischen bzw. naturwissenschaftlichen Studiums zu besitzen. 15% der Befragten geben an, Physikkenntnisse auf Schulniveau der Sekundarstufe I zu besitzen. Die übrigen 50% der Befragten besitzen nach eigenen Angaben Physikkenntnisse auf Schulniveau der Einführungsphase in der Sekundarstufe II.

In der Kategorie „Nutzen“ wird das spezielle Aufgabenfeedback (*N5*: $M=4.14$, $SD=0.99$) und der Beitrag zum Verständnis zu den Inhalten der Vorlesung (*N1*: $M=3.83$, $SD=1.05$) besonders hoch eingeordnet. Verhältnismäßig schlechter eingeschätzt wird das selbständige Bearbeiten (*N4*: $M=3.50$, $SD=1.10$) und die selbständige Lernstandeinschätzung (*N3*: $M=3.41$, $SD=1.26$). Dies deckt sich mit den Ergebnissen der Übungsevaluation. Des Weiteren wird die Förderung des physikalischen Grundlagenwissens durch das allgemeine Feedback (*N6*: $M=3.76$, $SD=0.94$) positiv bewertet. Den geringsten Nutzen des Vor- und Begleitkurses sehen die Studierenden darin, sich besser auf die Präsenzvorlesungen vorbereitet zu fühlen (*N7*: $M=3.19$, $SD=1.17$).

Die Bewertung des Anwendungsrahmens wird in Bezug auf die Aspekte „Benutzerfreundlichkeit“ (*AWR1*: $M=4.00$, $SD=1.04$), optische und inhaltliche Gestaltung“ (*AWR2*: $M=3.88$, $SD=0.90$), „zeitliche Einbettung“ (*AWR3*: $M=3.83$, $SD=1.15$) und „Verständlichkeit der Aufgaben“ (*AWR4*: $M=3.92$, $SD=0.88$) gut bewertet. Die schlechteste Bewertung in dieser Kategorie wird beim Aspekt „ausreichende Hilfsmittel“ (*AWR5*: $M=3.54$, $SD=1.25$) gegeben.

Im Rahmen der Ergebnisse zum Gesamturteil werden der Stoffumfang (*GU2*: $M=3.00$, $SD=0.67$) und die Schwierigkeit der Aufgaben (*GU3*: $M=3.39$, $SD=0.78$) von den Studierenden als angemessen eingestuft. Insgesamt wird der Vor- und Begleitkurs mit einer Schulnote von 2 bewertet (*GU1*: $M=2.17$, $SD=0.92$). Der Aussage „Ich würde den Vor- und Begleitkurs Kommiliton*innen weiterempfehlen“ stimmten die Studierenden nur teilweise zu (*GU4*: $M=3.40$, $SD=1.26$). Eine Analyse zu möglichen Gründen für die Bewertungen folgt im nächsten Abschnitt.

5. Diskussion

Hinsichtlich *Fragestellung I* schätzen die Studierenden besonders das individuelle Feedback zur Fehleranalyse sowie das allgemeine Feedback zum Aufarbeiten von physikalischem Grundlagenwissen förderlich für den erreichten Lernzuwachs ein. Anhand der beschriebenen Ergebnisse ist zu erkennen, dass das digitale Format des Vor- und Begleitkurses grundsätzlich positiv

angenommen wird. In Bezug auf *Fragestellung II* wird das Zusatzangebot von den Studierenden größtenteils zur Vorbereitung auf die Lernveranstaltung in Form des Vorkurses eingesetzt. Zusätzlich verwenden viele Studierende die digitalen Inhalte nach dem Vorlesungsbetrieb zur Klausurvorbereitung. Weniger Anwendung findet das digitale Angebot während des Semesters in Form des Begleitkurses.

Es werden nun mögliche Gründe für die schlechter bewerteten Aspekte der Evaluation beschrieben und im Anschluss zur Beantwortung von *Fragestellung III* mit einbezogen.

Ein möglicher Grund für den schlechter eingeschätzten Nutzenaspekt hinsichtlich der Vorbereitung auf die Vorlesung könnte sein, dass die Inhalte des Begleitkurses ein niedrigeres Anforderungsniveau haben als die Inhalte der Vorlesung. Dies folgt daraus, dass nicht darauf abgezielt werden soll die Vorlesung zu ersetzen, sondern hierfür die physikalischen Grundlagen zu fördern. Weiterhin stellt die selbständige Bearbeitung des Vor- und Begleitkurses für einige Studierende eine Herausforderung dar. Dies könnte auf die ungewohnte Handhabung der digitalen Antworteingabe von physikalischen Einheiten oder Formeln zurückzuführen sein, da diese Übung erfordert.

Dass Studierende den Vor- und Begleitkurs nur teilweise weiterempfehlen würden, kann eventuell anhand des zusätzlich entstehenden Zeitaufwands begründet werden. Dies deutet sich auch durch die geringen Teilnehmer*innenzahlen des Begleitkurses und der angegebenen Nutzung (vorrangig zur Vorbereitung auf die Klausur) an.

Für die Optimierung des Vor- und Begleitkurses lassen sich daraus verschiedene Konsequenzen ableiten. Um den zusätzlichen zeitlichen Aufwand zu verringern, könnte der Vor- und Begleitkurs in kommenden Semestern als ein Teil der Studienleistung von Physik-Servicelehrveranstaltungen besser integriert werden. Lehrende hätten dann die Möglichkeit, mit einem minimalen Zeitaufwand Übungsaufgaben durch Aufgaben aus dem digitalen Aufgabensortiment zu ersetzen und damit eine bessere Komplexitätsstufung zu erreichen [11].

Da außerdem der Wunsch nach weiteren Hilfestellungen zu den Inhalten geäußert wurde, werden in der Überarbeitung weitere Fach- und Informationstexte integriert. Dies lässt gleichzeitig einen verbesserten Umgang mit der Heterogenität der Vorkenntnisse der Studierenden zu [17].

6. Fazit und Ausblick

Zusammengefasst wird deutlich, dass die beschriebenen Evaluationskomponenten den Bedarf an digitalem Zusatzmaterial in Form eines Vor- und Begleitkurses zu Physik-Servicelehrveranstaltungen

hervorheben. Weiterhin zeigt sich, dass die Studierenden eine hohe Akzeptanz bezüglich des digitalen Formats haben und dessen Nutzen und Anwendungsrahmens insgesamt positiv beurteilt wird.

Im Hinblick auf die Teilnehmer*innenzahlen stellt sich heraus, dass, obwohl der Vorkurs von einem großen Teil der Studierenden genutzt wird, die Teilnahme am Begleitkurs abnimmt. Hier sollte darüber nachgedacht werden, ob eine bessere Integration des Begleitkurses in die Lehrveranstaltung hinsichtlich der zu erbringenden Studienleistung zu einer höheren Beteiligung führen könnte. Neben der Selbsteinschätzung des Lernzuwachses sollte weiter untersucht werden, wie bzw. ob sich der Einsatz der digitalen Inhalte auf die Leistungen in Abschlussprüfungen von Physik-Servicelehrveranstaltungen auswirkt.

Als Folge dieser Erhebung ist zukünftig geplant, die oben beschriebene Evidenz des Einflusses physikalischen Vorwissens auf den Erfolg in Physikveranstaltungen insbesondere in der Gruppe der Nebenfachstudierenden weiter zu untersuchen. Dazu soll eine detaillierte Betrachtung des physikalischen Vorwissens nach verschiedenen Vorwissensarten [18] erfolgen und untersucht werden, in welcher Hinsicht das digitale Angebot besonders fruchtbar sein kann.

7. Literatur

- [1] Homepage des Projekts digLL – digital gestütztes Lehren und Lehren in Hessen. Online abrufbar unter: <https://www.digll-hessen.de/> Abgerufen am 24.05.2021.
- [2] Schmitt, K. & Spatz, V. (2020): Online-Lernumgebung für Physik-Serviceveranstaltungen. In: PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung 2020.
- [3] Heublein, U & Schmelzer, R. (2018): Die Entwicklung der Studienabbruchquoten an den deutschen Hochschulen. DZWH-Projektbericht, Hannover 2018.
- [4] Albrecht, A. (2011): Längsschnittstudie zur Identifikation von Risikofaktoren für einen erfolgreichen Studieneinstieg in das Fach Physik. Dissertation, Freie Universität Berlin, Berlin 2011.
- [5] Bosse, E. & Trautwein, C. (2014): Individuelle und institutionelle Herausforderungen der Studieneingangsphase. Zeitschrift für Hochschulentwicklung, Jg.9/Nr.5, 41-62.
- [6] Krey, O. (2012): Zur Rolle der Mathematik in der Physik – Wissenschaftstheoretische Aspekte und Vorstellungen Physiklernender. Logos-Verlag, Berlin 2012.
- [7] Buschhüter, D., Spoden, C. & Borowski, A. (2016): Mathematische Kenntnisse und Fähigkeiten von Physikstudierenden zu Studienbeginn. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, Springer Verlag, Band 22, 61-75.
- [8] Freyer, K. (2013): Zum Einfluss von Studieneingangsvoraussetzungen auf den Studienerfolg Erstsemesterstudierender im Fach Chemie. Dissertation, Universität Duisburg-Essen.
- [9] Buschhüter, D., Spoden, C. & Borowski, A. (2016): Studienerfolg im Physikstudium: Inkrementelle Validität physikalischen Fachwissens und physikalischer Kompetenz. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, Springer Verlag, Band 23, 127-141.
- [10] Heublein, U., Schmelzer, R., Sommer, D. & Spangenberg, H. (2003): Ursachen des Studienabbruchs. Analyse 2002. Hannover: HIS.
- [11] Woitkowski, D. (2020): Komplexitätsgestaffelte Übungsaufgaben zur Unterstützung im ersten Semester Physik. In: PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung 2020.
- [12] Sangwin, C. J. (2015): Who uses STACK? A survey of users of the STACK CAA system, May 2015, Loughborough University, Juni 2015, Fachmedien Wiesbaden 2016.
- [13] Schecker, H., Wilhelm, T., Hopf, M., Duit, R. (Hrsg.) (2018): Schülervorstellungen und Physikunterricht, Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis. Springer Spektrum.
- [14] Schmitt, K. & Spatz, V. (2021): Anforderungen und Erwartungen an Physik-Servicelehrveranstaltungen. In: Habig, S. (Hrsg.): Naturwissenschaftlicher Unterricht und Lehrerbildung im Umbruch? Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik.
- [15] Enders, J. (2016): Peer Instruction und Flipped Classroom in der Service-Lehre Physik. In: PhyDid B, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung Hannover 2016.
- [16] Schwinger, M., Kärchner, H. & Gehle, M. (2020): Modularer Fragebogen zur Evaluation von digitalen Lehr-Lern-Szenarien. Innovationsforum Wirksamkeitsanalyse, Projekt digital gestütztes Lehren und Lernen in Hessen, Philips-Universität Marburg. Online verfügbar unter: <https://www.digll-hessen.de/projekt/innovationsforen/innovationsforum-wirksamkeitsanalyse/#fragebogen2> Abgerufen am 24.05.2021.
- [17] Bosse, E. et al. (2019): Gelingendes Studieren in der Studieneingangsphase. Ergebnisse und Anregungen für die Praxis aus der Begleitforschung zum Qualitätspakt Lehre im Projekt StuFHe. Veröffentlicht im Rahmen des StuFHe – Projekts.
- [18] Hailikari, T., Nevgi, A. & Lindblom-Ylänne (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 (2007), 320-337.

Fachwissen und Problemlösen im Physikstudium

- Abschlussbericht des Forschungsprojektes KEMΦ -

David Woitkowski*

*Universität Paderborn, Didaktik der Physik, Warburger Straße 100, 33098 Paderborn
david.woitkowski@gmail.com

Kurzfassung

Die Studieneingangsphase im Fach Physik fordert von den Studienanfängern den Aufbau vielfältiger Fertigkeiten und Fähigkeiten. Zwei wichtige standen im Fokus des Projektes KEMΦ (Kompetenzentwicklung Physik in der Studieneingangsphase): Das physikalische Fachwissen, welches in Vorlesungen gelehrt wird und in Übungen (und z. T. auch in Praktika) angewandt werden muss, sowie die physikbezogene Problemlösefähigkeit, ohne die ein erfolgreiches Bearbeiten von Übungszetteln oder Klausuraufgaben kaum möglich ist.

Diese beiden Fähigkeiten wurden bei Physik-Fach- und -Lehramts-Studierenden in den Jahren 2015–2020 zu je drei Testzeitpunkten im ersten Studienjahr längsschnittlich erhoben. Zur Erhebung des Fachwissens wurden ein etabliertes Testinstrument und ein komplexitätsbasiertes Niveaumodell verwendet. Für die Erhebung von Problemlösefähigkeiten wurde ein neues Testverfahren entwickelt, welches sich nah an typischen Übungszettel-Aufgaben als einer wichtigen Problemlösesituation des Physikstudiums orientiert.

Auf Basis dieser Daten können z. B. Aussagen über typische Entwicklungsverläufe im Fachwissenwerb und Charakterisierungen von Hoch- und Niedrigperformern angegeben werden. Ebenso können differenzierte Analysen der Schwierigkeiten Studierender beim Lösen häufiger Problemstellungen angestellt werden.

1. Ausgangsfragen und Zielsetzung

Um mit fachlichen Anforderungen wie Übungsaufgaben und Klausuren in der Studieneingangsphase Physik erfolgreich umgehen zu können, benötigen Studierende Fachwissen und Problemschemata. Zentrale Zielvorstellung ist die Aufklärung von typischen Verläufen des Erwerbs dieser beiden Ressourcen im ersten Studienjahr sowie deren Determinanten. Dies kann zu empiriebasierten Gestaltungsvorschlägen in der Hochschullehre führen.

Diese Ressourcen wurden in zwei parallel angelegten Arbeitsmodulen erhoben: Im Modul FW wurde die Komplexität des Fachwissens der Studierenden erfasst; im Modul PL die Problemschemata, die die Studierenden in fachlichen Anforderungssituationen nutzen können. Die beiden Module sehen je drei Testzeitpunkte im ersten Studienjahr vor [1].

Hypothetisch kann ein Entwicklungsverlauf angenommen werden, bei dem die Entwicklung von komplexem Fachwissen und Problemschemata sich gegenseitig beeinflussen und die Entwicklung des einen auf dem Vorhandensein des anderen aufbaut.

2. Grundlagen

2.1. Modul FW: Komplexes Fachwissen

Anhand der Testergebnisse eines vorhandenen Fachwissenstest (basierend auf [3]) sollten ein Modell und Determinanten einer längsschnittlich erfassten Fachwissensentwicklung generiert werden.

Zentrale Merkmale des getesteten Fachwissens sind dessen Komplexität (vgl. [4]) sowie die Wissensfa-

cette (vgl. Abb. 1). Dabei stellt die Komplexität das zentrale schwierigkeiterzeugende Aufgabenmerkmal dar. Die drei Wissensfacetten können als verknüpfte, aber (einigermaßen) unabhängig voneinander aufbaubare Wissensbestände aufgefasst werden. Inhaltlich enthält der Test Aufgaben zur Mechanik, die ab dem ersten Semester einsetzbar sind. Dazu kommen als Determinanten mehrere Begleitskalen zur Demographie, Mathematik (16 Items aus [5]), wahrgenommenen Studienbedingungen [6,7], Effort und Importance [8], Academic Buoyancy [9] sowie Motivation und Lernverhalten [3].

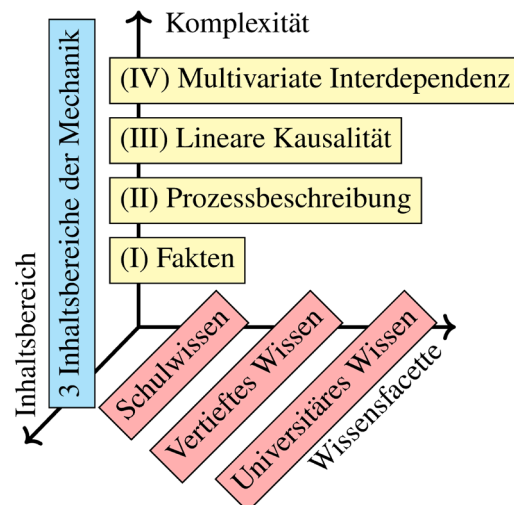


Abb. 1: Überblick über das Strukturmodell des getesteten Wissens [2,3].

Mittels einer Rasch-Analyse können Studierende post-hoc Niveaus zugeordnet werden, die jeweils dadurch gekennzeichnet sind, dass Studierende auf einem Niveau k die Aufgaben der Komplexität k und darunter hinreichend sicher lösen können, Aufgaben höherer Komplexität aber nicht [3, 10]. Auf dieser Basis kann die Entwicklung des physikalischen Fachwissens kriterial beschrieben und analysiert werden.

2.2. Modul PL: Problemlösen

Typische Übungsaufgaben (aber auch andere fachliche Anforderungen) im Physikstudium genügen der Problemdefinition von Smith: „Ein Problem ist jede Aufgabe, die das Analysieren und Schlussfolgern auf ein Ziel (oder eine ‚Lösung‘) hin benötigt. Dieses Analysieren und Schlussfolgern muss auf einem Verständnis der Domäne, aus der die Aufgabe stammt, beruhen. Ein Problem kann nicht durch Erinnern oder Reproduzieren gelöst werden [...]. Ob es sich bei einer Aufgabe um ein Problem handelt oder nicht, ist nicht davon abhängig, wie schwierig oder verwirrend es für den vorgesehenen Löser ist.“ [14] (Übersetzung [15; S. 44]). Typische Schritte zur Lösung solcher „wissenszentrierter“ Probleme beschreibt das Modell des wissenszentrierten Problemlösens von Friege (Abb. 2) [13].

Als zentrale Ressource können dabei neben dem Fachwissen die Problemschemata gelten. Damit wird nach [16] (vgl. auch [13, 15]) diejenige Ressource des Expertenwissens bezeichnet, welche die Erfahrung oder Expertise in einer gegebenen Domäne bezeichnen. Dabei handelt es sich um verknüpftes und zur routinierten und prozeduralisierten Anwendung aufbereitetes Wissen, welches bei bestimmten Aufgabentypen oder -gruppen eingesetzt werden kann. Sie enthalten überdies die aus der Analyse von Beispielproblemen [17] stammende heuristische

Information, bei welchen Aufgabenstellungen welches Problemschema eine schnelle und gezielte Lösung ermöglicht [18].

Es ist zu vermuten, dass sich die in Modul FW nach Niveau unterschiedenen Gruppen auch im Grad der Ausprägung der vorhandenen Problemschemata unterscheiden, welche sich jedoch nicht ohne weiteres distal erfassen lassen. Diese Unterschiede sollten im Modul PL aufgeklärt werden. Dazu wurde ein Performanztest entwickelt, der sich an der Studienrealität des Übungszettels als häufiger Problemlösesituation orientiert. Eine Interview-Vorstudie (in Kohorte 2) hatte bereits ergeben, dass ein Großteil der Studierenden Lösungen zu Übungsaufgaben von Kommilitonen oder aus dem Internet abschreibt [19]. Dies und auch das sonstige Arbeitsverhalten, das fachbezogene Selbstkonzept und die allgemeine Wahrnehmung der Studieneingangsphase scheinen hier deutlich mit dem Fachwissenserwerb zusammen zu hängen [20].

3. Überblick über die Ergebnisse des Projekts

3.1. Stichprobe und Erhebungszeitpunkte

Die Tests der Module FW und PL wurden in fünf bzw. drei Kohorten längsschnittlich eingesetzt (Tabelle 1). Die Testzeitpunkte verteilen sich wie in Abbildung 3. In Kohorte 2 wurde eine Interviewstudie (IW) zur Vorbereitung des Moduls PL durchgeführt, dessen Testinstrumente im weiteren Verlauf der Kohorte erprobt wurden. Aufgrund einer weltweiten Pandemie konnte der dritte Testzeitpunkt in Kohorte 5 in Ermangelung eines geordneten Lehrbetriebs an den meisten deutschen Universitäten nicht durchgeführt werden.

Alle erhobenen Daten und alle eingesetzten und entwickelten Testinstrumente wurden inklusive Begleitmaterial dem Verbund Forschungsdaten Bildung zur anonymisierten Veröffentlichung angeboten [21].

3.2. Modul FW: Fachwissensentwicklung

Bereits aus vorangegangenen Studien mit demselben Testinstrument war bekannt, dass Studierende in Fach- und Lehramtsstudiengängen mit durchweg geringem Fachwissen ins Studium starten, was sich im Erreichen niedriger Komplexitäts-Niveaus ausdrückt. Dabei sind die Fähigkeiten im Schulwissen erwartungsgemäß besser als im universitären Wissen [22]. Auch im weiteren Studienverlauf weist etwa ein Drittel der Studierenden lediglich sehr niedrige Niveaus auf [10].

Die erhobenen Daten wurden längsschnittlich ausgewertet – was das wesentliche Novum dieses Datensatzes gegenüber früheren Studien darstellt – und laufend Teilergebnisse veröffentlicht:

3.2.1. Entwicklung der Wissensfacetten

Auf Basis eines Teildatensatzes von 122 Probanden (Kohorten 1–3) zu den Testzeitpunkten 1 und 2 wurde die Korrespondenz der erreichten Niveaus

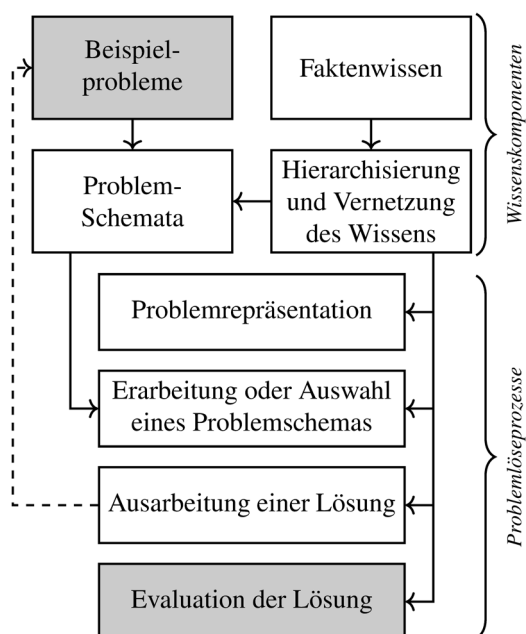


Abb. 2: Modell des wissenszentrierten Problemlösens [13].

| Kohorte | Zeitraum | Modul | Standorte | N (insgesamt) | N (längsschnitt) |
|---------------|-------------------|-------|-------------|---------------|------------------|
| 1 | 2015–2016 | FW | A (2x) | 120 | 59 |
| 2 | 2016–2017 | FW | A, B, C | 72 | 39 |
| | | IW | A | 8 | 6 |
| 3 | 2017–2018 | FW | A, D, E, F | 151 | 45 |
| | | PL | A | 8 | 6 |
| 4 | 2018–2019 | FW | A, F, G, H | 283 | 85 |
| | | PL | A, F, G | 18 | 8 |
| 5 | 2019–2020 | FW | A, H (2x) | 131 | – |
| | | PL | A, H (2x) | 10 | – |
| Summe: | 5 Kohorten | FW | 8 Standorte | 757 | 228 |
| | 3 Kohorten | PL | 4 Standorte | 36 | 14 |

Tab. 1: Kohortenüberblick. Zu jeder Kohorte ist jeweils der Erhebungszeitraum, die durchgeführten Module, die Gesamtzahl der Proband/innen sowie die Zahl der Proband/innen, für die ein vollständiger Längsschnitt vorliegt, angegeben. Die teilnehmenden Standorte sind anonymisiert.

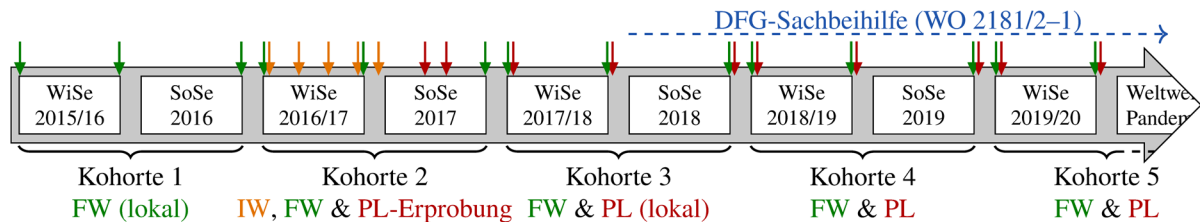


Abb. 3: Übersicht über die Kohorten und Testzeitpunkte (TZP). Die PL-Tests fanden jeweils zwei bis drei Wochen nach den entsprechenden FW-Tests statt.

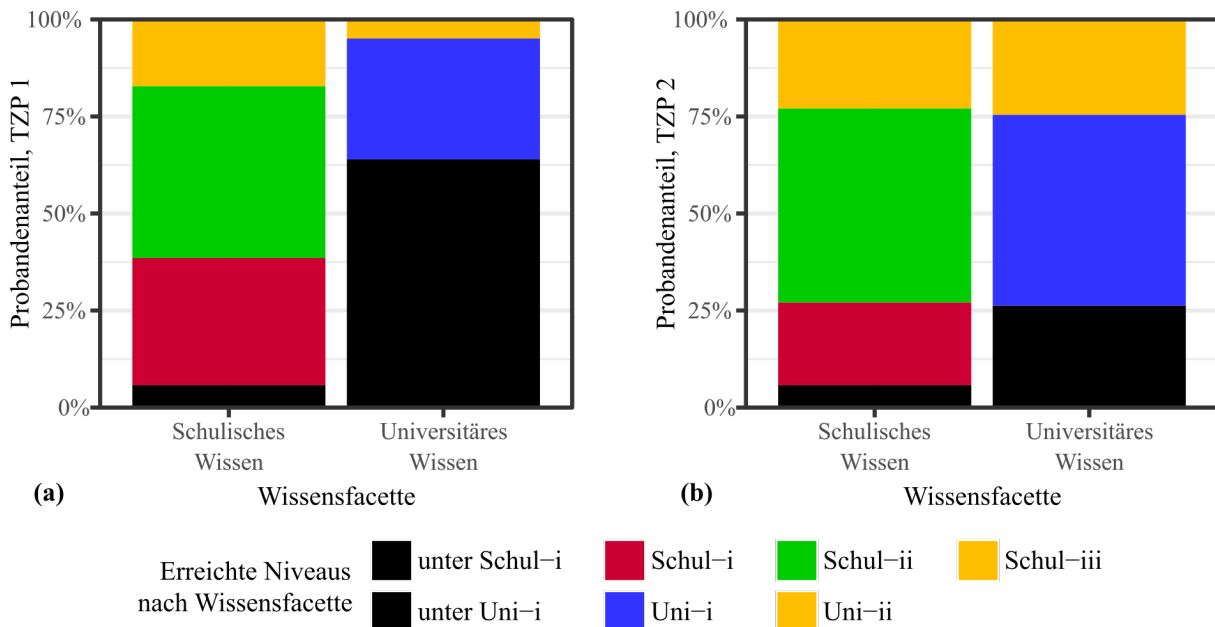


Abb. 4: Häufigkeit der erreichten Niveaus zu TZP 1 (a) und TZP 2 (b) in eine Datensatz aus 122 Probanden aus Kohorten 1 bis 3 [2; S. 106].

zwischen der schulischen und universitären Wissensfacette überprüft [2]. Es zeigt sich hier erwartungsgemäß ein großer Probandenanteil, der zu TZP 1 selbst die einfachsten Aufgaben im universitären Wissen nicht lösen kann. Zum zweiten Test-

zeitpunkt steigen über drei Viertel der Probanden zumindest auf das erste Niveau auf. Im Schulwissen befinden sich hingegen bereits zu Beginn viele Probanden auf höheren Niveaus, es zeigt sich aber kein substantieller Anstieg zu TZP 2 (Abb. 4). Wie hypo-

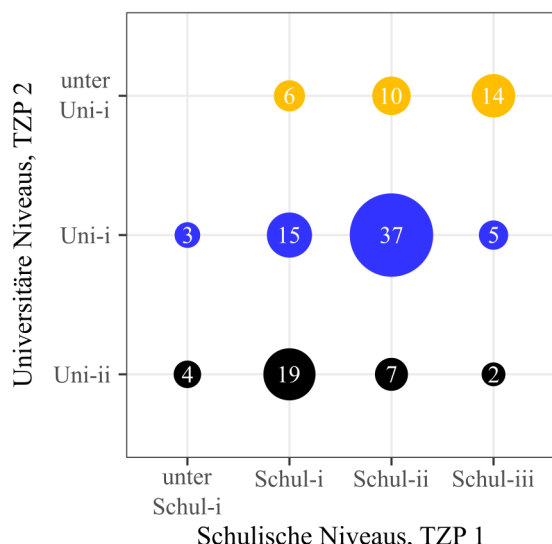


Abb. 5: Erreichtes universitäres Niveau zu TZP 2 in Abhängigkeit des schulischen Niveaus zu TZP 1 bei 122 Probanden aus Kohorten 1 bis 3 [2; S. 108].

thetisch erwartet zeigt das Schulwissen zu TZP 1 eine signifikante Prädiktionskraft für das universitäre Wissen zu TZP 2, die über den schlichten Effekt der Korrelation der beiden Facetten signifikant hinausgeht (Abb. 5, [2]).

In diesem Datensatz zeigt sich, dass eine Trennung nach Wissensfacetten aufgrund eines Prä-Test-Effektes vor allem im universitären Wissen zu sehr schlechten Skalen-Reliabilitäten führt. Dieser Effekt kann wahrscheinlich auch durch eine größere Stichprobe kaum ausgeglichen werden, sondern resultiert aus den geringen Vorkenntnissen der Studierenden. Aus diesem Grunde wurde in späteren Analysen nur noch die Fachwissens-Gesamtskala betrachtet.

3.2.2. Determinanten der Entwicklung

Auf Basis eines Teildatensatzes von 228 vollständigen Längsschnitten aus den Kohorten 1–4 konnten

weitergehende Analysen des Entwicklungsverlaufes angegeben werden [23]. Abbildung 6 zeigt den Verlauf über die drei Testzeitpunkte. Es kann eine typische Zunahme an erreichter Komplexität als $M=0.91$ ($SD=0.87$) – also etwa 1 Niveau pro Jahr – angegeben werden. Dies entspricht der hypothetisch angenommenen Lerngeschwindigkeit.

Personen, die 2 oder mehr Niveaus aufsteigen, können somit als *high performer*, solche, die keinen Aufstieg oder gar einen Niveauabstieg zeigen, als *low performer* identifiziert werden. Diese beiden Extremgruppen unterscheiden sich in mehreren deskriptiven Eigenschaften: Neben einer allgemeinen Geschlechterdisparität zugunsten männlicher Probanden zeigen *high performer* eine signifikant bessere Abiturnote sowie bessere Mathematikkenntnisse zu TZP 1. Dagegen zeichnen sich *low performer* neben dem Geschlecht besonders durch eine geringere soziale Integration aus. Im analysierten Datensatz wurden 32 % der Probanden als *low* und 23 % als *high performer* identifiziert.

3.3. Modul PL: Problemschemata und Lösungsschwierigkeiten

3.3.1. Entwicklung des Testinstruments

Anders als im Modul FW stellt die Erarbeitung und Validierung des Testinstruments im Modul PL eine wesentliche Herausforderung dar.

Aus testökonomischen Gründen wurden drei Schemata ausgewählt, von denen jeweils eines zu jedem Testzeitpunkt mit einem Übungszettel und einem anschließenden Interview erhoben wurde [24, 25].

Die Aufgabenstellungen kamen dabei aus einer Reanalyse vorhandener Übungsaufgaben (Abb. 7). Sie sind so strukturiert, dass alle Aufgaben auf einem Zettel mit demselben Problemschema lösbar sind (Tab. 2). Da eine gezielte Variation der Komplexität mit dem gewünschten Realitätsgrad der Aufgaben nicht vereinbar war, wurden stattdessen

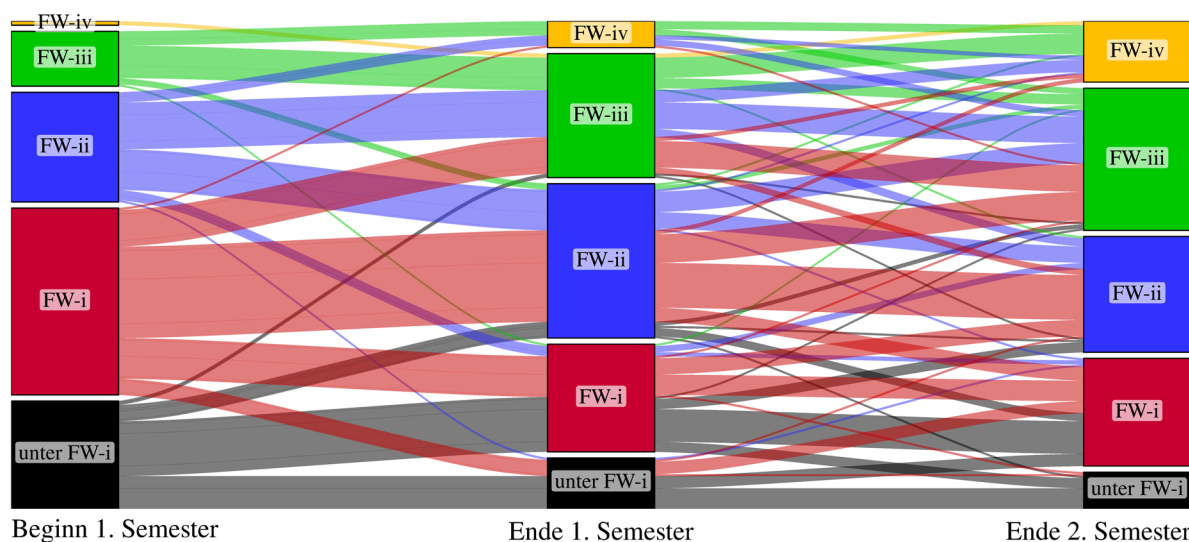


Abb. 6: Alluvial-Diagramm mit der Wissensentwicklung von 228 Studierenden aus den Kohorten 1–4 [23].

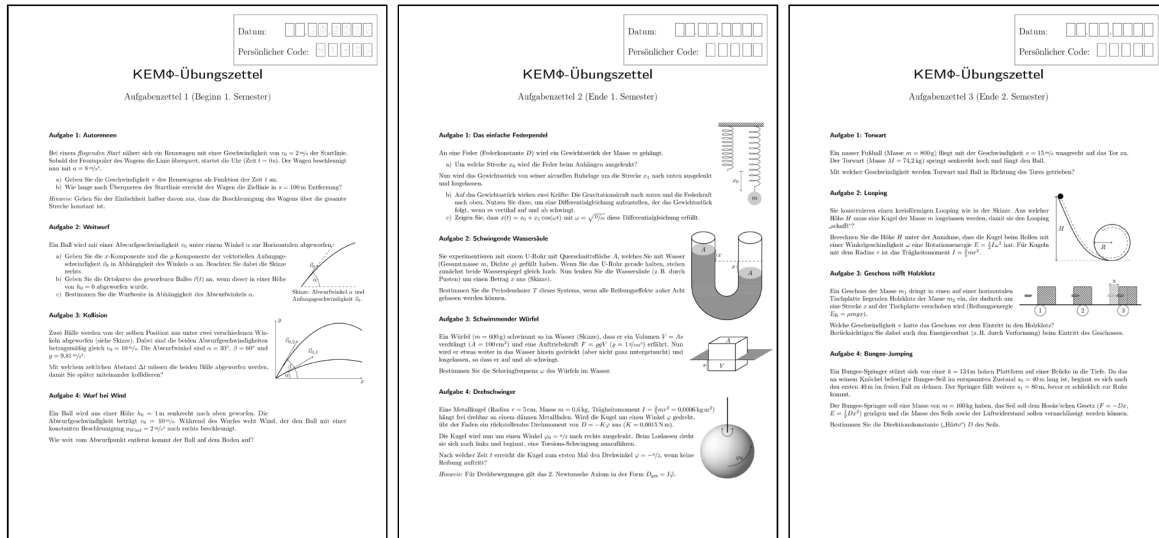


Abb. 7: Aufgabenzettel zu den drei Testzeitpunkten.

| TZP | Allg. Schema | Inhaltsbereich | Aufgabentyp |
|-----|-----------------------------|--|---|
| 1 | Überlagerung von Bewegungen | Beschleunigte Bewegungen Bewegungsgleichungen | Bewegungsgleichung aufstellen und nach gefragter Größe (Zeiten, Orte) lösen |
| 2 | Kraftansatz | Kraftanalyse, Harmonische Schwingung | Kräftegleichgewicht führt zu DGL, nach Parametern der Schwingung (Frequenz, Schwingungsdauer) ist gefragt |
| 3 | Energie-/ Impulsansatz | Energie-/Impulserhaltung, Stöße | Analyse des Zustandes zu 2 oder 3 verschiedenen Zeitpunkten, Aufstellung von Energie-/Impulstermen, lösen nach Geschwindigkeit, Energie oder Impuls zu einem der Zeitpunkte |

Tab. 2: Verteilung von allg. Problemschemata [15; 98ff], Inhaltsbereiche und Aufgabentypen auf die Testzeitpunkte.

| | |
|--------|---|
| Teil 0 | <i>Aufgaben und Lösungen nicht vorliegend</i> Worum ging es in den Aufgaben insgesamt? Möglichst spezifische Beschreibung. (Repräsentation) Gab es Gemeinsamkeiten zwischen den Aufgaben? (Oberflächen/Merkmale, Problemschema) |
| Teil 1 | <i>Lösungen nicht vorliegend</i> Vorgehen bei der Bearbeitung (Reihenfolge, Übereinstimmung mit realem Übungszettel) Angenommener Lösungserfolg (Selbsteinschätzung, Erkennen richtiger/falscher Lösungen) Aufgaben nach Schwierigkeit sortieren (Schwierigkeitserzeugende Merkmale, Reflexion eigener Fähigkeiten) |
| Teil 2 | <i>Aufgaben werden in der Reihenfolge der Lösung durchgegangen</i> Verständlichkeit der Aufgabe (Probleme bei der Repräsentation oder beim Fachwissen) Vorgehen bei der Lösung (Wie Ansatz gefunden? Indizien für Schemata) Probleme bei der weiteren Lösung (Faktoren, die evtl. zum Aufgeben führen, fehlendes Wissen) |
| Teil 3 | Vergleich mit realen Übungszetteln (Validität bzgl. Schwierigkeit der Aufgaben/des Vorgehens) |

Tab. 3: Überblick über den Interviewablauf. In Klammern ist jeweils die Frageintention angedeutet.

andere Aufgabencharakteristika, wie die Angabe konkreter Zahlenwerte, systematisch variiert [25].

Die Probanden durften zur Lösung beliebige (externe) Ressourcen nutzen, so dass das Vorgehen bei der Lösung echter Übungsaufgaben möglichst realitätsnah abgebildet wurde. Während der Lösung sollten sie laut denken [vgl. 26]. Bei der Analyse wurde dann berücksichtigt, inwiefern die Aufgaben selbst oder nur mit Hilfe gelöst wurden [24, 25].

Zu jedem Zettel existiert eine Musterlösung inklusive einer Explikation des nutzbaren Problemschemas [18]. Eine Befragung von Lehrenden an den Erhe-

bungsstandorten ergab eine valide Zuordnung der Aufgaben zu den Testzeitpunkten [25].

Im Anschluss an die Bearbeitung der Aufgaben nahmen die Probanden jeweils an einem etwa 25-minütigen leitfadengestützten Interview teil (Tab. 3). Hier sollten sie ihre Vorgehensweise, Ideen und Probleme bei der Problemlösung erklären. Außerdem wurden Fragen gestellt, die eher auf die Lösungsintentionen, Problemrepräsentation und Schemata abzielten, welche im Lauten Denken nur schwer nachvollziehbar sind.

3.3.2. Allgemeiner Lösungserfolg

Der allgemeine Lösungserfolg wurde entlang des Modells des wissenszentrierten Problemlösens (Abb. 2) kodiert [24, 25]. Einen Überblick zeigt Abbildung 8. Ein nennenswerter Teil der Probanden kann dabei entweder für *alle* Aufgaben einen (einigermaßen) korrekten Ansatz vorweisen (grün oder gelb) oder für *keine* der Aufgaben (rot oder violett). Dies kann als Validitätshinweis gesehen werden, da die Zettel so konstruiert sind, dass sie mit demselben Problemschema bearbeitbar sind, welches entweder für alle Aufgaben erfolgreich eingesetzt werden kann oder für keine.

3.3.3. Spezifische Schwierigkeiten bei der Lösung

Aus der Literatur wurden bekannte Schwierigkeiten bei der Problemlösung zusammengestellt [13, 16, 29–39]. Wie Abbildung 8 zeigt, treten vor allem die Herausforderungen häufig auf, die mit der Problemrepräsentation und mit dem Finden eines Ansatzes zusammenhängen. Auch erfolgreiche Probanden hatten häufig Schwierigkeiten mit einzelnen physikalischen Begriffen oder mit der Mathematik [27, 28].

3.3.4. Problemschemata

Die valide und reliable Identifikation von Problemschemata über die bisherigen Ergebnisse hinaus hat sich als außerordentlich schwierig herausgestellt. Zur Verbesserung der Situation wurde im Interviewleitfaden (Tab. 3) ein Teil 0 ergänzt, in dem gezielt nach Indikatoren für das Vorhandensein von Sche-

mata gefragt wird. Zur Analyse wurden der Literatur wiederum Kriterien für das Vorhandensein von Problemschemata entnommen [16, 29, 31–33], ebenso für deren Entwicklung während der Arbeit am Aufgabenzettel [17] oder für das Nicht-Vorhandensein [33, 34].

In ersten Analysen zeigt etwa die Hälfte der Probanden keine Anzeichen für die Verfügbarkeit von Problemschemata [18, 24]. Anzeichen für ein sicheres Beherrschen der jeweils geforderten Problemschemata zeigen jeweils nur einzelne Personen.

3.3.5. Längsschnittliche Untersuchung

Bisher liegen nur wenige längsschnittliche Analysen vor. Die Zuordnung zu zwei Gruppen mit hohem bzw. niedrigem Lösungserfolg erscheint in der Teilstichprobe aus Kohorte 3 relativ stabil. Personen, die ihr Studium abbrechen zeigen zu TZP 1 eher einen schwächeren Lösungserfolg [24]. Ein Lerneffekt wurde nur bei einzelnen Studierenden sichtbar [25].

Eine Analyse der gegenseitigen Abhängigkeit der Entwicklungen von Fachwissen und Problemschemata steht ebenfalls noch aus.

4. Diskussion und Ausblick

4.1. Forschungsstand

In Modul FW wurde zum ersten Mal eine längsschnittliche Analyse des physikalischen Fachwissenenserwerbs in der Studieneingangsphase vorgelegt. Die generelle Tendenz der Entwicklung und ihrer

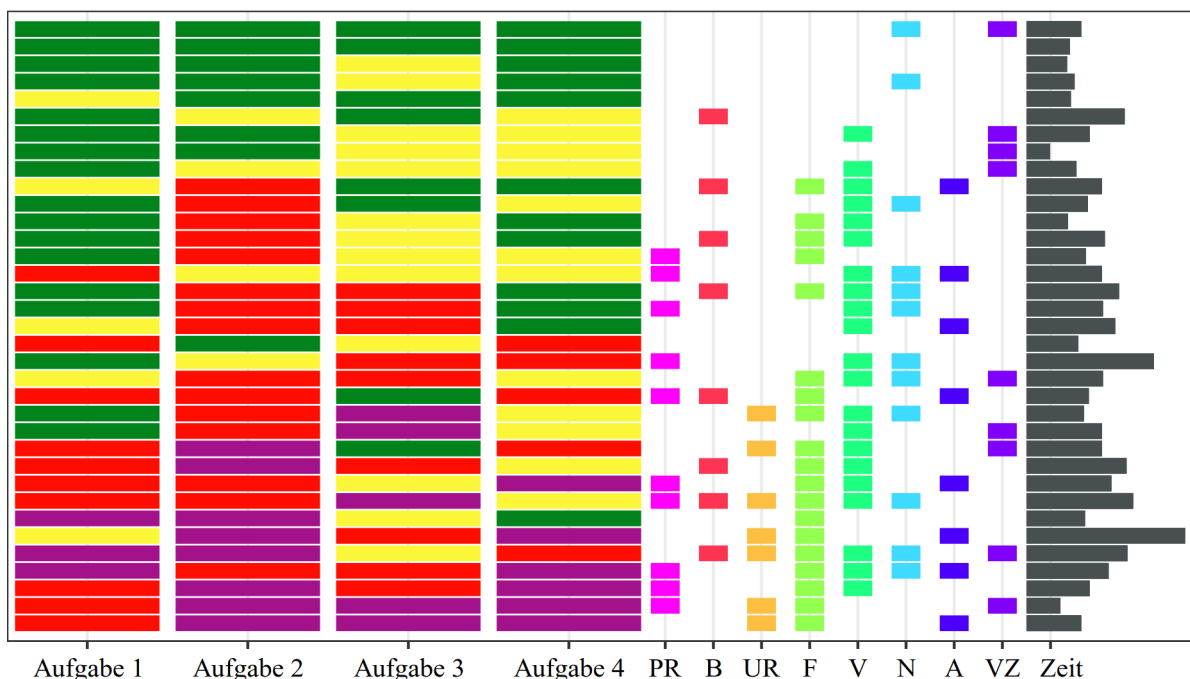


Abb. 8: Überblick über die Ergebnisse der Probanden zu TZP 1 anhand von 35 Probanden der Kohorten 3–5 [27]. Der Allgemeine Lösungserfolg ist links eingetragen (violett = kein oder falscher Lösungsansatz; rot = unvollständiger Lösungsansatz; gelb = richtiger Ansatz aber Fehler in der Ausarbeitung; grün = vollständig korrekte Lösung; [24, 25]), die spezifischen Schwierigkeiten rechts (PR = Problemrepräsentation; PT = Physikalische Begriffe; UR Unstrukturierte Recherche; MF = Formel fehlt oder nicht bekannt; FP = Weiteres Vorgehen unklar; NO = Fehlerhafte mathematische Notation; AL = Algebraisch falsch; QN = Numerisch falsche Lösung; [28]). Ganz rechts findet sich die Gesamt-Bearbeitungsdauer.

Prädiktoren und Geschwindigkeit entspricht den theoretischen Erwartungen. Die differenzierte Abhängigkeit der Wissensfacetten untereinander hat sich als weniger eindeutig herausgestellt als hypothetisch angenommen. Parallel haben andere Forschungsprojekte grundsätzlich ähnliche Ergebnisse geliefert [40, 41].

In Modul PL konnte erstmalig ein Test und ein validiertes Auswerteverfahren vorgelegt werden, welches den ganzen Problemlöseprozess für typische Aufgabenstellungen auf universitärem Niveau in einem realitätsnahen Setting abbildet. Frühere Projekte hatten vor allem Teilfähigkeiten oder proximale Merkmale (z. B. mit Sortieraufgaben) getestet [13, 15, 42].

4.2. Anwendungsperspektiven

Bereits parallel zu Kohorte 2 wurden Implikationen der theoretischen Grundlagen für das Modul PL (Abb. 2) in einer Lehrveranstaltung implementiert, die das Problemlösen in der Hochschulphysik gezielt fördern soll [43]. Basierend auf der Komplexitätstheorie und den Ergebnissen aus Modul FW wurden komplexitätsgestaffelte Übungsaufgaben zum gezielten Fachwissensaufbau vorgeschlagen [44].

In Kooperation mit dem Lernzentrum *Physiktreff* an der Universität Paderborn wurden die Ergebnisse mehrerer Forschungsprojekte sowie die Erfahrungen aus den Unterstützungsangeboten des Lernzentrums zum Projekt $PS\Phi$ zusammengeführt [45]. Hier wurden die Instrumente aus dem vorliegenden Projekt zur Evaluation der Wirksamkeit der Studieneingangsphase eingesetzt. Auf Basis dieser Ergebnisse konnten Veränderungen an bestehenden curricularen und extracurricularen Lehrangeboten (u. a. Präsenzübungen, komplexitätsgestaffelte Übungsaufgaben in den Grundlagenvorlesungen) abgeleitet werden, die als Best-Practice-Beispiele für andere Projekte zur Studiengangsentwicklung dienen können [46].

5. Literatur

- [1] Woitkowski, D. (2018): Fachwissen und Problemlösen im Physikstudium: Vorstellung des Forschungsprojektes KEM Φ . In: *PhyDid B – Didaktik der Physik – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung Würzburg*, S. 125–131.
- [2] Woitkowski, D. (2019): Erfolgreicher Wissenserwerb im ersten Semester Physik: Analyse mithilfe eines Niveaumodells. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 25, Nr. 1, S. 97–114
- [3] Woitkowski, D. (2015): *Fachliches Wissen Physik in der Hochschulausbildung: Konzeptualisierung, Messung, Niveaubildung*. Dissertation. Berlin: Logos
- [4] Bernholt, S.; Parchmann, I. (2011): Assessing the complexity of students' knowledge in chemistry. In: *Chemistry Education Research and Practice* 12, Nr. 2, S. 167
- [5] Krause, F.; Reiners-Logothetidou, A. (1981): *Kenntnisse und Fähigkeiten naturwissenschaftlich orientierter Studienanfänger in Physik und Mathematik: Die Ergebnisse des bundesweiten Studieneingangstests Physik 1978*. Bonn: Universität Bonn
- [6] Albrecht, A.: *Längsschnittstudie zur Identifikation von Risikofaktoren für einen erfolgreichen Studieneinstieg in das Fach Physik*. Berlin, Freie Universität Berlin, Fachbereich Physik. Dissertation. 2011.
- [7] Burger, R.; Groß, M. (2016): Gerechtigkeit und Studienabbruch. Die Rolle der wahrgenommenen Fairness von Benotungsverfahren bei der Entstehung von Abbruchsintentionen. In: *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft* 19, Nr. 3, S. 625–647
- [8] Sundre, D. L. (2007): *The Student Opinion Scale (SOS), A measure of examinee motivation: Test Manual*. Harrisonburg: Center for Assessment and Research Studies, James Madison University
- [9] Neumann, I.; Sorge, S.; Jeschke, C; Heinze, A.; Neumann, K. (2016): Zur Academic Buoyancy von Physikstudierenden. In: Maurer, C. (Hrsg.): *Authentizität und Lernen - das Fach in der Fachdidaktik*. Regensburg: Universität Regensburg, S. 86–88
- [10] Woitkowski, D.; Riese, Josef (2017): Kriterienorientierte Konstruktion eines Kompetenzniveau-modells im physikalischen Fachwissen. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 23, Nr. 1, S. 39–52
- [11] Dawson-Tunik, T. L. (2006): Stage-Like Patterns in the Development of Conceptions of Energy. In: Liu, X.; Boone, W. J. (Hrsg.): *Applications of Rasch Measurement in Science Education*. Maple Grove: JAM Press, S. 111–136
- [12] Armon, C.; Dawson, T. L. (1997): Developmental Trajectories in moral reasoning across the life span. In: *Journal of Moral Education* 26, Nr. 4, S. 433–453
- [13] Friege, G. (2001): *Wissen und Problemlösen: Eine empirische Untersuchung des wissenszentrierten Problemlösens im Gebiet der Elektrizitätslehre auf der Grundlage des Experten-Novizen-Vergleichs*. Berlin: Logos
- [14] Smith, M. U. (1991): A View from Biology. In: Smith, M. U. (Hrsg.): *Toward a unified Theory of Problem Solving: Views from the Content Domains*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum, S. 1–19
- [15] Brandenburger, M. (2016): Was beeinflusst den Erfolg beim Problemlösen in der Physik?: Eine Untersuchung mit Studierenden. Berlin: Logos
- [16] Reinhold, P.; Lind, G.; Friege, G. (1999): Wissenszentriertes Problemlösen in Physik. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*

- ten 5, Nr. 1, S. 41–62 – Überprüfungsdatum 2013-10-17
- [17] Kolodner, J. L. (1983): Toward an understanding of the role of experience in the evolution from novice to expert. In: *International Journal of Man-Machine Studies* 19, S. 497–518
- [18] Woitkowski, D. (2020): Ressourcen zur Problemlösung: Problemschemata. In: Habig, S. (Hrsg.): *Naturwissenschaftliche Kompetenzen in der Gesellschaft von morgen*. Duisburg-Essen: Universität Duisburg-Essen, S. 373–376
- [19] Woitkowski, D.; Reinhold, P. (2018): Strategien und Probleme im Umgang mit Übungsaufgaben : Pilotergebnisse einer Interviewstudie im ersten Semester Physik. In: Maurer, C. (Hrsg.): *Qualitätsvoller Chemie- und Physikunterricht: Normative und empirische Dimensionen*. Regensburg: Universität Regensburg, S. 726–729
- [20] Woitkowski, D.; Breitkopf, S. (2019): Fähigkeitsselbstkonzept und Lernerfolg im ersten Fachsemester Physik. In: *die Hochschullehre* 5, S. 855–876
- [21] Woitkowski, D. (2021). *KEMΦ – Kompetenzentwicklung Physik in der Studieneingangsphase*. Datenerhebung: 2015–2020, Version: 1.0.0. Hannover: FDZ-DZHW. Datenkuratierung: Daniel, A., Ikiz, D. doi: 10.21249/DZHW:kemphi2016:1.0.0
- [22] Woitkowski, D. (2017): Studieneingangsprofile in Fach- und Lehramts-Studiengängen Physik: Eine kontrastierende Analyse auf Basis eines Kompetenzstrukturmodells für Fach-Physiker. In: *Physik und Didaktik in Schule und Hochschule* 16, Nr. 1, S. 43–56.
- [23] Woitkowski, D. (2020): Tracing Physics Content Knowledge Gains Using Content Complexity Levels. In: *International Journal of Science Education* 42, Nr. 10, S. 1585–1608
- [24] Woitkowski, D. (2020): Surveying University Students' Problem Solving Skills in Realistic Settings, Strand 17. In: Levrini, O.; Tasquier, G. (Hrsg.): *Electronic Proceedings of the ESERA 2019 Conference.: The Beauty and Pleasure of Understanding: Engaging With Contemporary Challenges Through Science Education*. Bologna: University of Bologna, S. 2008–2014
- [25] Woitkowski, D. (2019): Erhebung der Problemlösefähigkeit im Physikstudium : Vorstellung eines Erhebungsverfahrens. In: Maurer, C. (Hrsg.): *Naturwissenschaftliche Bildung als Grundlage für berufliche und gesellschaftliche Teilhabe*. Regensburg: Universität Regensburg, S. 492–495
- [26] Sandmann, A. (2014): Lautes Denken : Die Analyse von Denk-, Lern- und Problemlöseprozessen. In: Krüger, D.; Parchmann, I.; Schecker, H. (Hrsg.): *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung*. Berlin: Springer, S. 179–188
- [27] Woitkowski, D. (eingereicht): Problem solving abilities in first year university physics. In: *International Journal of Science Education*
- [28] Woitkowski, D. (2021): Problemlösefähigkeiten zu Studienbeginn. In: Habig, S. (Hrsg.): *Naturwissenschaftlicher Unterricht und Lehrerbildung im Umbruch?* Duisburg-Essen: Universität Duisburg-Essen.
- [29] Larkin, J. H. (1983): The Role of Problem Representation in Physics. In: Gentner, D.; Stevens, A. L. (Hrsg.): *Mental Models*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum, S. 75–98
- [30] Savelsbergh, E. (1998): *Improving Mental Representations in Physics Problem Solving*. Enschede: Twente University
- [31] Simon, D. P.; Simon, Herbert Alexander (1978): Individual differences in solving physics problems. In: Siegler, R. (Hrsg.): *Children's thinking: What develops? Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum, S. 325–348*
- [32] VanLehn, K. (1989): *Problem Solving and Cognitive Skill Acquisition*. In: Posner, M. L. (Hrsg.): *Foundation of Cognitive Science*. Cambridge, MA: MIT Press, S. 527–579
- [33] Chi, Michelene T. H.; Glaser, R.; Rees, E. (1982): Expertise in problem solving. In: Sternberg, R. J. (Hrsg.): *Advances in the Psychology of Human Intelligence*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- [34] Schultz, K.; Lochhead, J. (1991): A View from Physics. In: Smith, M. U. (Hrsg.): *Toward a unified Theory of Problem Solving: Views from the Content Domains*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum, S. 99–114
- [35] Larkin, J. H.; McDermott, J.; Simon, D. P.; Simon, H. A. (1980): Expert and novice performance in solving physics problems. In: *Science* 208, Nr. 4450, S. 1335–1342
- [36] Larkin, J. H.; McDermott, J.; Simon, D. P.; Simon, H. A. (1980): Models of Competence in Solving Physics Problems. In: *Cognitive Science* 4, S. 317–345
- [37] Redish, E. F. (2006): Problem Solving and the Use of Math in Physics Courses. In: arXiv preprint arXiv:physics/0608268
- [38] Bing, T.; Redish, E. F. (2009): Analyzing problem solving using math in physics: Epistemological framing via warrants. In: *Physical Review Special Topics - Physics Education Research* 5, Nr. 2
- [39] Wilcox, B. R.; Caballero, M. D.; Rehn, D. A.; Pollock, S. J. (2013): Analytic framework for students' use of mathematics in upper-division physics. In: *Physical Review Special Topics - Physics Education Research* 9, Nr. 2
- [40] Müller, J. (2019): *Studienerfolg in der Physik: Zusammenhang zwischen Modellierungskompetenz und Studienerfolg*. Berlin: Logos

- [41] Buschhüter, D.; Spoden, C.; Borowski, A. (2017): Studienerfolg im Physikstudium: Inkrementelle Validität physikalischen Fachwissens und physikalischer Kompetenz. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften 23, Nr. 1, S. 127–141
- [42] Binder, T.; Schmiemann, P.; Theyßen, H. (2019): Erfassung von fachspezifischen Problemlöseprozessen mit Sortieraufgaben in Biologie und Physik. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften 27, Nr. 1, S. 101
- [43] Woitkowski, D. (2018): Physikalische Denk- und Arbeitsweisen erlernen: Ein Vorlesungs-/Übungskonzept entlang des ACER-Modells. In: Herausforderung Lehrer_innenbildung - Zeitschrift zur Konzeption, Gestaltung und Diskussion 1, Nr. 1, S. 1–16.
- [44] Woitkowski, D. (2020): Komplexitätsgestaffelte Übungsaufgaben zur Unterstützung im ersten Semester Physik. In: PhyDid B – Didaktik der Physik – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung Bonn, S. 85–90
- [45] Bauer, A. B.; Lahme, S.; Woitkowski, D.; Vogelsang, C.; Reinhold, P. (2019): PSΦ: Forschungsprogramm zur Studieneingangsphase im Physikstudium. In: PhyDid B – Didaktik der Physik – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung Aachen, S. 53–60.
- [46] Bauer, A. B.; Woitkowski, D.; Reuter, D.; Reinhold, P. (2021): Fachliche und überfachliche Herausforderungen in der Studieneingangsphase Physik : Das Forschungs- und Entwicklungsprogramm PSΦ. In: Fahr, U.; Zacherl, R.; Angenent, H.; Eßer, A.; Kergel, D.; Kergel-Heidkamp, B. (Hrsg.): Hochschullehre erforschen! Berlin: Springer.

Förderung

Gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) – WO 2181/2-1.

Computational Playground

Eine Rasch-Analyse zum Computational Thinking
bei Sachunterrichtsstudierenden im Lehr-Lern-Labor

Martin Brämer, Daniel Rehfeldt & Hilde Köster

Freie Universität Berlin, Habelschwerdter Allee 45, 14195 Berlin
braemer@zedat.fu-berlin.de, hilde.koester@fu-berlin.de

Kurzfassung

„Informatische Bildung“ soll, wie von der KMK oder auch von sachunterrichtsdidaktischer Seite gefordert, Teil des Sachunterrichts werden. Dieser Vorgang stellt einen Transfer einer Innovation in ein bestehendes Bildungssystem und somit eine besondere Herausforderung dar: Für diesen Transfer muss eine entsprechende Qualifizierung von angehenden Lehrkräften im Lehramtsstudium sichergestellt werden. Da informatische Fachkompetenzen bei Grundschullehramtsstudierenden jedoch bisher wenig erforscht wurden, wurde im QL-B-Projekt K2teach an der Freien Universität Berlin eine Studie durchgeführt, die einerseits auf die Kreuzvalidierung eines Tests zum sogenannten Computational Thinking bei Studierenden fokussiert und andererseits darauf, inwiefern die Teilnahme an einem entsprechend ausgerichteten Seminar im Lehr-Lern-Labor-Format Einfluss auf dessen Ausprägung nimmt. Die Ergebnisse zeigen sowohl eine Eignung des Tests auf Basis der Rasch-Modellierung als auch einen signifikanten Anstieg der Fähigkeiten im Bereich des Computational Thinking durch den Besuch des Lehr-Lern-Labors.

1. Problemaufriss

Aktuelle gesellschaftliche Entwicklungen in Zusammenhang mit der Digitalisierung führen uns vor Augen, dass praktisch alle Bereiche des Lebens und der Gesellschaft von digitalen Wandlungsprozessen betroffen sind und es kaum noch möglich ist, sich diesem Einfluss zu entziehen (vgl. Schaar, 2017, S. 105). In der Literatur herrscht daher Einigkeit darüber, dass in einer hoch technologisierten Welt die Fähigkeit, mit Informatiksystemen (wie bspw. dem Smartphone, Tablets oder anderen Computern) umzugehen, eine Kompetenz darstellt, die über die reine Nutzung hinaus eine kritische Haltung sowie Wissen über Funktionsweisen und Auswirkungen dieser umfassen sollte (vgl. Gallenbacher 2015; Román-González, Pérez-González, Jiménez-Fernández, 2017, S. 678; Resnick, 2017; Papert, 1982). Die KMK fordert daher schon seit dem Schuljahr 2018/19, dass auch Grundschulkinder „Kompetenzen in einer digitalen Welt“ erwerben sollen (2017, S. 19). Dies bedeutet jedoch, dass neue Inhalte wie die Informatik in den Sachunterricht der Grundschule und somit auch in die Ausbildung von angehenden Grundschullehrkräften integriert werden müssen (bspw. KMK, 2017, S. 25).

Da es sich bei der Informatik jedoch um ein neues Themengebiet für die Grundschule handelt, kann hierbei von einem „Transfer einer Innovation“ (Gräsel, 2010, S. 8) in ein bestehendes Bildungssystem gesprochen werden. Im Bereich der Transferforschung konnte anhand verschiedener Studien gezeigt werden, dass insbesondere motivationale Komponenten sowie fach- und unterrichtsbezogene Kompetenzen der

Lehrkräfte in diesem neuen Bereich entscheidend dafür sind, ob dieser nachhaltig in den Unterricht transferiert wird (Trempler, Schellenbach-Zel & Gräsel, 2013, S. 344, Jäger, 2004). Sollen also zukünftig informatische Inhalte in den Sachunterricht integriert werden, sind eine entsprechend hohe Motivation sowie domänenspezifische Kompetenzen möglichst bereits im Studium anzulegen.

An der Freien Universität (FU) Berlin wurde daher im Rahmen des durch das BMBF geförderten Projektes K2teach (Qualitätsoffensive Lehrerbildung – siehe Anhang) für den Bachelorstudiengang Grundschulpädagogik im Fach Sachunterricht eine neue Lehrveranstaltung mit informatischen Inhalten im Format eines sog. *Lehr-Lern-Labors* (LLL; Köster, Mehrstens, Brämer & Steger, 2019; Brämer, Rehfeldt, Bauer, & Köster, 2020a) entwickelt. Grundlegend für dieses LLL mit dem Titel *Computational Playground* ist das Konzept des *Computational Thinking* (CT; Wing, 2006), welches vereinfacht als (kognitive) Fähigkeit zum problemlösenden (inkl. prozeduralem, algorithmischem) Denken sowie Konzeptwissen im Bereich der Informatik beschrieben werden kann.

Nach einer Entwicklungs- und Optimierungszeit des neuartigen LLL sollte untersucht werden, ob die Teilnahme am LLL die Fähigkeit zum CT bei den Studierenden fördert. Um diese Frage beantworten zu können, sind Kenntnisse darüber erforderlich, inwiefern die Studierenden über entsprechende CT-Fähigkeiten verfügen. Dazu liegen in Deutschland bisher jedoch noch keine Studienergebnisse vor (vgl. Hsu, Chang & Hung, 2018). Wir entschlossen uns daher, auf einen

bereits verfügbaren und validierten CT-Test zum ‚Informatischen Denken‘ (vgl. Wing, 2006) zurückzugreifen. Dieser wurde jedoch bisher lediglich für Schüler:innen in der Sekundarstufe validiert (Román González et al., 2017; Guggemos, Seufert & Román-González, 2019). Unsere Untersuchung fokussiert daher zunächst auf eine Kreuzvalidierung dieses CT-Tests in Bezug auf Grundschullehrer:innen-Studierende. Daran anschließend wurde mithilfe einer Interventionsstudie im Pre-Post-Design festgestellt, ob die Teilnahme am Lehr-Lern-Labor-Format das Computational Thinking (CT) bei den Studierenden fördert.

2. Theoretischer Bezugsrahmen

Die theoretische Basis der Untersuchungen bilden die Theorie zum Professionswissen nach Shulman (1987) sowie nach Baumert und Kunter (2006) und das Konstrukt des Computational Thinking (Wing, 2006, 2017; Papert, 1982).

2.1 Fachwissen als Facette professioneller Handlungskompetenz von Lehrkräften

Inzwischen hat sich die Unterteilung des sog. *Professionswissens* (als ein Element professioneller Kompetenz von Lehrkräften) nach Shulman (1987) in die drei zentralen Facetten *Fachwissen*, *Fachdidaktisches Wissen* und *Pädagogisches Wissen* durchgesetzt (neben dem *Organisations-* und *Beratungswissen*; s. Baumert & Kunter, 2006). Im deutschsprachigen Raum wird daher insbesondere in der fachdidaktischen und bildungswissenschaftlichen Forschung oftmals auf Shulman's Modell zurückgegriffen.

Nach Shulman (1987) bezeichnet das fachspezifische Inhaltswissen bzw. das Fachwissen das Verständnis von Lehrenden hinsichtlich der Struktur eines fachwissenschaftlichen Gegenstandes, seiner „salient concepts, relations among concepts“ (ebd.) sowie deren Konventionen, welche allgemein in der jeweiligen Fachdisziplin gelten. Goodson, Hopmann und Riquarts (1999) bezeichnen das Fachwissen daher auch gemeinsam mit dem fachdidaktischen Wissen als einen „Handlungsrahmen der Lehrertätigkeit“ (ebd.).

Im Rahmen der professionellen Handlungskompetenz von Lehrerinnen und Lehrern weisen Baumert und Kunter (2006) dem Fachwissen eine grundlegende Bedeutung zu als „notwendige aber nicht hinreichende Bedingung für qualitätsvollen Unterricht und Lernfortschritte der Schülerinnen und Schüler [...]. Fachwissen ist die Grundlage, auf der fachdidaktische Beweglichkeit entstehen kann“ (ebd., S. 496). Dem Erwerb von fachspezifischem Inhalts-/Konzeptwissen im Bereich der Informatik wird für angehende Grundschullehrkräfte daher zukünftig eine höhere Bedeutung zukommen.

2.2 Computational Thinking

Sollen Lehrkräfte oder Studierende Kompetenzen bzgl. informatischer Inhalte erwerben, werden neben einem informatischen „Konzeptwissen“ (vgl. Döbeli Honegger, 2017, S. 60) auch grundlegende

Handlungskompetenzen relevant. Diese Aspekte lassen sich im Bereich der Informatik unter dem von Papert (1982) eingeführten Begriff *Computational Thinking* fassen, welcher international auch als Schlüsselkonzept für die sogenannten ‚21st-century skills‘ gilt (Wing, 2006, Voogt, Fisser, Good, Mishra & Yadav, 2015).

In der deutschsprachigen Informatikdidaktik wurde mit den *GI-Standards* der Gesellschaft für Informatik e.V. (GI, 2019) bereits ein sehr ausdifferenziertes Modell für informatische Bildungsstandards etabliert, welches aber lediglich einzelne Aspekte des CT enthält (Steiner & Himpsl-Gutermann, 2020, S. 7). Diese Standards bieten jedoch aufgrund ihrer stark am systematischen Aufbau als Fachdisziplin orientierten Struktur zwar eine sehr gute Orientierung, jedoch eher weniger interdisziplinäre Anknüpfungspunkte an bspw. die Medienbildung, Digital Literacy oder andere Fachdisziplinen. Auch dem Sachunterricht und seinem vielperspektivischen Ansatz ist das Konzept des CT daher u. E. näher als die GI-Standards (vgl. GDSU, 2021; Brämer, Straube, Köster, & Romeike, 2020b; Straube, Brämer, Köster & Romeike, 2018).

Noch fehlt es zwar bisher am Konsens über eine umfassende Definition des CT-Konzepts (Gouws, Bradshaw & Wentworth, 2013; Kalelioglu, Gülbahar & Kukul, 2016) und es besteht noch Uneinigkeit darüber, wie das CT in Curricula integriert werden sollte (Lye & Koh, 2014), es existiert aber eine Definition, auf die sich ein Großteil von Autor:innen einigen konnten (vgl. bspw. Weigend, 2009; Engbring, 2017; Serafini, 2011; Guggemos et al., 2019). Diese Definition nach Wing beschreibt CT als: „*Computational thinking is the thought processes involved in formulating a problem and expressing its solution(s) in such a way that a computer — human or machine — can effectively carry out.*“ (Wing, 2017, S. 8).

CT beschreibt dementsprechend die (kognitive) Fähigkeit, Denkprozesse zum Problemlösen so zu formulieren, dass deren Lösung in Form von „computational steps“ (Aho, 2012, S. 832) bzw. Algorithmen dargestellt werden kann, welche wiederum von Computern, Menschen oder einer Kombination aus beidem ausgeführt werden können. Die Maschinen bzw. Computer sind in dieser Definition entsprechend nicht als konstitutiv zu betrachten.

3. Forschungsstand zum CT bei Studierenden im Grundschullehramt / Sachunterricht

In Deutschland fehlt es derzeit noch an quantitativen Erhebungen der Fähigkeit zum CT bei Grundschullehrer:innen-Studierenden. Im Bereich des informatischen Fachwissens wurden jedoch bereits erste Studien durchgeführt. So fand Gläser (2020) bei 33 Sachunterrichtsstudierenden mittels strukturierender qualitativer Inhaltsanalysen heraus, dass das geäußerte Fachwissen zum Thema Digitalisierung „überwiegend zwischen rudimentären Anfangswissen und Reproduzieren von elementarem Faktenwissen einzustufen“

(ebd., S. 318) sei. „Erklärungen, die grundlegende Kenntnisse aufzeigen, sind dagegen selten.“ (ebd., S. 318) Insbesondere der Begriff ‚digital‘ wird hierbei häufig nicht mit digitalen Daten in Verbindung gebracht, sondern bspw. synonym mit Begriffen wie Strom/Energie, neue Medien oder Internet (ebd., S. 318).

Dengel und Heuer (2017) befragten 167 Lehramtsstudierende (von denen 126 für das Grundschullehramt studierten) mithilfe eines qualitativen Fragebogens zu ihren Vorstellungsbildern hinsichtlich des Internets. Auffällig war hierbei ein signifikanter Zusammenhang ($\chi^2 = 5,656$, $p = .017$) „zwischen den Eigenschaften ‚studiert Grundschullehramt‘ und ‚hat eine falsche Vorstellung‘. Grundschullehramtsstudierende zeigten dementsprechend häufiger fachliche Fehlannahmen als Sekundarstufenlehramtsstudierende (ebd., S. 7). Von 87 Grundschullehramtsstudierenden hatten 78 als ‚falsch‘ kategorisierte Vorstellungen und nur 18 zutreffende (ebd., S. 93).

Eine eigene in 2019 durchgeführte quantitative Fragebogenstudie zu informatischen Fähigkeiten (Brämer, Rehfeldt & Köster, 2021) mit $n = 61$ Grundschullehramtsstudierenden im Sachunterricht zeigte eine geringe selbsteingeschätzte Programmierfähigkeit. Lediglich 21% der Studierenden gaben an, entsprechende Fähigkeiten zu besitzen.¹

Auch international existieren bisher keine quantitativen Erhebungen von CT-Fähigkeiten bei Grundschullehramtsstudierenden. Zwei quantitative Studien, bei denen jeweils CT-Tests zur Anwendung kamen, wurden lediglich mit Sekundarstufenschüler:innen durchgeführt (Román-González, 2017; ICILS, 2018).

Eine Untersuchung aus der Schweiz zu den Programmierkenntnissen von 85 Grundschulpädagogikstudierenden stützt die Ergebnisse der in Deutschland durchgeführten Studien, da diese Studierenden ähnliche Angaben machten: lediglich 10% gaben an, Programmierkenntnisse zu besitzen; auch hier zeigten sich wiederholt fachliche Fehlannahmen, und der Begriff ‚Informatik‘ wurde häufig mit dem Umgang mit Medien oder einer Medienkompetenz gleichgesetzt (Döbeli Honegger & Hielscher, 2017, S. 103).

Eine der wenigen Studien, welche explizit CT in Lehramtsstudiengängen erforscht, stammt aus den USA. Yadav, Mayfield, Zhou, Hambrusch und Korb (2014) forderten 294 Lehramtsstudierende der Primar- und Sekundarstufe u. a. dazu auf, CT zu definieren und ihre Vorstellungen zum Unterrichten in Bezug auf den Erwerb von CT-Fähigkeiten zu beschreiben. Die Ergebnisse zeigten eher oberflächliche Vorstellungen von CT und damit einhergehend auch darüber, wie ein entsprechender Unterricht gestaltet

werden könnte. Auch hier wurde CT oft mit dem Umgang mit Medien gleichgesetzt. Die Lehrpersonen, die CT als den ‚Umgang mit Medien‘ verstanden, dachten außerdem, dass der Einsatz von Medien im Unterricht CT fördert. Eine an diese Erhebung anschließende kurze Intervention (Dauer unter zwei Stunden) zeigte allerdings bereits einen Wissenszuwachs in Bezug auf die Definition von CT sowie einen Zusammenhang mit der Bereitschaft, CT zu unterrichten (ebd.).

4. Forschungsfragen und Hypothesen

4.1 Kreuzvalidierung CT-Test

Zusammenfassend lassen sich auf Basis des Forschungsstandes folgende Schlüsse ziehen:

CT-Fähigkeiten wurden in Deutschland bisher noch nicht quantitativ bei Studierenden für das Grundschullehramt erhoben. Für die Sekundarstufe existiert jedoch ein bereits validierter Test.

Bei den zitierten Studien wurde insgesamt ein eher niedriges Niveau an informatischem Fach-/Konzeptwissen detektiert. Dies lässt vermuten, dass auch die Fähigkeit zum CT bei Grundschullehramtsstudierenden eher gering ausgeprägt sein dürfte. Der bereits validierte CT-Test aus der Sekundarstufe könnte daher auch für diese Stichprobe geeignet sein. Ob diese Annahme zutrifft, sollte jedoch auf Basis der neuen Stichprobe validiert werden.

Es stellt sich daher als **erste Forschungsfrage** (FF 1):

FF 1 (Kreuzvalidierung des CT-Tests): Ist der CT-Test aus der Sekundarstufe auch zur Messung von CT-Fähigkeiten angehender Sachunterrichtslehrkräften geeignet?

4.2 CT-Förderung (LLL-Intervention)

Im zweiten Schritt sollte untersucht werden, ob die Teilnahme am LLL die Fähigkeit zum CT bei den Studierenden fördert. Zur Förderung der Fähigkeit zum CT bei Studierenden im Grundschullehramt bzw. des Sachunterrichts existieren nach unseren Recherchen bislang keine Untersuchungen. Die Ergebnisse von Yadav et al. (2014) geben jedoch Hinweise darauf, dass eine Förderung sogar bereits im Rahmen kurzer Interventionen möglich ist. Eine Förderung im Rahmen eines einsemestrigen Seminars im LLL-Format sollte daher umso besser gelingen.

Diese optimistische Annahme resultiert auch aus den Ergebnissen, die im Rahmen der oben bereits zitierten (eigenen) (Interventions-) Studie (Brämer, Rehfeldt & Köster, 2021) mit $n = 61$ Grundschullehramtsstudierenden bzgl. der Förderung des Interesses gewonnen wurden: Durch die Teilnahme an einem Lehr-Lern-Labor (LLL) mit informatischen Inhalten

¹ Im Rahmen dieser Untersuchung wurde außerdem das für einen späteren Transfer relevante Interesse der Studierenden an Informatik erhoben. Es zeigte sich ein eher gering ausgeprägtes Interesse ($d = 1.53***$) in Relation zur Eichstichprobe, wobei diese Ergebnisse mit Vorsicht zu interpretieren sind; genaueres siehe Brämer, Rehfeldt, Bauer & Köster, 2020a.

konnten die zuvor geringen *informatikbezogenen Interessen* signifikant gesteigert werden ($d = 0.65^*$; ebd.).

Ob ein solches LLL neben dem Interesse jedoch auch die CT-Fähigkeiten positiv beeinflussen bzw. fördern kann, wurde bislang noch nicht untersucht. Im naturwissenschaftsbezogenen Sachunterricht und in anderen fachlichen/-didaktischen Domänen konnten Studien zur Wirksamkeit des Formats Lehr-Lern-Labor aber bereits einen Zuwachs des jeweils adressierten Fachwissens durch LLL-Interventionen nachweisen (bspw. Völker & Trefzger, 2010; 2011; Anthofer & Tepner, 2016; Kobl & Tepner, 2019; Köster et al., 2019).

Die **zweite Forschungsfrage** folgt daher der Annahme, dass ein LLL (mit informatikbezogenen Inhalten) auch den Erwerb der Fähigkeit zum CT bei Lehramtsstudierenden im Grundschullehramt fördern kann:

FF 2 (Interventionsstudie im LLL): Inwiefern lässt sich die Fähigkeit zum CT in einem Lehr-Lern-Labor fördern?

5. LLL-Intervention ‚Computational Playground‘

An der FU Berlin sind LLL im Studienfach Sachunterricht universitäre Seminare, in denen Lehramtsstudierende fachbezogene und didaktische Kompetenzen erwerben und darauf gründend theoriegeleitet Lernumgebungen für Grundschul Kinder entwickeln. Diese werden in komplexitätsreduzierter, universitärer Umgebung mit Kindergruppen (i.d.R. ganze Grundschulklassen der Jahrgänge 1-4) praxiserprobt, dann gemeinsam im Seminar reflektiert, ggf. optimiert und erneut in einer Praxisphase erprobt (vgl. Brämer & Köster, 2021, S. 6; Rehfeldt, Seibert, Klempin, Lücke, Sambanis & Nordmeier, 2018). Aufgrund dieser Verzahnung der Theorie- und Praxisphasen kann davon ausgegangen werden, dass die Motivations- und Herausforderungslage im Sinne eines problemorientierten Lernens (Reusser, 2005) und konkreter eines generativen Problemlösens (Klauser, 1998, S. 278) bei den Studierenden günstiger ausfallen kann, als bei vergleichbaren ‚Theorieseminaren‘, wo der Anwendungskontext bzw. die Praxis fehlt oder eher abstrakt ausfällt. Damit beugen LLL dem Erwerb trägen Wissens (Renkl, 1996) vor, wie auch die Studien von Seibert, Rehfeldt, Klempin, Mehrrens, Nordmeier, Sambanis, Köster & Lücke (2019) nahelegen.

Das hier untersuchte LLL mit dem (bewusst mögliche Hemmschwellen bei der Wahl des Seminars berücksichtigenden) Titel ‚Computational Playground‘ besteht aus drei aufeinander folgenden Phasen: In der ersten Phase erwerben die Studierenden Fachwissen aus dem Bereich der Informatik bzw. des CT. Hierbei wurde zunächst auf Basis von Alltagsphänomenen (wie bspw. dem Prozess des Händewaschens) ein grundlegendes Verständnis über die zugrundeliegenden Konzeptionen (Schleifen, Bedingungen, und

Sequenzierungen bspw.) von CT in Anlehnung an Brennan und Resnick (2012) gelegt. Diese nun bekannten Konzepte finden im Anschluss Anwendung in verschiedenen grafischen Programmierungsumgebungen sowie bei der Programmierung von Robotern, Mikrokontrollern u.ä.. Im letzten Teil dieser Phase wird das Wissen anhand von Fachtexten aus dem Bereich des CT vertieft. Der Grad der Abstraktion nimmt in dieser Phase dementsprechend stetig zu (vom Alltagswissen zum Fachtext aus der Informatik).

In der zweiten Phase werden das erworbene Fachwissen und die grundlegenden Konzepte aus dem Bereich des CT auf fachdidaktische Inhalte bezogen. In diesem Zusammenhang beschäftigen sich die Studierenden mit Gemeinsamkeiten und Unterschieden zwischen CT und dem Forschenden Lernen (Köster & Galow, 2017) sowie mit möglichen curricularen Einbettungen informatischer Inhalte in den Perspektivrahmen (GDSU, 2013) und dem Diskurs um eine digitale Perspektive im Sachunterricht (Brämer et al., 2020b; Straube et al., 2018).

Die dritte Phase umfasst zunächst die Planung der zu gestaltenden Lernumgebungen sowie die parallel dazu stattfindenden Beobachtungsaufträge im Rahmen der Praxisphase mit Kindergruppen an der Universität. Die Lernumgebungen werden in Anlehnung an die gemeinsam erarbeiteten curricularen Zielstellungen (digitale Perspektive), dem Konzept des Forschenden Lernens (Köster & Galow, 2017) sowie einer fachdidaktischen Aufschlüsselung von Konzepten und Fähigkeiten im CT (Brennan & Resnick, 2012) angelegt. Die Beobachtungen finden wiederum auf Basis dieser fachdidaktischen Grundlegung statt. Hierfür werden zunächst möglichst ausführliche Textvignetten auf Basis eigener Beobachtungen erstellt und erst im Anschluss der Praxisphasen kriteriengeleitet auf Basis der besprochenen Konzepte ausgewertet. In diesen letzten beiden Phasen nimmt das Abstraktionsniveau dementsprechend kontinuierlich ab (vom Fachtext aus der Informatik zur Reflexion von Lernprozessen von Grundschulkindern auf Basis von Handlungen).

6. Design und Forschungsmethoden

Die LLL-Intervention Computational Playground fand im Sommersemester 2019 im 6. Semester des Studienfachs Sachunterricht statt und wurde mittels Pre-Post-Verfahren evaluiert. Dabei wurde der CT-Test von Román-González et al. (2017) mittels Online-Fragebogen und einem Zeitlimit von 20 Minuten eingesetzt.

Da dieses LLL insbesondere auf die Verzahnung der Theorie- und Praxisphasen sowie deren Einfluss auf CT fokussiert, wurde zusätzlich mit einer Parallelgruppe (PG) ein Seminar mit gleichem Inhalt, aber ohne Schüler:innenbesuche durchgeführt. Eine Baseline-Erhebung in einer Kontrollgruppe (KG) erfolgte im Rahmen eines Seminars mit nicht informatischen, sondern naturwissenschaftlichen Inhalten. Bei allen

Erhebungen wurde mit einem quasiexperimentellen Design (ohne Randomisierung) gearbeitet. Beide Teilstudien wurden im Jahr 2019 mittels Pen-and-Paper Fragebogen erhoben. Die LLL-Intervention (Teilstudie 2) fand im Sommersemester 2019 im 6. Semester des Studienfachs Sachunterricht statt und wurde mittels Pre-Post-Verfahren evaluiert. Da diese insbesondere auf die Verzahnung der Theorie- und Praxisphasen sowie deren Einfluss auf CT fokussiert, wurde mit einer Parallelgruppe (PG – Seminar mit ähnlichem Inhalt ohne Schüler*innenbesuche) sowie einer Baseline-Erhebung (KG – Seminar mit nicht informatischen, sondern naturwissenschaftlichen Inhalten) in einem quasiexperimentellen Design (ohne Randomisierung) gearbeitet.

7. Stichprobenbeschreibung

Innerhalb dieser Untersuchung werden zwei unterschiedliche Stichproben betrachtet. Bei beiden Gruppen handelt es sich um Studierende im sechsten Bachelorsemester an der Freien Universität Berlin im SoSe 2019.

Die Gesamtstichprobe mit $n = 111$ Studierenden wird lediglich für die Kreuzvalidierung des Testes sowie die Schätzung der Itemschwierigkeiten verwendet, wohingegen die Teilstichprobe mit $n = 71$ Studierenden zur Schätzung der Personenfähigkeiten im Rahmen der Intervention dient. Die Teilstichprobe ist entsprechend der Beschreibung in der Gesamtstichprobe enthalten. Beide Stichproben zeigen kaum Unterschiede in Bezug auf relevante Kovariaten (siehe Tabelle 1).

8. Computational Thinking-Test

Der CT-Test von Román-González et al. (2017) wurde lediglich für die Sekundarstufe validiert. Auf Basis des Forschungsstandes (Kap. 3) kann jedoch von einem ähnlichem CT-Fähigkeitsniveau bei unserer Stichprobe ausgegangen werden. Aufgrund der erwarteten Passung zu unserer Stichprobe sowie einer ausführlichen Validierung im Rahmen der Item-Response-Theorie (Guggemos et al., 2019), haben wir uns daher für die Verwendung dieses CT-Tests entschieden (Kap. 4). Diesem Test liegt zudem die bereits diskutierte (Kap. 2) CT-Definition von Wing (2017, S.8) in ihrer ursprünglichen Formulierung (Wing, 2006) zugrunde.

Der CT-Test wurde bereits bei Sekundarstufenschüler:innen der 5.-10. Klassenstufe in Spanien ($n = 1251$, $\alpha = .79$; ebd.) auf Basis der klassischen Testtheorie, sowie in der Schweiz in einer deutschen Übersetzung in einer 11. Klassenstufe auf Basis der Item-Response-Theorie ($n = 202$) validiert (Guggemos et al., 2019).

Die Konstruktvalidität des CT-Tests wurde bei Román-González et al. (2017) durch den Vergleich

mit den beiden standardisierten Instrumenten *Primary Mental Abilities (PMA) battery* und dem *RP30 problem-solving test* untersucht (ebd., S. 682). Es zeigte sich eine starke Korrelation mit der Problemlösefähigkeit $r = .67$, eine mittlere Korrelation mit der Argumentationsfähigkeit sowie dem räumlichen Vorstellungsvermögen mit je $r = .44$ (ebd.). Diese Ergebnisse zeigen, dass CT zwar eine hohe Ähnlichkeit zum Problemlösen aufzeigt, es sich jedoch nicht um dasselbe Konstrukt handelt.

Im Rahmen der Validierung auf Basis der Item-Response-Theorie wurde bereits ein Test auf Subgruppenunabhängigkeit anhand von externen Merkmalen mit dem Ergebnis durchgeführt, dass der Test keine Subgruppeninvarianz in Bezug auf das Alter, das Geschlecht, das Fähigkeitsniveau im Bereich der Computational Literacy (Medienkompetenz) sowie der jeweiligen Leistungsniveaus im Test besitzt (Guggemos et al., 2019). Der Test gilt somit zunächst als stichprobenunabhängig und bevorteilt bspw. keine älteren bzw. jüngeren Personen (vgl. Koller, Alexandrowicz & Hatzinger, 2012). Außerdem führten Guggemos et al. (2019) eine konfirmatorische Faktorenanalyse auf Basis eines Faktors (CT) durch und konnten somit bereits die Unidimensionalität des Tests belegen. Die Autor:innen kommen auf Basis dieser und weitere Überprüfungen des Tests zu dem Ergebnis, das der CT-Test sowohl raschkonform als auch gut geeignet für die Erhebung im Rahmen von Längsschnittstudien in deutschsprachigen Ländern ist (Guggemos et al., 2019, S. 189).

8.1 Auswertungsmethode - Kreuzvalidierung

Die Kreuzvalidierung (FF 1) findet im Rahmen der probabilistischen Testtheorie sowie einer Raschmodellierung statt und baut somit auf der Vorarbeit von Guggemos et al. (2019) auf. Guggemos und Kolleg:innen orientierten sich hierbei am Rahmenmodell von Bühner (2011, S. 547) zur Validierung der Raschkonformität. Dieser Rahmen bietet auch eine gute Orientierung für die von uns durchgeführte Kreuzvalidierung, auch wenn auf einige Tests aufgrund der ausführlichen Vorarbeit von Guggemos et al. (2019) verzichtet werden konnte. So wurde bspw. keine konfirmatorische Faktorenanalyse durchgeführt (ausführlicher zur Validierung siehe ebd.).

Die Daten wurden zunächst auf Stichprobenunabhängigkeit mittels Andersen's Likelihood Ratio Test (LRT) (Andersen, 1973)² untersucht (Koller et al. 2012, S. 19, S. 70ff). Dieser testet, ob die identifizierten Leistungsgruppen (gesplittet anhand des Medians) jeweils vom Test bevor- oder benachteiligt werden.

² Der Test wurde in der Statistiksoftware R mittels 'eRm 0.16-2' Packet (Mair & Hatzinger, 2007) gerechnet.

Darauf folgte ein Test auf Itemhomogenität bzw. lokale stochastische Unabhängigkeit mittels Yens Q3 (Yen, 1984; Christensen, Makransky & Horton, 2017)³ innerhalb der Stichprobe.

Nachdem die Raschkonformität der Daten bzw. des Testes erneut überprüft wurden, wurde mittels einer 1pl Marginal Maximum Likelihood-Schätzung (Bock & Lieberman, 1970; Bock & Aitken, 1981) die Raschanalyse mittels R package ‘TAM 3.1-45’ (Robitzsch, Kiefer, & Wu, 2019) durchgeführt. Im Rahmen dieser werden verschiedene Kennwerte untersucht, um den Modellfit sowie die Reliabilität angeben zu können. Hierfür werden die Modellfitindizes Infit und RMSD (Root-Mean-Square Deviation) herangezogen. Zusätzlich wird als Maß für die Reliabilität die EAP/PV-Reliabilität angegeben, welche sich ähnlich wie ein vergleichbares Cronbachs Alpha interpretieren lässt (Guggemos et al. 2019, S. 186) und die Messgenauigkeit der Personenkennwerte angibt.

Zum Umgang mit fehlenden Werten wurde, angelehnt an das Vorgehen bei Ludlow & O’Leary (1999), eine Strategie verwendet, welche auch in größeren Untersuchungen wie bspw. TIMMS oder ACER Verwendung findet (Adams, Wu & Macaskill, 1997). Diese Verfahren können hier Anwendung finden, da auf Basis von Bedingungen wie bspw. dem hier gesetzten Zeitlimit davon ausgegangen werden kann, dass fehlende Daten nicht zufällig (missing at random) auftreten, sondern in Form von ‚übersprungenen‘ (da zu schweren Aufgaben sowie Zeitdruck) oder ‚nicht geschafften‘ Items (aufgrund von Zeitmangel) des Tests Aussagen über die Personenfähigkeit, jedoch nicht über die Aufgabenschwierigkeit erlauben. Hierfür wurden folgende drei Schritte vollzogen:

- Zuerst wurde die Itemschwierigkeit des Datensatzes geschätzt, wobei alle *ausgelassenen Items als falsch und nicht erreichte Items als nicht bearbeitet* behandelt wurden.
- Im Anschluss wurde die *Itemkennwerte/Itemschwierigkeit normiert*, d. h. die hier berechneten Itemkennwerte wurden für die anschließende Berechnung übernommen.
- Erst im dritten Schritt wurde die Personenfähigkeit auf Basis der Itemnormierung berechnet. Hierbei wurden nun *ausgelassene und nicht erreichte Items als falsch* behandelt.

8.2 Auswertungsmethode – LLL-Intervention

Im Rahmen der LLL-Intervention (FF 2) in der Teilstichprobe wurden die vorher errechneten Itemkennwerte/Itemschwierigkeiten übernommen und innerhalb der Pre-Post-Messung verwendet. Somit konnte

auf eine genauere Schätzung der Itemschwierigkeit auf Basis der größeren Gesamtstichprobe zurückgegriffen werden. Der Umgang mit fehlenden Werten entsprach dem dritten Schritt im bereits beschriebenen Verfahren (s. o.).

Im Rahmen der Pre-Post-Analyse wurden zunächst je Zeitpunkt eine Personenfähigkeitsschätzung mittels 1pl Marginal Maximum Likelihood-Schätzung (Bock & Lieberman, 1970; Bock & Aitken, 1981) mit genormten Itemschwierigkeiten durchgeführt. Die daraus resultierenden Personenfähigkeiten (EAP-Werte) für die zwei Messzeitpunkte wurden im Anschluss je Gruppe auf Mittelwertsunterschiede mittels Wilcoxon-Rangsummen-Test (vgl. Bauer, 1972; Hollander & Wolfe, 1973) für gepaarte Stichproben untersucht. Außerdem wurde auch hier ein erneuter Reliabilitätswert auf Basis der EAP-Werte zur Messgenauigkeit der Personenwerte angegeben.

9. Ergebnisse

9.1 Kreuzvalidierung CT-Test (FF 1)

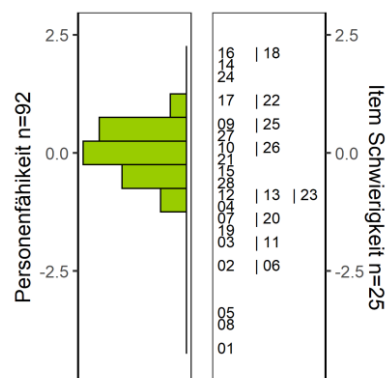


Abb. 1: Wrightmap der Gesamtstichprobe im CT-Test mit allen Aufgaben

In Bezug auf die FF 1 zeigen die Daten der Gesamtstichprobe, dass von den 28 Items im Durchschnitt 16.32 Items richtig gelöst wurden (SD = 3.51, median = 16.5, min = 8, max = 23).

Das Ergebnis des Andersen’s Likelihood Ratio Tests (LRT) (Andersen, 1973) war nichtsignifikant, weshalb hier eine Stichprobenunabhängigkeit in Bezug auf die Leistung angenommen werden kann.

Auch der Test zum Yen Q3-Kriterium war größtenteils unauffällig. Lediglich bei Item 5 und Item 6 lag der Wert mit 0.3 genau auf dem konventionellen Grenzwert, was vermutlich der geringen Stichprobengröße zugeschrieben werden kann (Christensen et al., 2017, S. 183ff).

³ Der Test wurde in der Statistiksoftware R mittels TAM Version 3.5-19 (Robitzsch, Kiefer, & Wu, 2019) durchgeführt.

| Gruppe | n | w | m | d | Altersdurchschnitt (SD) | Fachsemester (SD) |
|--|----|----|---|---|-------------------------|-------------------|
| Teilstichprobe (Intervention) | 71 | 63 | 6 | 0 | 24.92 (4.33) Jahre | 5.63(0.83) |
| Gesamtstichprobe (ohne Teilstichprobe) | 40 | 31 | 5 | 0 | 25.11 (4.45) Jahre | 5.14(0.82) |

Tab. 1: Stichprobenbeschreibung

| | wMNSQ | RMSD | θ | s.e. θ | M |
|------------|-------|------|----------|---------------|------|
| Aufgabe 1 | 0.86 | .03 | -4.00 | 0.72 | 0.98 |
| Aufgabe 2 | 0.98 | .08 | -2.38 | 0.36 | 0.90 |
| Aufgabe 3 | 0.79 | .07 | -1.94 | 0.31 | 0.86 |
| Aufgabe 4 | 0.83 | .07 | -1.19 | 0.25 | 0.75 |
| Aufgabe 5 | 0.94 | .06 | -3.27 | 0.52 | 0.96 |
| Aufgabe 6 | 0.85 | .03 | -2.38 | 0.36 | 0.90 |
| Aufgabe 7 | 0.85 | .06 | -1.32 | 0.26 | 0.77 |
| Aufgabe 8 | 1.02 | .04 | -3.55 | 0.59 | 0.97 |
| Aufgabe 9 | 1.05 | .03 | 0.63 | 0.23 | 0.36 |
| Aufgabe 10 | 1.04 | .04 | 0.12 | 0.22 | 0.48 |
| Aufgabe 11 | 0.93 | .06 | -1.99 | 0.32 | 0.87 |
| Aufgabe 12 | 1.05 | .07 | -0.79 | 0.23 | 0.68 |
| Aufgabe 13 | 0.90 | .06 | -0.79 | 0.23 | 0.68 |
| Aufgabe 14 | 1.07 | .03 | 1.93 | 0.31 | 0.14 |
| Aufgabe 15 | 0.96 | .04 | -0.42 | 0.22 | 0.60 |
| Aufgabe 16 | 1.18 | .11 | 2.02 | 0.32 | 0.13 |
| Aufgabe 17 | 1.15 | .10 | 1.10 | 0.25 | 0.27 |
| Aufgabe 18 | 1.12 | .08 | 2.12 | 0.33 | 0.12 |
| Aufgabe 19 | 0.90 | .07 | -1.69 | 0.29 | 0.83 |
| Aufgabe 20 | 0.90 | .07 | -1.31 | 0.26 | 0.78 |
| Aufgabe 21 | 1.00 | .04 | -0.10 | 0.22 | 0.53 |
| Aufgabe 22 | 0.95 | .05 | 1.15 | 0.25 | 0.26 |
| Aufgabe 23 | 0.93 | .05 | -0.85 | 0.24 | 0.69 |
| Aufgabe 24 | 1.04 | .03 | 1.64 | 0.28 | 0.18 |
| Aufgabe 25 | 0.97 | .02 | 0.61 | 0.23 | 0.37 |
| Aufgabe 26 | 0.98 | .04 | 0.02 | 0.23 | 0.51 |
| Aufgabe 27 | 1.01 | .09 | 0.39 | 0.25 | 0.42 |
| Aufgabe 28 | 1.16 | .15 | -0.63 | 0.27 | 0.65 |

Tab. 2: Ergebnisse der Raschanalyse für alle Aufgaben in der Gesamtstichprobe (N = 111)

Die Analyse der Modellfitindizes ergab bei keinem der 28 Items Auffälligkeiten. So lag der Infit-Wert (wMNSQ) zwischen den Vorgaben von $0.8 < \text{Infit} < 1.2$ (Guggemos et al., 2019; Wright & Linacre, 1994)

und die RMSD zwischen $0 < \text{RMSD} < 0.3$ (MacCallum et al., 1996) (siehe Tabelle 2).

Betrachtet man die Wrightmap aus Abbildung 1, so erkennt man die Aufgabenschwierigkeiten in

Relation zu den Personenfähigkeiten der Gesamtstichprobe. Der Test scheint insgesamt ein wenig zu leicht und die Aufgaben 1, 5 und 8 scheinen aufgrund ihres niedrigen Schwierigkeitsgrades (θ) kaum aussagekräftig in Relation zur vorliegenden Stichprobe.

Da Aufgabe 5 bereits bei der Analyse des Yens Q3-Kriterium auffällig war, gibt es in Bezug auf diese Aufgabe sogar zwei Gründe, diese zu entfernen. Die Aufgaben 1, 5 und 8 wurden dementsprechend aus den Daten entfernt. Alle nachfolgenden Analysen wurden lediglich mit 25 Items durchgeführt.

Die Raschkonformität kann somit angenommen werden, und der Test scheint nach dem Entfernen zu leichter Aufgaben eine gute Passung zur Stichprobe zu besitzen.

Mit einer Reliabilität von $EAP_{Rel} = 0.72$ weist der Test außerdem eine akzeptable mittlere Messgenauigkeit in Bezug auf die Schätzung der Personenfähigkeiten auf (vgl. Guggemos et al., 2019, S.187).

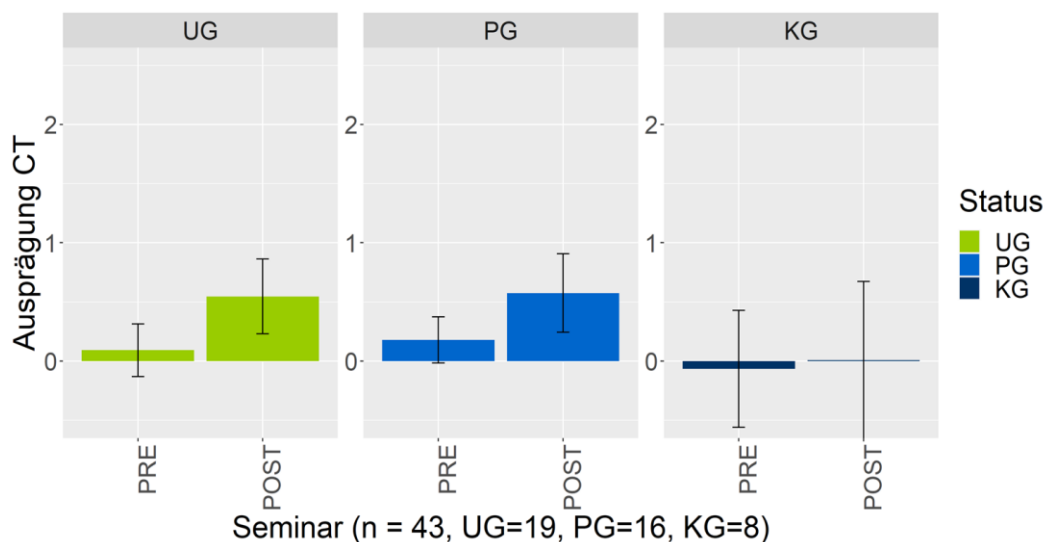


Abb. 2: Entwicklung von CT je Gruppen:

UG = Untersuchungsgruppe (LLL ‚Computational Playgrounds‘ mit Schüler:innenbesuchen)

PG = Parallelgruppe (Seminar mit informatischem Schwerpunkt, jedoch ohne Schüler:innenbesuchen)

KG = Kontrollgruppe (Seminar mit naturwissenschaftlichem Schwerpunkt)

(Fehlerbalken stellen längsschnittkorrigierten CI dar).

9.2 Intervention im LLL (FF 2)

In Abbildung 2 sind die Entwicklungen der CT-Fähigkeiten der untersuchten Studierendengruppen dargestellt.

Die Veränderungen der Personenfähigkeiten im CT zeigen vergleichbare signifikante sowie große Mittelwertunterschiede in der Untersuchungsgruppe (UG LLL) ($\Delta M = 0.46$; $p < 0.001$; $d = 1.17$) und in der Parallelgruppe (PG Theorieseminar) ($\Delta M = 0.40$; $p = 0.007$; $d = 1.03$).

In der Kontrollgruppe (KG) ließ sich kein Unterschied feststellen ($\Delta M = 0.08$; $p > 0.38$). Die Kontrollgruppe zeigt außerdem, dass die Testwerte über die Zeit stabil bleiben.

Die mittlere Messgenauigkeit der Personenkenwerte anhand der Schätzung ist auch hier mit $EAP_{rel} = 0.74$ akzeptabel.

10. Zusammenfassung und Diskussion

Die Ergebnisse zur **ersten Forschungsfrage (FF 1)** zeigen, dass von einer Eignung des CT-Tests für Grundschullehramtsstudierende ausgegangen werden kann, auch wenn der Test ein paar zu leichte

Aufgaben enthält. Werden diese entfernt, so erscheint die Passung laut Wrightmap gut (Abb. 1). Die Studierenden scheinen außerdem etwas homogener und andererseits etwas CT-fähiger zu sein als die untersuchten Sekundarschüler:innen der 11. Klasse in der Schweiz (vgl. Guggemos et al., 2019). Dieser Vergleich ist jedoch nur bedingt haltbar, da die Schüler:innen einerseits mehr Zeit zum Lösen der Aufgaben (45 Min.) hatten und andererseits drei schwerere Aufgaben im Test vorkamen. Dementsprechend scheint die Aussagekraft über die differente Homogenität valider.

Die Ergebnisse zur **zweiten Forschungsfrage (FF 2)** zeigen einen deutlichen Anstieg der CT-Fähigkeit innerhalb der LLL-Untersuchungs-, aber auch der Parallelgruppe im Theorieseminar. Dieser Befund ist erstaunlich, da im LLL aufgrund der Praxisphasen insgesamt weniger Sitzungen für die Aneignung von theoretischen Inhalten bzw. vertiefendem Fachwissen vorhanden sind. Dieses Ergebnis könnte einerseits darüber erklärt werden, dass die Praxisphasen mit Kindern die CT-Fähigkeiten genauso zu fördern scheinen, wie der theoretische Diskurs und die Arbeit mit verschiedenen Robotikmaterialien in der

Parallelgruppe. Andererseits kann auch der Umstand, die theoretisch gelernten Inhalte später innerhalb der Praxisphasen anwenden zu dürfen/müssen, zu einem höheren Lernerfolg innerhalb der ersten Theorie-Sitzungen im LLL geführt haben (vgl. Reusser, 2005; Klauser, 1998, S. 278). Dies müsste eine weiterführende Untersuchung von Praxisphasen mit Pre-Post-Design oder ein weiterer Messzeitpunkt innerhalb der LLL in der Inter-Phase klären.

Erweitert man den Blick über die hier beantworteten Forschungsfragen hinaus, so ist das LLL auf Basis bisheriger Forschungsbefunde einer rein theoretischen Vermittlung der informatischen Inhalte sogar ‚überlegen‘, da im LLL zusätzlich zu einem ähnlichen Kompetenzzuwachs im Bereich des Fachwissens auch die Interessen und somit die intrinsische Motivation der Studierenden in Bezug auf das Themenfeld Informatik im Sachunterricht gesteigert bzw. gefördert werden konnten (Brämer et al., 2020a).

11. Literatur

- Adams, R. J., Wu, M. L., & Macaskill, G. (1997). Scaling methodology and procedures for the mathematics and science scales. In M. O. Martin & D. L. Kelly (Eds.), *TIMSS technical report, Volume II: Implementation and analysis* (S. 111-145). Chestnut Hill, MA: Boston College.
- Aho, A. V. (2012). Computation and computational thinking. *The Computer Journal*, 55(7), 832-835. <http://dx.doi.org/10.1093/comjnl/bxs074> (Stand 2/2019)
- Andersen, E. B. (1973). A goodness of fit test for the Rasch model. *Psychometrika*, 38(1), S. 123-140.
- Anthofer, S. & Tepner, O. (2016). Experimentell-fachdidaktisches Wissen und Handeln von Chemie-Lehramtsstudierenden. In C. Maurer (Hrsg.), *Au-thentizität und Lernen – das Fach in der Fachdidaktik: Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik. Jahrestagung in Berlin 2015* (S. 316 – 318). Universität Regensburg.
- Baumert, J. & Kunter, M. (2006). Stichwort: Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 9 (4), S. 469-520.
- Bock, R. D., & Lieberman, M. (1970). Fitting a response model for n dichotomously scored items. *Psychometrika*, 35(2), S. 179-197.
- Bock, R.D. and Aitkin, M. (1981) Marginal Maximum Likelihood Estimation of Item Parameters Application of an EM Algorithm. *Psychometrika*, 46, S. 443-459.
- Brämer, M. & Köster, H. (2021 – im Druck). Nährböden für den digitalen Wandel? Eine Studie zur Förderung von Selbstwirksamkeitserwartungen und Interessen bei Sachunterrichtsstudierenden und -lehrkräften bezüglich informatischer Inhalte im Lehr-Lern-Labor. *GDSU-Journal* 2021. Heft 11. GDSU.
- Brämer, M., Straube, P., Köster, H. & Romeike, R. (2020b). Eine digitale Perspektive für den Sachunterricht. ein Vorschlag zur Diskussion. *GDSU-Journal*, Juli 2020(10), S. 9-19.
- Brämer, M.; Rehfeldt, D.; Bauer, C.; Köster, H. (2020a) Vorerfahrungen, Interessen und Selbstwirksamkeitserwartungen von Grundschullehramtsstudierenden und -lehrkräften bezüglich informatischer Inhalte. In Nordmeier, V.; Grötzebauch, H. (Hrsg.): *PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*, Bonn 2020, S. 97-105.
- Brennan, K. & Resnick, M. (2012). New frameworks for studying and assessing the development of computational thinking. In *Proceedings of the 2012 annual meeting of the american educational research association*. <http://scratched.gse.harvard.edu/ct/files/AERA2012.pdf> (Stand 2/2019)
- Bühner, M. (2011). *Einführung in die Test- und Fragebogenkonstruktion*. München: Pearson Studium.
- Christensen, K. B., Makransky, G. & Horton, M. (2017). Critical Values for Yen's Q3: Identification of Local Dependence in the Rasch Model Using Residual Correlations. *Applied Psychological Measurement*, 41(3), S. 178-194.
- Bauer, D. F. (1972). Constructing Confidence Sets Using Rank Statistics. *Journal of the American Statistical Association*, 67(339), S. 687-690. <https://doi.org/10.1080/01621459.1972.10481279> (Stand 6/2021)
- Dengel, A.; Heuer, U. (2017). Aufbau des Internets: Vorstellungsbilder angehender Lehrkräfte. In Diethelm, I. (Hrsg.) (2017). *Informatische Bildung zum Verstehen und Gestalten der digitalen Welt*. Bonn: Köllen.
- Döbeli Honegger, B. (2016): *Mehr als 0 und 1 - Schule in einer digitalisierten Welt*. Bern: hep.
- Döbeli Honegger, B., Hielscher, M. (2017). Vom Lehrplan zur LehrerInnenbildung - Erste Erfahrungen mit obligatorischer Informatikdidaktik für angehende Schweizer PrimarlehrInnen. In Diethelm, I. (Hrsg.) (2017). *Informatische Bildung zum Verstehen und Gestalten der digitalen Welt*. Bonn: Gesellschaft für Informatik.
- Engbring, D. (2017). Aller Anfang ist schwer! Wie gelingt der Einstieg in den Informatikunterricht? In I. Diethelm (Hrsg.), *Informatische Bildung zum Verstehen und Gestalten der*

- digitalen Welt 17. (S. 227–236). Bonn: Gesellschaft für Informatik.
- Gallenbacher, J. (Hrsg.). (2015). Informatik 2015. Informatik allgemeinbildend begreifen. In I. Diethelm (Hrsg.) 16. GI-Fachtagung Informatik und Schule. Bonn: Gesellschaft für Informatik.
- GDSU (2021): Positionspapier Sachunterricht und Digitalisierung. Erarbeitet von der AG Medien & Digitalisierung der Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts – GDSU (Markus Peschel, Friedrich Gervé, Inga Gryl, Thomas Irion, Daniela Schmeinck, Philipp Straube). Online-Publikation, [http://www.gdsu.de/wb/media/Medien und Digitalisierung/GDSU 2021 Positionspapier Sachunterricht und Digitalisierung deutsch de.pdf](http://www.gdsu.de/wb/media/Medien%20und%20Digitalisierung/GDSU%202021%20Positionspapier%20Sachunterricht%20und%20Digitalisierung%20deutsch%20de.pdf) (Stand 8/2021).
- GDSU (2013). Perspektivrahmen Sachunterricht. Bad Heilbrunn: Verlag Julius Klinkhardt.
- Gesellschaft für Informatik [GI] (2019). Kompetenzen für informatische Bildung im Primarbereich. [https://dl.gi.de/bitstream/handle/20.500.12116/20121/61-GI-Empfehlung Kompetenzen informatische Bildung Primarbereich.pdf?sequence=1&isAllo-wed=y](https://dl.gi.de/bitstream/handle/20.500.12116/20121/61-GI-Empfehlung_Kompetenzen_informatische_Bildung_Primarbereich.pdf?sequence=1&isAllo-wed=y) (Stand 8/2021).
- Gläser, E. (2020): Professionswissen von Sachunterrichtsstudierenden zu Digitaler und Informatischer Bildung. In Skorsetz, N./Bonanati, M./Kucharz, D. (Hrsg.): Diversität und soziale Ungleichheit: Herausforderungen an die Integrationsleistung der Grundschule. (S. 315–319) Wiesbaden: Springer Fachmedien.
- Goodson, I. (H.), Hopmann, S. (H.) & Riquarts, K. (H.). (1999). Das Schulfach als Handlungsrahmen. Vergleichende Untersuchung zur Geschichte und Funktion der Schulfächer (Bildung und Erziehung Beiheft, Bd. 7). Köln: Böhlau.
- Gouws, L. A., Bradshaw, K. & Wentworth, P. (2013). Computational thinking in educational activities. An evaluation of the educational game light-bot. In Proceedings of the 18th ACM conference on innovation and technology in computer, S. 10–15.
- Gräsel, C. (2010). Stichwort: Transfer und Transferforschung im Bildungsbereich. Zeitschrift für Erziehungswissenschaft, 13(1), S. 7-20. <https://doi.org/10.1007/s11618-010-0109-8> (Stand 8/2021)
- Guggemos, J., Seufert, S. & Román-González, M. (2019). Measuring computational thinking - adapting a performance test and a self-assessment instrument for german-speaking countries. In Proceedings of the 16th International Conference on Cognition and Exploratory Learning in Digital Age (CELDA 2019) (S. 183–191). IADIS Press.
- Hsu, T.-C., Chang, S.-C., & Hung, Y.-T. (2018). How to learn and how to teach computational thinking: Suggestions based on a review of the literature. Computers & Education, 126, S. 296–310. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.07.004> (Stand 8/2021)
- ICILS 2018 - Eickelmann, B. (2019). Measuring Secondary School Students' Competence in Computational Thinking in ICILS 2018—Challenges, Concepts, and Potential Implications for School Systems Around the World. In S.-C. Kong & H. Abelson (Eds.), Computational thinking education (S. 53–64). Singapore: Springer.
- Jäger, M. (2004). Transfer in Schulentwicklungsprojekten. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften. <https://doi.org/10.1007/978-3-322-83388-4> (Stand 8/2021)
- Kalelioglu, F., Gülbahar, Y. & Kukul, V. (2016). A framework for computational thinking based on a systematic research review. Baltic Journal of Modern, S. 583–596.
- Klauser, F. (1998). Problem-based learning. Ein curricularer und didaktisch-methodischer Ansatz zur innovativen Gestaltung der kaufmännischen Ausbildung. Zeitschrift für Erziehungswissenschaft, 1(2), S. 273–293.
- KMK - Ständige Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland. (2017). „Bildung in der digitalen Welt“. Strategie der Kultusminister-konferenz. https://www.kmk.org/fileadmin/Dat-eien/pdf/PresseUndAktuelles/2018/Digital-strategie_2017_mit_Weiterbildung.pdf (Stand 8/2021)
- Knaus, T. (2017). Verstehen – Vernetzen – Verantworten: Warum Medienbildung und informatische Bildung uns alle angehen und wir sie gemeinsam weiterentwickeln sollten. In I. Diethelm (Hrsg.), Informatische Bildung zum Verstehen und Gestalten der digitalen Welt. Lecture Notes in Informatics (LNI). (S. 31–48). Bonn: Gesellschaft für Informatik.
- Kobl, C. & Tepner, O. (2019). Förderung der Reflexionskompetenz von Chemielehramtsstudierenden. In C. Maurer (Hrsg.), Naturwissenschaftliche Bildung als Grundlage für berufliche und gesellschaftliche Teilhabe. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik Jahrestagung in Kiel 2018 (S. 325 – 328). IPN Kiel.
- Koller, I., Alexandrowicz, R. & Hatzinger, R. (2012). Das Rasch-Modell in der Praxis. Eine Einführung mit eRm. Wien: Facultas.

- Kommer, S. & Biermann, R. (2012). Der mediale Habitus von (angehenden) LehrerInnen. Medienbezogene Dispositionen und Medienhandeln von Lehramtsstudierenden. In R. Schulz-Zander, B. Eickelmann, H. Moser, H. Niesyto & P. Grell (Hrsg.), *Jahrbuch Medienpädagogik 9* (S. 81-108). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Köster, H. & Galow, P. (2014). Forschendes Lernen initiieren. Hintergründe und Modelle offenen Experimentierens. *Naturwissenschaften im Unterricht*, 25(144), S. 24-26.
- Köster, H., Mehrtens, T., Brämer, M. & Steger, J. (2019). Forschendes Lernen im zyklischen Prozess – Entwicklung eines neuen Lehr-Lern-Formats im Studienfach Sachunterricht. In B. P. J. Roth (Hrsg.), *Lehr-Lern-Labore - Innovationsmotor in der MINT- Lehrpersonenbildung*. (S. 99–111) Wiesbaden.: Springer Spektrum.
- Ludlow, L. H. & O’leary, M. (1999). Scoring Omitted and Not-Reached Items: Practical Data Analysis Implications. *Educational and Psychological Measurement*, 59(4), S. 615–630.
- Macaskill, G. (1997). Scaling methodology and procedures for the mathematics and science scales. In M. O. Martin & D. L. Kelly (Eds.), *TIMSS technical report, Volume II: Implementation and analysis* (S. 111-145). Chestnut Hill, MA: Boston College.
- MacCallum, R. C., Browne, M. W. & Sugawara, H. M. (1996). Power analysis and determination of sample size for covariance structure modeling. *Psychological Methods*, 1(2), S. 130–149.
- Mair, P., & Hatzinger, R. (2007). CML based estimation of extended Rasch models with the eRm package in R. *Psychology Science*, 49(1), S. 26–43.
- Myles Hollander and Douglas A. Wolfe (1973). *Non-parametric Statistical Methods*. New York: John Wiley & Sons., S. 27–33.
- Rehfeldt, D., Seibert, D., Klempin, C., Lücke, M., Sambanis, M. & Nordmeier, V. (2018). Mythos Praxis um jeden Preis? Die Wurzeln und Modellierung des Lehr-Lern-Labors. *die hochschullehre*, 4, S. 90-113.
- Renkl, A. (1996). Träges Wissen: Wenn Erlerntes nicht genutzt wird. *Psychologische Rundschau*, 47 (2), S. 78–92.
- Resnick, M. (2017). *Lifelong Kindergarten. Cultivating creativity through projects, passion, peers, and play*. Cambridge, Massachusetts, London: The MIT Press.
- Papert, S. (1982). *Mindstorms. Kinder, Computer und Neues Lernen*. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-0348-5357-6> (Stand 8/2021)
- Reusser, K. (2005). Problemorientiertes Lernen – Tiefenstruktur, Gestaltungsformen, Wirkung. Bei-träge zur Lehrerinnen- und Lehrerbildung, 23 (2), S. 159–182.
- Robitzsch, A., Kiefer, T. & Wu, M. (2020). TAM: Test Analysis Modules. Verfügbar unter <https://CRAN.R-project.org/package=TAM>
- Román-González, M., Pérez-González, J.-C., & Jiménez-Fernández, C. (2017). Which cognitive abilities underlie computational thinking? Criterion validity of the computational thinking test. *Computers in Human Behavior*, 72, S. 678–691. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2016.08.047> (Stand 8/2021)
- Schaar, P. (2017). Wie die Digitalisierung unsere Gesellschaft verändert. In M. Schröder & A. Schwanebeck (Hrsg.), *Big Data - In den Fängen der Datenkraken. Die (un-)heimliche Macht der Algorithmen* (2. Auflage, S. 105–122). Baden-Baden: Nomos Verlagsgesellschaft mbH & Co. KG.
- Seibert, D., Rehfeldt, D., Klempin, C., Mehrtens, T., Sambanis, M., Köster, H. et al. (2019). Theoretisches Wissen gleich träges Wissen? Praxisrelevanz von fachdidaktischem Wissen in Lehr-Lern-Labor-Seminaren. *die hochschullehre*, 5, S. 355–382.
- Serafini, G. (2011). Teaching Programming at Primary Schools. Visions, Experiences, and Long-Term Research Prospects. In I. Kalas & R. Mittermeir (Hrsg.), *Informatics in Schools. Contributing to 21st Century Education*, Jg. 7013. In *Lecture Notes in Computer Science* (S. 143–154). Berlin Heidelberg: Springer.
- Shulman, L. (1987). Knowledge and teaching: Foundations of the new reform. *Harvard educational review*, 57 (1), S. 1–23.
- Steiner, M. & Himpl-Gutermann, K. (2020) *Computational Thinking und Kontextorientierung*. *medienimpulse*, 58, (1), 2020.
- Straube, P., Brämer, M., Köster, H. & Romeike, R. (2018). Eine digitale Perspektive für den Sachunterricht? Fachdidaktische Überlegungen und Implikationen. Nr. 24. Oktober 2018. <https://www.widerstreit-sachunterricht.de/ebene1/superworte/zumsach/straubetal.pdf> (Stand 8/2021)
- Trempler, K., Schellenbach-Zel, J., Gräsel, C. (2013). Der Einfluss der Motivation von Lehrpersonen auf den Transfer von Innovationen. In: Rürup, M.; Bormann, I. (Hrsg.) (2013). *Innovationen im Bildungswesen*. (S. 329-347). Wiesbaden: Springer.
- Völker, M. & Trefzger, T. (2010). Lehr-Lern-Labore zur Stärkung der universitären Lehramtsausbildung. *PhyDid B, Didaktik der Physik*, Bei-träge zur DPG-Frühjahrstagung.

- Völker, M. & Trefzger, T. (2011). Ergebnisse einer explorativen empirischen Untersuchung zum Lehr-Lern-Labor im Lehramtsstudium. *Phy-Did B – Di-daktik der Physik – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*.
- Voogt, J., Fisser, P., Good, J., Mishra, P., & Yadav, A. (2015). Computational thinking in compulsory education: Towards an agenda for research and practice. *Education and Information Technologies*, 20(4), S. 715–728. <https://doi.org/10.1007/s10639-015-9412-6> (Stand 8/2021)
- Weigend, M. (2009). Algorithmik in der Grundschule. In B. (H.) Koerber (Hrsg.), *Zukunft braucht Herkunft – 25 Jahre „INFOS - Informatik und Schule“*. (S. 97–108). Bonn: Gesellschaft für Informatik e.V.
- Wing, J. M. (2006). Computational thinking. *Communications of the ACM*, 49(3), 33. https://dl.acm.org/doi/pdf/10.1145/1118178.1118215?casa_token=q0MOybfCnUE-AAAAA:fchDN7NGLCoCuMkE4yWyUM-ShqNNnrxtT5Hx2slEvjNap25wfWO8CPbIveyUOa1KwPQUdAmOQe5SB (Stand 8/2021)
- Wing, J.M. (2017). Computational thinking's influence on research and education for all. *Italian Journal of Educational Technology*, 25(2), S. 7-14. <https://ijet.itd.cnr.it/article/view/922> (Stand 8/2021)
- Wright, B. D., & Linacre, J. M. (1994). Reasonable mean-square fit values. *Rasch Measurement Transactions*, 8, S. 370-371.
- Yadav, A., Mayfield, C., Zhou, N., Hambrusch, S. & Korb, J. T. (2014). Computational Thinking in Elementary and Secondary Teacher Education. *ACM Transactions on Computing Education*, 14(1), S. 1–16.
- Yen, W. M. (1984). Effects of local item dependence on the fit and equating performance of the three parameter logistic model. *Applied Psychological Measurement*, 8, S. 125-145.

Anhang

Das Projekt K2teach wird im Rahmen der gemeinsamen „Qualitätsoffensive Lehrerbildung“ von Bund und Ländern aus Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gefördert (FKZ: 01JA1802).

Ein Masterstudiengang mit dem Profil Quereinstieg als alternativer Professionalisierungsweg für das Lehramt an Gymnasien und Integrierten Sekundarschulen

Novid Ghassemi Tabrizi, Volkhard Nordmeier

Freie Universität Berlin, Arnimallee 14, 14195 Berlin
nghassemi@zedat.fu-berlin.de, volkhard.nordmeier@fu-berlin.de

Kurzfassung

Der Bedarf an Lehrkräften kann in vielen Bundesländern nicht durch grundständig ausgebildete Lehramtsabsolvent:innen gedeckt werden. Mit dem Ziel einer vollständigen Unterrichtsversorgung werden auch sogenannte Quer- und Seiteneinsteiger:innen in den Schuldienst eingestellt. Für diese gängige Praxis fehlt bislang ein konzeptueller Rahmen. Ein alternativer, an den Standards für die Lehrer:innenbildung orientierter Professionalisierungsweg ist der *Masterstudiengang für das Lehramt an Integrierten Sekundarschulen und Gymnasien mit dem Profil Quereinstieg* (Q-Master). Der Modellstudiengang wird seit dem Wintersemester 2016/17 im Land Berlin an der Freien Universität erprobt und die ersten Absolvent:innen sind bereits im Schuldienst. Teile der Evaluation des Studiengangs fokussieren exemplarisch auf das Fach Physik. Hier wird untersucht, welche Professionalisierungswege die Studierenden durchlaufen und welche Gemeinsamkeiten und Unterschiede im Vergleich zu regulären Lehramtsstudierenden bestehen. Zu diesem Zweck werden unter anderem *fachdidaktisches Wissen*, *Überzeugungen zum Lehren und Lernen* und *Berufswahlmotive* erhoben. Im Beitrag werden erste Ergebnisse aus der Evaluation vorgestellt und diskutiert. Die Ergebnisse deuten auf eine gelingende Professionalisierung im Zuge des Q-Masterstudiums hin.

1. Professionalisierungswege in den Lehrberuf

Traditionell umfasst der formale Bildungsweg von Lehrkräften in Deutschland ein grundständiges, lehramtsbezogenes Studium und den Vorbereitungsdienst (Referendariat). Neben diesem von der KMK bevorzugten Professionalisierungsweg (KMK, 2013) existieren aber auch alternative Einstiegsvarianten in den Lehrer:innenberuf. Es können drei Alternativen unterschieden werden:

Für den *Quereinstieg* wird zumeist ein fachbezogener universitärer Abschluss auf Masterniveau benötigt. Auf diesen aufbauend, beginnt die lehramtspezifische Professionalisierung dann mit dem zweiten, schulpraktischen Teil (Referendariat / Vorbereitungsdienst).

Beim *Seiteneinstieg* erfolgt die Einstellung in den Schuldienst direkt, ohne das vorherige Absolvieren eines Lehramtsstudiums und auch ohne das Referendariat. In diese Kategorie fällt die Einstellung von Fachabsolvent:innen in den Schuldienst, aber auch die befristete Einstellung von Vertretungslehrkräften, welche ein geringeres Qualifikationsniveau besitzen.

Die dritte Alternative ist der *Quereinstieg während des Studiums*. Unter diese Variante fallen der Studiengangswechsel während des Bachelorstudiums, lehramtsbezogene Masterstudiengänge mit flexiblen Eingangsbedingungen und lehramtsbezogene Masterstudiengänge mit dem Profil Quereinstieg. Nach Abschluss des Studiums wird dann das Referendariat absolviert.

1.1 Kritik an Quer- und Seiteneinstieg

Das Entstehen und Weiteranbieten der Varianten Quer- und Seiteneinstieg steht vor allem in Zusammenhang mit Unterschieden zwischen dem Angebot an neu ausgebildeten Lehrkräften und dem Einstellungsbedarf in Abhängigkeit von Bundesland, Region, Schulform und Schulfach. Priorität hat die vollständige Unterrichtsversorgung und es ist davon auszugehen, dass ebendiese auch in den kommenden Jahren nicht allein über ‚klassisch‘ ausgebildete Lehrkräfte sichergestellt werden können (KMK, 2020; Klemm, 2020).

Die bestehenden Programme zum Quer- und Seiteneinstieg sind selten an Universitäten angebunden, sondern werden in der Regel von Zentren für die schulpraktische Phase der Professionalisierung verantwortet (Abs, Kuper & Martini, 2020). Sie werden zumeist berufsbegleitend angeboten und haben einen geringeren zeitlichen und inhaltlichen Umfang als der traditionelle Professionalisierungsweg (ebd.). Hier wird eine Qualifizierung „light“ befürchtet, welche „den akademischen Herausforderungen der Kompetenz- und Persönlichkeitsentwicklung von Lehrkräften nicht gerecht [wird]“ (HRK, 2020, S. 3). Auch böten die Programme keine geschützten Räume zur Reflexion; stattdessen werden erhöhte Belastungen für die Teilnehmer:innen befürchtet, sodass ein „Praxischock“ häufiger möglich sei (Priboschek, 2016; HRK, 2020, S. 3).

Auch aus diesen Gründen werden die entsprechenden Programme zum Quer- und Seiteneinstieg als den

Bemühungen um Professionalisierung des Berufs und der Standardisierung der Qualifizierung entgegenlaufend angesehen (Ramseger, 2017; Rothland & Pflanzl, 2016). Mindeststandards bzw. Leitlinien „für die Gewinnung, Qualifizierung und Beschäftigung von Seiten- und Quereinsteiger_innen“ (Terhart, 2020, S. 13) werden zwar gefordert (GFD, 2018), sie bestehen bislang jedoch noch nicht.

1.2 Professionelle Handlungskompetenzen von Quereinsteiger:innen

Das *Fachwissen* und *fachdidaktische Wissen* von Quereinsteiger:innen im Vorbereitungsdienst ist „zumindest im studierten Fach, mindestens so hoch wie das Wissen von Lehramtsabsolvent:innen (Korneck, Oettinghaus & Lamprecht, 2021; Lucksnat et al., 2020). Defizite im Bereich des *pädagogischen Wissens* wurde dagegen wiederholt nachgewiesen (Korneck et al., 2021; Lucksnat et al., 2020). Auch sind Defizite im *Fachwissen* und *fachdidaktischen Wissen* und stärker transmissive *Lehr-Lern-Überzeugungen* möglich, wenn nicht das Fach selbst studiert wurde, sondern ein verwandtes Fach (Korneck et al., 2021).

Des Weiteren verfügen Lehrkräfte, welche nicht über den traditionellen Bildungsweg professionalisiert werden, häufig über primär intrinsische und altruistische *Berufswahlmotive* (Tigchelaar, Brouwer & Vermunt, 2010) und *lehrbezogene Selbstwirksamkeitserwartungen*, welche sich nicht von jener traditionell professionalisierter Lehrkräfte unterscheiden (Troesch & Bauer, 2017; Lucksnat et al., 2020).

Ein Einfluss von Quereinstieg bzw. Fachfremde der Lehrkraft auf den Kompetenzerwerb der Schüler:innen scheint nicht nachweisbar zu sein (Richter et al., 2019).

1.3 Der Quereinstieg während des Studiums

Sowohl die allgemeine Kritik an den Programmen als auch die differenzierten Befunde bzgl. des Quereinstiegs greifen die Lehramtsmasterstudiengänge mit Profil Quereinstieg auf. Für das Fach Physik bieten aktuell die Freie Universität Berlin sowie die Universitäten Tübingen, Stuttgart und Konstanz (in Baden-Württemberg) Masterstudiengänge mit dem Profil Quereinstieg bzw. mit flexiblen Zulassungsvoraussetzungen an¹. Die Studiengänge ermöglichen das Nachstudieren eines zweiten Fachs und beinhalten außerdem fachdidaktische sowie bildungswissenschaftliche Module und betreute Praxisphasen. Die postgradualen Studiengänge sind zumeist auf vier Semester ausgelegt und können die genannten Inhalte in einer Tiefe behandeln, die mit einem regulären

Lehramtsstudium vergleichbar ist. So werden beispielsweise für die Studierenden des Q-Masters an der Freien Universität Berlin keine gesonderten Lehrformate angeboten, sondern sie besuchen entweder Module gemeinsam mit den regulären Lehramtsmasterstudierenden oder Module aus dem Lehramtsbachelorstudiengang (FUB, 2019a, 2018).

Die Angebote für den Quereinstieg während der universitären Qualifikationsphase scheinen nicht allein aus Perspektive des Mangels und dem Wunsch nach Vergrößerung des Pools an potenziellen Lehrer:innen erstrebenswert. Ungeachtet der Angebots-Bedarfs-Perspektive werten Lehramtsmasterstudiengänge mit dem Profil Quereinstieg ein fachwissenschaftliches Grundstudium zu einer Polyvalenz auf, welche für das Lehramtsstudium im Allgemeinen bereits vorhanden ist (Brinkmann & Müller, 2020). Nicht zuletzt scheint es zeitgemäß, hinsichtlich zunehmend standardisierten Berufsbiografien, einen Wechsel des Berufsfelds bereits beim Übergang vom Bachelor zum Masterstudium auch für das Lehramt zu ermöglichen (Terhart, 2020).

1.4 Der ‚Q-Master‘ an der FU Berlin

Der *Masterstudiengang für das Lehramt an Integrierten Sekundarschulen und an Gymnasien mit dem Profil Quereinstieg (Q-Master)* wird an der Freien Universität Berlin seit dem Wintersemester 2016/17 angeboten. Das Ziel des auf vier Semester ausgelegten Studiengangs ist es, dass dessen Absolvent:innen konform den *Standards für die Lehrerbildung: Bildungswissenschaften* (2004) sowie den *ländergemeinsamen inhaltliche Anforderungen für die Fachwissenschaften und Fachdidaktiken in der Lehrerbildung* der KMK (2008) qualifiziert sind. Um dies gewährleisten zu können, werden vollumfängliche fachliche Leistungen in einem Fach bereits für die Zulassung vorausgesetzt (circa 90 LP mit Passung zu den KMK Standards) und fachwissenschaftliche Grundlagen im zweiten Fach (mindestens 20 LP) (FUB, 2019b). Für die Zulassung wird zudem ein erster berufsqualifizierender Hochschulabschluss (e. g. Monobachelor) benötigt (ebd.).

Auf Grundlage der im vorherigen Studium bereits erbrachten Leistungen werden die Studienpläne für die Q-Masterstudierenden individuell angepasst, und umfassen fachwissenschaftliche Studienanteile im Zweitfach, fachdidaktische Anteile in beiden Fächern, erziehungswissenschaftliche Module sowie ein Praxissemester (FUB, 2019a).

¹ Weitere Informationen:

- fu-berlin.de/sites/dse/studium/master/qmaster-iss-gym/index.html
 - <https://uni-tuebingen.de/fakultaeten/mathematisch-naturwissenschaftliche-fakultaet/fachbereiche/mathematik/fachbereich/studium-und-lehre/studiengaenge/master-of-education-quereinstieg-lehramt-gymnasium/>

- <https://www.uni-konstanz.de/studieren/vor-dem-studium/studienangebot/lehramt-gymnasium/physik-med-lehramt/>
 - <https://www.uni-stuttgart.de/studium/studienangebot/Physik-und-Mathematik-Gymnasiales-Lehramt-00001/>
 (alle Links zuletzt geprüft am 19.05.2021)

2. Ergebnisse der Gesamtevaluation

Die Gesamtevaluation hat unter anderem zum Ziel, die Voraussetzungen und Motive aufzuklären, unter welchen die Q-Masterstudierenden ihr Studium aufnehmen. Die Motive für die Berufswahl lassen beispielsweise Rückschlüsse auf die *allgemeine Leistungsmotivation* und die *Lern-/Leistungsmotivation im Studium* zu (König & Rothland, 2013; Rothland, 2013). Diesbezügliche Erkenntnisse könnten unter anderem zur Beurteilung und Anpassung der den Q-Master begleitenden Beratungs- und Reflexionsangebote genutzt werden.

Zu ihren *Berufswahlmotive* werden die Q-Masterstudierenden zu Beginn des Studiums mittels der FIT-Choice Scale (Watt & Richardson, 2007) befragt. Bislang konnten 136 Studierende ($n_{\text{MINT}}=61$, $n_{\text{Sprachen}}=75$) befragt werden. Die Subskalen besitzen, bis auf zwei Ausnahmen, eine gute Reliabilität ($\alpha=.75-.93$). Die Subskalen *intrinsische Motivation* ($\alpha=.39$) und *Verlegenheitslösung* ($\alpha=.21$) werden aufgrund der unzureichenden Reliabilität nicht weiter betrachtet. Somit ist die Interpretierbarkeit der Daten eingeschränkt, denn alle Skalen müssten für die Identifikation „riskanter“ Motivationsmuster miteinbezogen werden (Rothland, 2013).

Bei deskriptiver Betrachtung sind die Q-Masterstudierenden stärker intrinsisch-altruistisch als extrinsisch-strukturell motiviert (Abb. 1). Zudem scheint die Motivlage ähnlich zu jener des regulären Lehramts zu sein (Vergleichsgruppe aus der Literatur: König & Rothland (2012)). Diese Ergebnisse ähneln Befunden bzgl. des Q-Masterstudiengangs für das Grundschullehramt an der Humboldt Universität zu Berlin und auch zu den Motiven von Berufswechsler:innen (*Secondcareerteachers*). Diese Gruppen besitzen zumeist eine hohe intrinsische und altruistische Motivation (Tigchelaar et al., 2010; Lucksnat et al., 2021) und unterscheiden sich in ihren Wahlmotiven nicht von regulären Lehramtsstudierenden (Lucksnat et al., 2021) bzw. Erstberufler:innen (Troesch, Aksoy & Bauer, 2019).

Ob und wie stark ein tatsächlicher Unterschied bei den Berufswahlmotive zwischen Q-Masterstudierenden, in Abhängigkeit der gewählten Fächer (MINT/Sprachen), sowie im Vergleich zu Literaturwerten besteht, wird derzeit mittels inferenzstatistischer Analysen geprüft.

Im Zuge der Gesamtevaluation werden außerdem die für den Abschluss benötigte Anzahl an Fachsemestern sowie die Abschlussnoten mit den Absolvent:innen des regulären Lehramtsmasterstudiengangs der FU Berlin erfasst und verglichen. Hier zeigte sich bislang, dass die Studierenden des Q-Masters im Durchschnitt eine etwas bessere Abschlussnote erreichen und weniger Fachsemester für den Abschluss

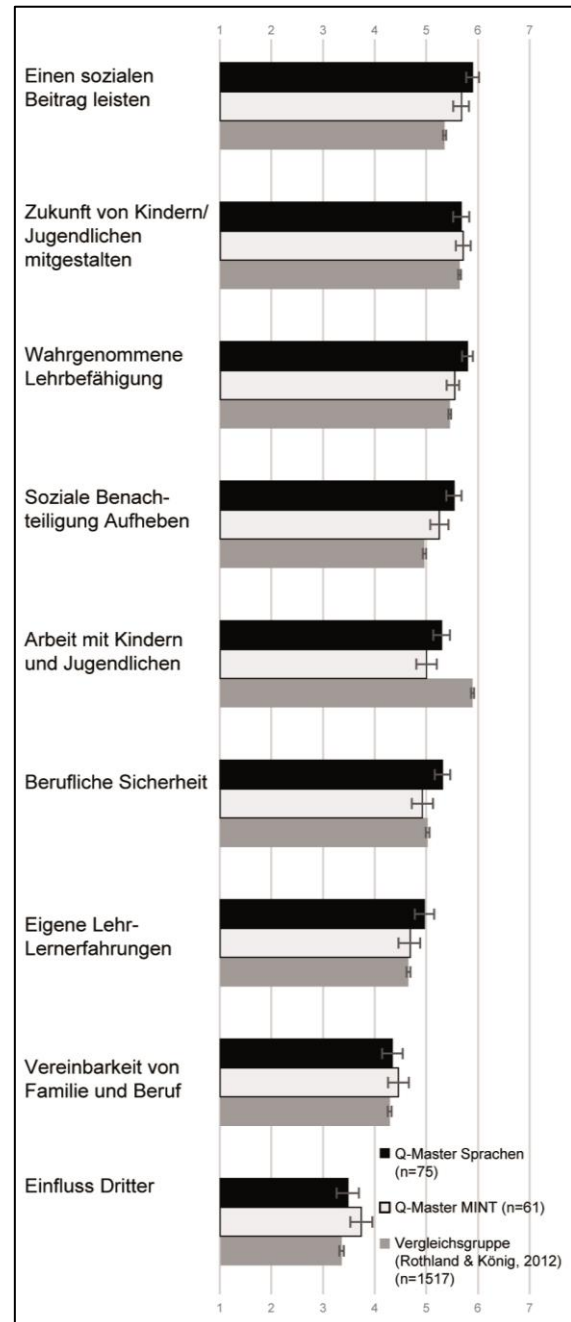


Abb. 1: Mittelwerte der Berufswahlmotive der Q-Masterstudierenden und einer Vergleichsgruppe aus der Literatur.

benötigen als die Studierenden des regulären Lehramtsmasters (Ghassemi & Nordmeier, 2020). Dieser Trend setzt sich nun mit der weiteren Akkumulation an Daten fort (Tab. 1).

| | Abschlussnote | | | #Fachsemester | |
|---------------------------------|---------------|------|-----|---------------|-----|
| | N | M | SD | M | SD |
| Regulärer Lehramtsmaster | 172 | 1.69 | .62 | 6.0 | 1.6 |
| Q-Master | 60 | 1.56 | .68 | 4.5 | 1.3 |
| Regulärer Lehramtsmaster Physik | 41 | 1.85 | .72 | 5,7 | 1.8 |
| Q-Master Physik | 7 | 2.00 | .73 | 5.0 | 1.2 |

Tab. 1: Abschlussnoten und Studienzeit regulärer Lehramtsmasterstudierender und Q-Masterstudierender im Vergleich

3. Ergebnisse aus der Begleitforschung im Fach Physik

Die Begleitforschung im Fach Physik geht exemplarisch der Frage nach, welche Professionalisierungsprozesse die Q-Masterstudierenden durchlaufen und welche Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen den Studierenden des Q-Masters und den regulären Lehramtsmasterstudierenden bestehen. Zu diesem Zweck werden unter anderem das *Professionswissen* (*Fachwissen* und *fachdidaktisches Wissen*) mittels Leistungstests (Riese, 2009; Korneck, Krüger & Szogs, 2017) sowie die *Überzeugungen zum Lehren und Lernen von Physik* mittels Likert-Skalen (Lamprecht, 2011) in einem Pre-Post-Design erhoben (Ghassemi, Milster & Nordmeier, 2020). Dieses Vorgehen wird durch Leitfadenterviews qualitativ ergänzt.

Bislang konnten hinsichtlich des *fachdidaktischen Wissens* und der *Überzeugungen zum Lehren und Lernen* keine signifikanten Unterschiede zwischen den Studierenden des regulären Lehramtsmaster und den Studierenden des Q-Masters festgestellt werden (Ghassemi & Nordmeier, 2021). Mit der fortschreitenden Erhebung und Akkumulation der Daten setzt sich dieser Trend fort. So zeigen sich weiterhin keine Unterschiede ($p < .05$) zwischen beiden Gruppen – weder zu Beginn des zweiten Mastersemesters noch am Ende des vierten Mastersemesters².

Im echt längsschnittlichen Vergleich kann nun bei den Q-Masterstudierenden ($n=8$) ein großer Zuwachs im *fachdidaktischen Wissen* ($d=.64$, $p=.04$) und ein großer Zuwachs bei der Befürwortung von *selbstständigem Lernen* ($d=1.34$, $p=.004$)³ nachgewiesen werden. Diese Zuwächse sind größer als bei den Studierenden im regulären Lehramtsmasterstudiengang ($n=23$). Bei diesen zeigt sich ein mittlerer Zuwachs im *fachdidaktischen Wissen* ($d=.46$, $p=.012$) und bei

² Zweiseitige unabhängige t-Tests

den Überzeugungen zum *selbstständigen Lernen* ($d=.41$, $p=.03$). Weitere Analysen der Daten stehen noch aus.

Diese Veränderungen deuten darauf hin, dass das Q-Masterstudium einen positiven Einfluss auf den Kompetenzerwerb und damit auf die Professionalisierung der Studierenden hat; dieser ist mindestens so groß wie der Einfluss des regulären Lehramtsmasterstudiengangs auf die Studierenden ebendieses Studiengangs.

Die Aussagekraft der Analysen ist, aufgrund der absolut kleinen Stichproben und den hiermit einhergehenden geringen Teststärken, begrenzt. Ein Vergleich der Absolvent:innenzahlen (Tab. 1) mit den längsschnittlich vorliegenden Datensätzen deutet zugleich darauf hin, dass die verfügbaren Daten eine relativ hohe Repräsentativität bezüglich der spezifischen Gruppen, insb. der Q-Masterstudierenden im Fach Physik, besitzen.

4. Zusammenfassung und Ausblick

Die bislang vorliegenden Evaluationsergebnisse deuten auf eine gelingende Professionalisierung im Zuge des Q-Masterstudiums hin.

Aus der Gesamtevaluation des Q-Masterstudiengangs (über alle Fächer) sind folgende Punkte hervorzuheben:

- Die Abschlussnoten der Q-Masterstudierenden sind im Mittel etwas besser als die Noten der Studierenden des regulären Lehramtsmasters.
- Die Q-Masterstudierenden benötigen für den Abschluss tendenziell etwas weniger Zeit als die Studierenden des regulären Lehramtsmasters.
- Die Berufswahlmotive der Q-Masterstudierenden sind primär intrinsisch-altruistisch und ähneln den Motiven von traditionell professionalisierten Lehrkräften.

Auch die verfügbaren Informationen aus dem Fach Physik zeigen, dass die Gemeinsamkeiten zwischen den Q-Masterstudierenden und den Studierenden des regulären Lehramtsmasters zu überwiegen scheinen. Dabei sind drei Eindrücke hervorzuheben:

- Zu Beginn des zweiten Mastersemesters scheint das mittlere *fachdidaktische Wissen* beider Gruppen gleich groß zu sein und auch die *Überzeugungen zum Lehren und Lernen von Physik* beider Gruppen sind nicht signifikant unterschiedlich. Sollten zu Beginn des Studiums noch Unterschiede vorgelegen haben, so sind diese nach einem Semester aufgehoben.
- Am Ende des vierten Mastersemesters scheinen Unterschiede im *fachdidaktischen Wissen* und bzgl. der *Überzeugungen zum Lehren und Lernen* nicht signifikant zu sein.

³ Einseitige abhängige t-Tests. Das globale α -Niveau von .05 wird mittels Bonferroni-Korrektur lokal auf .017 zu reduziert. Effektstärke $|d|$: klein: $< .2$, mittel: $.2$ – $.5$; groß: $> .5$

- Der Trend hin zu einem höheren *fachdidaktischen Wissen* und stärker konstruktivistischen *Überzeugungen zum Lehren und Lernen* scheint bei Studierenden des Q-Masters indessen stärker zu sein als bei Studierenden des regulären Lehramtsmasters.

Zusammenfassend gibt es hinsichtlich der untersuchten Merkmale keine Hinweise auf fundamentale Unterschiede zwischen den Q-Masterstudierenden und den Studierenden des regulären Lehramtsmasterstudiengangs. Dies deutet darauf hin, dass der *Quereinstieg während des Studiums* einen alternativen, strukturell und inhaltlich flexiblen Professionalisierungsweg in das Lehramt darstellen kann, welcher hoch- und gleichwertig qualifizierte Lehrkräfte hervorbringt.

5. Literatur

- Abs, H.J., Kuper, H. & Martini, R. (Hrsg.) (2020). *Datenreport Erziehungswissenschaft 2020*, Op-laden, Berlin, Toronto: Verlag Barbara Budrich.
- Brinkmann, B. & Müller, U. (2020). *Flexible Wege ins Lehramt?! – Qualifizierung für einen Beruf im Wandel*. Eine Sonderpublikation aus dem Projekt »Monitor Lehrerbildung«. CHE Centrum für Hochschulentwicklung gGmbH.
- FUB (2018). Studien- und Prüfungsordnung der Freien Universität Berlin für den Masterstudiengang für das Lehramt an Integrierten Sekundarschulen und Gymnasien. Amtsblatt der Freien Universität Berlin. <https://www.fu-berlin.de/service/zuvdocs/amtsblatt/2019/ab162019.pdf>
- FUB (2019a). Studien- und Prüfungsordnung der Freien Universität Berlin für den Masterstudiengang für das Lehramt an Integrierten Sekundarschulen und Gymnasien mit dem Profil Quereinstieg. Amtsblatt der Freien Universität Berlin. <https://www.fu-berlin.de/service/zuvdocs/amtsblatt/2019/ab162019.pdf>
- FUB (2019b). Zugangssatzung der Freien Universität Berlin für den Masterstudiengang für das Lehramt an Integrierten Sekundarschulen und Gymnasien mit dem Profil Quereinstieg. Amtsblatt der Freien Universität Berlin. <https://www.fu-berlin.de/service/zuvdocs/amtsblatt/2019/ab132019.pdf>
- GFD (2018). Ergänzende Wege der Professionalisierung von Lehrkräften. Positionspapier der GFD zur Problematik des Quer- und Seiteneinstiegs. www.fachdidaktik.org/wp-content/uploads/2015/09/PP-20-Positionspapier-der-GFD-2018-Erg%C3%A4nzende-Wege-der-Professionalisierung-von-Lehrkr%C3%A4ften.pdf (11.10.2019).
- 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. (2020). Professionelle Kompetenzen von Studierenden im Lehramtsmaster mit Profil Quereinstieg‘ im Fach Physik. In Nordmeier, V. & Grötzebach, H. (Hrsg.), *PhyDid B. Didaktik der Physik*. Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung (S. 115–120). Berlin.
- Ghassemi, N. & Nordmeier, V. (2021). Evaluation des ‚Lehramtsmaster mit Profil Quereinstieg‘ im Fach Physik. In Habig, S. (Hrsg.), *Naturwissenschaftlicher Unterricht und Lehrerbildung im Umbruch? Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik online Jahrestagung 2020* (S. 649–652). Universität Duisburg-Essen.
- HRK (2020). *Quer- und Seiteneinstieg ins Lehramt. Akademische Standards sind nicht verhandelbar!* Entschließung des Senats der HRKam 25. Juni 2020. Hochschulrektorenkonferenz.
- Klemm, K. (2020). *Lehrkräftemangel in den MINT-Fächern: Kein Ende in Sicht. Zur Bedarfs- und Angebotsentwicklung in den allgemeinbildenden Schulen der Sekundarstufen I und II am Beispiel Nordrhein-Westfalens*.
- KMK (2004). *Standards für die Lehrerbildung: Bildungswissenschaften*. Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 16.12.2004.
- KMK (2008). *Ländergemeinsame inhaltliche Anforderungen für die Fachwissenschaften und Fachdidaktiken in der Lehrerbildung*. Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 16.10.2008.
- KMK (2013). *Gestaltung von Sondermaßnahmen zur Gewinnung von Lehrkräften zur Unterrichtsversorgung. Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 05.12.2013*.
- KMK (2020). *Lehrereinstellungsbedarf und -angebot in der Bundesrepublik Deutschland 2020 – 2030. Zusammengefasste Modellrechnungen der Länder*. STATISTISCHE VERÖFFENTLICHUNGEN DER KULTUSMINISTERKONFERENZ Nr. 226.
- König, J. & Rothland, M. (2012). Motivations for choosing teaching as a career: effects on general pedagogical knowledge during initial teacher education. *Asia-Pacific Journal of Teacher Education*, 40(3), 289–315.
- König, J. & Rothland, M. (2013). Pädagogisches Wissen und berufsspezifische Motivation am Anfang der Lehrerausbildung. Zum Verhältnis von kognitiven und nicht-kognitiven Eingangsmerkmalen von Lehramtsstudierenden. Zum Verhältnis von kognitiven und nicht-kognitiven Eingangsmerkmalen von Lehramtsstudierenden. (*Zeitschrift für Pädagogik*, 59(1), 43–65).
- Korneck, F., Krüger, M. & Szogs, M. (2017). Professionswissen, Lehrerüberzeugungen und Unterrichtsqualität angehender Physiklehrkräfte unterschiedlicher Schulformen. In Fischler, H. & Sumfleth, E. (Hrsg.), *Professionelle Kompetenz von Lehrkräften der Chemie und Physik* (Band 200) (S. 113–133). Berlin: Logos Verlag Berlin.
- Korneck, F., Oettinghaus, L. & Lamprecht, J. (2021). Physiklehrkräfte: Gewinnung – Professionalisierung – Kompetenzen. In Habig, S. (Hrsg.), *Naturwissenschaftlicher Unterricht und*

- Lehrerbildung im Umbruch? Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik online Jahrestagung 2020* (S. 4–21). Universität Duisburg-Essen.
- Lamprecht, J. (2011). *Ausbildungswege Und Komponenten Professioneller Handlungskompetenz. Vergleich Von Quereinsteigern Mit Lehramtsabsolventen Für Gymnasien Im Fach Physik*, Berlin: Logos Verlag Berlin.
- Lucksnat, C., Fehrmann, I., Pech, D., Richter, D. & Zorn, D. (2021). *Zwischenbericht zur Evaluation des Q-Masters an der Humboldt-Universität zu Berlin*.
- Lucksnat, C., Richter, E., Klusmann, U., Kunter, M. & Richter, D. (2020). Unterschiedliche Wege ins Lehramt – unterschiedliche Kompetenzen? *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 1–16.
- Priboschek, A. (2016). „Heute fliegt sie kein Pilot“. *Grundschule*(9).
- Ramseser, J. (2017). Fachliche Stellungnahme anlässlich der Anhörung im Berliner Abgeordnetenhaus zur Problematik der Quereinsteiger/innen im Lehramt. <https://www.parlament-berlin.de/ados/18/BildJugFam/vorgang/bj18-0098-v-st-FU%20Berlin.pdf> (22.10.2020).
- Richter, D., Becker, B., Hoffmann, L., Busse, J. & Stanat, P. (2019). Aspekte der Aus- und Fortbildung von Lehrkräften im Fach Mathematik und in den naturwissenschaftlichen Fächern. In Stanat, P., Schipolowski, S., Mahler, N., Weirich, S. & Henschel, S. (Hrsg.), *IQB-Bildungstrend 2018. Mathematische und naturwissenschaftliche Kompetenzen am Ende der Sekundarstufe I im zweiten Ländervergleich* (S. 385–410). Münster: Waxmann.
- Riese, J. (2009). *Professionelles Wissen und professionelle Handlungskompetenz von (angehenden) Physiklehrkräften*, Berlin: Logos Verlag Berlin.
- Rothland, M. (2013). „Riskante“ Berufswahlmotive und Überzeugungen von Lehramtsstudierenden. *Erziehung & Unterricht*(163 ½), 71–80.
- Rothland, M. & Pflanzl, B. (2016). Zur Einführung in das Themenheft. Editorial. In Rothland, M. & Pflanzl, B. (Hrsg.), *Quereinsteiger, Seiteneinsteiger, berufserfahrene Lehrpersonen. Auswahl, Qualifizierung und Bewährung im Beruf* (S. 1–4). Landau in der Pfalz: Verlag Empirische Pädagogik.
- Terhart, E. (2020). Gedanken über Lehrermangel. In Jungkamp, B. & Pfafferott, M. (Hrsg.), *Sprung ins kalte Wasser. Stärkung von Seiten- und Quereinsteiger_innen an Schulen* (S. 10–17). Berlin: Friedrich-Ebert-Stiftung.
- Tigchelaar, A., Brouwer, N. & Vermunt, J.D. (2010). Tailor-made: Towards a pedagogy for educating second-career teachers. *Educational Research Review*, 5(2), 164–183.
- Troesch, L.M., Aksoy, D. & Bauer, C.E. (2019). Motiviert für den Berufswechsel: Spielt der frühere berufliche Status eine Rolle? In Safi, N., Bauer, C.E. & Kocher, M. (Hrsg.), *Lehrberuf: Vorbereitung, Berufseinstieg, Perspektiven* (S. 21–33). Bern: Hep-Verlag.
- Troesch, L.M. & Bauer, C.E. (2017). Second career teachers: Job satisfaction, job stress, and the role of self-efficacy. *Teaching and Teacher Education*, 67, 389–398.
- 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.

Förderung

Das diesem Artikel 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.

Erwerb und Messung physikdidaktischer Kompetenzen zum Einsatz digitaler Medien

Rike Große-Heilmann*, Josef Riese*, Jan-Philipp Burde⁺, Thomas Schubatzky[°], David Weiler⁺

* Didaktik der Physik und Technik, RWTH Aachen University, Sommerfeldstraße 14, 52074 Aachen

⁺ AG Didaktik der Physik, Eberhards Karls Universität Tübingen, Auf der Morgenstelle 14, 72076 Tübingen

[°]Institut für Physik, Physikdidaktik, Karl-Franzens-Universität Graz, Universitätsplatz 5, 8010 Graz
grosse-heilmann@physik.rwth-aachen.de, riese@physik.rwth-aachen.de, jan-philipp.burde@uni-tuebingen.de,
thomas.schubatzky@uni-graz.at, david-christoph.weiler@uni-tuebingen.de

Kurzfassung

Angesichts der zunehmenden Bedeutung digitaler Medien im Unterricht ist die Bereitstellung und Evaluierung entsprechender fachdidaktischer Lerngelegenheiten zur Förderung technologiebezogenen fachdidaktischen Wissens (vgl. TPCK im TPACK-Modell nach Mishra & Koehler, 2006) unabdingbar. In der vorgestellten Arbeit aus dem Projektverbund *DiKoLeP (Digitale Kompetenzen von Lehramtsstudierenden im Fach Physik)* soll daher ein bestehendes Lehr-Lern-Seminar, in welchem die Studierenden in einem komplexreduzierten Rahmen erste Lehrversuche unternehmen, im Hinblick auf den Einsatz digitaler Medien im Physikunterricht weiterentwickelt und evaluiert werden. Dabei werden Kernelemente des Lehr-Lern-Seminars mit den kooperierenden Universitäten (Universität Tübingen und Universität Graz) abgestimmt, die ebenfalls Lerngelegenheiten zum Einsatz digitaler Medien im Physikunterricht anbieten.

Neben der Weiterentwicklung des Lehr-Lern-Seminars zielt das vorgestellte Teilprojekt vor allem auf die Modellierung und Messung physikdidaktischer Kompetenzen zum Einsatz digitaler Medien. Dazu wird das im Projekt *ProfiLe-P* entwickelte Testinventar (Riese, Gramzow & Reinhold, 2017) um Items erweitert, die im Sinne des *DiKoLAN-Orientierungsrahmens* (Arbeitsgruppe Digitale Basiskompetenzen, 2020) vor allem die Bereiche Digitale Messwerterfassung, Simulationen und Erklärvideos abdecken. Der entwickelte Test wird zur Untersuchung des Kompetenzerwerbs der Studierenden in den Lehrveranstaltungen der beteiligten Standorte genutzt.

1. Ausgangslage und Problemstellung

Die zunehmende Bedeutung digitaler Medien im Unterricht erfordert Medienkompetenzen bei angehenden Lehrkräften, welche bereits in der universitären Lehramtsausbildung sowohl in den Bildungswissenschaften als auch in der Ausbildung in den Unterrichtsfächern gefördert werden müssen (Kultusministerkonferenz, 2016). Die Bereitstellung entsprechender Lerngelegenheiten im Lehramtsstudium ist demzufolge unabdingbar, was sich derzeit in zahlreichen Lehrkonzepten zur Förderung digitaler Kompetenzen widerspiegelt (vgl. z.B. Bundesministerium für Bildung und Forschung, 2018). Um auch der Frage nach der Lernwirksamkeit solcher Konzepte begegnen zu können, ist eine Evaluation hinsichtlich des Kompetenzzuwachses vonnöten. Bisher wurden in diesem Zusammenhang zur Untersuchung technologiebezogener Kompetenzen angehender Lehrkräfte häufig Selbsteinschätzungen herangezogen (Wang, Schmid-Crawford, & Jin, 2018). In verfügbaren Leistungstests zur Erfassung physikdidaktischer Kompetenzen von Lehramtsstudierenden ist hingegen bislang kein Fokus auf digitale Kompetenzen gelegt worden (z.B. KiL: Kröger, Neumann & Petersen, 2013; *ProfiLe P*: Riese, Gramzow & Reinhold, 2017). Das hier beschriebene Projekt knüpft an dieses Desiderat an und

zielt auf die Entwicklung eines Testinstruments zur Messung physikdidaktischer Kompetenzen zum Einsatz digitaler Medien, welches zur Evaluation und Untersuchung der Lernwirksamkeit von Lerngelegenheiten zur didaktisch begründeten Nutzung digitaler Medien im Physikunterricht genutzt werden kann.

2. Theoretischer Hintergrund

In der Lehrerbildungsforschung hat sich hinsichtlich der Frage, welche Kompetenzen angehende Lehrkräfte zum professionellen Handeln befähigen, das Modell der professionellen Handlungskompetenz nach Baumert und Kunter (2006) etabliert, welches Motivationale Orientierungen, selbstregulative Fähigkeiten und Überzeugungen sowie das Professionswissen einer Lehrkraft umfasst. Das Professionswissen lässt sich dabei ausgehend von Shulman (1986) in die drei Wissensbereiche Pädagogisches Wissen, Fachwissen und Fachdidaktisches Wissen gliedern. Diese Dreiteilung findet sich auch in der Gestaltung lehramtsbezogener Studiengänge durch die Bildungswissenschaften, Fachwissenschaften und Fachdidaktiken wieder (Kultusministerkonferenz, 2008). In diesem Beitrag wird das Fachdidaktische Wissen sowie dessen Messung fokussiert.

Für das Fach Physik wurden im Rahmen verschiedener Projekte wie ProWiN (Tepner et al., 2012), KiL (Kröger, Neumann & Petersen, 2013) oder ProfiLe-P (Riese, Gramzow & Reinhold, 2017) Modellierungen des Fachdidaktischen Wissens entwickelt und in Form von Kompetenztests operationalisiert. In dieser Arbeit wird auf das Modell nach Gramzow, Riese & Reinhold (2013) zurückgegriffen, welches die innere Struktur des Konstruktes mit zwei Dimensionen beschreibt (Abb. 1). Eine Dimension unterscheidet dabei fachliche Inhaltsbereiche, die andere benennt acht verschiedene Facetten des Fachdidaktischen Wissens in Physik.

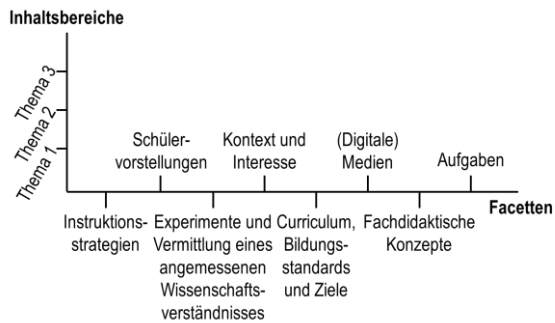


Abb.1: Modellierung des Fachdidaktischen Wissens in Physik nach Gramzow, Riese & Reinhold (2013)

Auf dieser Grundlage wurde zur Messung des physikdidaktischen Wissens ein Kompetenztest entwickelt und validiert, der die vier Facetten *Instruktionsstrategien*, *Schülervorstellungen*, *Experimente* und *fachdidaktische Konzepte* abdeckt. Mit diesem Testinstrument konnte die angenommene Binnenstruktur der vier Facetten des Fachdidaktischen Wissens empirisch gestützt werden (vgl. Riese, Gramzow & Reinhold, 2017).

Die Facette (*Digitale*) *Medien* ist bisher noch nicht operationalisiert worden. Sie umfasst das Wissen über Möglichkeiten und Anforderungen bei der Mediennutzung sowie die inhaltspezifische angemessene Nutzung von Medien und beinhaltet Wissen zum Computereinsatz zur Messwernerfassung und -auswertung sowie zum Einsatz von Simulationen (vgl. Korneck et al., 2010, zit. n. Gramzow, Riese & Reinhold, 2013), ist aber aufgrund der damaligen Fokussierung nicht weiter ausgeführt worden.

Zur differenzierten Beschreibung medienbezogener fachdidaktischer Kompetenzen wird häufig das TPACK-Modell nach Mishra und Koehler (2006) aufgegriffen (Abb. 2). Es ergänzt aufbauend auf Shulman (1986) zu den Bereichen des Fachwissens (CK) und Pädagogischen Wissens (PK) den Wissensbereich des technologischen Wissens (TK), wodurch sich neben dem fachdidaktischen Wissen (PCK) weitere Überlappungen der Wissensbereiche ergeben, darunter die zentrale Schnittmenge des TPCK bzw. TPACK (technologisches fachdidaktisches Wissen). Darunter wird jenes Wissen verstanden, das eine Lehrkraft dazu befähigt, digitale Technologien didak-

tisch sinnvoll einzusetzen, beispielsweise zur konstruktiven Vermittlung von Inhalten oder um Verständnisproblemen mithilfe von digitalen Medien entgegenzuwirken (Mishra & Koehler, 2006).

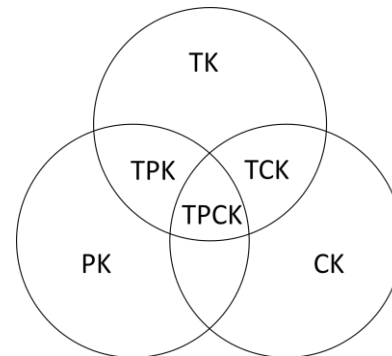


Abb.2: TPACK-Modell nach Mishra & Koehler (2006)

Zur effektiven Förderung dieser technologiebezogenen fachdidaktischen Kompetenzen in der Lehramtsausbildung sind gerade die Verbindung von Theorie und Praxis, die praktische Erprobung sowie deren Reflexion im Rahmen der entsprechenden Lehrveranstaltungen hilfreich (Schmid, Kranich & Petko, 2020).

Wie einige Bezugsrahmen oder -modelle, die digitale Kompetenzen von Lehrkräften benennen (z.B. das DigCompEdu-Rahmenmodell: Redecker & Punie, 2017), ist das auch TPACK-Modell fachunabhängig formuliert und betrachtet keine Fachspezifika (Arbeitsgruppe Digitale Basiskompetenzen, 2020). Eine spezifischere Sichtweise bietet der Orientierungsrahmen Digitale Kompetenzen für das Lehramt in den Naturwissenschaften (DiKoLAN) der Arbeitsgruppe Digitale Basiskompetenzen (2020) (Abb. 3).

Dieser Rahmen greift die Fachspezifika der naturwissenschaftlichen Fächer auf und konkretisiert digitale Basiskompetenzen in sieben verschiedenen Kompetenzbereichen und für die unterschiedlichen technologiebezogenen Wissensbereiche des TPACK-Modells (TK, TCK, TPK und TPCK). Neben vier allgemeineren Kompetenzbereichen (*Dokumentation*, *Präsentation*, *Kommunikation/Kollaboration*, *Recherche/Bewertung*) enthält der Rahmen drei Bereiche, die hinsichtlich der Nutzung digitaler Medien für die Fächer Physik, Chemie und Biologie spezifischer sind: *Messwert-/Datenerfassung*, *Datenverarbeitung* und *Simulation/Modellierung* (Arbeitsgruppe Digitale Basiskompetenzen, 2020; Abb. 3).

Hinsichtlich des Angebots fachdidaktischer Lerngelegenheiten zum Medieneinsatz für Studierende des Lehramts Physik sind gerade diese drei fachspezifischen Kompetenzbereiche von zentraler Bedeutung.



Abb.3: Orientierungsrahmen DiKoLAN (Becker, S., Bruckermann, T., Finger, A., Huwer, J., Kremser, E., Meier, M., Thoms, L.-J., Thyssen, C. & von Kotzebue, L. (2020). DiKoLAN: Digitale Kompetenzen für das Lehramt in den Naturwissenschaften. Arbeitsgruppe Digitale Basiskompetenzen. <https://dikolan.de/>, CC-BY-ND-3.0)

3. Lerngelegenheiten zum Einsatz digitaler Medien im Projekt DiKoLeP

Das Verbundprojekt *DiKoLeP* (*Digitale Kompetenzen von Lehramtsstudierenden im Fach Physik*) der RWTH Aachen, Universität Graz und Universität Tübingen widmet sich der zuvor genannten Notwendigkeit, lernwirksame fachdidaktische Lerngelegenheiten zur Nutzung digitaler Medien im Unterricht anzubieten. Ziel des Verbundprojektes ist dabei die Entwicklung sowie die Evaluation solcher Seminar-konzepte für Studierende des Lehramts Physik. Zu diesem Zweck werden im Projekt an den jeweiligen Standorten Seminar-konzepte zum Einsatz digitaler Medien im Physikunterricht entwickelt, wobei zentrale Kerninhalte standortübergreifend abgestimmt werden (lernpsychologische Grundlagen zum Medieneinsatz; fachdidaktische Grundlagen zum Einsatz von Simulationen, interaktiven Bildschirmexperimenten, digitalen Messwerterfassungssystemen, Videoanalysen sowie Erklärvideos). In allen Lehrver-

staltungen folgen anknüpfend an die theoretische Einführung praktische Anteile, welche sich in den jeweiligen Seminar-konzepten unterscheiden (Abb. 4).

Der praktische Anteil des Seminar-konzepts an der RWTH Aachen wird durch die Weiterentwicklung eines bestehenden physikdidaktischen Lehr-Lern-Seminars (Joswig & Riese, 2019) im Hinblick auf den Einsatz digitaler Medien umgesetzt. Die Grundidee des Lehr-Lern-Seminars ist es, den Studierenden erste Lehrer-fahrungen in komplex-reduzierten Unterrichtssituationen zu ermöglichen. Auf der Basis theoretischer Impulse zu fachdidaktischen Themen wie z.B. Schülervorstellungen sowie Inhalten zum Medieneinsatz im Physikunterricht entwickeln die Studierenden eigene Unterrichtseinheiten in Form von Lern-zirkeln, wobei der sinnvolle Einsatz digitaler Medien fokussiert wird. Die entwickelten Lern-zirkel setzen die Studierenden anschließend eigenständig in realen Schul-klassen ein. Bei dieser Erprobung in der Schule erhalten sie aus verschiedenen Perspektiven lernwirksames Feedback (Mitstudierende, Dozentin, Lernende



Abb.4: Übersicht der Seminar-konzepte der im Verbundprojekt beteiligten Standorte (für das Seminar-konzept aus Tübingen vgl. auch Weiler et al. (in diesem Band))

und betreuende Lehrkraft), welches ihnen zur Reflexion ihrer Unterrichtseinheit sowie ihrem Auftreten als Lehrkraft dient. Durch die Verzahnung von Theorie und Praxis sowie die eigene Erprobung am Lernort Schule und deren Reflexion greift das Lehr-Lern-Seminar o.g. Aspekte zur effektiven Förderung medienbezogener fachdidaktischer Kompetenzen auf (Schmid, Kranich & Petko, 2020).

Die Evaluation aller beteiligten Lehrveranstaltungen im Projekt erfolgt im Hinblick auf (1) den Kompetenzzuwachs in den Facetten *Digitale Medien* und *Schülervorstellungen* des Fachdidaktischen Wissens in Physik¹, (2) die motivationalen Orientierungen, selbstregulatorischen Fähigkeiten und Überzeugungen sowie (3) die Seminarqualität (siehe dazu auch Weiler et. al (in diesem Band)).

4. Forschungsziele und -fragen

Das hier im Beitrag vorgestellte Vorhaben fokussiert die Evaluation des physikdidaktischen Kompetenzzuwachses in den Lerngelegenheiten der Projektstandorte und beschäftigt sich insbesondere mit der Entwicklung und Validierung eines Kompetenztests zum physikdidaktischen Wissen zum Einsatz digitaler Medien. Diesbezüglich ergeben sich für die vorliegende Arbeit verschiedene Ziele und Forschungsfragen, die im Folgenden beschrieben werden.

Das erste Ziel stellt die Entwicklung eines Modells zur fachdidaktischen Kompetenzfacette *Digitale Medien* dar. Hier ist insbesondere der inhaltliche Fokus auf den Physikunterricht von Bedeutung, um der Fachspezifität gerecht zu werden. Anknüpfend daran ergibt sich als zweites Ziel die Entwicklung und Validierung eines entsprechenden Testinstruments zur Messung ebendieser Kompetenzfacette. Die zugehörige Forschungsfrage lautet:

FF1: Inwiefern lassen sich physikdidaktische Kompetenzen zum Einsatz digitaler Medien mithilfe des entwickelten Testinstruments valide messen?

Das dritte Ziel bildet die Untersuchung des Kompetenzzuwachses in den physikdidaktischen Lehrveranstaltungen der Projektstandorte zum Einsatz digitaler Medien mit mehreren Forschungsfragen:

FF2: Zeigt sich ein Kompetenzzuwachs im physikdidaktischen Wissen über die drei Lehrveranstaltungen der beteiligten Standorte?

FF3: Welche Elemente der Seminarkonzepte (der gemeinsamen Kerninhalte oder der individuell unterschiedlichen Aspekte) tragen maßgeblich zum Kompetenzzuwachs bei?

FF4: Inwiefern sind sonstige Merkmale (z.B. unterschiedliche Lernausgangslagen, standortspezifische

Besonderheiten) für unterschiedliche Kompetenzzuwächse verantwortlich?

Erkenntnisse der Forschungsfragen 3 und 4 sollen weiterführend dem vierten Ziel dienen, Hypothesen zu lernwirksamen universitären Seminarkonzepten zum Einsatz digitaler Medien im Physikunterricht zu generieren.

5. Methodisches Vorgehen

5.1. Modellierung der Facette *Digitale Medien*

Die Modellierung der physikdidaktischen Kompetenzfacette *Digitale Medien* stellt das erste Ziel dieser Arbeit dar und erfolgte zunächst deduktiv durch eine Sichtung und Strukturierung physikdidaktischer bzw. naturwissenschaftsdidaktischer (z.B. Girwitz, 2020; Laumann, Wichtrup & Friege, 2019; Arbeitsgruppe Digitale Basiskompetenzen, 2020) sowie die Adaption allgemein didaktischer Literatur zum Medieneinsatz (z.B. Mayer, 2009; Sweller, 1994). Darauf folgte eine Ausschärfung bezüglich der gegebenen Rahmenbedingungen sowie eine Fokussierung auf zentrale Aspekte: Zum einen ist zur Erfassung fachdidaktischer Kompetenzen die fachdidaktische Perspektive zum Medieneinsatz von zentraler Bedeutung. Diese zeichnet sich durch die Adressierung fachspezifischer Bildungsanliegen mit fachspezifischen oder -typischen Medien aus, welche an fachlichen Lernzielen sowie Denk- und Arbeitsweisen des jeweiligen Fachs orientiert sind (Ropohl et al., 2018). In diesem Fall bedeutete dies eine inhaltliche Fokussierung auf physikspezifische und -typische Medien oder Situationen zum Medieneinsatz, welche in Anlehnung an die fachspezifischeren Kompetenzbereiche des Orientierungsrahmens DiKoLAN (Abb. 3) sowie in Abstimmung mit den Physikdidaktiken der kooperierenden Standorte und den jeweiligen Curricula erfolgte. Zum anderen war eine Abgrenzung zu den weiteren Facetten des physikdidaktischen Wissens im zugrundeliegenden Modell (Abb. 1) vonnöten. Diese Ausschärfung führte weiterhin zu einer Fokussierung auf ausschließlich *digitale* Medien. Das bedeutet, dass solche Aspekte und Inhalte zur Mediennutzung in die fokussierte Facette fallen, die speziell den Physikunterricht betreffen und den Mehrwert des Digitalen betrachten (z.B. einen inhaltlichen Mehrwert wie bei den Ebenen der Umgestaltung (*Modification* und *Re-definition*) im SAMR-Modell nach Puentedura (2006)). Physiktypische Medien nicht-digitaler Art (wie z.B. ein Experiment ohne digitale Anteile oder ein Arbeitsblatt) finden sich bereits in anderen Facetten des zugrundeliegenden Rahmenmodells zum Fachdidaktischen Wissen (Abb. 1; Gramzow, Riese & Reinhold, 2013) wieder.

¹ Während in Bezug auf digitale Medien in der Regel von digitalen *Kompetenzen* von (angehenden) Lehrkräften gesprochen wird, ist für das in dieser Arbeit zugrundeliegende Konstrukt der Begriff *Fachdidaktisches Wissen* (FDW) etabliert (Abschnitt 2). Das verwendete Testinstrument zum FDW lässt sich jedoch auch als Kompetenztest auffassen, da es nicht nur rein deklaratives Wissen erfasst. Aus diesem Grund wird hier und im Folgenden von einem Kompetenzzuwachs gesprochen, wobei weiterhin der in der Literatur etablierte Begriff des Fachdidaktischen Wissens für das Konstrukt verwendet wird.

Das finale Modell für die physikdidaktische Facette *Digitale Medien* sieht damit insgesamt vier Kategorien vor: *Fachbezogene Grundlagen*, *digitale Messwerterfassung*, *Simulationen* und *Erklärvideos* (Abb. 5).

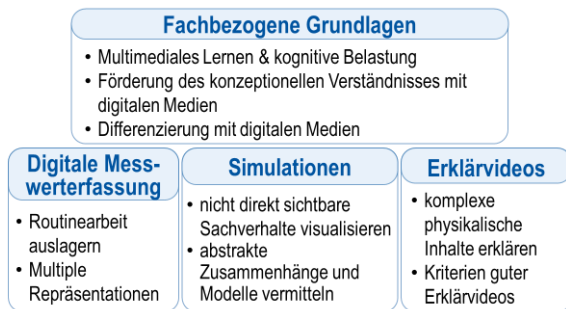


Abb.5: Modellierung der physikdidaktischen Kompetenzfacette *Digitale Medien*

Die zusätzliche Kategorie *Fachbezogene Grundlagen* resultiert aus der Relevanz grundlegender und übergreifender Aspekte zum Medieneinsatz in spezifischen Szenarien des Physikunterrichts. Diese beinhaltet das Wissen über grundlegende und lerntheoretische Konzepte zum Einsatz digitaler Medien für Situationen des Physikunterrichts. Auch übergreifendes Wissen zum Einsatz digitaler Medien zu einem bestimmten Einsatzzweck im Physikunterricht (z.B. Förderung des konzeptionellen Verständnisses oder Differenzierung) zählt zu dieser Kategorie.

Die Kategorie *Digitale Messwerterfassung* umfasst das Wissen über digitale Messwerterfassungssysteme und über deren Nutzung zur Datenerfassung, -aufbereitung und -analyse im Physikunterricht. Dazu zählen neben Systemen von Lehrmittelfirmen auch die Messsensorik von mobilen Endgeräten oder selbst gebaute Systeme mit Mikrocontrollern und externen Sensoren. Wie die Kategorie *Simulationen*, welche das Wissen über Simulationen und deren Einsatz als typisches Medium zur Erkenntnisgewinnung und Modellbildung im Physikunterricht umfasst, ist die Kategorie *Digitale Messwerterfassung* ein fachspezifischer Kompetenzbereich des Orientierungsrahmens DiKoLAN (Abb. 3). Die Kategorie *Erklärvideos* beinhaltet das Wissen über die fachdidaktische Qualität und den Einsatz von Erklärvideos im Physikunterricht. Aufgrund vieler komplexer Inhalte in der Physik, wofür der Einsatz solcher Videos insbesondere geeignet ist (Kulgemeyer, 2018), spielen Erklärvideos eine zunehmende Rolle im Physikunterricht sowie als Forschungsgegenstand in der Physikdidaktik (z.B. Sterzing, 2020; Kulgemeyer, 2018; Kulgemeyer & Peters, 2016). Alle Kategorien stellen weiterhin thematische Kernelemente der physikdidaktischen Lerngelegenheiten zum Einsatz digitaler Medien an den Projektstandorten dar (Abb. 4).

5.2. Entwicklung des Testinstruments

Das zweite Ziel dieser Arbeit adressiert die Entwicklung eines Testinstruments für die physikdidaktische

Kompetenzfacette *Digitale Medien*. Bei der Aufgabenentwicklung sind gewisse Rahmenbedingungen zu beachten. Zunächst soll das Testinstrument die in 5.1 beschriebene Modellierung der Facette *Digitale Medien* repräsentieren (im Sinne inhaltlicher Validität). Weiterhin wird eine inhaltlich-strukturelle Passung an den Kompetenztest zum physikdidaktischen Wissen aus dem Projekt ProfiLe-P (Gramzow, 2015; Riese, Gramzow & Reinhold, 2017) angestrebt, zu dessen Erstellung ein Itementwicklungsmodell konzipiert wurde, welches neben der inhaltsbezogenen fachdidaktischen Kategorie *Facette* auch drei Kognitive Anforderungen (*reproduzieren*, *anwenden* und *analysieren*) beschreibt. Als *Inhaltsbereich* wurde für die Aufgabenentwicklung im Verbundprojekt ProfiLe-P der Inhaltsbereich Mechanik fokussiert, weil dieser bereits im ersten Semester der Universität gelehrt wird und weiterhin die Schülervorstellungsforschung dort sehr fortgeschritten ist (Riese, Gramzow & Reinhold, 2017). Konkret bedeutet diese Fokussierung, dass Mechanik dann als Inhaltsbereich gewählt wurde, wenn für eine Aufgabe die Einbettung in einen konkreten Inhaltsbereich sinnvoll oder erforderlich war. Andernfalls waren auch inhaltsunabhängige und -übergreifende Items zulässig.

Auf dieser Grundlage wird in der vorliegenden Arbeit ein adaptiertes Itementwicklungsmodell genutzt, welches ebenfalls die drei o.g. Kognitiven Anforderungen unterscheidet und den *Physikalischen Inhaltsbereich* Mechanik fokussiert sowie auf einer weiteren Dimension die in 5.1 beschriebenen Kategorien der Facette *Digitale Medien* aufzeigt (Abb. 6).

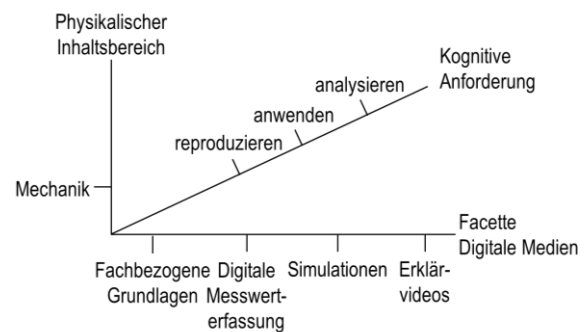


Abb.6: Itementwicklungsmodell der Facette *Digitale Medien* des Fachdidaktischen Wissens in Physik in Anlehnung an Riese, Gramzow & Reinhold (2017)

Analog zum zugrundeliegenden Modell und dem zugehörigen Testinstrument aus ProfiLe-P wird auch für die Aufgabenentwicklung zur Facette *Digitale Medien* keine bewusste Variation des physikalischen Inhaltsbereichs vorgenommen. Sofern eine Einbettung in einen konkreten physikalischen Inhaltsbereich für die Aufgabe notwendig ist, wird hinsichtlich der Passung zum bisherigen Testinstrument aus ProfiLe-P der Bereich Mechanik fokussiert. Falls sich das in der Aufgabe betrachtete Medium jedoch für einen konkreten Inhaltsbereich anbietet oder es diesen

festlegt, ist auch ein anderer physikalischer Inhaltsbereich zur Einbettung zulässig. Weiterhin sind auch inhaltsunabhängige und -übergreifende Aufgaben möglich. Für die Facette *Digitale Medien* wird erwartet, dass der physikalische Inhaltsbereich eine geringere Rolle spielt, als es womöglich bei anderen Facetten des Fachdidaktischen Wissens der Fall ist (Joswig & Riese, 2019).

Um eine objektive, zeitökonomische und ggf. automatisierte Auswertung des Tests zu ermöglichen, wird die Entwicklung von geschlossenen Mehrfachwahlaufgaben angestrebt. Aufgrund des geschlossenen Aufgabenformats sowie der veränderten Inhalte durch die neue Facette *Digitale Medien*, ist es für die Itementwicklung notwendig, die Definitionen der Kognitiven Anforderungen nach Gramzow (2015) wie folgt anzupassen.

Die Anforderung *reproduzieren* umfasst das Erkennen von allgemeinen Vorteilen, Prinzipien oder Kriterien zum Medieneinsatz im Physikunterricht, unabhängig von einer konkreten Unterrichtssituation. Bei der Anforderung *anwenden* soll Wissen zum Einsatz digitaler Medien im Physikunterricht angewendet werden. Dies kann beispielsweise durch die Auswahl eines geeigneten Mediums oder Medieneinsatzes zu einem bestimmten didaktischen Einsatzzweck oder durch Auswählen von Aspekten, die für einen gegebenen Medieneinsatz berücksichtigt werden sollen, erfolgen. *Analysieren* erfordert die Analyse einer gegebenen Unterrichtssituation mit Medieneinsatz unter einem bestimmten Gesichtspunkt. Es kann in einer Aufgabe beispielsweise überprüft werden, ob allgemeine Kriterien für einen Medieneinsatz in einer beschriebenen Unterrichtssituation erfüllt sind.

Auf der Basis des oben skizzierten Itementwicklungsmodells wurden systematisch Testaufgaben entwickelt. Diese lassen sich gemäß dem Modell jeweils genau einer Kategorie der Facette *Digitale Medien* und einer Kognitiven Anforderung zuordnen. Diese Zuordnung wurde von den im Projektverbund beteiligten Physikdidaktiken unabhängig voneinander vorgenommen und erreichte Übereinstimmungen mit Cohens Kappa von $\kappa = 0,35$ bis $\kappa = 0,72$ (Kognitive Anforderungen) und $\kappa = 0,68$ bis $\kappa = 0,92$ (Kategorien). Nach einer Überarbeitung und Ausschärfung der Definitionen der Kognitiven Anforderungen (siehe oben) und Kategorien wurde eine erneute Zuordnung von Physikdidaktiker*innen außerhalb des Projektverbunds vorgenommen und eine verbesserte Übereinstimmung im ausreichenden bis guten (Kognitive Anforderungen: $\kappa = 0,54$ bis $\kappa = 0,65$) bzw. sehr guten Bereich (Kategorien: $\kappa = 0,84$) erreicht (Döring & Bortz, 2016).

Das nach diesem Vorgehen entwickelte Testinstrument zur Facette *Digitale Medien* des physikdidaktischen Wissens umfasst derzeit 17 Aufgaben, die im Sommersemester 2021 an verschiedenen Hochschulen pilotiert ($N > 100$) werden. Die entsprechende Verteilung der 17 Aufgaben zeigt Tab. 1.

| | Reproduzieren | Anwenden | Analysieren | SUMME |
|----------------------------|---------------|----------|-------------|-------|
| Fachbezogene Grundlagen | - | 2 | 2 | 4 |
| Digitale Messwerterfassung | 2 | 2 | 1 | 5 |
| Simulationen | 1 | 1 | 2 | 4 |
| Erklärvideos | - | 2 | 2 | 4 |
| SUMME | 3 | 7 | 7 | 17 |

Tab.1: Aufgabenverteilung der Testaufgaben zur Facette *Digitale Medien* des physikdidaktischen Wissens (die Einträge geben jeweils die Anzahl der Aufgaben zu der entsprechenden Kategorie und Kognitiven Anforderung an)

In Abb. 7 ist eine Aufgabe des entwickelten Tests exemplarisch dargestellt. Diese ist der Kategorie *Digitale Messwerterfassung* und der kognitiven Anforderung *reproduzieren* zuzuordnen und erfragt allgemeine Vorteile digitaler Messwerterfassung gegenüber traditioneller Messmethoden im Physikunterricht. Die Aufgabe ist nicht in einen konkreten physikalischen Inhaltsbereich eingebettet.

Handelt es sich im Folgenden um Aspekte, die allgemein als Vorteile einer digitalen Messwerterfassung (z.B. Lehrmittelfirmensysteme mit externen Sensoren oder Nutzung der internen Messsensorik mobiler Endgeräte) gegenüber traditioneller Messmethoden im Physikunterricht aufgefasst werden?

| | ja | nein |
|---|----|------|
| Ermöglichung neuer experimenteller Zugänge | x | |
| Generelle Reduktion des kognitiven Anspruchs | | x |
| Überzeugendere Messergebnisse für die Lernenden | | x |
| Einfache Umsetzung von Langzeitmessungen | x | |
| Fokussierung auf die Dateninterpretation | x | |
| Auslagerung von Routinearbeiten | x | |

Abb.7: Beispielhafte Aufgabe des Testinstruments aus der Kategorie *Digitale Messwerterfassung/reproduzieren*

5.3. Geplantes Vorgehen zur Beantwortung der Forschungsfragen

Anknüpfend an die Entwicklung adressiert das zweite Ziel dieser Arbeit die Validierung des Testinstruments zur Messung physikdidaktischer Kompetenzen zum Einsatz digitaler Medien. In diesem Rahmen wird Forschungsfrage 1 untersucht. Mithilfe dafür gängiger Methoden zur Validierung von Kompetenzmodellen und -tests (Schaper, 2014) werden dabei Validitätsargumente zur Konstruktvalidität nach Messick (1995) durch verschiedene qualitative und quantitative Teilstudien untersucht. So ist z.B. die Untersuchung der inhaltlichen und curricularen Validität durch Expertenbefragungen und die der kognitiven Validität durch die Methode des Lauten Denkens geplant. Im Sinne der strukturellen Validität wird die theoretisch angenommene Struktur des Konstrukts durch die empirischen Daten geprüft. Weiterhin wird durch Erhebungen bei Lehramtsstudierenden anderer Fächer die diskriminante Validität betrachtet.

Ab dem Wintersemester 2021/22 wird Forschungsfrage 2, welche den Kompetenzzuwachs im physikdidaktischen Wissen über die Lehrveranstaltungen des Projekts erfragt, über Pre-Post-Messungen des phy-

sikdidaktischen Wissens in den Facetten *Digitale Medien* (aus diesem Projekt) und *Schülvorstellungen* (Projekt ProfiLe-P Transfer) an allen Projektstandorten untersucht (Abb. 8). Im Post-Test werden weiterhin parallel besuchte Lehrveranstaltungen zu digitalen Medien als Kontrollvariablen erhoben.

Zur Beantwortung der Forschungsfragen 3 und 4 hinsichtlich möglicher Zusammenhänge von Merkmalen der Seminarkonzepte und dem Lernzuwachs der Studierenden sind nach dem ersten Erhebungsjahr retrospektive Interviews mit einem Teil der befragten Studierenden geplant (N~20), wobei hinsichtlich der Auswahl auf eine große Varianz im Kompetenzzuwachs bezüglich der Pre-Post-Messung geachtet wird. Diese qualitativen Untersuchungen dienen dem Ziel, Hinweise hinsichtlich wirksamer Lerngelegenheiten zum Einsatz digitaler Medien im Physikunterricht zu generieren. Weiterhin können in diesem Zusammenhang mögliche durch die schriftliche Erhebung gewonnene Befunde weiter aufgeklärt werden. Das geplante Untersuchungsdesign der Studie veranschaulicht Abb. 8.

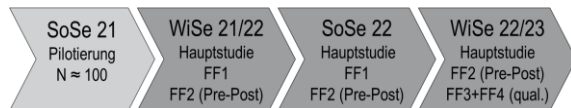


Abb.8: geplantes Design der Studie

6. Aktueller Stand und Ausblick

Die 17 entwickelten Testaufgaben zur Facette *Digitale Medien* des physikdidaktischen Wissens werden im Sommersemester 2021 mit einer Stichprobe von N>100 an verschiedenen Universitäten in Deutschland und Österreich pilotiert (Abb. 8). Um hinsichtlich der Validierung die Abgrenzung des adressierten Kompetenzbereichs zu anderen Konstrukten empirisch zu untersuchen, werden zum Teil weitere Instrumente eingesetzt. So wird ein Testinstrument zum pädagogischen Wissen nach Riese (2009, adaptiert nach Seifert, Hiligus & Schaper, 2009), sowie der Leistungstests zum Fachdidaktischen Wissen in Physik aus dem Projektverbund ProfiLe-P Transfer (geschlossene Version des Tests, adaptiert von Große-Heilmann nach Gramzow, 2015) im Rahmen der Pilotierung miterhoben, um über Korrelationsanalysen empirisch zu prüfen, ob die entwickelten Testaufgaben tatsächlich fachdidaktisches Wissen und nicht eher allgemein (medien-)didaktisches Wissen messen. Weiterhin sind statistische Itemanalysen geplant, um Hinweise für eine notwendige Überarbeitung und Optimierung der Aufgaben zu gewinnen. Diese Optimierung der Aufgaben für die Hauptstudie erfolgt im Sommer 2021, um das Testinstrument zur physikdidaktischen Kompetenzfacette *Digitale Medien* ab dem Wintersemester 2021/22 zur Evaluation der Lerngelegenheiten im Projekt und der Untersuchung des Kompetenzerwerbs zum Einsatz digitaler Medien im Physikunterricht einsetzen zu können.

7. Literatur

- Arbeitsgruppe Digitale Basiskompetenzen: Becker, S., Bruckermann, T., Finger, A., Huwer, J., Kremser, E., Meier, M., Thoms, L.-J., Thyssen, C. & von Kotzebue, L. (2020). Orientierungsrahmen Digitale Kompetenzen für das Lehramt in den Naturwissenschaften. 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.
- Baumert, J. & Kunter, M. (2006). Stichwort: Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 9(4), 469-520.
- Becker, S., Bruckermann, T., Finger, A., Huwer, J., Kremser, E., Meier, M., Thoms, L.-J., Thyssen, C. & von Kotzebue, L. (2020). *DiKoLAN: Digitale Kompetenzen für das Lehramt in den Naturwissenschaften*. Arbeitsgruppe Digitale Basiskompetenzen. <https://dikolan.de/>, Zugriff: 28.05.2021.
- Bundesministerium für Bildung und Forschung (2018). *Bekanntmachung: Richtlinie zur Förderung von Projekten in der „Qualitätsoffensive Lehrerbildung“ mit den Schwerpunkten „Digitalisierung in der Lehrerbildung“ und/oder „Lehrerbildung für die beruflichen Schulen“*. <https://www.bmbf.de/foerderungen/bekanntmachung-20197.html>, Zugriff: 23.05.2021.
- Döring, N. & Bortz, J. (2016). *Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften*. 5. vollständig überarbeitete, aktualisierte und erweiterte Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Girwidz, R. (2020). Multimedia und digitale Medien im Physikunterricht. In E. Kircher, R. Girwidz & H. E. Fischer (Hrsg.), *Physikdidaktik – Grundlagen*. Berlin: Springer, S. 457-528.
- Gramzow, Y. (2015). Fachdidaktisches Wissen von Lehramtsstudierenden im Fach Physik. Modellierung und Testkonstruktion. In Niedderer, H., Fischler, H. & E. Sumfleth (Hrsg.) *Studien zum Physik- und Chemielernen*, Logos Verlag, Band 181.
- Gramzow, Y., Riese, J., Reinhold, P. (2013). Modellierung fachdidaktischen Wissens angehender Physiklehrkräfte. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 19, 7-30.
- Joswig, A. K., & Riese, J. (2019). Veränderungen des physikdidaktischen Wissens im Verlauf eines Lehr-Lern-Seminars. *PhyDid B-Didaktik der Physik-Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*, 1 (2019), S. 183-187.
- Kröger, J., Neumann, K. & Petersen, S. (2013). Messung professioneller Kompetenz im Fach Physik. In S. Bernholt (Hrsg.), *Inquiry-based Learning - Forschendes Lernen*, Kiel: IPN, 533-535.

- Kulgemeyer, C. (2018). A framework of effective science explanation videos informed by criteria for instructional explanations. *Research in Science Education*, 1-22.
- Kulgemeyer, C., & Peters, C. H. (2016). Exploring the explaining quality of physics online explanatory videos. *European Journal of Physics*, 37(6), 065705.
- Kultusministerkonferenz (2008). *Ländergemeinsame inhaltliche Anforderungen für die Fachwissenschaften und Fachdidaktiken in der Lehrerbildung*. https://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2008/2008_10_16-Fachprofile-Lehrerbildung.pdf, Zugriff: 23.05.2021.
- Kultusministerkonferenz (2016). *Bildung in der digitalen Welt: Strategie der Kultusministerkonferenz*. <https://www.kmk.org/themen/bildung-in-der-digitalen-welt/strategie-bildung-in-der-digitalen-welt.html>, Zugriff: 23.05.2021.
- Laumann, D., Wichtrup, P., & Friege, G. (2019). Zwei Schlüssel zur Physik – Reale Experimente und digitale Medien als Schlüssel zu physikalischen Inhalten. *Naturwissenschaften im Unterricht Physik* 30(171/172), 4-9.
- Mayer, R. E. (2009). *Multimedia Learning*. Second Edition. Cambridge: Cambridge University Press.
- Messick, S. (1995). Validity of psychological assessment: Validation of inferences from persons' responses and performances as scientific inquiry into score meaning. *American psychologist*, 50(9), 741-749.
- Mishra, P. & Koehler, M. J. (2006). Technological Pedagogical Content Knowledge: A framework for teacher Knowledge. *Teachers college record*, 108(6), 1017-1054.
- Puentedura (2006). *Transformation, technology, and education*. <http://hippasus.com/resources/tte/>, Zugriff: 23.05.2021.
- Redecker C., & Punie, Y. (2017). *DigCompEdu: European Framework for the Digital Competence of Educators*. <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC107466>, Zugriff: 22.05.2021.
- Riese, J. (2009). Professionelles Wissen und professionelle Handlungskompetenz von (angehenden) Physiklehrkräften. In Niedderer, H., Fischer, H. & E. Sumfleth (Hrsg.) *Studien zum Physik- und Chemielernen*, Logos Verlag, Band 97.
- Riese, J., Gramzow, Y. & Reinhold, P. (2017). Die Messung fachdidaktischen Wissens von Anfängern und Fortgeschrittenen im Lehramtsstudiengang Physik. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 23, 99-112.
- Ropohl, M., Härtig, H., Kampschulte, L., Lindmeier, A., Ostermann, A. & Schwanewedel, J. (2018). Planungsbereiche für Medieneinsatz im Fachunterricht. *MNU*, 71(3), 148-155.
- Schaper, N. (2014). Validitätsaspekte von Kompetenzmodellen und -tests für hochschulische Kompetenzdomänen. In F. Musekamp & G. Spöttl (Hrsg.) *Kompetenz im Studium und in der Arbeitswelt. Nationale und internationale Ansätze zur Erfassung von Ingenieurkompetenzen*, Frankfurt: Peter Lang, S. 21-48.
- Schmid, M., Krannich, M., & Petko, D. (2020). Technological Pedagogical Content Knowledge. Entwicklungen und Implikationen. *Journal für LehrerInnenbildung*, 20(1), 116-124.
- Seifert, A., Hilligus, A. H., & Schaper, N. (2009). Entwicklung und psychometrische Überprüfung eines Messinstruments zur Erfassung pädagogischer Kompetenzen in der universitären Lehrerbildung. *Lehrerbildung auf dem Prüfstand*, 2(1), 82-103.
- Shulman, L. S. (1986). Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, 15(2), 4-14.
- Sterzing, F., Varnai, A. S., & Reinhold, P. (2019). Erklärvideos im Physikunterricht. *PhyDid B-Didaktik der Physik – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*, 1 (2019), S. 315-322.
- Sweller, J. (1994). Cognitive load theory, learning difficulty, and instructional design. *Learning and instruction* 4 (4), 295-312.
- Tepner, O., Borowski, A., Dollny, S., Fischer, H. E., Jüttner, M., Kirschner, S., Leutner, D., Neuhäus, B.J., Sandmann, A., Sumfleth, E., Thillmann, H. & Wirth, J. (2012). Modell zur Entwicklung von Testitems zur Erfassung des Professionswissens von Lehrkräften in den Naturwissenschaften. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 18, 7-28.
- Wang, W., Schmidt-Crawford, D., & Jin, Y. (2018). Preservice Teachers' TPACK Development: A Review of Literature. *Journal of Digital Learning in Teacher Education*, 34(4), 234-258.
- Weiler, D, Burde, J., Lachner, A., Riese, J., Schubatzky, T. & Große-Heilmann, R. (in diesem Band). Entwicklung eines Seminars zur Förderung des Konzeptverständnisses mittels digitaler Medien. *PhyDid B-Didaktik der Physik – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*, 1 (2021).

Anhang

Die Studie wird unterstützt durch das Projekt „Gemeinsam verschieden sein in einer digitalen Welt – Lehrerbildung an der RWTH Aachen (LeBiAC)“, welches im Rahmen der gemeinsamen „Qualitätsoffensive Lehrerbildung“ von Bund und Ländern aus Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gefördert wird (FKZ: 01JA1813).

Digitale Medien in der naturwissenschaftlichen Lehrkräftebildung

- Integriert statt zusätzlich -

Lisa Stinken-Rösner

Leuphana Universität Lüneburg, Didaktik der Naturwissenschaften
lisa.stinken-roesner@leuphana.de

Kurzfassung

Eine erfolgreiche Implementation digitaler Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht kann nur gelingen, wenn geeignete universitäre und berufsbegleitende Qualifizierungsangebote entwickelt werden, in denen (zukünftigen) Lehrkräften der sinnvolle Einsatz digitaler Medien im Fachunterricht vermittelt wird. Eine besondere Rolle fällt dabei den Fachdidaktiken zu, da sowohl das Angebot an als auch die Einsatzmöglichkeiten von digitalen Medien je nach Unterrichtsfach stark variieren. Im Rahmen des Projektes *„FoLe – Digital“* wird eine systematische Verankerung digitaler Medien in die naturwissenschaftliche Lehrkräftebildung an der Leuphana Universität Lüneburg angestrebt. Hierzu werden digitale Medien nicht als zusätzliches Themenfeld ergänzt, sondern entlang naturwissenschaftsdidaktischer Schwerpunkte in die existierenden Module des 4. und 5. Semesters integriert. Begleitend werden die TPACK-Wissensdomänen sowie Verhaltensabsichten bzgl. des Einsatzes digitaler Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht erhoben. Die erste Kohorte besteht aus 58 Studierenden, 21 davon nahmen an der freiwilligen Begleitstudie teil. Die Erhebung ergab, dass im Laufe des Projektes eine positive Entwicklung der Verhaltensabsichten sowie eine (hoch) signifikante Zunahme der TPACK-Wissensdomänen stattfand. Zudem unterstützen die bisherigen Daten ein transformatives Verständnis des TPACK-Modells.

1. Von PCK zu TPACK

Die fortschreitende Digitalisierung des Unterrichtes stellt sowohl Lernende als auch Lehrende vor neue Herausforderungen. Lehrkräfte benötigen spezifische professionelle Kompetenzen, um digitale Medien sinnstiftend in den naturwissenschaftlichen Unterricht zu integrieren. Zur theoretischen Beschreibung dieser Kompetenzen haben Mishra und Koehler (2006), ausgehend von dem PCK-Modell (Shulman, 1986), das TPACK-Modell entwickelt. Das TPACK-Modell beschreibt den Zusammenhang zwischen den drei Wissensdomänen *Content Knowledge* (CK), *Pedagogical Knowledge* (PK) und *Technological Knowledge* (TK) mit den aus den Schnittmengen resultierenden Hybriden erster Ordnung (PCK, TCK und TPK) sowie TPACK als Hybrid zweiter Ordnung (Mishra & Koehler, 2006). Das TPACK-Modell wird unter anderem zur Beschreibung der Kompetenzen von (angehenden) Lehrkräften genutzt (Koehler & Mishra, 2009). Jedoch existieren widersprüchliche empirische Ergebnisse bezüglich der faktoriellen Struktur der einzelnen TPACK-Dimensionen, ihrer Beziehungen zueinander (Archambault & Barnett, 2010) sowie des Zusammenhanges mit dem eigentlichen Handeln von Lehrkräften in der Praxis (Valtonen et al., 2018). Daran anknüpfend sollte TPACK vielmehr als möglicher Prädiktor für die Verhaltensabsichten von Lehrkräften verstanden werden. Um digitale Medien

sinnstiftend im naturwissenschaftlichen Unterricht einzusetzen, benötigen Lehrkräfte sowohl spezifische professionelle Kompetenzen als auch positive Verhaltensabsichten gegenüber dem Einsatz digitaler Medien.

Eine besondere Rolle bei der Förderung der professionellen Kompetenzen von angehenden Lehrkräften spielen im Rahmen der universitären Ausbildung die jeweiligen Fachdidaktiken. Insbesondere für die naturwissenschaftlichen Fächer existieren teilweise sehr spezifische digitale Angebote, die nicht im Rahmen von allgemeinpädagogischen oder fachwissenschaftlichen Veranstaltungen behandelt werden (können). Es ist somit die explizite Aufgabe der Naturwissenschaftsdidaktiken sich dieser Verantwortung anzunehmen und angehende Lehrkräfte bezüglich des Einsatzes digitaler Medien im Fachunterricht zu professionalisieren. Neben der Förderung des fachdidaktischen Wissens (PCK), muss auch TPACK systematisch im Rahmen der fachdidaktischen Ausbildung gefördert werden. Ein Beispiel hierfür stellt das Projekt *„FoLe – Digital“* dar, welches 2020 an der Leuphana Universität Lüneburg initiiert wurde.

2. Das Projekt *„FoLe – Digital“*

Ziel des von der Joachim Herz Stiftung auf zwei Jahre geförderten Projektes *„FoLe – Digital“* (Forschendes Lernen mit digitalen Medien) ist die sys-

tematische Integration digitaler Medien in die naturwissenschaftliche Lehramtsausbildung an der Leuphana Universität Lüneburg. Um eine optimale Verknüpfung zwischen fachdidaktischen Inhalten und Einsatzmöglichkeiten digitaler Medien im Fachunterricht zu erzielen, werden digitale Medien im Rahmen bereits bestehender fachdidaktischer Module entlang naturwissenschaftsdidaktischer Schwerpunkte thematisiert. Für einen detaillierten Überblick über das Design des Projektes sei an dieser Stelle auf Stinken-Rösner (2021) verwiesen.

3. Begleitforschung

Zu drei Zeitpunkten (Prä-, Re-, Post-Design) werden die professionellen Kompetenzen der Teilnehmer*innen bezogen auf den Einsatz digitaler Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht (TPACK; Mishra & Koehler, 2006) sowie ihre Verhaltensabsichten (ToPB; Ajzen, 1991) erhoben und entlang folgender Fragestellung analysiert:

Welche Kompetenzentwicklung lässt sich hinsichtlich des Einsatzes von digitalen Medien im naturwissenschaftlichen Fachunterricht der Primar- und Sekundarstufe bei Lehramtsstudierenden im Rahmen des Lehrprojektes feststellen?

4. Methoden

Die professionellen Kompetenzen sowie die Verhaltensabsichten bezogen auf den Einsatz digitaler Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht wurden mit Hilfe eines Fragebogens zu drei Messzeitpunkten (vgl. Stinken-Rösner, 2021) erhoben. Der Fragebogen setzt sich zusammen aus vier Abschnitten:

- persönlicher Identifikationscode und demographische Daten (einmalig im Pre-Test erhoben: Geschlecht, Alter, Studienfächer, Studiensemester, Unterrichtserfahrung),
- Vorerfahrungen im Einsatz digitaler Medien in (Hoch)Schule und privates Nutzungsverhalten (einmalig im Pre-Test erhoben),
- professionelle Kompetenzen in Anlehnung an das TPACK-Modell,
- Verhaltensabsichten bezüglich des Einsatzes digitaler Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht in Anlehnung an die *Theory of Planned Behaviour*.

Alle Items werden auf einer 5-stufigen Likertskala (,stimme gar nicht zu' / ,stimme voll zu' bzw. ,nie' / ,sehr oft') von den Teilnehmer*innen beurteilt.

Zur Erfassung der Vorerfahrung, des Nutzungsverhaltens und der Verhaltensabsichten wurde ein bereits existierendes und hinreichend erprobtes, deutschsprachiges Testinstrument eingesetzt (Vogelsang et al., 2019). Die adaptierten Skalen weisen überwiegend gute bzw. befriedigende Werte der internen Konsistenz (Cronbach's $\alpha > 0.7$) auf. Eine Ausnahme bildet die Subskala subjektive Normer-

wartungen. Mögliche Gründe dafür wurden bereits von Vogelsang et al. (2019) diskutiert.

Die Entwicklung und Analyse des eingesetzten TPACK-Instrumentes werden in den folgenden Abschnitten 4.1 bis 4.3 detailliert erläutert.

4.1. TPACK-Instrument

Im Rahmen der Entwicklung des TPACK-Instrumentes wurden in einem ersten Schritt verschiedene deutsch- und englischsprachige Testinstrumente gesichtet und analysiert. Kriterien stellten die Erfassung aller TPACK-Dimensionen, eine annähernd gleiche, möglichst geringe Anzahl an Items pro TPACK-Dimension (die Bearbeitungszeit des Fragebogens sollte aufgrund der Rahmenbedingungen maximal 15 Minuten betragen) sowie eine möglichst hohe Skalenreliabilitäten dar. Lediglich das englischsprachige TPACK-Instrument von Chai et al. (2013) erfüllte alle vorgegebenen Kriterien.

In einem zweiten Schritt wurden die Originalitems übersetzt und für den naturwissenschaftlichen Unterricht adaptiert. Eine anschließende Sichtung durch zwei Expert*innen führte zur Konsensfindung bezüglich individueller Formulierungen. Die Güte des entwickelten TPACK-Testinstrumentes wurde anhand der Skalenreliabilitäten sowie einer explorativen Faktorenanalyse analysiert. An dieser Stelle sei jedoch darauf hingewiesen, dass die Erhebung noch nicht abgeschlossen ist, so dass die hier angegebenen Kennwerte sich lediglich auf die Kohorte 2020 (Gesamtstichprobe mit $N = 130$) beziehen.

Ein Überblick über die Items des eingesetzten TPACK-Instrumentes sowie zugehörige Reliabilitäten (Cronbach's α) der individuellen Skalen ist in den Tabellen 1-3 zu finden.

CONTENT KNOWLEDGE (CK) $\alpha=.79$

| | | |
|------|--|-----|
| CK-1 | Ich habe ausreichende Kenntnisse über die Fachinhalte meines naturwissenschaftlichen Unterrichtsfaches. | .74 |
| CK-2 | Ich kann über die Fachinhalte meines naturwissenschaftlichen Unterrichtsfaches wie ein Experte nachdenken. | .75 |
| CK-3 | Ich kann selbstständig die Fachinhalte meines naturwissenschaftlichen Unterrichtsfaches vertiefen. | .74 |
| CK-4 | Ich traue mir zu, die Fachinhalte meines naturwissenschaftlichen Unterrichtsfaches zu unterrichten. | .74 |

PEDAGOGICAL KNOWLEDGE (PK) $\alpha=.88$

| | | |
|------|--|-----|
| PK-1 | Ich kann Schüler*innen fördern und fordern, indem ich ihnen herausfordernde Aufgaben stelle. | .86 |
|------|--|-----|

| | | |
|-------------------------------------|--|--------------------------------|
| PK-2 | Ich kann Schüler*innen anleiten geeignete Lernstrategien anzuwenden. | .83 |
| PK-3 | Ich kann Schüler*innen dabei unterstützen, ihren eigenen Lernprozess zu überwachen. | .84 |
| PK-4 | Ich kann Schüler*innen dabei unterstützen, ihre eigenen Lernstrategien zu reflektieren. | .84 |
| PK-5 | Ich kann Schüler*innen dabei unterstützen, in Gruppenarbeiten angemessen zu diskutieren. | .89 |
| TECHNOLOGICAL KNOWLEDGE (TK) | | $\alpha=.81$ |
| TK-1 | Ich habe die nötigen technischen Fähigkeiten, um digitale Medien effektiv zu nutzen. | .75 |
| TK-2 | Mir fällt es leicht, den Umgang mit digitalen Medien zu erlernen. | .72 |
| TK-3 | Ich weiß, wie ich technische Probleme bei der Nutzung digitaler Medien selbstständig lösen kann. | .74 |
| TK-4 | Ich informiere mich regelmäßig über neue digitale Medien. | .81 |

Tab.1: Das TPACK-Testinstrument. Angegeben sind die Skalen zur Erfassung der CK-, PK- und TK-Dimension, die jeweilige Skalenreliabilität sowie Cronbach's Alpha unter Ausschluss individueller Items.

| | | |
|--|--|--------------------------------|
| PEDAGOGICAL CONTENT KNOWLEDGE (PCK) | | $\alpha=.83$ |
| PCK-1 | Ich kann Schüler*innen dabei unterstützen, sich naturwissenschaftliche Inhalte auf verschiedene Weise anzuzeigen | .80 |
| PCK-2 | Ich kann auf typische Lernschwierigkeiten in meinem naturwissenschaftlichen Unterricht eingehen. | .81 |
| PCK-3 | Ich kann Schüler*innen dabei unterstützen, Diskussionen über naturwissenschaftliche Inhalte zu führen. | .79 |
| PCK-4 | Ich kann Schüler*innen dazu motivieren, Alltagsprobleme im Zusammenhang mit Naturwissenschaften zu lösen. | .78 |

| | | |
|--|--|--------------------------------|
| PCK-5 | Ich kann Schüler*innen dabei unterstützen, das Lernen naturwissenschaftlicher Inhalte zu bewältigen. | .78 |
| TECHNOLOGICAL CONTENT KNOWLEDGE (TCK) | | $\alpha=.73$ |
| TCK-1 | Ich kann Software verwenden, die speziell für den naturwissenschaftlichen Unterricht entwickelt wurde. | .61 |
| TCK-2 | Ich kann digitale Medien nutzen, um naturwissenschaftliche Inhalte zu recherchieren. | .74 |
| TCK-3 | Ich kann passende digitale Medien auswählen und nutzen, um naturwissenschaftliche Inhalte darzustellen. | .68 |
| TCK-4 | Ich kann spezielle Software nutzen, um naturwissenschaftliche Untersuchungen durchzuführen. | .61 |
| TECHNOLOGICAL PEDAGOGICAL KNOWLEDGE (TPK) | | $\alpha=.79$ |
| TPK-1 | Ich kann digitale Medien nutzen, um meinen Schüler*innen Alltagsbeispiele näher zu bringen. | .75 |
| TPK-2 | Ich kann Schüler*innen dabei unterstützen, ihren eigenen Lernprozess mit digitalen Medien zu planen und zu überwachen. | .72 |
| TPK-3 | Ich kann Schüler*innen dabei unterstützen, Inhalte mit digitalen Medien unterschiedlich darzustellen. | .73 |
| TPK-4 | Ich kann Schüler*innen dabei unterstützen, mit Hilfe von digitalen Medien miteinander zu kooperieren. | .77 |

Tab.2: Das TPACK-Testinstrument. Angegeben sind die Skalen zur Erfassung der PCK-, TCK- und TPK-Dimension, die jeweilige Skalenreliabilität sowie Cronbach's Alpha unter Ausschluss individueller Items.

| | | |
|--|---|--------------------------------|
| TECHNOLOGICAL PEDAGOGICAL CONTENT KNOWLEDGE (TPACK) | | $\alpha=.84$ |
| TPACK-1 | Ich kann anspruchsvolle Diskussionsthemen über naturwissenschaftliche Inhalte formulieren und die Online-Zusammenarbeit von Schüler*innen durch geeignete digitale Medien unterstützen. | .85 |

| | | |
|----------------|--|-----|
| TPACK-2 | Ich kann Lernumgebungen gestalten, die Schüler*innen dabei unterstützen naturwissenschaftliche Inhalte auf verschiedene Weise mit digitalen Medien darzustellen. | .79 |
| TPACK-3 | Ich kann Lernumgebungen gestalten, mit denen Schüler*innen naturwissenschaftliche Inhalte mit Hilfe von digitalen Medien selbstgesteuert erlernen können. | .80 |
| TPACK-4 | Ich kann problemzentrierte Lernumgebungen gestalten, die Schüler*innen dabei unterstützen naturwissenschaftliche Inhalte mit Hilfe digitaler Medien anzuwenden und zu vertiefen. | .81 |
| TPACK-5 | Ich kann schüler*innenzentrierte Lernumgebungen gestalten, in denen naturwissenschaftliche Inhalte, pädagogische Grundlagen und digitale Medien angemessen integriert sind. | .80 |

Tab.3: Das TPACK-Testinstrument. Angegeben ist die Skala zur Erfassung der TPACK-Dimension, die Skalenzuverlässigkeit sowie Cronbach's Alpha unter Ausschluss individueller Items.

4.2. Explorative Faktorenanalyse

Zur Überprüfung der Trennbarkeit der TPACK-Dimensionen wurde auf Basis der Kohorte 2020 (N = 130) eine explorative Faktorenanalyse durchgeführt, um Items mit uneindeutigen Faktorenladungen zu identifizieren. Ein finaler Ausschluss von Items findet statt, sobald die Daten der Kohorte 2021 erhoben und in der Analyse berücksichtigt werden konnten (Ende der Datenerhebung im Februar 2022). Dennoch sollen an dieser Stelle bereits die ersten Ergebnisse der Analyse dargestellt werden. Die explorative Faktorenanalyse unter Anwendung des Kaiser-Kriteriums ergibt sieben Faktoren, wie auch aus der Theorie zu erwarten. Auffällig ist jedoch, dass alle TPK und TPACK Items auf einen Faktor laden, die TCK Items auf zwei getrennte Faktoren. Ein möglicher Grund dafür kann in dem Design des Projektes und dem formalen Rahmen der Datenerhebung selbst liegen. Durch den Ansatz ‚integriert statt zusätzlich‘ wurde TPACK explizit im Rahmen von naturwissenschaftsdidaktischen Modulen thematisiert, gleichzeitig fanden auch die Datenerhebungen innerhalb dieser Module statt. Es kann daher angenommen werden, dass obwohl bei der Formulierung der jeweiligen Items bewusst darauf geachtet wurde, dass die TPK Items keinen, die TPACK-Items hingegen einen konkreten Bezug zum natur-

wissenschaftlichen Unterricht aufweisen (vgl. Tab. 2 & 3), die Teilnehmer*innen dennoch auch bei der Beantwortung der TPK-Items den naturwissenschaftlichen Unterricht als Kontext stets mitgedacht haben. Um dies zu berücksichtigen, wurde eine zweite explorative Faktorenanalyse unter Vorgabe von 6 Faktoren durchgeführt (Tab. 4, sortiert nach TPACK-Dimensionen), wodurch sich die Varianzaufklärung von 69 % auf 66 % verringert.

| | F1 | F2 | F3 | F4 | F5 | F6 |
|--------------|------|------|------|------|------|------|
| CK | | | .366 | .625 | | .314 |
| | | | | .722 | | |
| | | | | .763 | | |
| | | | | .727 | | |
| PK | .739 | | | | | |
| | .826 | | | | | |
| | .857 | | | | | |
| | .838 | | | | | |
| | .634 | | | | | .328 |
| TK | | .404 | .451 | | .550 | |
| | | | | | .797 | |
| | | | | | .755 | |
| | | .433 | | | .452 | |
| PCK | | | | | | .521 |
| | .404 | | .407 | | | .450 |
| | .452 | | | .382 | | .524 |
| | .353 | | | | | .688 |
| | .488 | | | | | .525 |
| TCK | | | .770 | | | |
| | .309 | | | | .445 | .558 |
| | .353 | | | | | .462 |
| | | | .831 | | | |
| TPK | .481 | .370 | | | | |
| | .519 | | | | .381 | |
| | .495 | .370 | | | | |
| | .803 | | | | | |
| TPACK | .796 | | | | | |
| | .804 | | | | | |
| | .563 | .451 | | | | |
| | .322 | .476 | | | | |
| | .326 | .586 | | | | |
| EW | 10.4 | 3.8 | 2.3 | 1.4 | 1.3 | 1.2 |

Tab.4: Explorative Faktorenanalyse des TPACK-Testinstruments (N = 130). In der Tabelle sind nur Ladungen > 0,3 dargestellt. Die letzte Zeile beinhaltet die jeweiligen Eigenwerte.

Für die in Abschnitt 6 beschriebenen Ergebnisse werden zunächst alle Items des hier vorgestellten TPACK-Instrumentes berücksichtigt. Ein finaler Ausschluss von Items mit uneindeutigen Faktorla-

dungen findet statt, sobald der Datensatz der Kohorte 2021 in die Analyse einbezogen werden kann.

4.3. TPACK-Verständnis

Zur Analyse der Beziehungen zwischen den einzelnen TPACK-Dimensionen wurden die integrative und die transformative Sichtweise anhand linearer Regressionen analysiert. Die Ergebnisse sind in den Abb. 1 & 2 zu finden.

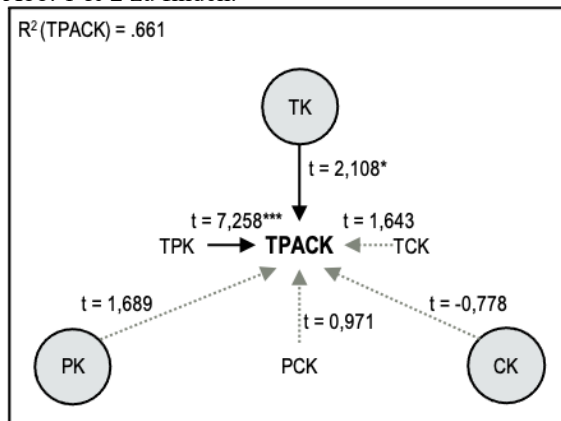


Abb.1: Analyse des integrativen Verständnisses des TPACK-Modells. Gestrichelte Linien repräsentieren nicht signifikante Zusammenhänge.

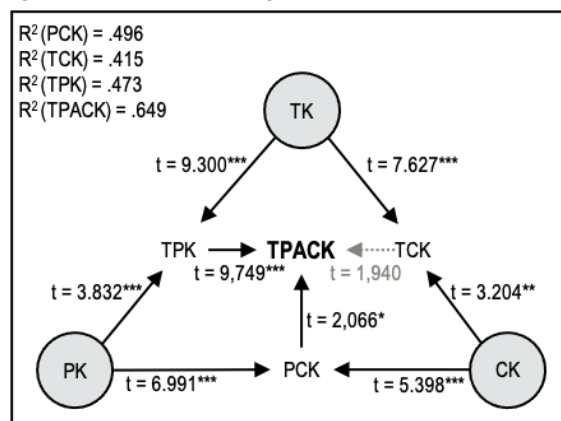


Abb.2: Analyse des transformativen Verständnisses des TPACK-Modells. Gestrichelte Linien repräsentieren nicht signifikante Zusammenhänge.

Die Ergebnisse unterstützen die transformative Sichtweise des TPACK-Modells, in der CK, PK und TK die Hybriden erster Ordnung (PCK, TCK und TPK) vorhersagen, welche wiederum TPACK vorhersagen. Dies entspricht sowohl der ursprünglichen TPACK Definition von Mishra und Koehler (2006), als auch aktuellen Forschungsarbeiten (Angeli & Valanides, 2009; Jang & Chen, 2010; Jin, 2019; Schmid, Brianza & Petko, 2020). Analog zur Studie von Schmid, Brinaza und Petko (2020) wird TPACK maßgeblich von TPK und PCK beeinflusst, wo hingegen kein signifikanter Einfluss von TCK nachgewiesen werden konnte.

Das transformative Verständnis des TPACK-Modells liegt ebenfalls dem im Projekt ‚FoLe – Digital‘ gewählten Ansatz ‚integriert statt zusätz-

lich‘ zugrunde und wird durch die vorliegenden Daten weiter gestärkt.

5. Beschreibung der Stichprobe

Die Kohorte 2020 bestand aus 58 Studierenden. An allen drei Testzeitpunkten haben 21 weibliche Studierende teilgenommen. 66,7 % der Teilnehmerinnen studieren Lehramt für Grundschulen (Sachunterricht mit dem Bezugsfach Naturwissenschaften), 28,6 % für die Sekundarstufe I mit dem Unterrichtsfach Biologie und 9,5 % mit dem Unterrichtsfach Chemie. Zu Beginn des Projektes hatte die Mehrheit der Teilnehmerinnen keine bis geringe Unterrichtserfahrungen.

6. Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Kohorte 2020 (N = 21) getrennt für die Entwicklung der professionellen Kompetenzen (TPACK) sowie der Verhaltensabsichten (ToPB) bezüglich bzw. gegenüber dem Einsatz digitaler Medien im Verlaufe des Projektes beschrieben. Eine Zusammenfassung der Ergebnisse des ersten Messzeitpunktes findet sich auch in Stinken-Rösner (2021).

6.1. TPACK

Die Entwicklung der professionellen Kompetenzen der Teilnehmerinnen im Laufe des Projektes sind in Abb. 3 zusammengefasst.

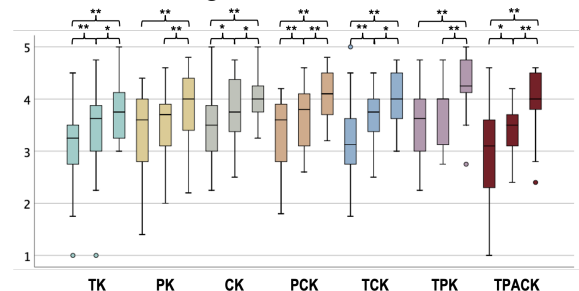


Abb. 3: Entwicklung der professionellen Kompetenzen im Laufe des Projektes. Dargestellt sind für jede TPACK-Dimension die Ergebnisse des Prä-, Re- und Post-Tests in Form von Boxplots. Signifikante Unterschiede sind durch Sternchen markiert (*/** Korrelation ist auf dem 0,05/0,05 Niveau signifikant).

Anhand von T-Tests (bei normalverteilten Daten) bzw. des Wilcoxon Tests für verbundene Stichproben (bei nicht normalverteilten Daten) wurden signifikante Unterschiede zwischen den verschiedenen Messzeitpunkten identifiziert. Sowohl zwischen Prä- und Re-Test, zwischen Re- und Post-Test als auch über den Verlauf des ganzen Projektes (Vergleich zwischen Prä- und Post-Test) zeigen sich (hoch) signifikante Unterschiede in (fast) allen TPACK-Dimensionen. Neben der theoretischen Auseinandersetzung mit digitalen Medien entlang ausgewählter naturwissenschaftsdidaktischer Schwerpunkte in der ersten Projekthälfte, wirken sich auch die praktische Planung, Durchführung und Reflexion einer Unterrichtseinheit zum Forschenden Lernen unter Einbe-

zug digitaler Medien in der zweiten Projekthälfte (vgl. Stinken-Rösner, 2021) positiv auf die Einschätzungen der eigenen professionellen Kompetenzen der Teilnehmerinnen aus.

6.2. ToPB

Die Entwicklung der Verhaltensabsichten im Laufe des Projektes sind in Abb. 4 dargestellt.

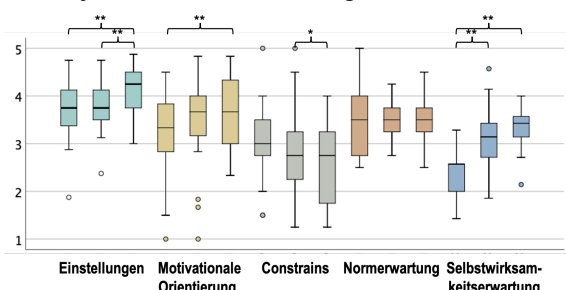


Abb. 4: Entwicklung der Verhaltensabsichten im Laufe des Projektes. Dargestellt sind die Ergebnisse der jeweiligen ToPB-Elemente in Form von Boxplots für den Prä-, Re- und Post-Test. Signifikante Unterschiede sind durch Sternchen markiert. (*/** Korrelation ist auf dem 0,05/0,05 Niveau signifikant).

Im Vergleich zwischen Prä- und Re-Test beurteilen die Teilnehmerinnen einzig ihre Selbstwirksamkeitserwartung bezüglich des Einsatzes digitaler Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht signifikant höher zum zweiten Messzeitpunkt. Einen stärkeren Effekt auf die Verhaltensabsichten hat die zweite Hälfte des Projektes: Nach der selbstständigen Planung und Durchführung einer Unterrichtseinheit zum Forschenden Lernen unter Einbezug digitaler Medien geben die Teilnehmerinnen hoch signifikant positivere Einstellungen gegenüber dem Einsatz digitaler Medien an, genauso wie signifikant geringer wahrgenommene Schwierigkeiten beim Einsatz. Zudem ergeben sich hoch signifikante Unterschiede bezüglich der motivationalen Orientierung gegenüber dem Einsatz digitaler Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht im Verlauf des gesamten Projektes.

6.3. Zusammenhang zwischen TPACK und ToPB

Eine gemeinsame Analyse von TPACK und den Verhaltensabsichten zeigte hoch signifikante Korrelationen zwischen TPACK und den Einstellungen gegenüber ($r = .261^{**}$), der Selbstwirksamkeitserwartung bezüglich ($r = .561^{**}$), den wahrgenommenen Schwierigkeiten beim ($r = -.551^{**}$) sowie der motivationalen Orientierung gegenüber dem Einsatz digitaler Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht ($r = .354$). Dies unterstützt die Annahme, dass durch die explizite Förderung von TPACK ebenfalls eine positive Entwicklung der Verhaltensabsichten gegenüber dem Einsatz digitaler Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht erzielt werden kann.

7. Fazit und Ausblick

Die hier präsentierten Ergebnisse der Kohorte 2020 belegen, dass durch den im Projekt ‚FoLe – Digital‘

verfolgten Ansatz ‚integriert statt zusätzlich‘ die professionellen Kompetenzen der Teilnehmerinnen explizit gefördert werden können. Zwischen Prä- und Post-Test ergeben sich (hoch) signifikante Unterschiede in den Selbsteinschätzungen aller TPACK-Dimensionen. Ebenfalls konnten, obwohl nicht explizit adressiert, die Verhaltensabsichten der Teilnehmerinnen bezüglich des Einsatzes digitaler Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht positiv beeinflusst werden, insbesondere durch die eigenständige Planung und Durchführung einer Unterrichtseinheit im Sinne des Forschenden Lernens unter Einbezug digitaler Medien.

Die im Verlauf der zweiten Projekthälfte von den Teilnehmer*innen erstellten Unterrichtsentwürfe (vgl. Stinken-Rösner, 2021) werden aktuell hinsichtlich der Quantität und Qualität des Medieneinsatzes analysiert. Die Qualität wird anhand der Konzeptualisierungen von Puentedura (2006) für den Grad der Technologieintegration (SAMR: Substitution, Augmentation, Modification und Redefinition) sowie von Chi & Wylie (2014) für die kognitive Aktivierung der Lernenden (ICAP: interactive, constructive, active, passive) beurteilt. Um den Zusammenhang zwischen professionellen Kompetenzen und Handlungen in der Praxis besser verstehen zu können, dienen die Unterrichtsentwürfe als zusätzliche, authentische Datengrundlage. In Anlehnung an die von Magnusson et al. (1999) definierten PCK-Elemente, sowie der davon abgeleiteten TPACK-Elemente (Lyublinskaya & Tournaki, 2014) wird *TPACK in Action* (in der Unterrichtspraxis) qualitativ analysiert und mit den quantitativen TPACK-Selbsteinschätzungen der Teilnehmer*innen (*TPACK on Action*) in Beziehung gesetzt.

Parallel zur aktuellen qualitativen Analyse der Unterrichtsentwürfe ist im April 2021 die zweite Kohorte in das Projekt ‚FoLe – Digital‘ gestartet. Weitere Ergebnisse sind in naher Zukunft zu erwarten.

8. Literatur

- Ajzen, I. (1991). The theory of planned behavior. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 50(2), 179–211.
- Angeli, C., & Valanides, N. (2005). Preservice elementary teachers as information and communication technology designers: An instructional systems design model based on an expanded view of pedagogical content knowledge. *Journal of Computer Assisted Learning*, 21(4), 292–302.
- Archambault, L. M., & Barnett, J. H. (2010). Revisiting technological pedagogical content knowledge: Exploring the TPACK framework. *Computers & Education*, 55(4), 1656–1662.
- Chai, C. S., Ng, E. M., Li, W., Hong, H.-Y., & Koh, J. H. L. (2013). Validating and modelling technological pedagogical content knowledge framework among Asian preservice teachers. *Australasian Journal of Educational Technology*, 29(1), 41–53.

- Chi, M. T. H., & Wylie, R. (2014). The ICAP Framework: Linking Cognitive Engagement to Active Learning Outcomes. *Educational Psychologist*, 49(4), 219–243.
- Jang, S.-J., & Chen, K.-C. (2010). From PCK to TPACK: Developing a transformative model for pre-service science teachers. *Journal of Science Education and Technology*, 19, 553–564.
- 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).
- Koehler, M.J., & Mishra, P. (2009). What is technological pedagogical content knowledge? *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education*, 9(1), 60–70.
- Lyublinskaya, I. & Tournaki, N. (2014). Preparing Special Education Teachers for Teaching Mathematics and Science with Technology by Integrating the TPACK Framework into the Curriculum: A Study of Teachers' TPACK Development through Assessment of Lesson Plans. *Journal of Technology and Teacher Education*, 22(4), 449–470.
- Magnusson, S., Krajcik, J., & Borko, H. (1999). Nature, sources, and development of pedagogical content knowledge for science teaching. In J. Gess-Newsome & N. G. Lederman (Eds.), *Examining pedagogical content knowledge* (S. 95–132). Dordrecht: Kluwer.
- 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/tte/>
- 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. (2021). Implementation digitaler Medien in die naturwissenschaftliche Lehramtsausbildung. In C. Maurer, K. Rincke & M. Hemmer (Hrsg.), *Fachliche Bildung und digitale Transformation. Fachdidaktische Forschung und Diskurse* (S. 181–184). Regensburg: Universität 2021.
- 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.
- Vogelsang, C., Finger, A., Laumann, D., & Thyssen, C. (2019). Vorerfahrungen, Einstellungen und motivationale Orientierung als mögliche Einflussfaktoren auf den Einsatz digitaler Werkzeugen im naturwissenschaftlichen Unterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* (2019), 1–15.

Umsetzung eines interdisziplinären Seminars zur Erkenntnisgewinnung als E-Learning-Veranstaltung

Jana Tampe*, Verena Spatz*

* Didaktik der Physik, Technische Universität Darmstadt, Hochschulstraße 12, 64289 Darmstadt
jana.tampe@physik.tu-darmstadt.de

Kurzfassung

Das Modul „Erkenntnisgewinnung in den Naturwissenschaften“ wurde im Rahmen des MINTplus²-Projekts neu für den interdisziplinären Vernetzungsbereich an der TU Darmstadt konzipiert. Dieser ist seit 2017 neu im Lehramtsstudiengang integriert, um den Studierenden im Sinne einer ganzheitlichen Ausbildung Lernen über ihre Fächergrenzen hinweg zu ermöglichen. Das Modul „Erkenntnisgewinnung in den Naturwissenschaften“ ermöglicht dies, indem es die Vermittlung naturwissenschaftsübergreifender didaktischer Theorien und praktischer Unterrichtskonzepte zum Kompetenzbereich „Erkenntnisgewinnung“ in den Mittelpunkt stellt.

Aufgrund der Corona-Pandemie konnte das Modul in seinem Erstdurchlauf im Sommersemester 2020 nicht in Präsenz durchgeführt werden und musste wie alle universitären Lehrveranstaltungen in ein digitales Lehrformat überführt werden. Die verwendeten digitalen Tools wurden dabei mit Hilfe von Beobachtungen und Kommentaren von Studierenden bewertet. Die Ergebnisse werden in diesem Artikel vorgestellt.

Die Veranstaltung wurde zusätzlich durch einen Prae-Post-Test zur grundsätzlichen Einstellung bezüglich des E-Learnings sowie zu Vor- und Nachteilen von E-Learning begleitet. Die Ergebnisse zeigen, dass sich die Grundeinstellung bezüglich des E-Learnings innerhalb der Seminargruppe durch das Online-Semester nicht ändert, lediglich eine E-Learning-Ermüdung lässt sich feststellen, da der Spaß daran abnimmt und Vorteile weniger stark wahrgenommen werden. Die Ergebnisse werden ebenfalls ausführlich in diesem Artikel dargestellt.

1. Ausgangssituation

Die Konzeption des Moduls „Erkenntnisgewinnung in den Naturwissenschaften“ ist Bestandteil des Projekts MINTplus². Im Rahmen des Vorgängerprojekts MINTplus wurde das Lehramtsstudium an der TU Darmstadt grundlegend umgestaltet. Neben der Neuordnung der Praxisphasen ist vor allem die Integration eines neuen interdisziplinären Vernetzungsbereiches ein Kernelement des neuen Studiengangs. Im Zentrum der Veranstaltungen des Vernetzungsbereiches steht eine fächerübergreifende Herangehensweise an interdisziplinäre Inhalte, die nicht selten aktuelle gesellschaftliche Probleme unserer Zeit betreffen. Dadurch geben die Veranstaltungen den Studierenden die Möglichkeit, einerseits den Blick für die Perspektiven anderer Fächer durch gemeinsames Arbeiten zu öffnen und andererseits die eigene Fachidentität in Diskussionen mit anderen Fachdisziplinen zu stärken [1]. Während im Vorgängerprojekt bereits die Pflichtveranstaltungen neu konzipiert wurden, hat das Nachfolgeprojekt das Ziel, weitere speziell vertiefende Veranstaltungen für den Wahlpflichtbereich zu entwickeln. Eine dieser Veranstaltungen ist das Seminar „Erkenntnisgewinnung in den Naturwissenschaften“. Es richtet sich an Studierende, die bei der Vertiefung einen naturwissenschaftlichen Schwerpunkt wählen möchten.

Der durch das Projekt vorgesehene Zeitplan enthielt die Vorgabe, die Veranstaltung 2019 anhand von theoretischer Literaturrecherche und Befragungen zu entwickeln, um sie anschließend im Sommersemester 2020 erstmals zu erproben. Die folgende Zeit bis zum Projektende am Jahresende 2021 sollte der Weiterentwicklung anhand der Evaluation gewidmet werden. Bis zum März 2020 wurde die Veranstaltung als Präsenzveranstaltung geplant, da „Vernetzung“ vor allem durch Interaktion gefördert wird und mit dem Kompetenzbereich „Erkenntnisgewinnung“ auch das Experimentieren ein wichtiger Bestandteil der Veranstaltung werden sollte.

Durch die Corona-Pandemie musste die Veranstaltung jedoch für das Sommersemester 2020 wie die gesamte universitäre Lehre auf ein digitales Format umgestellt werden. Dabei wurden die Inhalte, die während der Konzeption durch Literaturarbeit und die Vorstudie [2] ausgearbeitet wurden, im Wesentlichen beibehalten und lediglich die für die Umsetzung geplanten Methoden geändert. Dieser Artikel wird daher im zweiten Kapitel die vom E-Learning unabhängige inhaltliche Struktur des Seminars nur kurz darstellen und in den anschließenden Kapiteln ausführlich auf die digitalen Lehrmethoden und deren Evaluation eingehen.

Für die Evaluation wurden Daten aus der ersten Durchführung des Moduls im Sommersemester 2020 mit N=20 Studierenden verwendet. Dabei wurde vor allem evaluiert, welche Elemente der digitalen Lehre so gut sind, dass sie in zukünftigen Präsenzveranstaltungen beibehalten werden sollten. Neben dem allgemeinen Interesse dieser Fragestellung bei der Rückkehr zur Präsenz nach der Pandemie ist dies auch für das Modul „Erkenntnisgewinnung in den Naturwissenschaften“ relevant, da die zunächst digital gestaltete Veranstaltung langfristig in eine Präsenzveranstaltung überführt werden soll. Denn es gilt weiterhin die Prämisse, dass „Vernetzung“ vor allem durch Interaktion gefördert wird und das eigenständige Experimentieren ein wichtiger Bestandteil des Moduls ist.

2. Überblick über die Modulgestaltung

Das Modul besteht im Wesentlichen aus drei Phasen, der Seminarphase, der Projektphase und der Reflexionsphase. Dies wurde trotz der Umstellung auf die digitale Lehre beibehalten.

Das Seminar wurde als Online-Seminar durchgeführt. Nach dem Einstieg begann der Inhalt mit der didaktischen Aufarbeitung des Begriffs Erkenntnisgewinnung. Dazu wurden unterschiedliche fachdidaktische Modelle zur „Erkenntnisgewinnung“ analysiert und miteinander verglichen, um einen Eindruck von den vielen Facetten und der Komplexität des Begriffs zu erhalten [3, 4, 5, 6]. Anschließend wurde das zweite Substantiv aus dem Modultitel, „Naturwissenschaften“, genauer beleuchtet, insbesondere indem die Vor- und Nachteile von naturwissenschaftsübergreifenden Unterrichtskonzepten diskutiert wurden.

Die folgenden drei Seminareinheiten galten der genaueren Ausdifferenzierung des Begriffs „Erkenntnisgewinnung“ auf den drei Ebenen „Experiment“, „Modellbildung“ und „Nature of Science“ [6]. Neben der Vermittlung der wichtigen fachdidaktischen Begriffe zu den Themen wurden auch schon einzelne Ideen diskutiert, wie man diese Facetten der Erkenntnisgewinnung als zentrale Elemente in den naturwissenschaftlichen Unterricht integrieren kann.

Das letzte Drittel der Seminarsitzungen widmete sich schließlich praktischen Unterrichtskonzepten, insbesondere dem forschend-entdeckenden Unterricht und dem damit verbundenen schrittweisen Öffnen von Experimenten, aber auch dem Experimentieren im inklusiven Unterricht und dem Einbinden von experimentellen Aufgaben in Prüfungssituationen.

Das anschließende Projekt sollte ursprünglich die Ausarbeitung von Experimentiersettings für die Erprobung in der Schule umfassen. Da sowohl ein Einsatz in der Schule als auch die Verwendung von Experimentiermaterial aus der Universität aufgrund der Pandemie nicht möglich war, wurde das Projekt von den Studierenden lediglich zu Hause ausgearbeitet. Die Studierenden entwickelten Experimentiersettings mit Heimexperimenten für die Verwendung im Distanzunterricht.

Die Reflexion begleitet die Studierenden durch das Führen eines Portfolios ab der ersten Seminarsitzung durch das ganze Semester. Der größte Anteil findet jedoch nach dem Projektende statt, indem die Studierenden zunächst schriftlich in ihrem Portfolio zusammenfassen, welche Lerninhalte aus dem Seminar sie in ihrem Projekt aufgegriffen haben. Zum Abschluss des Moduls präsentieren die Studierenden ihr Portfolio in einem Abschlussgespräch.

3. Digitale Tools und deren Evaluation

Nach der kurzen Vorstellung der Modulinhalt im vorangegangenen Kapitel soll im Folgenden der Schwerpunkt auf den verwendeten Methoden im Online-Seminar liegen. Dazu werden die digitalen Tools, die im Online-Seminar verwendet wurden, jeweils einzeln nacheinander vorgestellt und unmittelbar mit eigenen Beobachtungen und Zitaten von Studierenden kommentiert, um einen Eindruck vom Nutzen des jeweiligen digitalen Tools zu erhalten. Die Zitate der Studierenden stammen dabei aus der Evaluation, die seminarbegleitend stattgefunden hat. Nach jeder Seminarsitzung haben die Studierenden ein sogenanntes One-Minute-Paper ausgefüllt. Neben offenen Fragen nach „Gelungenem“ und „Verbesserungsvorschlägen“ mussten die Studierenden dabei zusätzlich das Gelingen der sechs Aspekte „Zieltransparenz“, „Methoden“, „wahrgenommener Lerneffekt“, „Roter Faden“, „persönliche Relevanz“ und „Spaßfaktor“ auf einer fünfstufigen Likert-Skala bewerten. Außerdem fanden nach dem gesamten Modul noch Interviews statt, in denen nochmals auf das Seminar als Ganzes zurückgeblickt wurde.

Bevor auf die digitalen Tools im Einzelnen eingegangen wird, soll an dieser Stelle erwähnt werden, dass während des Online-Seminars grundsätzlich drei Plattformen verwendet wurden: Moodle als Datenbank für Arbeitsmaterial, Mahara zur Sammlung der Arbeitsergebnisse in einem Portfolio und Zoom für Live-Veranstaltungen mit Gruppenarbeiten. Zu Beginn des Seminars wurden die Studierenden gefragt, wie vertraut sie mit den Plattformen sind (Abb. 1).

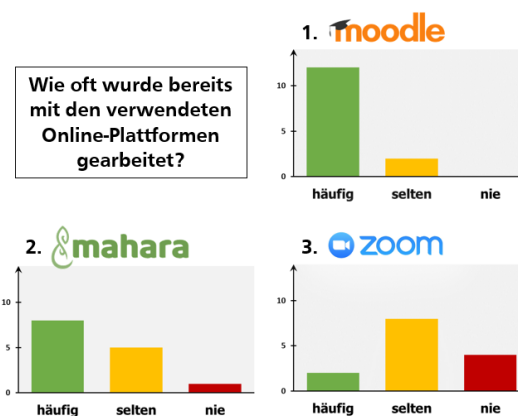


Abb.1: Vorerfahrung mit den verwendeten Plattformen

Die Ergebnisse verdeutlichen, dass mit Moodle bereits viel Vorerfahrung besteht, auch Mahara kennen viele Lehramtsstudierenden bereits. Zoom hingegen

wurde bis jetzt selten oder gar nicht verwendet. Es ist davon auszugehen, dass die vielen „seltenen“ Verwendungen von Zoom aus der ersten Woche des Sommersemesters 2020 stammen, da Zoom mit Beginn des Semesters an der TU Darmstadt verwendet wurde, die Befragung aber erst am Beginn der zweiten Semesterwoche durchgeführt wurde.

3.1. Tools in Moodle

Moodle bietet eine große Menge an digitalen Tools, die über das grundsätzliche Ziel der Plattform im Online-Seminar, das Bereitstellen von Arbeitsmaterial, hinausgehen. Auch solche wurden im Online-Seminar verwendet und werden im Folgenden vorgestellt und kommentiert. Zunächst soll jedoch auf die grundsätzliche Kursgestaltung eingegangen werden.

3.1.1. Grundsätzliche Kursgestaltung

Das Seminar war bereits in der Planung für die Präsenzveranstaltung so angelegt, dass ein Thema in einer Seminarsitzung behandelt werden sollte. Dies wurde für die Online-Veranstaltung übernommen und so bot sich das Anlegen eines themenzentrierten Moodle-Kurses an, wobei ein Thema gleichzeitig die Inhalte einer Woche widerspiegelt. Diese Parallelität hat sich bewährt, was insbesondere deutlich wurde, als sie in zwei Wochen nicht gegeben war – in der Phase wurden viele Fragen zu Deadlines und Arbeitsaufträgen gestellt und die Zieltransparenz wurde in den One-Minute-Papers deutlich unterdurchschnittlich bewertet.

Jedes Thema wurde im Moodle-Kurs nach dem gleichen Muster aufbereitet. Für jedes Thema bzw. für jede Woche fanden die Studierenden am Beginn der Datenbank die Arbeitsaufträge und ein Fragenforum zu den Arbeitsaufträgen. Danach folgte der Hauptteil: inhaltliche Inputs und Arbeitsmaterial für die Aufgaben, also beispielsweise Präsentationen oder Arbeitsblätter. Abschließend erfolgte die Abgabe der Arbeitsergebnisse in einer Moodle-Aufgabe. Für das Bearbeiten hatten die Studierenden immer eine Woche Zeit. Der Moodle-Kurs wurde für jede Woche montags morgens freigeschaltet, die Erarbeitung erfolgte mit Ausnahme der Gruppentreffen (siehe Abschnitt 3.3) während der Woche im Eigenstudium und die Aufgaben mussten bis spätestens zum nächsten Montag abgegeben werden.

Die Arbeitsaufträge wurden für jede Woche in Form einer Stundenverlaufstabelle [7] zur Verfügung gestellt, sodass neben den eigentlichen Aufgabenstellungen für die Studierenden auch immer die geplante Zeit und das Ziel der jeweiligen Aufgabe transparent wurden. Insgesamt wurde das Seminar von den Studierenden als „strukturiert und zieltransparent“ wahrgenommen und es wurden die „sehr gut strukturierte[n] Aufgabenstellungen“ gelobt [b]. Zudem wurde der Aspekt „Zieltransparenz“ mit einem Durchschnittswert von $4,22 \pm 0,25$ auf der Skala von 1 bis 5 in den One-Minute-Papers am besten von allen sechs Aspekten bewertet, was darauf rückschließen lässt, dass die Gestaltung des Moodle-Kurses und

der Aufgabenstellungen dazu beigetragen haben, dass die Ziele der einzelnen Seminarsitzungen und Aufgaben für die Studierenden sichtbar wurden.

3.1.2. Fragentools und Foren

Für Fragen und Diskussionen bietet Moodle vor allem zwei Tools an. Zum einen das „Forum“-Tool, in dem Fragen gestellt und unmittelbar von anderen Studierenden und Lehrenden beantwortet werden können, und zum anderen das „Nachgefragt“-Tool, durch das vom Lehrenden Fragen für die nächste Präsenzsitzung zur Beantwortung gesammelt wurden. Unsere Beobachtungen zeigen jedoch, dass im gesamten Semester gerade einmal zwei Fragen über die Foren von Studierenden gestellt wurden, über das Nachgefragt-Tool gab es keine Frage, stattdessen fand die Seminarskommunikation mit den einzelnen Studierenden per Mail statt. Auf Nachfrage haben die Studierenden das Präferieren dieses Kommunikationsweges damit begründet, dass E-Mails schneller, unkomplizierter und vertraulicher sind. Insbesondere der letzte Punkt lag einer Studierenden sehr am Herzen, da sie an den Foren störte, dass alle ihre Fragen lesen können [c]. Das „Nachgefragt“-Tool bietet zwar diesen vertraulichen Aspekt, ermöglicht jedoch keine schnellen, direkten Antworten, da Fragen nur gesammelt werden, sodass man sie in der nächsten Live-Sitzung strukturiert thematisieren kann.

3.1.3. Quizze

Quizze sind ein weiteres Tool in Moodle. Es bietet sehr vielseitige Fragentypen (Multiple-Choice, offene Fragen, Zuordnungen, ...), um Wissen abzufragen. Im Seminar konnten bei den Quizzen sehr gute Ergebnisse ($m=91,2\%$) beobachtet werden, was zeigt, dass die Seminarinhalte in Eigenarbeit gründlich erarbeitet wurden. Allerdings nutzten nur wenige (17% der Studierenden) die Möglichkeit, sich durch weitere Versuche zu verbessern. Die Studierenden fanden die „Überprüfung des Wissens durch ein Quiz [...] sinnvoll“, bemerkten jedoch auch, dass „grundlegendes Verständnis nicht durch Quizfragen abfragbar“ ist. Zudem gab es in Einzelfällen „Probleme beim Anzeigen der Bilder“ [a(1,9,1)].

Eine besondere Quiz-Möglichkeit in Moodle ist das Student-Quiz. Hierbei werden die Fragen nicht vom Lehrenden zur Verfügung gestellt, sondern die Studierenden entwickeln selbst Fragen. Dieser Quiztyp wurde in der Seminarsitzung mit dem Thema „Naturwissenschaften“ eingesetzt. Die Studierenden formulierten Fragen zu naturwissenschaftlichem Grundwissen aus den Fächern Physik, Chemie und Biologie und beantworteten diese dann gegenseitig. Sowohl das Erstellen von Fragen als auch das Beantworten wurde von allen Studierenden durchgeführt. Die Methode „Student-Quiz“ wurde in den One-Minute-Papers viel gelobt (z. B. „schöne Abwechslung“), allerdings hat auch eine Person angemerkt, dass das Handling in Moodle nicht ganz einfach ist („Mit besserem Verständnis von Moodle hätte das Quiz noch besser werden können.“) [a(4)].

3.1.4. Peer-Feedback

Ein weiteres Tool, das ebenfalls die durch das Online-Seminar eingeschränkte Interaktion unter den Studierenden fördern sollte, war das Peer-Feedback. Bei diesem erhalten die Studierenden gegenseitig Einblick in ihre Arbeitsergebnisse und geben sich anschließend ein Feedback. Dieses Tool ist direkt in Moodle integriert: Die Studierenden laden dort ihre Abgaben bis zu einem bestimmten Datum hoch und bekommen anschließend ein Arbeitsergebnis einer anderen Person zugeteilt, zu dem sie Feedback geben sollen.

Die Methode wurde sowohl in den freien Kommentaren der One-Minute-Papers positiv erwähnt (z. B. „Gut war: gegenseitiges Feedback“, „Das Peer-Feedback hat gut funktioniert.“ [a(11)] als auch als „Methode“ mit einem überdurchschnittlichen Wert ($4,57 \pm 0,50$) in den One-Minute-Papers bewertet. Insbesondere das Erwähnen des „guten Funktionierens“ war ein stückweit überraschend, da die Organisation des Peer-Feedbacks nicht ganz reibungslos ablief. Der E-Mail-Austausch mit Studierenden zu dieser Seminarsitzung war vergleichsweise hoch (ca. 20% des gesamten Seminar-E-Mail-Verkehrs) und, da der Wechsel von der Abgabe- in die Feedbackphase in Moodle für alle Studierenden synchron stattfinden muss, musste die Frist aufgrund verspäteter Abgaben zweifach angepasst werden. Diese organisatorischen Schwierigkeiten scheinen die Studierenden jedoch nicht sonderlich gestört zu haben.

3.1.5. Experimentiervideos

Wie bereits eingangs erwähnt, waren im Rahmen des Seminars auch Experimente geplant, beispielsweise in der Sitzung, „Experimentieren und dessen didaktische Funktionen“ oder „inklusive Experimentieren“. Statt der Durchführung vor Ort wurden diese als Video aufbereitet.

Die Videos wurden in den One-Minute-Papers sehr gelobt (z. B. „tolle & aufwendige Videos“ [a(5)]), allerdings zeigt ein Beitrag im Portfolio, dass das Experimentieren selbst den Studierenden auch wichtig ist: „Ich freue ich mich auf das praktische Arbeiten (also selbst Experimente machen).“ [d(1)]. Der Beitrag erscheint im Nachhinein im Rahmen der Pandemie als utopisch, stammt aber aus der ersten Stunde des Sommersemesters 2020 zu den Erwartungen an das Seminar. Damals war der Umgang mit der pandemischen Lage noch nicht eindeutig, sodass die Möglichkeit bestand, dass das Seminar im Laufe des Semesters in die Präsenz überführt werden könnte.

3.2. Mahara als E-Portfolio-System

Neben Moodle war Mahara die zweite wichtige Plattform des Online-Seminars. Mahara wurde im Online-Seminar mit einer doppelten Funktion verwendet, einmal als „Sammelmappe“ für alle Arbeitsergebnisse und einmal als Einsichtsmöglichkeit in die Arbeitsergebnisse anderer Studierenden. Ersteres war für die Studierenden notwendig, da die Moodle-Abgaben über das Mahara-Plugin getätigt wurden. Das

bedeutet, in Moodle musste eine Mahara-Ansicht mit den bearbeiteten Aufgabenstellungen abgegeben werden. Zu zweitem wurden die Studierenden regelmäßig motiviert, da das gegenseitige Anschauen von Arbeitsergebnissen im Online-Seminar nicht so leicht einzufordern war, wie es vor Ort gewesen wäre. Eine Studentin gab in den Abschlussinterviews an, dass sie dies regelmäßig genutzt hat und es ihr auch entsprechend geholfen hat: „Die Freigabe war sehr hilfreich, um zu sehen, wie die anderen mit der Aufgabenstellung umgehen. Außerdem war es interessant, andere Lösungen zu sehen.“ [b]. Allerdings kann nicht gesagt werden, ob diese Nutzungsweise eher die Regel oder eher die Ausnahme war.

Zuletzt soll noch bemerkt werden, dass man bei den Portfolios wenig eigentliche Portfolioarbeit beobachten konnte. Die Studierenden waren mit dem Einstellen der Aufgabenergebnisse als Portfolio zufrieden und änderten an diesem Verhalten trotz expliziten Hinweisen wenig.

3.3. Zoom als Tool für Gruppenarbeiten

Die letzte verwendete Online-Plattform ist Zoom als Videokonferenztool. Im Online-Seminar wurden in regelmäßigen Abständen vier Live-Sitzungen durchgeführt, in denen hauptsächlich Gruppenarbeiten durchgeführt wurden. In den One-Minute-Papers wurden diese Zoom-Sitzung bei „positivem“ Feedback erwähnt, auch wenn nicht zu erkennen ist, dass die Live-Methoden beim Aspekt „Methoden“ in den One-Minute-Papers besser oder schlechter als die Selbstlerneinheiten bewertet wurden. Ein signifikanter Unterschied wurde jedoch beim Lerneffekt gemessen: Es wurde in den Sitzungen ohne Zoom ein signifikant höherer Lerneffekt wahrgenommen als in den Sitzungen mit Zoom ($p=0.001$, Effektstärke $r=0,73$, starker Effekt). Dies könnte jedoch vor allem daran liegen, dass in den Zoom-Sitzungen primär Diskussionen in den Gruppen im Mittelpunkt standen und weniger das Lernen aus z. B. Präsentationen.

Die Anzahl von vier Zoom-Sitzungen im Semester war eine vergleichsweise niedrige Anzahl. Die meisten Veranstaltungen wurden wöchentlich als Zoom-Seminar abgehalten, also mit deutlich mehr Sitzungen, oder ohne Live-Veranstaltungen, also ganz ohne Sitzungen. Als Ergebnis der Abschlussinterviews lässt sich jedoch festhalten, dass die Anzahl von vier Seminarsitzungen lediglich einen Kompromiss darstellt. Tatsächlich lassen sich eher zwei Typen identifizieren, der „Livelearner“, der gerne möglichst alles als Zoom-Sitzung erleben möchte, und der „Selbstlerner“, der die Zoom-Sitzungen generell für überflüssig hält [8].

3.4. Fazit

Insgesamt lassen sich aus der Analyse der Beobachtungen und Kommentare zu den digitalen Tools einige Rückschlüsse ziehen, insbesondere auch unter dem Gesichtspunkt, ob die digitalen Elemente in der Präsenzlehre fortbestehen sollten. Der anhand der didaktischen Zielen strukturierte Moodle-Kurs sorgte

für eine hohe Zieltransparenz und kann daher beispielsweise als Unterstützung der Präsenzlehre beibehalten werden. Die sehr positiven Rückmeldungen zum Peer-Feedback und zum Student-Quiz sollten ebenfalls dazu anregen, über eine vergleichbare Nutzung in der Präsenzlehre nachzudenken und dabei vielleicht sogar weiterhin die vorgefertigten Moodle-Tools zu verwenden. Ebenfalls bewährt hat sich die verpflichtende Übungsabgabe in Mahara. Obwohl Vergleichswerte fehlen, wurden die Aufgaben auffallend gewissenhaft erledigt. Im Präsenzseminar ohne Abgabe wären die Übungen sicherlich mit weniger Perfektion nach der Sitzung in die Mappe gepackt worden. Daher ist es sicherlich hilfreich, auch in einem Präsenzseminar eine Abgabe einzufordern, zumal in Moodle auch automatisch die Möglichkeit zum Feedback integriert ist. Dadurch ist direktes individuelles und vertrauliches Feedback für die Studierenden möglich. Zwei Elemente, die dagegen in der Präsenzlehre überflüssig werden, sind Zoom-Sitzungen und das Verwenden von Experimentiervideos.

4. Fragebogen zum E-Learning

Zusätzlich zur Evaluation wurde im Prae-Post-Design ein E-Learning-Fragebogen eingesetzt, um allgemeine Einstellungen zum E-Learning sowie wahrgenommene Vorteile, Nachteile und Ängste zu erfassen. Der gleiche Fragebogen wurde einmal zum Beginn des Semesters, also vor der Umstellung der gesamten Lehre auf digitale Formate, und einmal nach dem Semester, also nach der Umstellung der gesamten Lehre auf digitale Formate, eingesetzt. Es kann also beobachtet werden, inwieweit sich die Einstellungen und Wahrnehmungen durch die Umstellung der Lehre innerhalb der Seminargruppe verändert haben.

4.1. Erhebungsinstrument

Der Fragebogen bestand nach einleitenden Fragen, z. B. Erfahrung mit Online-Plattformen oder verwendete Geräte, aus zwei Hauptteilen.

Der erste Teil besteht aus insgesamt 31 Items zu Einstellungen zum E-Learning, verteilt auf die sieben verschiedene Skalen (Tab. 1), die auf einer vierstufigen Likert-Skala (von 0 bis 3) bewertet wurden.

| Skala | nach | Items | α |
|-------------|------|-------|----------|
| Interesse | [9] | 6 | 0,640 |
| Kompetenz | [9] | 5 | 0,622 |
| Leistung | [10] | 3 | 0,402 |
| Nutzen | [10] | 4 | 0,704 |
| Spaß | [10] | 3 | 0,809 |
| Rolle | [10] | 5 | 0,696 |
| Überzeugung | [10] | 5 | 0,704 |

Tab.1: Skalen zur Einstellung bezüglich E-Learning

Dabei misst die Skala „Interesse“ das Interesse am E-Learning, die Skala „Kompetenz“ die wahrgenommene Kompetenz im Umgang mit E-Learning, die Skala „Leistung“ die wahrgenommene Leistungsfähigkeit beim E-Learning, die Skala „Nutzen“ den wahrgenommen persönlichen Nutzen von E-Learning, die Skala „Spaß“ den Spaß beim E-Learning, die Skala „Rolle“ die wahrgenommene Wichtigkeit von E-Learning-Kompetenz für die Rolle einer Lehrkraft und schließlich die Skala „Überzeugung“ die Überzeugung, dass E-Learning ein relevantes Element der heutigen Zeit ist. Die Skala „Leistung“ wurde aufgrund des geringen Cronbach Alphas bei der Interpretation nicht berücksichtigt.

Der zweite Teil des Fragebogens besteht aus Vor- und Nachteilen von E-Learning (sieben bzw. neun Items) sowie möglichen Ängsten (sechs Items) in Bezug auf das Online-Semester, die jeweils auf einer vierstufigen Likert-Skala bewertet wurden.

4.2. Einstellungen bezüglich E-Learnings

Die Auswertung der Prae- und Post-Fragebögen von N=20 Studierenden im Sommersemester 2020 ist in Tab. 2 dargestellt. Die Signifikanz wurde für die verbundene, nicht-normalverteilte Stichprobe jeweils mit dem Wilcoxon-Test bestimmt.

| Skala | Prae | Post | Signifikanz (Wilcoxon) |
|--------|----------------------------|----------------------------|------------------------|
| Int. | (2,09 ± 0,56) | (2,08 ± 0,53) | 0,944 |
| Komp. | (1,92 ± 0,51) | (1,95 ± 0,42) | 0,713 |
| Leist. | (2,05 ± 1,79) | (1,79 ± 0,60) | 0,244 |
| Nutz. | (1,82 ± 0,66) | (1,76 ± 0,66) | 0,643 |
| Spaß | (1,69 ± 0,67) | (1,23 ± 0,91) | 0,042 |
| Rolle | (2,46 ± 0,33) | (2,36 ± 0,47) | 0,653 |
| Überz. | (2,37 ± 0,30) | (2,21 ± 0,43) | 0,101 |

Tab.2: Ergebnisse zur Einstellung bezüglich E-Learning

Die Test-Hypothese, dass die Mittelwertabweichung bedeutend ist, ist nur für die Skala „Spaß“ signifikant. Aus diesem Aspekt lässt sich schlussfolgern, dass zu viel E-Learning den Studierenden den Spaß daran nimmt. Dies kann als ein Appell gegen ausschließliches E-Learning interpretiert werden.

Interesse, wahrgenommene Kompetenz und wahrgenommener Nutzen sowie die Rolle als Lehrkraft in der Vermittlung digitalen Lernens und die Überzeugung von der Bedeutung von E-Learning in der heutigen Zeit sind trotz des abnehmenden Spaßes in der Seminargruppe stabile Faktoren der E-Learning-Einstellung. Dies lässt sich angesichts der Wichtigkeit von E-Learning für zukünftige Lehrkräfte als erfreulich deuten, denn trotz des vielen E-Learnings im Online-Semester bleibt die grundlegende Einstellung zu E-Learning positiv.

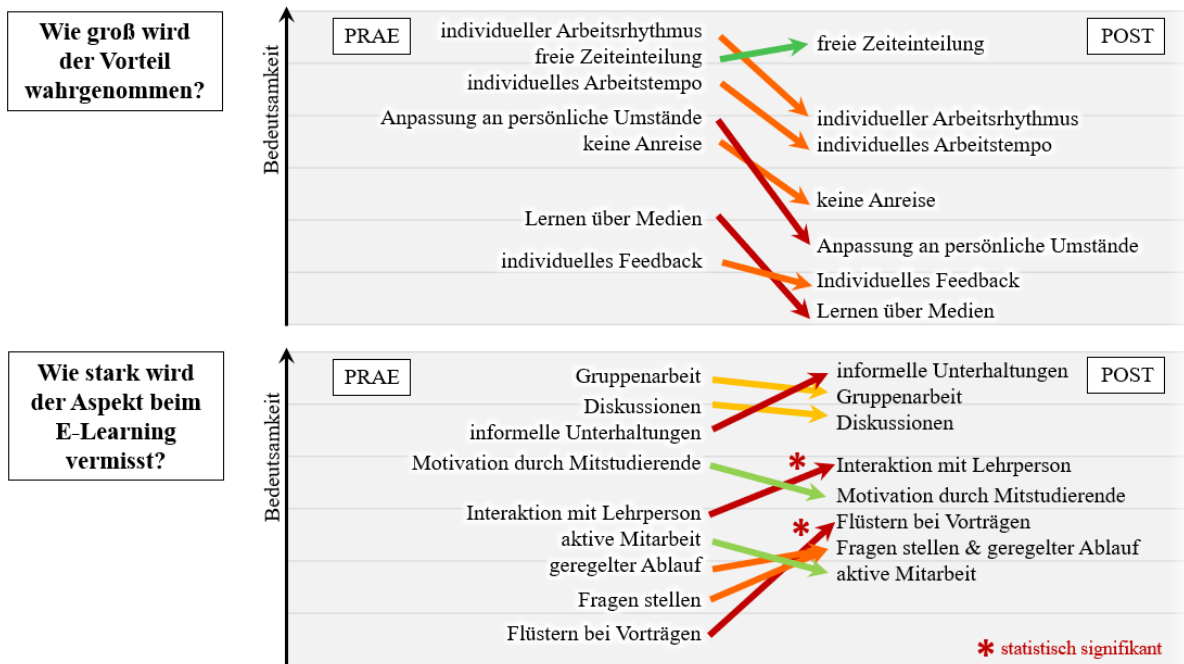


Abb.2: Ergebnisse zu den wahrgenommenen Vor- und Nachteilen des E-Learnings

4.3. Vor- und Nachteile von E-Learning

Die Ergebnisse der wahrgenommenen Vorteile zeigt der obere Teil von Abb. 2. Dabei sind anhand der Bedeutsamkeitsskala auf der linken Seite die Vorteile entsprechend der Höhe ihrer Werte links für die Prae- und rechts für die Postbefragung dargestellt. Der Pfeil stellt somit die Entwicklung über das Semester dar.

Hier kann man beobachten, dass über das Semester fast alle erwarteten Vorteile durch das E-Learning-Semester an Bedeutung verloren haben. Lediglich die freie Zeiteinteilung wurde im Post-Test positiver eingeschätzt. Da die Werte für das individuelle Arbeitstempo und den individuellen Arbeitsrhythmus jedoch deutlich sinken, ist dies vor allem dahingehend zu deuten, dass die Studierenden es als Vorteil empfinden, frei entscheiden zu können, zu welchem Zeitpunkt in der Woche sie Arbeitsaufträge bearbeiten. Die freie Zeiteinteilung bei den Arbeitsaufträgen selbst verliert an Bedeutung. Daraus kann man schlussfolgern, dass die Vorgabe von Arbeitstempo und -rhythmus für die Studierenden an Relevanz gewinnt.

Einen deutlichen Verlust in der Bedeutsamkeit erfahren die beiden Vorteile, dass mit dem E-Learning das Studium besser an persönliche Umstände anpassbar ist und dass man durch das E-Learning etwas über Medien lernt.

In Abb. 2 unten sind die Ergebnisse bezüglich der wahrgenommen Nachteile von E-Learning gegenüber der Präsenzlehre dargestellt. Konkret mussten die Studierenden angeben, wie sehr sie bestimmte Aspekte beim E-Learning vermissen. Insgesamt kann man beobachten, dass sich die Werte auf der Seite des Posttests auf höherem Niveau befinden, also dass das

Vermissten im Laufe des Semesters stärker wird. Dabei nehmen aber die meisten Aspekte nicht wesentlich ab oder zu, nur drei Aspekte stechen deutlich hervor. Sie sind durch rote Pfeile markiert: „informelle Unterhaltungen“, „Flüstern bei Vorträgen“ und die „Interaktion mit der Lehrperson“ werden nach dem E-Learning-Semester auffällig stärker vermisst, woraus sich Schlussfolgern lässt, dass vor allem die fehlenden kurzen Nebengespräche als Nachteil von E-Learning wahrgenommen werden. Es empfiehlt sich also für E-Learning-Veranstaltungen, Kontaktmöglichkeiten zur Lehrperson (z. B. über Sprechstunden) anzubieten und die Studierenden zur informellen Vernetzung (z. B. über Messengerdienste) aufzufordern.

4.4. Ängste im Zusammenhang mit E-Learning

Die Ängste wurden von den Studierenden im Praetest auf einer vierstufigen Likert-Skala bewertet. Das dabei entstandene Ranking ist in Abb. 3 dargestellt. Die Winkelstellung des Pfeils gibt an, inwieweit die Studierenden im Posttest angegeben haben, dass diese Angst durch das E-Learning-Semester zu- oder abgenommen hat.

1. Abhängigkeit von guter Internetverbindung →
2. "Alleingelassensein" bei der Aufgabenbearbeitung →
3. größere Hemmungen, Fragen zu stellen →
3. schlechtere Betreuung als in der Präsenzlehre →
5. Abhängigkeit von leistungsfähigen digitalen Geräten →
6. höhere Abbruchwahrscheinlichkeit für eine Veranstaltung →

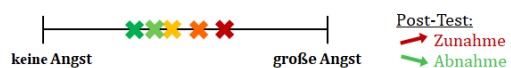


Abb.3: Ergebnisse zu den Ängsten beim E-Learning

Man erkennt, dass die anfänglichen Ängste zu Beginn des E-Learning-Semesters durch die rein digitale Lehre sich fast reduziert haben. Befürchtungen, dass beispielsweise die Betreuung schlechter ist, haben sich nicht bewahrheitet.

Lediglich die größte Angst, die Angst vor Abhängigkeit von der guten Internetverbindung ist für die Studierenden im Laufe des Semesters noch größer geworden. Um dieser Angst der Studierenden zu begegnen, sollte man Alternativen zur Verfügung stellen, wenn eine Internetverbindung zu einem bestimmten Zeitpunkt erforderlich ist (z. B. Aufzeichnungen von Live-Veranstaltungen zur Verfügung stellen).

5. Fazit

Im Rahmen unseres Projekts liefern die Ergebnisse aus dem dritten Kapitel für uns einige wichtige Schlussfolgerungen. Aufgrund der geringen Diskussions- und Experimentalanteile im Online-Seminar soll daran festgehalten werden, die Veranstaltung langfristig als Präsenzveranstaltung anzubieten. Da die Zieltransparenz durch die Art der Aufgabenstellung und den Moodle-Kurs von den Studierenden sehr wertgeschätzt wurde, sollen diese Aspekte für die Präsenz übernommen werden, ebenso die wöchentliche Abgabe der (evtl. nachbereiteten) Übungen über Moodle. Elemente wie das Student-Quiz oder das Peer-Feedback, die ursprünglich nicht in der Präsenzlehre vorgesehen waren, sollen ebenfalls integriert werden.

Im Allgemeinen sind die Erkenntnisse aus dem dritten Kapitel zu den einzelnen digitalen Tools auch auf andere Veranstaltungen übertragbar, beispielsweise die Verwendung einiger Moodle-Tools oder Mahara. Die – wie die Ergebnisse des Fragebogens zeigen – wichtige Rhythmisierung von Arbeitsaufträgen ist auch in anderen Veranstaltungen ähnlich wie in diesem Online-Seminar umsetzbar.

Der Fragebogen misst unabhängig vom Modul eine „E-Learning-Ermüdung“ durch ein reines Online-Semester, da der Spaß am Lernen abnimmt und die Vorteile des E-Learnings an Bedeutung verlieren. Gleichzeitig ist positiv zu bemerken, dass trotz des ausschließlich digitalen Lehrformats im Semester die Grundeinstellung zum E-Learning positiv bleibt und Ängste sogar abgebaut werden konnten.

6. Literatur

- [1] Gallenbacher, J.; Bruder, R. (2017): Ein Vernetzungsbereich als neues Studienelement im MINT-orientierten Studiengang Lehramt am Gymnasium. In: MINTplus – systematischer und vernetzter Kompetenzaufbau in der Lehrerbildung, S. 18-19.
- [2] Tampe, J.; Spatz, V. (2020): Konzeption eines interdisziplinären Moduls zur Erkenntnisgewinnung. In: GDGP, Jahrestagung in Wien, 40 (2019), S. 896-899.
- [3] Nerdel, C. (2017): Grundlagen der Naturwissenschaftsdidaktik. Kompetenzorientiert und aufgabenbasiert für Schule und Hochschule, Berlin: Springer Spektrum, S. 116.
- [4] Mikelskis-Seifert, S.; Duit, R. (2010): Naturwissenschaftliches Arbeiten. In Duit, R. (Hrsg.): PIKO-Briefe. Der fachdidaktische Forschungsstand kurzgefasst (Band 6).
- [5] Sommer, K.; Pfeifer, P. (2018): Experiment und Erkenntnis. In: Sommer, K., Wambach-Laicher, J. & Pfeifer, P. (Hrsg.): Konkrete Fachdidaktik Chemie. Grundlagen für das Lernen und Lehren im Chemieunterricht. Seelze: Friedrich Aulis, S. 72.
- [6] Straube, P. (2016): Modellierung und Erfassung von Kompetenzen naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung bei (Lehramts-) Studierenden im Fach Physik. Dissertation. Logos Verlag Berlin GmbH.
- [7] Hochschuldidaktische Arbeitsstelle TU Darmstadt (2018): Grundlagen der Hochschuldidaktik, Darmstadt, S. 11.
- [8] Gunkel, L. (2021): Evaluation eines Seminars zur Erkenntnisgewinnung in den Naturwissenschaften anhand von Studierendeninterviews, Darmstadt.
- [9] Mang, J.; Ustjanzew, N., Leßke, I.; Schiepe-Tiska, A.; Reiss, K. (2019): PISA 2015 – Skalenhandbuch. Dokumentation der Erhebungsinstrumente, Münster, New York: Waxmann.
- [10] Prenzel, M.; Senkbeil, M.; Ehmke, T., Bleischke, M. (2002): Didaktisch optimierter Einsatz Neuer Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht. Konzeption, Evaluationsinstrumente und Unterrichtsmaterialien des SEMIK-Projekts, Kiel: IPN.

Verweise

- [a] One-Minute-Paper. Dabei steht die Zahl in der Klammer für die Sitzungsnummer.
- [b] Abschlussinterview.
- [c] Persönliche Kommunikation.
- [d] Portfolio. Dabei steht die Zahl in der Klammer für die Sitzungsnummer.

Förderhinweis

Das Projekt MINTplus²: Systematischer und vernetzter Kompetenzaufbau in der Lehrerbildung im Umgang mit Digitalisierung und Heterogenität wird im Rahmen der gemeinsamen „Qualitätsoffensive Lehrerbildung“ von Bund und Ländern aus Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gefördert.



Eine Lehrerbefragung zum Einsatz digitaler Tools im Physikunterricht

Lars-Jochen Thoms, Raimund Girwidz

Ludwig-Maximilians-Universität München

l.thoms@lmu.de

Kurzfassung

Ein Fragebogen zum Einsatz digitaler Tools in und um den Physikunterricht wurde erstellt. Damit soll in Lehrkräftefortbildungen zum Einsatz digitaler Medien im Physikunterricht besser auf die Vorerfahrungen von Physiklehrerinnen und Physiklehrern eingegangen werden können. In einer ersten Pilotstudie wurden $n = 58$ Physiklehrkräfte basierend auf den im Orientierungsrahmen DiKoLAN (Digitale Kompetenzen für das Lehramt in den Naturwissenschaften) formulierten Kompetenzerwartungen dazu befragt, (a) wie häufig sie für eine bestimmte Tätigkeit digitale Tools einsetzen und (b) welche konkreten Tools sie für diese vorgegebenen Tätigkeiten nutzen. Erste Einblicke deuten an, dass sich durch diese Fragestellungen ein differenziertes Bild der Nutzung digitaler Anwendungen seitens der befragten Lehrkräfte erfassen lässt. Die Antworten zeigen zudem, dass auch innerhalb eines Kompetenzbereiches die Nutzungshäufigkeit für einzelne Anwender in Abhängigkeit von der vorgegebenen Tätigkeit stark variieren kann.

1. Einleitung

Am Lehrstuhl für Didaktik der Physik der Ludwig-Maximilians-Universität München werden regelmäßig Fortbildungen für Physiklehrkräfte angeboten. Viele dieser Fortbildungen beinhalten Konzepte zum Einsatz digitaler Medien im Physikunterricht. Durch diese speziellen Angebote sollen sowohl die digitalen Kompetenzen der Lehrkräfte als auch der gezielte und fachdidaktisch fundierte Einsatz digitaler Medien im Physikunterricht gefördert werden.

In der Vorbereitung einer entsprechenden Fortbildung sollte beachtet werden, dass die Voraussetzungen der einzelnen Teilnehmerinnen und Teilnehmer äußerst heterogen sein können. Dies betrifft u. a. die vorhandenen oder verfügbaren technischen Ausstattungen in der Schule, seitens der Lehrkräfte aber auch bei den Schülerinnen und Schülern. Ebenso können das Vorwissen und die Kompetenzstände der Lehrerinnen und Lehrer über den Bereich digitaler Kompetenzen im Ganzen unterschiedlich ausgeprägt sein. Auch bei einer einzelnen Person können zwischen verschiedenen Kompetenzbereichen Unterschiede bestehen.

Insbesondere wenn digitale Tools Mittel oder Gegenstand der Fortbildung sind, sollten vorhandene Soft- und Hardwarekenntnisse sowie die Häufigkeit der Nutzung solcher Tools durch die Lehrkräfte berücksichtigt werden. Hierbei ist zu beachten, dass in MINT-spezifischen Fortbildungen mitunter spezielle Soft- oder Hardware gebraucht wird, was wiederum naturwissenschaftsspezifische digitale Kompetenzen seitens der Teilnehmerinnen und Teilnehmer erfordert und fördert.

Um zielgerichtete und an zukünftigen Teilnehmerinnen und Teilnehmern orientierte Fortbildungen

anbieten zu können, sollte ein entsprechender Fragebogen erstellt werden, mit welchem der Ist-Stand der unterrichtsbezogenen Mediennutzung von potenziell an solchen Fortbildungen teilnehmenden Physiklehrkräften erhoben werden kann. Die entsprechende Leitfrage lautet:

Für welchen Zweck im und um den Physikunterricht werden welche Tools wie häufig eingesetzt?

2. Methoden

In Anlehnung an die im *Orientierungsrahmen Digitale Kompetenzen für das Lehramt in den Naturwissenschaften – DiKoLAN* (Arbeitsgruppe Digitale Basiskompetenzen, 2020) im Bereich „Spezielle Technik (TK)“ definierten Kompetenzerwartungen wurde ein Fragebogen zum Einsatz digitaler Tools in und um den Physikunterricht erstellt. Die Strukturierung für den Fragebogen basiert auf der Unterscheidung der sieben zentralen Kompetenzbereiche im DiKoLAN. Diese wurden ursprünglich aus naturwissenschaftlichen Arbeitsweisen abgeleitet und spiegeln daher notwendige Kompetenzen für das Unterrichten naturwissenschaftlicher Fächer mit digitalen Medien wider (Thyssen et. al, 2020). Entsprechend werden die sieben zentralen Kompetenzbereiche des DiKoLAN fokussiert (Abb.1):

- Dokumentation,
- Präsentation,
- Kommunikation/Kollaboration,
- Recherche und Bewertung,
- Messwert- und Datenerfassung,
- Datenverarbeitung sowie
- Simulation und Modellierung.



Abb.1: Orientierungsrahmen *Digitale Kompetenzen für das Lehramt in den Naturwissenschaften – DiKoLAN* (Arbeitsgruppe Digitale Basiskompetenzen, 2020, <https://dikolan.de>).

Allgemeine technische Basiskompetenzen werden nicht berücksichtigt. Das gleiche gilt für die rechtlichen Rahmenbedingungen, da diese stark von dem konkreten Kontext abhängen, in dem eine Anwendung genutzt werden würde.

Für jeden der sieben Kompetenzbereiche wurden aus den im DiKoLAN definierten Kompetenzerwartungen eine, drei oder fünf *Hauptfragen* extrahiert (Tab.1), die jeweils die folgende Grundfrage nachbilden:

Wie regelmäßig nutzen Sie digitale Tools, um ...?

Als Antworten können die Befragten eine der folgenden Optionen auswählen:

- nie,
- selten,
- gelegentlich,
- häufig,
- sehr häufig bis immer sowie
- keine Antwort.

Falls die Befragten digitale Tools für den in der Hauptfrage angegebenen Einsatzzweck nutzen (also nicht „nie“ oder „keine Antwort“ gewählt haben), wird ein weiterer Fragenblock eingeblendet, der die Hauptfrage für ausgewählte Tools spezifiziert, etwa in der Form:

Wie oft verwenden Sie die folgenden Tools, um ...?

Als Antwortoptionen werden hier gegeben:

- kenne ich nicht,

- kenne ich, aber nie dafür benutzt,
- selten dafür benutzt,
- gelegentlich dafür benutzt,
- häufig dafür benutzt,
- sehr häufig dafür benutzt,
- keine Antwort.

Zusätzlich erhalten die Befragten die Möglichkeit, bis zu drei weitere, nicht angegebene Tools hinzuzufügen und jeweils gleichermaßen Angaben zur Häufigkeit der Nutzung zu machen.

Zur Pilotierung des Fragebogens wurden mittels einer Online-Erhebung $n = 58$ Physiklehrerinnen (24) und Physiklehrer (29; 5 keine Angabe) im November 2020 (50) und Januar 2021 (8) zu ihrer Nutzung digitaler Tools im und um den Unterricht befragt. Die Befragten waren im Schnitt 44,5 Jahre alt ($SD = 10,5$ Jahre) und seit 15,6 Jahren im Schuldienst ($SD = 9,7$ Jahre) in Bayern (54), Hessen (2) oder Baden-Württemberg (1; keine Angabe) tätig.

3. Ergebnisse und Diskussion

Im Folgenden soll ein Einblick in erste Ergebnisse aus der Pilotierung geben werden.

3.1. Häufigkeiten der Nutzung digitaler Tools für vorgegebene Einsatzzwecke nach Kompetenzbereichen

Die Ergebnisse der Befragung zeigen, dass die Lehrkräfte innerhalb der Kompetenzbereiche je nach konkretem Einsatzzweck stark unterschiedliche Nutzungshäufigkeiten aufweisen (Abb.2). Von den

| Item | Itemtext |
|------|---|
| DO1 | Wie regelmäßig dokumentieren Sie Protokolle, Experimente, Daten etc. digital? |
| DO2 | Wie regelmäßig nutzen Sie Systeme zur sicheren und dauerhaften Datenablage (Netzwerkspeicher, Cloudspeicher, Archivierungsserver)? |
| DO3 | Wie regelmäßig nutzen Sie Möglichkeiten der Versionsverwaltung und Dateiarchivierung für Ihren eigenen Gebrauch, wenn Sie nicht mit anderen zusammenarbeiten (z. B. Dateibenennung mit fortlaufender Nummerierung, datumsbasierte Dateinamen, Windows Dateiversionsverlauf, Apple Time Machine, Subversion, Git)? |
| PR1 | Wie regelmäßig nutzen Sie digitale Tools, um Inhalte unterschiedlicher Größenordnungen zu präsentieren (z. B. Dokumentenkamera, Videokamera, Smarphone, Tablet, Mikroskopkamera)? |
| PR2 | Wie regelmäßig nutzen Sie digitale Tools, um Prozesse auf unterschiedlichen Zeitskalen zu präsentieren (z. B. Zeitlupe, Zeitraffer)? |
| PR3 | Wie regelmäßig nutzen Sie digitale Tools, um Präsentationen einem größeren Auditorium zugänglich zu machen (z. B. Beamer, interaktive Tafeln)? |
| PR4 | Wie regelmäßig nutzen Sie digitale Tools, um Präsentationen/Bildschirmanzeigen mehreren Gruppen zugänglich zu machen (z. B. Anzeige auf mehreren Endgeräten)? |
| PR5 | Wie regelmäßig nutzen Sie digitale Tools, um Präsentationen/Bildschirmanzeigen einzelnen Empfängern zugänglich zu machen? |
| KK1 | Wie regelmäßig nutzen Sie Software für kollaborative Text- und Datenverarbeitung (z. B. Office 365, Google Docs, Etherpad)? |
| KK2 | Wie regelmäßig nutzen Sie Cloud-Speicher, um Dateien gemeinsam zu bearbeiten oder auszutauschen? |
| KK3 | Wie regelmäßig nutzen Sie Möglichkeiten zur Versionsverwaltung Ihrer Dateien gemeinsam mit anderen (z. B. Dateibenennung mit fortlaufender Nummerierung, datumsbasierte Dateinamen, Subversion, Git)? |
| KK4 | Wie regelmäßig nutzen Sie Systeme für gemeinsam nutzbare Netzspeicher (z. B. WLAN-Speicher, NAS)? |
| KK5 | Wie regelmäßig nutzen Sie Systeme zur gemeinsamen Datenverwaltung? |
| RB1 | Wie regelmäßig nutzen Sie Suchmöglichkeiten der digitalen Recherche, wie Suchfunktionen von Bibliotheken, Fachdatenbanken oder elektronische Volltexte? |
| RB2 | Wie regelmäßig nutzen Sie Recherchestrategien (z. B. Problemanalyse, Stichwörter, Synonyme und Suchdienste)? |
| RB3 | Wie regelmäßig erstellen Sie Datenbanken? |
| MD1 | Wie regelmäßig führen Sie Videoanalysen von Bewegungsabläufen durch? |
| MD2 | Wie regelmäßig nutzen Sie digitale Tools zur computerunterstützten Messwerterfassung mit schulspezifischen Systemen (z. B. für EKG-, pH-, Temperatur-, Strom-, Spannungs-, Bewegungsmessungen)? |
| MD3 | Wie regelmäßig nutzen Sie digitale Labor-/Messinstrumente, die Messdaten zur Weiterverarbeitung zur Verfügung stellen (u. a. Wetterstationen, digitale Waagen, Wärmebildkameras)? |
| MD4 | Wie regelmäßig nutzen Sie mobile Endgeräte mit eingebauten Sensoren zur Datenaufnahme (z. B. Kamera, Gyroskop, Beschleunigungs-, Licht- und Biometrie-Sensor)? |
| MD5 | Wie regelmäßig nutzen Sie mobile Endgeräte mit externen Sensoren? |
| DV2 | Wie regelmäßig nutzen Sie digitale Werkzeuge (z. B. Statistikprogramme, Tabellenkalkulation, Datenbanken) zur Aufbereitung zur Visualisierung? |
| SM1 | Wie regelmäßig nutzen Sie Programme oder Webpakete, mit denen Simulationen und Modellierungen vorgenommen werden können zur Generierung von Daten im Erkenntnisprozess, zum Abgleich mit experimentell gewonnenen Daten oder zur Veranschaulichung fachlicher Zusammenhänge? |

Tab.1: Hauptfragen zur Häufigkeit der Nutzung digitaler Tools in und um den Physikunterricht.

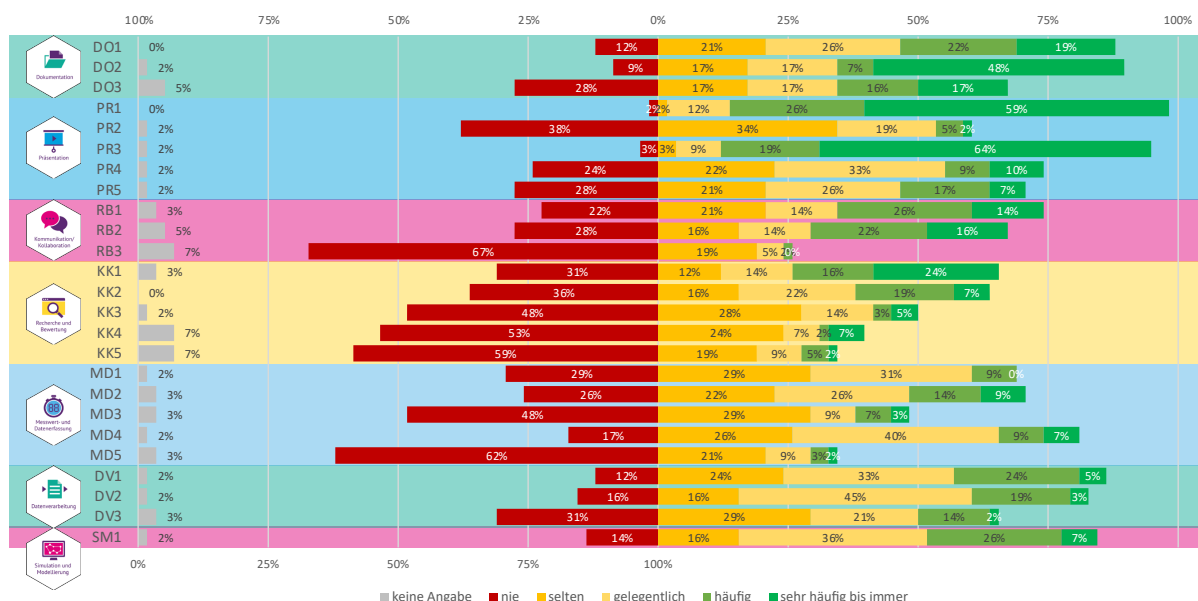


Abb.2: Diverging stacked bar chart der prozentualen Häufigkeiten der Nutzung digitaler Anwendungen für einen vorgegebenen Einsatzzweck.

Befragten geben 85% an, häufig bis immer digitale Tools zu verwenden, um Inhalte unterschiedlicher Größenordnungen zu präsentieren und 83% geben an, häufig bis immer digitale Anwendungen zu nutzen, um Präsentationen einem größeren Auditorium zugänglich zu machen. Dagegen nutzen nur 7% digitale Tools, um Prozesse auf unterschiedlichen Zeitskalen zu präsentieren; und 38% geben an, diese Möglichkeit niemals in die Unterrichtsgestaltung einzubinden. Auffällig ist die starke Differenzierung zwischen den einzelnen Hauptfragen zur Nutzungshäufigkeit digitaler Medien für bestimmte Einsatzzwecke auch innerhalb der Kompetenzbereiche. Dies deutet darauf hin, dass auch Fragestellungen zum Kompetenzstand von Lehrerinnen und Lehrern in diesen Kompetenzbereichen differenziert betrachtet werden müssen.

Es gibt einzelne Einsatzzwecke vor allem in den Kompetenzbereichen *Präsentation* und *Dokumentation*, für die vergleichsweise häufig digitale Medien genutzt werden (vor allem PR1, PR3, DO2 aber auch DO1). Dennoch lässt sich keine deutliche generelle Tendenz erkennen, dass zum Beispiel in fachspezifischeren Kompetenzbereichen gegenüber allgemeineren Kompetenzbereichen generell eine häufigere Mediennutzung stattfinden würde oder umgekehrt.

Bemerkenswert ist auch, wenn Lehrkräfte angeben, bei keinem vorgegeben Einsatzzweck eines Kompetenzbereiches digitale Medien zu nutzen. Trotz der durch die Covid-19-Pandemie erzwungene Verlagerung des Unterrichts in das Distanzlernen, geben 16% der befragten Lehrkräfte bei allen Items des Kompetenzbereiches *Kommunikation/Kollaboration* an, nie digitale Tools zu verwenden (Tab.2).

Andererseits zeigt sich, dass die Nutzung digitaler Medien in den Bereichen *Dokumentation*, *Präsentation* und *Datenverarbeitung* eine breite und

variantenreiche Anwendung findet, da hier ein großer Anteil der Lehrkräfte bei allen vorgegebenen Einsatzzwecken digitale Medien nutzt (55%, 48% bzw. 59%). Von den Befragten nutzen auch 85% Simulationen und Modellierungen im Physikunterricht.

| Bereich | Anz. | Nutzung digitaler Tools | |
|---------------------------------|------|-------------------------|-----------------|
| | | bei keinem Item | bei allen Items |
| Dokumentation | 3 | 2% | 55% |
| Präsentation | 5 | 0% | 48% |
| Kommunikation/ Kollaboration | 5 | 16% | 16% |
| Recherche und Bewertung | 5 | 16% | 17% |
| Messwert- und Datenerfassung | 5 | 3% | 17% |
| Datenverarbeitung | 3 | 7% | 59% |
| Simulation und Modellierung | 1 | 14% | 85% |

Tab.2: Teil der Befragten je Kompetenzbereich, die bei allen bzw. keiner Hauptfrage(n) zur Nutzung digitaler Tools in dem jeweiligen Kompetenzbereich „nie“ angegeben haben.

3.2. Ausgewählte Beispiele zur Häufigkeit der Nutzung spezifischer Tools für vorgegeben Einsatzzwecke

Aufgrund der Vielzahl der untersuchten Einsatzzwecke können an dieser Stelle nur beispielhaft Ergebnisse zur Häufigkeit der Nutzung digitaler Anwendungen für ausgewählte Einsatzzwecke vorgestellt werden.

3.2.1. Häufigkeiten der Nutzung digitaler Tools bei der digitalen Dokumentation von Experimenten und Daten

Der größte Teil der Befragten (88%) gab an, digitale Tools zur Protokollierung und dauerhafte Dokumentation von Experimenten und Daten zu nutzen (Abb.3). Die Nutzungshäufigkeit ist insgesamt stark unterschiedlich.

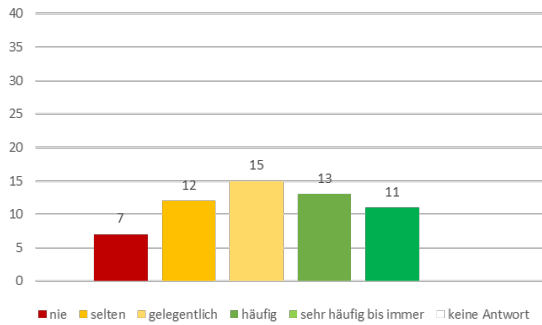


Abb.3: Häufigkeiten der Nutzung digitaler Anwendungen zur Dokumentation von Experimenten und Daten (DO1 in Tab.1).

Sehr häufig genutzt werden für diesen Zweck kommerzielle Produkte aus dem Microsoft-Office-Paket (Word, Excel, OneNote). Open-Source-Alternativen sind den Lehrkräften zwar bekannt, werden von diesen aber nur selten genutzt (Abb.4).

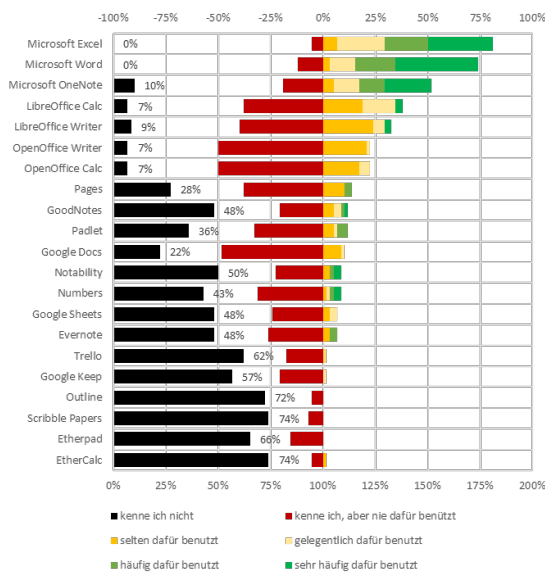


Abb.4: Häufigkeiten der Nutzung vorgegebener digitaler Tools bei der Dokumentation von Experimenten und Daten (DO1 in Tab. 1).

3.2.2. Häufigkeiten der Nutzung digitaler Tools für kollaborative Text- und Datenverarbeitung

Wenn es darum geht, gemeinsam Texte zu schreiben und Daten zu verarbeiten oder schreiben bzw. verarbeiten zu lassen, nimmt die Nutzungshäufigkeit gegenüber jener im Kompetenzbereich *Dokumentation* deutlich ab (Abb.5). Fast ein Drittel der befragten

Lehrkräfte (31%) gab an, niemals Software für die kollaborative Text- und Datenverarbeitung zu nutzen. Wenn Lehrerinnen und Lehrer Software zur Kollaboration bei der Gestaltung von Texten und Verarbeitung von Daten nutzen, sind auch hier Anwendungen aus dem Microsoft-Office-Paket am verbreitetsten (Abb.6).

Im Vergleich der Einzelnutzung für die Dokumentation zur kollaborativen Nutzung der Software fällt auf, dass Google Docs in der Reihenfolge der Nutzungshäufigkeit beim Wechsel von der Einzelnutzung zur kollaborativen Nutzung deutlich ansteigt.

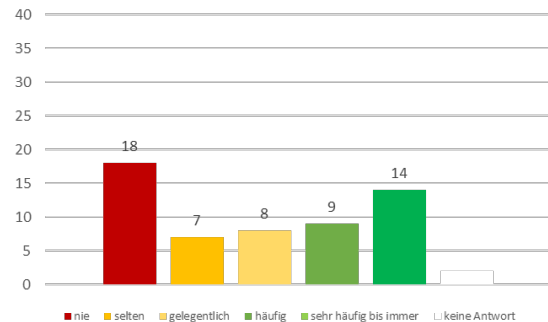


Abb.5: Häufigkeiten der Nutzung digitaler Anwendungen für kollaborative Text- und Datenverarbeitung (KK1 in Tab.1).

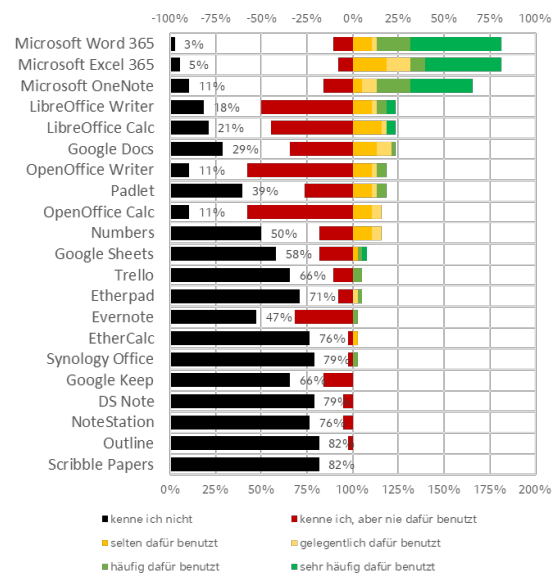


Abb.6: Häufigkeiten der Nutzung vorgegebener digitaler Anwendungen für kollaborative Text- und Datenverarbeitung (KK1 in Tab.1).

3.2.3. Häufigkeiten der Nutzung digitaler Tools für Simulation und Modellierung

Simulationen und Modellierungen werden von fast allen Lehrkräften im Physikunterricht eingesetzt (Abb.7). Die meisten Befragten gaben an, Simulationen und Modellierungen gelegentlich bis häufig zu nutzen.

Bei der Nachfrage, welche konkreten Tools genutzt werden, zeigt sich, dass die im Internet frei

verfügbaren Angebote auf *LEIFiPhysik* (<https://www.leifiphysik.de/>), die *PhET*-Simulationen der University of Colorado Boulder (<https://phet.colorado.edu/>; Wieman et al., 2010) und die Simulationen von Walter Fendt (<https://www.walter-fendt.de/>) breite und häufige Anwendung finden (Abb.8). Für Modellierungen wird lediglich Microsoft Excel häufiger genutzt. Speziell für das Physiklernen entwickelte Softwareanwendungen wie *Easy JavaScript Simulations* (<https://www.um.es/fem/EjsWiki/Main/HomePage>; Christian & Esquembre, 2007) und *CMA Coach* (<https://cma-science.nl/home-2>; Heck et al., 2009) sind weitgehend unbekannt.

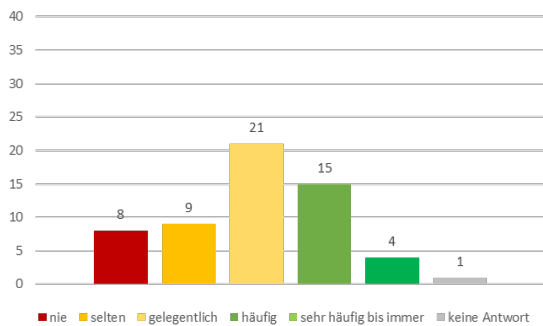


Abb.7: Häufigkeiten der Nutzung digitaler Anwendungen für Simulation und Modellierung (SM1 in Tab.1).

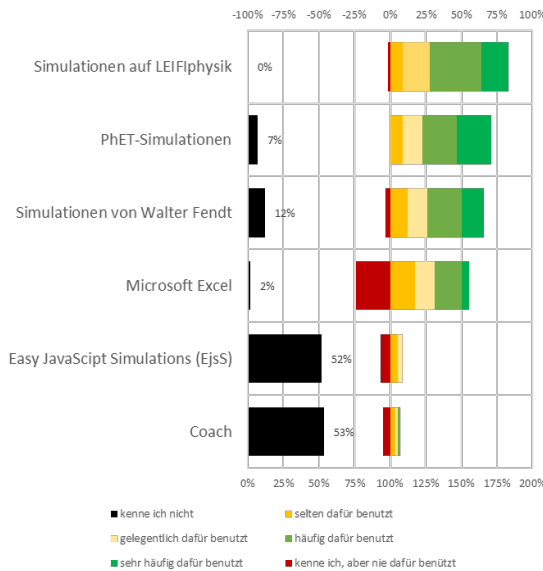


Abb.8: Häufigkeiten der Nutzung vorgegebener digitaler Tools für Simulation und Modellierung (SM1 in Tab.1).

3.2.4. Häufigkeiten der Nutzung mobiler Endgeräte mit eingebauten Sensoren zur Messwert- und Datenerfassung

Von den befragten Physiklehrerinnen und Physiklehrern nutzen 81% die eingebauten Sensoren von Smartphones oder Tablets zur Aufnahme von Messwerten beim Experimentieren (Abb.9).

Neben Mikrophon und Kamera des mobilen Endgerätes wird vor allem der Beschleunigungssensor genutzt (Abb.10). Von den Lehrkräften, die mobile Endgeräte

im Physikunterricht nutzen, wissen 40% nicht, dass einige Smartphones über eingebaute Pulsoximeter verfügen. Entsprechend selten werden Pulsoximeter eingesetzt.

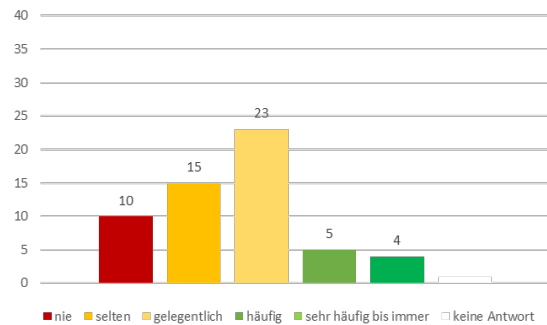


Abb.9: Häufigkeiten der Nutzung mobiler Endgeräte mit eingebauten Sensoren zur Messwert- und Datenerfassung (MD4 in Tab.1).

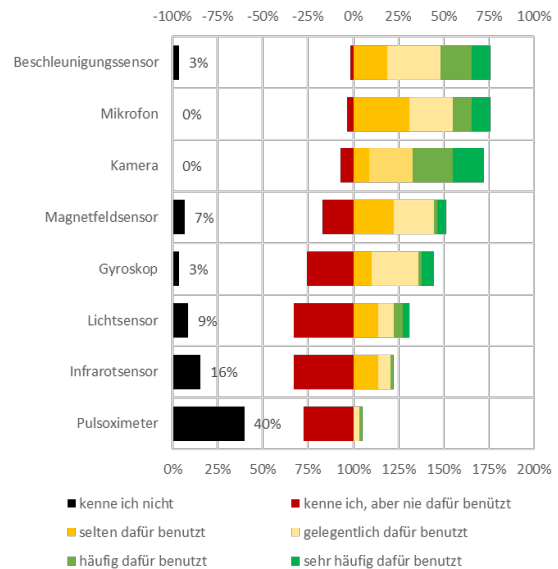


Abb.10: Häufigkeiten der Nutzung vorgegebener mobiler Endgeräte mit eingebauten Sensoren zur Messwert- und Datenerfassung (MD4 in Tab.1).

4. Fazit und Ausblick

An dieser Stelle konnte nur ein kleiner Einblick in die Ergebnisse dieser Pilotstudie gegeben werden. Es zeigt sich, dass auch innerhalb eines Kompetenzbereiches teils große Unterschiede in der Mediennutzung zwischen verschiedenen Einsatzszenarien bestehen. Auch differenzieren die befragten Lehrkräfte zwischen den Einsatzzwecken, wie häufig für bestimmte Anforderungen digitale Tools genutzt werden. Während die Einsatzhäufigkeiten bei vielen Einsatzzwecken um eine mittlere Häufigkeit streuen, zeigt sich bei der Kommunikation/Kollaboration eine zweigipflige Verteilung der Nutzungshäufigkeiten. Hier gibt es einen signifikanten Teil an Lehrkräften die nie digitale Tools zur gemeinsamen Bearbeitung von Texten und Daten nutzen und ebenso eine ausgeprägte Gruppe an Lehrerinnen und Lehrern, die sehr häufig bis immer digitale Medien hierfür nutzt.

In der Pilotierung des Fragebogens hat sich gezeigt, dass die Erhebung der Nutzungshäufigkeit digitaler Anwendungen für bestimmte unterrichtsbezogene Tätigkeiten durch potenzielle Fortbildungsteilnehmerinnen und -teilnehmer ein differenziertes Bild des Einsatzes digitaler Tools durch die Befragten liefern kann. Insgesamt ist die Aussagekraft dieser Befragung dahingehend begrenzt, dass die Stichprobe im wesentlichen bayerische Physiklehrerinnen und Physiklehrer umfasst. Dennoch lassen sich aus den Ergebnissen wertvolle Erkenntnisse für die zukünftige Gestaltung des Fortbildungsangebotes zum Einsatz digitaler Medien im Physikunterricht am Lehrstuhl für Didaktik der Physik der Ludwig-Maximilians-Universität München gewinnen.

Die Ableitung der Hauptfragen aus dem Orientierungsrahmen *Digitale Kompetenzen für das Lehramt in den Naturwissenschaften* (DiKoLAN) hat sich dabei als gut gangbarer Weg gezeigt. Eine Angleichung der Anzahl der Hauptfragen je Kompetenzbereich wäre wünschenswert. Dies lässt sich aber nicht einfach durch Zusammenfassen verschiedener Tätigkeiten erreichen, eben weil die Befragten deutlich zwischen den einzelnen Items unterscheiden.

Der Bereich *Simulation und Modellierung* muss zukünftig differenzierter erhoben werden, da die befragten Lehrkräfte Simulationen sehr häufig aber Modellierungen nur selten im Physikunterricht nutzen.

Für einen breiteren Blick auf die Nutzung digitaler Tools im naturwissenschaftlichen Unterricht sollte die Befragung auch auf Chemie- und Biologielehrkräfte und auf andere Bundesländer ausgedehnt werden. Mit der Orientierung am Ordnungsrahmen für die digitalen Kompetenzen für das Lehramt in den Naturwissenschaften (DiKoLAN) ist die Grundlage für eine Übertragbarkeit des Erhebungsinstruments jedenfalls geschaffen.

Mit einer größeren Stichprobe sollte dann auch explorativ untersucht werden, ob sich unter den Lehrkräften unterschiedliche Typen bezüglich der Nutzung digitaler Medien identifizieren lassen. Es gibt bereits in den vorliegenden Daten Hinweise auf zumindest drei mögliche Arten:

- a) Wenignutzer,
- b) Experten/Vielnutzer in einzelnen Bereichen,
- c) Universalexperten / Vielnutzer in vielen Bereichen.

Sollten sich solche oder andere Typen erkennen lassen, wäre dies ein möglicher Ansatzpunkt für gezielte Fortbildungsmaßnahmen, z. B., um Multiplikatoren auszubilden.

Schließlich würde eine jährliche Wiederholung der Befragung Erkenntnisse über zeitliche Veränderungen in der typischen Mediennutzung ermöglichen. Lehrkräfte sind selbst sehr interessiert an solchen Umfrageergebnissen und gaben hierzu sehr diskussionsfreudig Rückmeldung.

5. Literatur

- Arbeitsgruppe Digitale Basiskompetenzen: Becker, S., Bruckermann, T., Finger, A., Huwer, J., Kremser, E., Meier, M., Thoms, L.-J., Thyssen, C. & Kotzebue, L. von. (2020). Orientierungsrahmen Digitale Kompetenzen Lehramtsstudierender der Naturwissenschaften – DiKoLAN. In S. Becker, J. Meßinger-Koppelt & C. Thyssen (Hrsg.), *Digitale Basiskompetenzen: Orientierungshilfe und Praxisbeispiele für die universitäre Lehramtsausbildung in den Naturwissenschaften* (S. 14–43). Joachim Herz Stiftung. https://www.joachim-herz-stiftung.de/fileadmin/Redaktion/JHS_Digitale_Basiskompetenzen_web_srgb.pdf
- Christian, W. & Esquembre, F. (2007). Modeling Physics with Easy Java Simulations. *The Physics Teacher*, 45(8), 475–480. <https://doi.org/10.1119/1.2798358>
- Heck, A., Kędzierska, E., & Ellermeijer, T. (2009). Design and implementation of an integrated computer working environment for doing mathematics and science. *The Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching*, 28(2), 147–161. <https://learntechlib.org/p/30302/>
- Thyssen, C., Thoms, L.-J., Kremser, E., Finger, A., Huwer, J. & Becker, S. (2020). Digitale Basiskompetenzen in der Lehrerbildung unter besonderer Berücksichtigung der Naturwissenschaften. In M. Beißwenger, B. Bulizek, I. Gryl & F. Schacht (Hrsg.), *Digitale Innovationen und Kompetenzen in der Lehramtsausbildung* (S. 77–98). Universitätsverlag Rhein-Ruhr. <https://doi.org/10.17185/dupublico/73330>
- Wieman, C. E., Adams, W. K., Loeblein, P. & Perkins, K. K. (2010). Teaching Physics Using PhET Simulations. *The Physics Teacher*, 48(4), 225–227. <https://doi.org/10.1119/1.3361987>

Förderhinweis

Das diesem Artikel zugrundeliegende Vorhaben „Digitale Medienkompetenz im Lehramt – Physik (MiLA-P)“ ist Teil des Projekts „Lehrerbildung@LMU“ und wird im Rahmen der gemeinsamen „Qualitätsoffensive Lehrerbildung“ von Bund und Ländern mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 01JA1810 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Entwicklung eines Testinstruments zur Untersuchung der Arbeitssituation von MINT-Lehrkräften

Renan Vairo Nunes*, Friederike Korneck*, Josephine Berger⁺, Birgit Ziegler⁺, Silke Rönnebeck[°], Ilka Parchmann[°]

*Institut für Didaktik der Physik, Goethe-Universität Frankfurt, Max von Laue Str. 1, 60438 Frankfurt am Main,

⁺Institut für Allgemeine Pädagogik und Berufspädagogik, TU Darmstadt, Alexanderstr. 6, 64283 Darmstadt,

[°]Institut für Didaktik der Chemie, IPN Kiel, Olshausenstraße 62, 24118 Kiel

vaironunes@physik.uni-frankfurt.de, korneck@em.uni-frankfurt.de, berger@bp.tu-darmstadt.de, ziegler@bp.tu-darmstadt.de, roennebeck@leibniz-ipn.de, parchmann@ipn.uni-kiel.de

Kurzfassung

In Deutschland besteht seit Jahren ein Lehrkräftemangel, der vor allem im MINT-Bereich akuter wird. Um dem entgegenzuwirken, wurden Sondereinstellungsmaßnahmen konzipiert, die die Zusammensetzung der MINT-Kollegien erheblich veränderten. So wird ein substanzieller Anteil des heutigen MINT-Unterrichts von Quer- und Seiteneinsteigenden, fachfremd Unterrichtenden und studentischen Vertretungslehrkräften erteilt (Korneck, 2019).

Bisher gelang es den Kultusministerien nur begrenzt, den Lehrkräftebedarf zu decken. Es fehlt eine langfristige Strategie, um den Lehrkräftenachwuchs zu sichern. Zudem fehlen Erkenntnisse über die Auswirkungen kultusadministrativer Entscheidungen auf die Arbeitssituation von MINT-Lehrkräften. Wie zufrieden ist das MINT-Lehrpersonal und welche Gestaltungsspielräume hat es? Gelingt es den Kollegien, Lehrkräfte unterschiedlicher Professionalisierungswege zu integrieren?

In Kooperation mit der TU Darmstadt/dem IPN Kiel werden Erhebungen an allgemein-/berufsbildenden Schulen durchgeführt, die untersuchen sollen, ob sich Gruppenunterschiede in Abhängigkeit von Professionalisierungswegen, Schularten und Fachgruppen zeigen, aus denen sich Maßnahmen für die Verbesserung der Berufsbedingungen von MINT-Lehrkräften ableiten lassen. Im Folgenden werden das Forschungsdesign sowie die Entwicklung und Validierung des eingesetzten Fragebogens vorgestellt.

1. Einleitung

Seit Jahren wurde, um dem insbesondere im MINT-Bereich massiven und aktuell weiter zunehmenden Lehrkräftemangel entgegenzuwirken, auf Sondereinstellungsmaßnahmen gesetzt, die die Zusammensetzung der Kollegien stark verändert haben. Die heutigen MINT-Kollegien bestehen längst nicht nur aus Lehrkräften, die die traditionelle Lehramtsausbildung mit Studium und anschließendem Referendariat absolviert haben, sondern diverse Professionalisierungswege durchlaufen sind, darunter Quer- und Seiteneinsteigende¹, fachfremd Unterrichtende² und studentische Vertretungslehrkräfte (Korneck, 2019).

Es zeigt sich in den KMK-Statistiken, dass erstens die Anzahl der Einstellungen von Seiteneinsteigenden und der Einsatz von fachfremd Unterrichtenden im MINT-Bereich seit Jahren zunimmt (vgl. Vairo Nu-

nes et al., 2021; KMK, 2020). Zudem lässt sich beobachten, dass der damit einhergehende Lehrkräftemangel vor allem die nichtgymnasialen Schularten betrifft. So wurde laut IQB-Ländervergleich im Jahr 2018 im Fach Physik 17,0 % des Unterrichts durch Quereinsteigende erteilt, wobei die Quote am Gymnasium 15,3 % und an nichtgymnasialen Schularten bei 18,2 % lag. Im Fach Chemie war die Diskrepanz zwischen den Schularten stärker ausgeprägt: 14,5 % betrug die schulformübergreifende Quote, 11,0 % an Gymnasien und 17,0 % an nicht-gymnasialen Schularten (vgl. Richter et al., 2019).

Bezüglich des fachfremden Unterrichts zeigten jüngste Ergebnisse einer Studie mit Daten aus Nordrhein-Westfalen ähnliche Tendenzen, wobei die Lücke zwischen Gymnasien und anderen Schularten deutlich größer ausfiel. Beispielsweise lag der Anteil fachfremden Unterrichts im Fach Mathematik an Gymnasien bei 3,7 %, an Hauptschulen jedoch bei

¹ Bei einem Seiteneinstieg werden Bewerber*innen mit einem nicht-lehramtsbezogenen Hochschulabschluss direkt in den Schuldienst eingestellt. Bei einem Quereinstieg treten sie zunächst in den Vorbereitungsdienst ein.

² Fachfremd Unterrichtende sind Lehrkräfte, die ein Fach ohne die entsprechende Lehrbefähigung unterrichten. Ein

typisches Beispiel wäre eine Physiklehrkraft, die durch das im Physikstudium angeeignete mathematische Wissen auch Mathematik unterrichtet, ohne dieses Fach studiert zu haben.

40,4 %. Im Fach Informatik war die Lage besonders dramatisch: die Quote war mit 21,5 % auch an Gymnasien hoch und lag bei allen anderen Schularten über 50 %. Dabei wiesen Hauptschulen eine exorbitant hohe Quote von 80,8 % auf (Klemm, 2020).

Einer der Gründe für diesen Mangel an MINT-Lehrkräften könnte darin liegen, dass zu wenige junge Menschen ein Lehramtsstudium in MINT-Fächern bzw. in einer technischen Fachrichtung an berufsbildenden Schulen absolvieren. Dies lässt sich unter anderem anhand der stagnierenden Zahl der jährlich absolvierten Lehramtsprüfungen feststellen. Auch hierzu liefert die zuvor genannte Studie bundeslandspezifische Zahlen. In Nordrhein-Westfalen wurden im Jahr 2013 insgesamt 7.373 Lehramtsprüfungen (d. h. Erste Staatsprüfungen und Master-Examen) erfolgreich abgelegt, während in den Jahren 2016 und 2019 7.334 respektive 7.272 Lehramtsstudierende ihre Abschlussprüfungen bestanden (Klemm, 2020, S. 8). Dabei ist der Mangel an MINT-Lehramtsabsolvent*innen inzwischen auch bundeslandübergreifend zumindest für das Fach Physik gut dokumentiert, etwa in den jährlich veröffentlichten Studierendenstatistiken der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (vgl. Düchs & Mecke, 2020). Ein weiterer Grund für den MINT-Lehrkräftemangel könnte sein, dass die Chancen auf dem Arbeitsmarkt für MINT-Fachkräfte seit längerer Zeit sehr gut sind bzw. perspektivisch sogar besser werden könnten, wohingegen die Wahl des Lehrerberufs, der durch starre Karrieren- und Aufstiegschancen, teilweise geringere soziale Anerkennung und im Vergleich zu bestimmten Berufen in der freien Wirtschaft etwas geringere Einkommensspannen den Studienanfänger*innen im MINT-Bereich weniger attraktiv zu sein scheint – auch wenn die deutschen Lehrkräftegehälter im OECD-Vergleich als attraktiv gelten (vgl. von Kopp, 2014; OECD, 2020).

Es gilt zu untersuchen, welche Konsequenzen sich aus diesen Entwicklungen für den Berufsalltag, die Zusammenarbeit und die Berufszufriedenheit des MINT-Personals³ ergeben. Es stellt sich die Frage, wie die Lehrkräfte selbst mit ihren verschiedenen beruflichen Voraussetzungen umgehen, wie sie ihre Arbeitssituation einschätzen und inwiefern die Inklusion aller Lehrkräfte mit unterschiedlichen Professionalisierungswegen in die Fachkollegien gelingt. Diesen Fragen geht das vorliegende Projekt nach.

2. Theoretischer Hintergrund

In der deutschen Bildungsforschung hat die zunehmende Vielfalt der Professionalisierungswege von MINT-Lehrkräften bisher wenig Beachtung gefunden. Wenn es sich um nichttraditionelle Zugangswege zum Lehramt handelt, ist in der Regel nur von Quer- und Seiteneinsteigenden die Rede. Ein umfassender, fachspezifischer Vergleich der professionellen Kompetenzen von Quer- und Seiteneinsteigenden und Lehramtsabsolvent*innen in Deutschland konnte

in zwei Projekten realisiert werden: im Fach Mathematik, in der COACTIV-R-Studie (Lucksnat et al., 2020), und im Fach Physik, in der ProΦ-Studie (Lamprecht, 2011; Oettinghaus, 2016; Korneck, Oettinghaus & Lamprecht, 2021). Während die ProΦ-Studie Kompetenzunterschiede zwischen beiden Gruppen und teilweise auch innerhalb der Gruppen, etwa zwischen Absolvent*innen des Gymnasiallehramts und Absolvent*innen des Haupt- und Realschullehramts, feststellte, galten Lehramtsabsolvent*innen und Quereinsteigende laut den Befunden der COACTIV-R-Studie als vergleichbar (vgl. hierzu Lucksnat et al., 2020; Vairo Nunes et al., 2021). Ähnlich strukturierte Vergleichsstudien, die über die Kompetenzbereiche hinausgehen und etwa die Zufriedenheit der Lehrkräfte mit ihrem Beruf beziehungsweise mit ihren Arbeitsbedingungen an der Schule erfassen, sind bisher nicht vorhanden.

Diese Aspekte gehören zu den zentralen Fragestellungen des vorliegenden Projekts. In einer zweiphasigen Online-Befragung an allgemein- und berufsbildenden Schulen soll ein Überblick über die aktuelle Arbeitssituation des MINT-Personals verschafft werden. Hierbei geht es um die persönliche Einschätzung der Arbeitszufriedenheit sowie auch der beruflichen Entwicklungsmöglichkeiten in der Schule. Ein weiterer Bestandteil der Erhebung sind Einschätzungen zu der eigenen Unterrichtspraxis und Merkmalen professioneller Kompetenz, die eine Anknüpfung an bisherige, kompetenzfokussierte Forschungsarbeiten ermöglichen. Dabei werden auch die individuellen Professionalisierungswege erfasst, mit dem Ziel herauszufinden, ob sich Unterschiede zwischen verschiedenen Lehrkräftegruppen in Abhängigkeit von den jeweiligen Qualifikationen, Schularten oder Fachgruppen finden lassen. Die quantitativen Erhebungen werden zudem durch qualitative Fallstudien flankiert, die am IPN Kiel durchgeführt werden.

Um die Berufszufriedenheit theoriebasiert zu untersuchen, wurde das *Job Characteristics Model* (JCM) nach Hackman & Oldham (1980, nach van Dick et al., 2001) als Arbeitszufriedenheitsmodell ausgewählt. Das JCM ist ein theoretischer Ansatz aus der Organisationspsychologie, der eine Verknüpfung zwischen den Eigenschaften des Arbeitsplatzes (*Tätigkeitsmerkmale*, vgl. Abb. 1), dem Arbeitserleben der Beschäftigten (*psychologische Erlebniszustände*) und der daraus resultierenden Arbeitszufriedenheit bzw. intrinsischen Motivation (*Auswirkungen auf die Arbeit*) herstellt. Dem Modell zufolge kann angenommen werden, dass aus positiv eingeschätzten Tätigkeitsmerkmalen ein ebenso positives Arbeitserleben und damit auch höhere Arbeitszufriedenheit und höhere intrinsische Motivation resultieren. Dabei wird dieser Zusammenhang auch von anderen moderierenden Faktoren wie der Zufriedenheit mit den Arbeitskolleg*innen oder der Arbeitsplatzsicherheit (*Moderatoren*) beeinflusst. D. h. der vom Modell postulierte

³ Mit MINT-Personal sind in diesem Forschungsvorhaben alle Lehrkräfte gemeint, die mindestens ein MINT-Fach unterrichten.

Zusammenhang gilt als besonders eng, wenn die Moderatoren hoch eingeschätzt werden (van Dick, 2006).

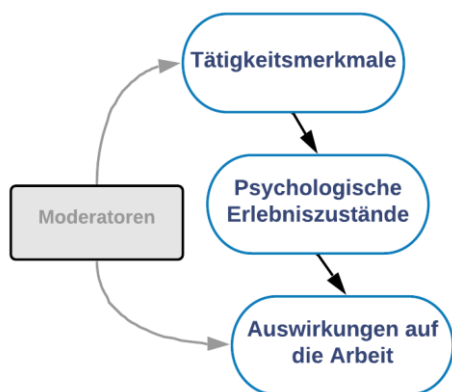


Abb. 1: Das Job Characteristics Model in vereinfachter Darstellung (in Anl. an van Dick et al., 2001).

Die Dimensionen des JCM werden in einem Fragebogen namens *Job Diagnostic Survey* (JDS, deutsche Version nach van Dick et al., 2001) operationalisiert. In Tab. 1 werden einige Dimensionen des JDS samt Beispielimens dargestellt:

| Tätigkeitsmerkmale | |
|---------------------------------|--|
| Anforderungsvielfalt | Meine Arbeit verlangt von mir viele unterschiedliche Fähigkeiten. |
| Autonomie | Ich kann weitgehend frei entscheiden, wie ich meinen Unterricht gestalte. |
| Psychologische Erlebniszustände | |
| Erlebte Bedeutsamkeit | Meine Unterrichtstätigkeit bedeutet mir sehr viel. |
| Erlebte Verantwortung | Ich empfinde ein hohes Maß an Verantwortung für meine Tätigkeit. |
| Auswirkungen auf die Arbeit | |
| Globale Arbeitszufriedenheit | Alles in allem bin ich mit meinem Beruf sehr zufrieden. |
| Intrinsische Motivation | Ich empfinde große persönliche Zufriedenheit, wenn ich meinen Unterricht gut mache. |
| Moderatoren | |
| Kontextfaktoren | <i>Ich bin sehr zufrieden mit...</i> ... den Kolleg*innen, mit denen ich an meiner Schule zusammenarbeite. ... dem Umfang an Unterstützung durch meine Schulleitung. |

Tab. 1: Ausgewählte JDS-Dimensionen und -Items (vgl. van Dick et al., 2001). Das Rating erfolgt mit 6-stufigen Likert-Skalen.

Der JDS wurde in der deutschen Version von van Dick et al. (2001) für Berufspersonen im Bildungsbe- reich adaptiert, darunter Hochschuldozierende, Erzie- her*innen und Lehrkräfte. Um das Instrument noch besser auf die Zielgruppe der Studie anzupassen, wurde das Modell um kompetenzbezogene Elemente und Aspekte der Personal- und Schulentwicklung er- gänzt. Bestehende Instrumente wurden z. T. auf den MINT-Unterrichtskontext adaptiert.

Zu Ersteren gehören verschiedene Instrumente, um etablierte Konstrukte der Unterrichtsqualität (nach Klieme & Rakoczy, 2008; Kunter & Voss, 2011) und der Lehrkräftekompetenz (nach Baumert & Kunter, 2006) zu operationalisieren, z. B. kognitive Aktivie- rung (orientiert an Baumert et al., 2009; Szogs, Krü- ger & Korneck, 2017) und Lehr-Lern-Überzeugun- gen (Oettinghaus, 2016). Zu Letzteren zählen u. a. Einschätzungen zu den Entwicklungsbedingungen auf schulischer Ebene sowie auch zu Fortbildungs- verhalten und -motivation (orientiert an Lipowsky, 2017). Tab. 2 zeigt Beispiele aus den genannten Skalen:

| Selbstauskunft zu Unterrichtsqualität | |
|---|--|
| Kognitiv aktivierende Aufgaben | Ich lasse Aufgaben bearbeiten, für die es keinen sofort erkenn- baren Lösungsweg gibt. |
| Kognitiv herausfor- dernder Umgang mit Schülerbeiträgen | Ich gehe von den Ideen der Schüler*innen aus und spiele mit ihnen die Konsequenzen durch, bis sie erkennen, ob ihre Gedanken zum Ziel führen. |
| Lehr-Lern-Überzeugungen | |
| Überzeugungen: Selbständiges Lernen | MINT-Fächer sollten in der Schule so gelehrt werden, dass die Schüler*innen Zusammen- hänge selbst entdecken können. |
| Überzeugungen: Transmissives Ler- nen | Lehrpersonen sollten für das Lö- sen von Aufgaben detaillierte Vorgehensweisen vermitteln. |
| Fortbildungen | |
| Entwicklungsbedin- gungen auf Schul- ebene | <i>An meiner Schule...</i> ... gibt es eine transparente Fort- bildungsplanung für Lehrkräfte. ... wird die Übertragung des in Fortbildungen Gelernten in die alltägliche Schulpraxis geför- dert. |
| Einstellung zur Wirk- samkeit von Fortbil- dungen | <i>Die Erkenntnisse, die ich an Fortbildungen gewinne...</i> ... erweisen sich als wirksam. ... wirken sich auf das Lernver- halten meiner SuS aus. |

Tab. 2: Ausgewählte Items aus den Bereichen Lehr- kräftekompetenzen und Personalentwicklung. Das Rating erfolgt mit Likert-Skalen unterschiedlicher Stufigkeiten.

3. Pilotierung des Fragebogens

Als Ergebnis der Fragebogenkonstruktion ist ein umfassendes Instrument mit ca. 200 Items entstanden, das folgende Bereiche umfasst:

- a. Strukturelle Arbeitsbedingungen (Fächer, Stundendeputat, Zusatzfunktionen, ...);
- b. Persönliche Angaben, Fragen zur Bildungslaufbahn/zum beruflichen Werdegang;
- c. Wahrnehmung der Arbeitssituation und -zufriedenheit (JDS);
- d. Berufliches Handeln und eigene Sicht auf Unterricht (Lehr-/Lern-Überzeugungen, Selbstwirksamkeitserwartungen, Enthusiasmus, Selbstregulation);
- e. Entlastungsbedürfnisse und -wünsche, Möglichkeiten persönlicher Entfaltung, Einschätzungen zur eigenen Schulkultur;
- f. Situation während der COVID-19-Krise und Digitalisierung des Unterrichts.

Validiert wurde der Fragebogen im Wintersemester 2020/21 in einer Pilotierung mit ausgewählten MINT-Lehrkräften (N = 16) aus allgemein- und berufsbildenden Schulen aus Hessen und Baden-Württemberg. Dafür wurden ein- bis zweistündige Einzelinterviews mit den Lehrkräften durchgeführt, in denen die Lehrkraft zunächst den kompletten Fragebogen bearbeitete und diesen danach mit den Interviewleiter*innen diskutierte.

Durch diese Pilotierung konnten kritische Stellen und problematische Formulierungen identifiziert und damit verknüpfte Probleme weitgehend behoben werden. Vor allem die Passung auf die Gruppe der Berufsschullehrkräfte konnte durch die Interviews deutlich besser gelingen. Insgesamt wurde bei den interviewten Lehrkräften eine hohe Akzeptanz des Erhebungsinstruments festgestellt.

4. Ausblick

Die erste Erhebung mit dem validierten Instrument erfolgte im Frühjahr 2021. Die gewonnene Stichprobe besteht zum einen aus Lehrkräften, die auf verschiedenen Kanälen über die Studie informiert wurden, und zum anderen aus Lehrkräften der Berufsverbände „MNU-Bundesverband“ und „MINT Zukunft Verein“. Erste Einblicke in den Datensatz zeigen, dass sowohl das Instrument als auch die Thematik des Projekts von den teilnehmenden Lehrkräften gut angenommen wurden. Der vorliegende Fragebogen soll nach der Auswertung weiter optimiert und in einer zweiten Erhebung (2022) in fünf Bundesländern eingesetzt werden.

5. Literatur

- Baumert, J., & Kunter, M. (2006). Stichwort: Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 9(4), 469–520. <https://doi.org/10.1007/s11618-006-0165-2>
- Baumert, J., Blum, W., Brunner, M., Dubberke, T., Jordan, A., Klusmann, U., Krauss, S., Kunter, M., Löwen, K., Neubrand, M., & Tsai, Y.-M.

(2009). *Professionswissen von Lehrkräften, kognitiv aktivierender Mathematikunterricht und die Entwicklung von mathematischer Kompetenz (COACTIV). Dokumentation der Erhebungsinstrumente.* (Materialien aus der Bildungsforschung. Nr. 83). Max-Planck-Institut für Bildungsforschung.

- Düchs, G., & Mecke, K. (2020). Konstanz trotz Corona. Statistiken zum Physikstudium an den Universitäten in Deutschland 2020. *Physik Journal*, 19 (Nr. 8/9), 70–75.
- Klemm, K. (2020). *Lehrkräftemangel in den MINT-Fächern: Kein Ende in Sicht. Zur Bedarfs- und Angebotsentwicklung in den allgemeinbildenden Schulen der Sekundarstufen I und II am Beispiel Nordrhein-Westfalens.* Gutachten im Auftrag der Telekom-Stiftung. Abgerufen am 22.05.2021 von: <https://www.telekom-stiftung.de/sites/default/files/mint-lehrkraeftebedarf-2020-ergebnisbericht.pdf>
- Klieme, E., & Rakoczy, K. (2008). Empirische Unterrichtsforschung und Fachdidaktik. Outcomeorientierte Messung und Prozessqualität des Unterrichts. *Zeitschrift für Pädagogik*, 54(2), 222–237.
- KMK. (2020). Einstellung von Lehrkräften – Tabellenauszüge aus den Jahren 2013–2019. Abgerufen am 22.05.2021 von: <https://www.kmk.org/de/dokumentation-statistik/statistik/schulstatistik/einstellung-von-lehrkraeften.html>
- Korneck, F. (2019). Sondermaßnahmen vs. Nachhaltige Professionalisierung im Lehrerberuf. In R. Porsch & B. Rösken-Winter (Hrsg.), *Professionelles Handeln im fachfremd erteilten Mathematikunterricht. Empirische Befunde und Fortbildungskonzepte* (S. 49–77). Springer.
- Korneck, F., Oettinghaus, L., & Lamprecht, J. (2021). Physiklehrkräfte: Gewinnung -Professionalisierung -Kompetenzen. In S. Habig (Hrsg.), *Naturwissenschaftlicher Unterricht und Lehrerbildung im Umbruch? GDGP virtuelle Jahrestagung 2020* (Bd. 41, S. 4–21). Universität Regensburg.
- Kunter, M., & Voss, T. (2011). Das Modell der Unterrichtsqualität in COACTIV: Eine multikriteriale Analyse. In M. Kunter, J. Baumert, W. Blum, U. Klusmann, S. Krauss, & M. Neubrand (Hrsg.), *Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. Ergebnisse des Forschungsprogramms COACTIV* (S. 85–113). Waxmann.
- Lamprecht, J. (2011). *Ausbildungswege und Komponenten professioneller Handlungskompetenz: Vergleich von Quereinsteigern mit Lehramtsabsolventen für Gymnasien im Fach Physik.* Logos Verlag.
- Lipowsky, F. (2017). *Fortbildungen für Lehrkräfte wirksam gestalten - Was sagt die Wissenschaft?* Vortrag auf der Tagung „Wie viel Wissenschaft braucht die Lehrer_innenbildung?“, Kassel,

23.11.2017. Abgerufen am 18.05.2021 von:

https://www.qualitaetsoffensive-lehrerbildung.de/files/Lipowsky_authorized.pdf

- Lucksnat, C., Richter, E., Klusmann, U., Kunter, M., & Richter, D. (2020). Unterschiedliche Wege ins Lehramt – unterschiedliche Kompetenzen? Ein Vergleich von Quereinsteigern und traditionell ausgebildeten Lehramtsanwärtern im Vorbereitungsdienst. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 40, 1–16. <https://doi.org/10.1024/1010-0652/a000280>
- OECD. (2020). *Education at a Glance 2020: OECD Indicators*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/69096873-en>
- Oettinghaus, L. (2016). *Lehrerüberzeugungen und physikbezogenes Professionswissen: Vergleich von Absolventinnen und Absolventen verschiedener Ausbildungswege im Physikreferendariat*. Logos Verlag.
- Richter, D., Becker, B., Hoffmann, L., Busse, J., & Stanat, P. (2019). Aspekte der Aus- und Fortbildung von Lehrkräften im Fach Mathematik und in den naturwissenschaftlichen Fächern. In *IQB-Bildungstrend 2018 Mathematische und naturwissenschaftliche Kompetenzen am Ende der Sekundarstufe I im zweiten Ländervergleich*. (S. 385–410). Waxmann.
- Szogs, M., Krüger, M., & Korneck, F. (2017). Erhebung von Unterrichtsqualität mittels hoch-inferenter Videoratings—Das Ratingmanual der Φ actio-Studie. *Implementation fachdidaktischer Innovation im Spiegel von Forschung und Praxis*. Jahrestagung der Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik 2016, Zürich.
- Vairo Nunes, R., Korneck, F., Berger, J., Ziegler, B., Rönnebeck, S., & Parchmann, I. (2021). Arbeitssituation und Professionalisierungswege von MINT-Lehrkräften. In S. Habig (Hrsg.), *Naturwissenschaftlicher Unterricht und Lehrerbildung im Umbruch? GDGP virtuelle Jahrestagung 2020* (Bd. 41, S. 633–636). Universität Regensburg.
- van Dick, R., Schnitger, C., Schwartzmann-Buchelt, C., & Wagner, U. (2001). Der Job Diagnostic Survey im Bildungsbereich. *Zeitschrift für Arbeits- und Organisationspsychologie*, 45(2), 74–92. <https://doi.org/10.1026//0932-4089.45.2.74>
- van Dick, R. (2006). *Stress und Arbeitszufriedenheit bei Lehrerinnen und Lehrern. Zwischen „Horrorjob“ und Erfüllung* (2., Edition). Tecum Wissenschaftsverlag.
- von Kopp, B. (2014). Lehrerbildung im Ausland: Aktuelle und innovative Tendenzen der Lehrerbildung in internationaler Perspektive. In *Innovative Ansätze der Lehrerbildung im Ausland* (S. 12–67). Waxmann.

Danksagung

Das hier vorgestellte Projekt wird von der Deutschen Telekom-Stiftung gefördert. Für die Förderung bedanken wir uns herzlich.

Entwicklung eines Seminars zur Förderung des Konzeptverständnisses mittels digitaler Medien

David Weiler*, Jan-Philipp Burde*, Andreas Lachner⁺, Josef Riese⁼, Thomas Schubatzky[§], Rike Große-Heilmann⁼

*Eberhard Karls Universität Tübingen, AG Didaktik der Physik, Auf der Morgenstelle 14, 72076 Tübingen;

⁺Eberhard Karls Universität Tübingen, Abteilung Schulpädagogik, Keplerstraße 17, 72074 Tübingen;

⁼Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, Didaktik der Physik und Technik, Sommerfeldstraße 16, 52074 Aachen;

[§]Karl-Franzens-Universität Graz, Institut für Physik, Physikdidaktik, Universitätsplatz 5, 8010 Graz;
david-christoph.weiler@uni-tuebingen.de; jan-philipp.burde@uni-tuebingen.de; andreas.lachner@uni-tuebingen.de; riese@physik.rwth-aachen.de; thomas.schubatzky@uni-graz.at; grosse-heimann@physik.rwth-aachen.de;

Kurzfassung

Die Digitalisierung stellt Schule und Gesellschaft vor neue Herausforderungen, bietet jedoch gleichzeitig auch enorme Chancen. Im Physikunterricht können digitale Medien z.B. dazu beitragen, Schülerinnen und Schülern das Verständnis physikalischer Konzepte zu erleichtern. Im Rahmen des DiKoLeP-Verbundprojekts an den Universitäten Aachen, Graz und Tübingen wird daher ein Seminar entwickelt und evaluiert, dessen Ziel es ist, Studierende zum fachdidaktisch sinnvollen Einsatz von digitalen Medien zur Förderung des physikalischen Konzeptverständnisses zu befähigen. Trotz der Verankerung des Einsatzes von digitalen Medien in den KMK-Bildungsstandards haben viele Lehrkräfte nach eigenen Angaben nicht die notwendigen Kenntnisse und Erfahrungen, digitale Medien lernwirksam einzusetzen. Das neue Seminar soll daher angehenden Lehrkräften in der ersten Phase der Lehramtsausbildung die Möglichkeit geben, diese Kenntnisse und Kompetenzen zu erlangen und in komplexitätsreduzierten Unterrichtssequenzen zu erproben. Dieser Beitrag behandelt die Konzeption des Seminars und stellt die Forschungsfragen des DiKoLeP-Verbundprojekts u.a. in Zusammenhang mit der Evaluation des Seminars vor. Zusätzlich werden die Erhebungsinstrumente und die Struktur der Evaluation dargestellt.

1. Ausgangslage

1.1. Verständnisschwierigkeiten im Unterricht

Die fachdidaktische Forschung der vergangenen Jahrzehnte zeigt, dass es vielen Lernenden in ihrer Schullaufbahn nicht gelingt, ein angemessenes Verständnis grundlegender physikalischer Konzepte und Zusammenhänge zu entwickeln. Diese Verständnisschwierigkeiten sind oftmals auf Schülervorstellungen zurückzuführen, die etwa durch Alltagserfahrungen oder aus physikalischer Sicht problematische Sprachbilder der Alltagssprache (z.B. „Stromverbrauch“) hervorgerufen werden können [1, 2, 3]. Es spielen aber auch lehrbedingte Schwierigkeiten eine Rolle, bei der Schülervorstellungen z.B. aus ungeeigneten ikonografischen Darstellungen von physikalischen Inhalten und Zusammenhängen durch die Lehrkraft hervorgerufen werden können [2].

1.2. Digitale Medien

Der Einsatz digitaler Medien stellt eine Möglichkeit dar, derartigen Lernschwierigkeiten entgegenzuwirken und Schülerinnen und Schüler beim Erlernen von physikalischen Konzepten zu unterstützen. Viele di-

gitale Medien bieten eine neue Qualität der Anschauung, die beim Lernprozess einen positiven Einfluss haben kann [4]. So können beispielsweise Animationen dazu beitragen, fehlende interne kognitive Prozesse external durch die Animation vorzuführen [4]. Digitale Messwerterfassungssysteme können genutzt werden, um die Messwertaufnahme in den Hintergrund zu rücken, wodurch sich Lernende dem zu untersuchenden physikalischen Phänomen intensiver widmen können, was für das konzeptuelle Verständnis förderlich ist [5]. Es ist daher nicht verwunderlich, dass auf Grundlage dieser Potenziale die Kultusministerkonferenz den Einsatz digitaler Medien in den Bildungsstandards festgehalten hat [6].

Digitale Medien sind aber keine „Selbstläufer“, sondern es braucht professionelle Lehrkräfte, die sie lernwirksam und fachdidaktisch sinnvoll im Unterricht einsetzen und die Schülerinnen und Schüler somit beim Aufbau physikalischer Konzepte unterstützen. Um Schülerinnen und Schüler nicht zu überfordern, benötigt es auf Seiten der Lehrkräfte ausreichend Kenntnisse und Kompetenzen im Umgang mit digitalen Medien und deren fachdidaktisch überlegtem Ein-

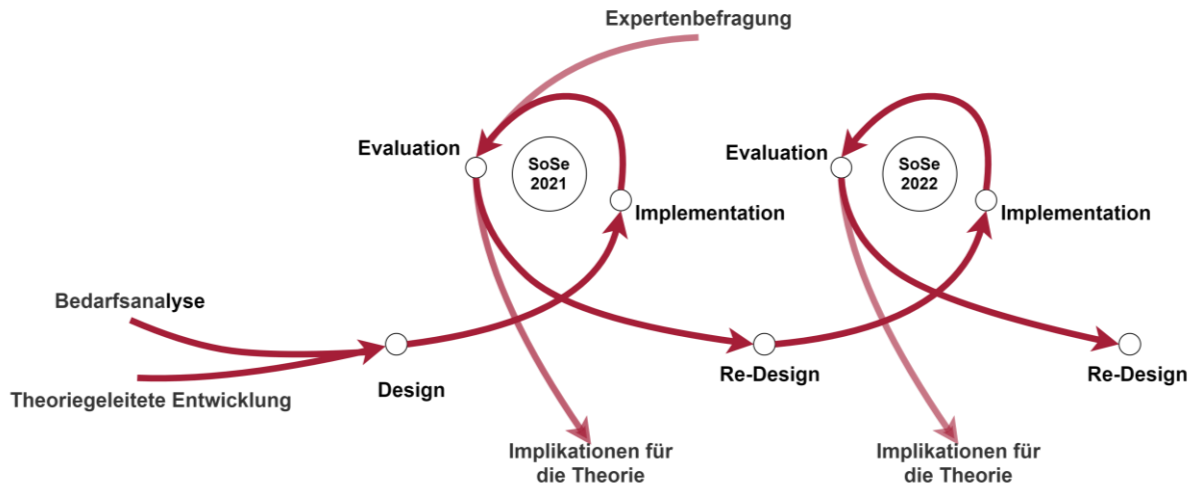


Abb. 1: Design-Based-Research-Ansatz für das Projekt

satz. Allerdings zeigt sich, dass nur sehr wenige Lehrkräfte in ihrer Aus- und Fortbildung gelernt haben, wie digitale Medien im Unterricht fachdidaktisch sinnvoll und lernwirksam eingesetzt werden können, z.B. um Schülerinnen und Schülern die Begriffsentwicklung zu erleichtern [7].

Es ist davon auszugehen, dass digitale Medien immer mehr Einzug in den Physikunterricht finden werden – eine qualitativ hochwertige Implementierung digitaler Medien gelingt aus fachdidaktischer Perspektive aber nur dann, wenn Lehrpersonen auch dahingehend professionalisiert sind. Angehende Lehrkräfte benötigen daher bereits im Studium Gelegenheiten sich dahingehend zu qualifizieren, fachspezifische digitale Medien schülergerecht und lernwirksam einzusetzen [8].

2. Das Verbundprojekt DiKoLeP

Zu diesem Zweck haben sich die Universitäten Aachen, Graz und Tübingen zum Kooperationsprojekt „Digitale Kompetenzen von Lehramtsstudierenden im Fach Physik“ (DiKoLeP) zusammengeschlossen. Dabei ist das primäre Ziel des Projekts die universitäre Ausbildung von Lehramtsstudierenden in Bezug auf den fachdidaktisch sinnvollen Einsatz von digitalen Medien im Physikunterricht an den Standorten zu verbessern. Hierzu werden im Rahmen des Verbundprojektes entsprechende Seminarkonzepte für Studierende des Lehramts Physik konzipiert und empirisch evaluiert, wobei an allen Projektstandorten die folgenden Kerninhalte in den Seminaren abgedeckt werden: lernpsychologische Grundlagen zum Medieneinsatz; fachdidaktische Grundlagen zum Einsatz von Simulationen, interaktiven Bildschirmexperimenten, digitalen Messwerterfassungssystemen, Videoanalysen und Erklärvideos. Nach dieser theoretischen Einführung sind praxisorientierte, fachdidaktische Lerngelegenheiten vorgesehen, die sich jedoch an den Projektstandorten leicht unterscheiden. So fokussiert der praktische Anteil des Seminars an der RWTH Aachen vor allem auf die Entwicklung und Durchführung von Lernzirkeln an Schulen (vgl.

[9] in diesem Band), während die Studierenden in Graz und Tübingen im Rahmen des Seminars Unterrichtsskizzen zum fachdidaktisch sinnvollen Einsatz digitaler Medien planen, durchführen und gemeinsam reflektieren.

Um die Lernwirksamkeit in Hinblick auf die Facette "Digitale Medien" des FDW evaluieren zu können, wird ein entsprechender Test benötigt. Ein Test in dieser Form existiert noch nicht, da bisher überwiegend mit Selbsteinschätzungen gearbeitet wurde [10]. In enger Zusammenarbeit mit den Projektbeteiligten wird am Standort Aachen deshalb ein Kompetenztest entwickelt, der die Facette „Digitale Medien“ aus dem Kompetenzmodell für das Fachdidaktische Wissen in Physik [11] operationalisiert [12]. Am Standort Graz wird auf Grundlage der gemeinsam erhobenen Daten die Rolle der Facette „Digitale Medien“ des Fachdidaktischen Wissens im Rahmen der Theory of Planned Behaviour [8] für den Einsatz digitaler Medien im Physikunterricht untersucht.

In Tübingen liegt der Schwerpunkt auf der Konzeption und Evaluation eines entsprechenden Seminars zur Förderung des Konzeptverständnisses mit digitalen Medien im Physikunterricht, das in identischer Form in Graz und Tübingen stattfindet. Dabei soll den Studierenden nicht nur aufgezeigt werden, welches didaktische Potenzial digitale Medien zur Förderung des Konzeptverständnisses haben. Vielmehr zielt das Seminar darauf ab, den Studierenden fachdidaktische Lerngelegenheiten zu bieten, den Einsatz digitaler Medien praxisorientiert zu planen, umzusetzen und zu reflektieren. Diese Verknüpfung von Theorie und Praxis hat sich bisher für den Aufbau von technologiebezogenen fachdidaktischen Kompetenzen als besonders wirksam erwiesen [13, 14].

3. Forschungsfragen in Bezug auf die Seminarentwicklung

In Zusammenhang mit dem primären Ziel des Tübinger Teilprojekts der Entwicklung und Evaluation eines bedarfsorientierten und lernwirksamen Seminars

ergeben sich mehrere Forschungsfragen, die am Standort Tübingen im Rahmen des DiKoLeP-Verbundprojekts beantwortet werden sollen:

- I. Über welche Vorerfahrungen und Interessen in Bezug auf einzelne digitale Medien verfügen Studierende typischerweise?
- II. Wie entwickelt sich die professionelle Handlungskompetenz (in Anlehnung an [15]) während des Seminars in Bezug auf...
 - a. ... die Facetten „Digitale Medien“ und „Schülvorstellungen“ des Fachdidaktischen Wissens (FDW)?
 - b. ... ausgewählte Motivationale Orientierungen?
 - c. ... selbstregulative Fähigkeiten?
- III. Welche Lernvoraussetzungen (z.B. Motivationale Orientierungen, FDW) begünstigen die Entwicklung der Facette „Digitale Medien“ des FDW?
- IV. Inwiefern sind Studierende am Ende des Seminars in der Lage, einen aus fach- und mediendidaktischer Perspektive qualitätsvollen Unterricht mittels digitaler Medien zu planen und in exemplarischen Unterrichtssequenzen umzusetzen?
- V. Welche Aspekte des Seminars tragen aus Sicht der Studierenden maßgeblich zu dessen Qualität bei?

4. Konzeption des Seminars

Die Seminar-konzeption und -evaluation erfolgt nach dem Design-Based Research Ansatz (DBR) [16, 17, 18], wobei das Seminar in Zyklen von Design, Evaluation und Re-Design systematisch entwickelt und evaluiert wird (siehe Abb. 1). Dem DBR Ansatz folgend, basiert die Seminar-konzeption auf einem theorie- und forschungsgeliteten Vorgehen. Neben einer fundierten Literaturrecherche wird eine Bedarfsanalyse bei Studierenden durchgeführt.

In der Bedarfsanalyse wird neben den Vorerfahrungen mit einzelnen digitalen Medien auch erhoben, wie sehr die Studierenden an den einzelnen Medien interessiert sind und woher diese Vorerfahrungen stammen. Die Items der Bedarfsanalyse sind dabei an den verwendeten Items zur Ermittlung der lernbezogenen Vorerfahrungen von [8] angelehnt. Zur Eingrenzung der thematischen Inhalte des Seminars wurde unter anderem der Orientierungsrahmen „Digitale Kompetenzen für das Lehramt in den Naturwissenschaften (DiKoLAN)“ herangezogen [19].

Aus den fachspezifischeren Kompetenzen des DiKoLAN-Rahmens hat sich herauskristallisiert, dass im Seminar u.a. die Themen *Digitale Messwertfassungssysteme*, *Videoanalyse*, *Simulationen und Animationen* sowie *Interaktive Bildschirmexperimente* eine zentrale Stellung einnehmen sollten. Die allgemeineren Kompetenzen des DiKoLAN-Rahmens führten zu den Themengebieten *Augmented Reality*,

Virtual Reality, *Erklärvideos* sowie den allgemeineren *Grundlagen des Multimedialen Lernens* nach [20].

Bei der Ausgestaltung des Seminars und der einzelnen Seminarsitzungen wird auf den *synthesis of qualitative evidence* Ansatz (SQD) zurückgegriffen [21]. Dieses Modell liefert evidenzbasiert Gelingensbedingungen für die Ausgestaltung von Seminaren im Hinblick auf die Förderung der Medienintegration (siehe Abb. 2).

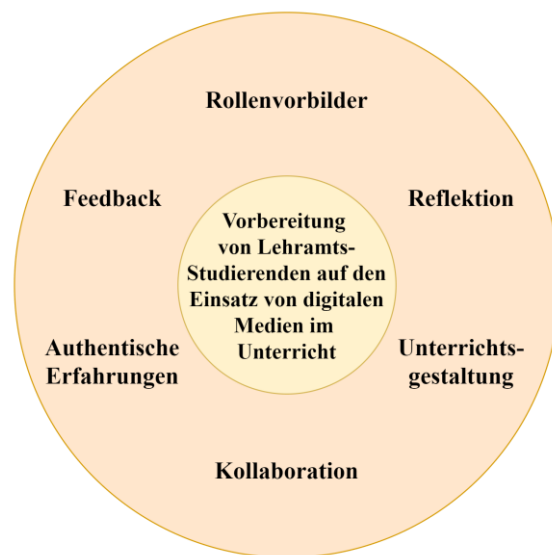


Abb. 2: SQD-Modell auf Seminarebene

Entsprechend des SQD-Modells ist es in Seminaren unter anderem zentral, dass die Studierenden Feedback erhalten, damit sie Gelegenheit zum Reflektieren und Zusammenarbeiten bekommen und dass sie authentische Erfahrungen mit digitalen Medien machen können.

Vor Beginn des Seminars erhalten die Studierenden in Online-Lernmodulen die Möglichkeit, sich mit den zuvor im Verlauf des Studiums behandelten Themengebieten *Schülvorstellungen* und *Kriterien guten Physikunterrichts* auseinanderzusetzen. Dies dient primär der Wiederholung, soll aber auch das benötigte Wissen reaktivieren, das die Studierenden bei der Planung von Unterricht benötigen.

Das Seminar ist in zwei Phasen aufgeteilt. In der ersten Phase werden die theoretischen Grundlagen zu den einzelnen digitalen Medien behandelt, wobei neben Einsatzmöglichkeiten auch notwendige Gestaltungsmerkmale und empirische Befunde zu den Medien thematisiert werden. Hier werden dem SQD-Ansatz folgend erste exemplarische Anwendungen durch die Lehrperson aufgezeigt und den Studierenden die Möglichkeit gegeben, erste Erfahrungen mit den Medien zu sammeln.

Nach der theoretischen Auseinandersetzung mit den digitalen Medien folgt die praktische Auseinandersetzung, bei der die Studierenden Zeit bekommen, sich mit digitalen Medien vertieft zu beschäftigen. Dabei

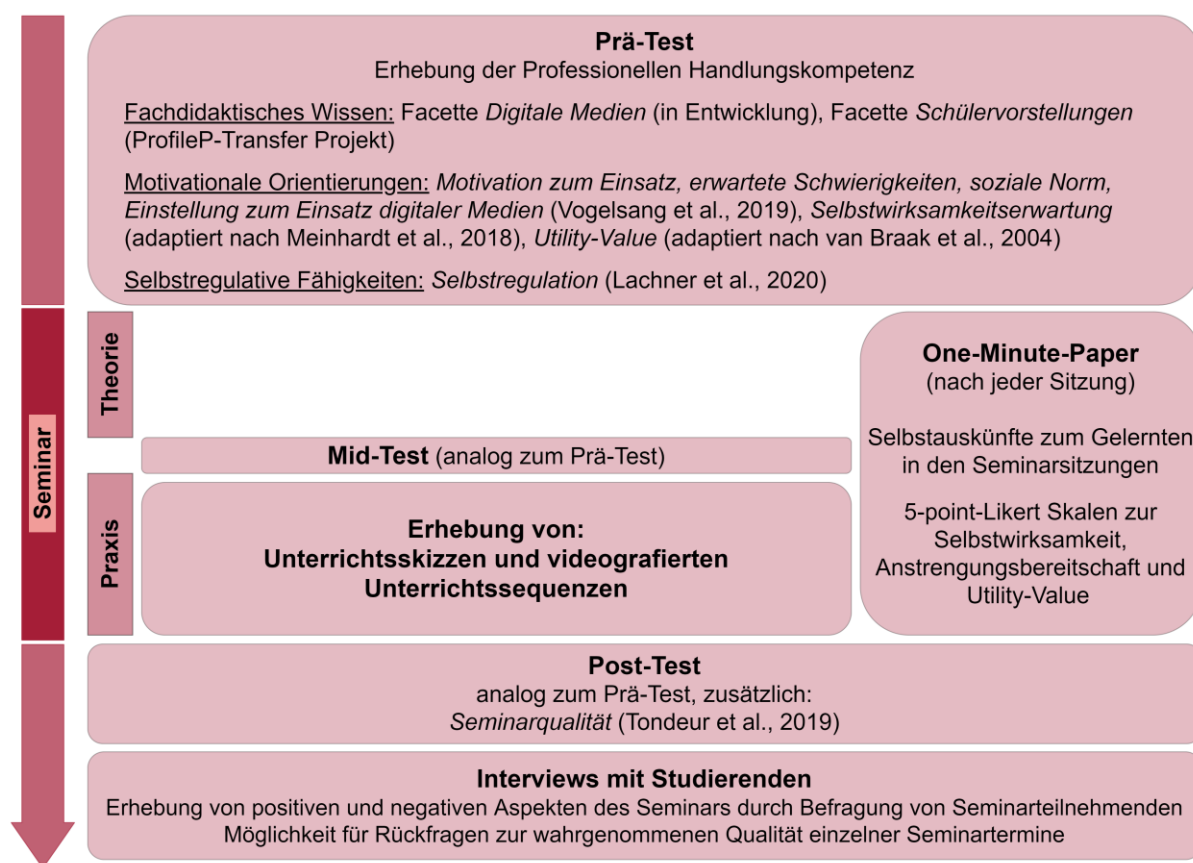


Abb. 3: Erhebungsplan und Erhebungsinstrumente

werden den Studierenden online Lernmaterialien sowie die Geräte zur praktischen Benutzung an der jeweiligen Universität zur Verfügung gestellt. Darauf folgend erstellen die Studierenden in Kleingruppen Unterrichtsskizzen (= kurze Unterrichtsentwürfe) zu einer fiktiven Schulstunde. In der geplanten Unterrichtsstunde nutzen sie das Medium, mit dem sie sich im Rahmen des Seminars ausgiebig auseinandergesetzt haben, um das konzeptionelle Verständnis zu einem von ihnen gewählten physikalischen Thema zu fördern (durch die COVID19-Pandemie muss der Kontakt während der Pilotierung auf feste Partnerarbeit reduziert werden).

Ausschnitte aus diesen Unterrichtsskizzen, in denen das jeweilige Medium eingesetzt wird, werden in komplexitätsreduzierten exemplarischen Unterrichtssequenzen im Seminar durchgeführt. Diese Unterrichtssequenzen werden im Seminar videografiert und gemeinsam analysiert. Die Studierenden haben hier die Möglichkeit, sich sowohl gegenseitig als auch von der Lehrperson Feedback geben zu lassen. Zudem ist die Peer-Feedback-Phase dazu geeignet, ihr eigenes Handeln mithilfe der videografierten Unterrichtssequenzen zu reflektieren [22].

5. Geplante Evaluation und Weiterentwicklung des Seminars

Neben der inhaltlichen Weiterentwicklung des Seminars auf Basis einer Triangulation von quantitativen

und qualitativen Daten liegt ein besonderer Schwerpunkt der Begleitforschung auf der Frage, inwiefern das Seminar zu einer Steigerung zentraler Aspekte des Fachdidaktischen Wissens, Motivationaler Aspekte, Selbstregulation und Überzeugungen als Teil der professionellen Handlungskompetenz von Lehrkräften beitragen kann.

Vor der ersten Implementation des Seminars wurde eine Bedarfsanalyse an mehreren Standorten durchgeführt, bei der die Vorerfahrungen und Interessen von Lehramtsstudierenden mit und an digitalen Medien im Physikunterricht erhoben wurden (z.B. "Ich habe schon Erfahrung mit interaktiven Bildschirmexperimenten." - "Ich interessiere mich für interaktive Bildschirmexperimente."). Zusätzlich wurde im Zuge der Bedarfsanalyse eine Skala pilotiert, welche die Selbstwirksamkeitserwartung zur Förderung des konzeptionellen Verständnisses von Schülerinnen und Schülern mit und ohne digitale Medien erheben soll (z.B. "Ich kann Medien so auswählen, dass diese zu einem besseren konzeptionellen Verständnis im Unterricht beitragen."). Dabei wurden Items aus schon erprobten Selbstwirksamkeitsskalen [23, 24, 25] auf die Fragestellung angepasst.

In einem Prä-Mid-Post-Test-Design (siehe Abb. 3) werden mit quantitativen Items das Fachdidaktische Wissen, die Motivationalen Orientierungen und die selbstregulativen Fähigkeiten während der Implementation des Seminars erhoben. Dadurch sollen die

Entwicklungsverläufe in den untersuchten Bereichen der Professionellen Handlungskompetenz nachgezeichnet werden. Dabei wird zur Erhebung des Fachdidaktischen Wissens für die Facette „Schülervorstellungen“ der Test von Riese, Gramzow & Reinhold [26] aus dem ProfileP-Transfer-Projekt genutzt, wobei die ursprünglich offenen Antworten in ein geschlossenes Format überführt wurden. Für die Facette „Digitale Medien“ wird auf einen Test zurückgegriffen, der wie oben beschrieben im Rahmen des Verbundprojekts DiKoLeP am Standort Aachen entwickelt wird [9]. Dieser wird in der ersten Implementation pilotiert und erst in der Haupterhebung zur Gewinnung von Erkenntnissen über die Lernzuwächse genutzt.

Der Bereich der Motivationalen Orientierungen umfasst die Skalen Motivation zum Einsatz, Erwartete Schwierigkeiten, Soziale Norm und Einstellung zum Einsatz digitaler Medien, wobei hier die Items von [8] genutzt werden. Zusätzlich wird die Selbstwirksamkeitserwartung, wie sie schon in der Bedarfsanalyse genutzt wurde, und der Utility-Value in Anlehnung an [27] erhoben (z.B. „Ich finde, dass digitale Medien nützlich für den Unterricht sind.“).

Zur Erhebung der selbstregulatorischen Fähigkeit, die eigenen Leistungen einschätzen zu können, wird für die genannten Tests zu den beiden Facetten Fachdidaktischen Wissens vor und nach der Testteilnahme eine Einschätzung der eigenen Leistung erbeten („Im Folgenden werden Sie einen Kompetenztest zum Umgang mit Schülervorstellungen im Physikunterricht machen. Geben Sie bitte an, wie viel Prozent der maximal zu erreichenden Punkte Sie in diesem Test erreichen werden.“).

Neben der Professionellen Handlungskompetenz wird im Post-Test noch die wahrgenommene Seminarqualität durch die Studierenden quantitativ mit 5-stufigen-Likert Skalen erhoben. Dazu wird ein bereits erprobter Test auf Basis des SQD-Modells genutzt [28]. Darüber hinaus werden auch die einzelnen Seminarsitzungen untersucht. Hier werden die Abläufe der einzelnen Seminartermine von den Studierenden eingeschätzt, indem sie sog. One-Minute-Paper (d.h. Selbsterklärungen der Studierenden zum gelernten Inhalt der jeweiligen Seminartermine und Skalen zu Selbstwirksamkeit, Anstrengungsbereitschaft und Utility-Value) nach jeder Sitzung ausfüllen. Neben der Möglichkeit zur Reflexion des Gelernten werden auch noch offene Fragen und die Einschätzung des Sitzungsablaufs erhoben. Dies kann zur Ausschärfung der einzelnen Seminartermine beitragen.

Zusätzlich soll nach jedem Seminartermin die Selbstwirksamkeitserwartung (adaptiert nach [29], z.B. „Als ich in diesem Seminar digitale Medien eingesetzt habe, hatte ich das Gefühl, gut mit der Nutzung von digitalen Medien klarzukommen.“), die Anstrengungsbereitschaft (adaptiert nach [30]; z.B. „... war der Einsatz der digitalen Medien eine richtige Herausforderung für mich.“) und der Utility-Value (adaptiert

nach [31]) als Indikatoren für den Beitrag einzelner Seminartermine auf die genannten Konstrukte erhoben werden.

Die Forschungsfrage IV zur Kompetenz der Studierenden, einen aus fach- und mediendidaktischer Perspektive qualitätsvollen Unterricht mit digitalen Medien zu planen, soll durch eine qualitative Analyse der Unterrichtsskizzen und videografierten Unterrichtssequenzen erfolgen. Zur Identifikation von besonders gelungenen und geeigneten Lerngelegenheiten als auch Problemstellen werden mit den Studierenden abschließende Interviews nach Ende des Seminars durchgeführt. Somit besteht für die Forschenden auch noch einmal die Möglichkeit, Rückfragen zu Rückmeldungen und der wahrgenommenen Qualität des Seminars und einzelner Seminartermine sowie zu den Lernmaterialien zu stellen (siehe Abb. 3).

Ergänzend zu den Evaluationsmöglichkeiten im Seminar an den Standorten wird eine Expertenbefragung nach der Erprobung des Seminars angestrebt, um hierdurch das Seminar weiter verbessern zu können.

6. Ausblick

Nach der bisherigen Literaturrecherche und der Bedarfsanalyse an den Standorten des DiKoLeP-Verbundprojekts wurde der Pilot des Seminars geplant und befindet sich im Sommersemester 2021 in der Erprobung. Die Bedarfsanalyse wurde auf weitere Standorte erweitert, um die Selbstwirksamkeitserwartungsskala zu evaluieren. Aus den Ergebnissen der Pilotierung und der anstehenden Expertenbefragung werden Implikationen für das Seminar gewonnen, um die Qualität und Lernwirksamkeit des Seminars zu verbessern. In den kommenden Semestern wird das Seminar erneut in überarbeiteter und ausdifferenzierter Form durchgeführt und dessen Lernwirksamkeit für den kompetenten Einsatz von digitalen Medien im Physikunterricht, im Sinne der professionellen Handlungskompetenz, erhoben.

7. Literatur

- [1] Duit, R. (2002). Alltagsvorstellungen und Physik lernen. In E. Kircher & W. B. Schneider (Eds.), *Physikdidaktik in der Praxis* (pp. 1–26). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-56386-7_1
- [2] Schecker, H., Wilhelm, T., Hopf, M., & Duit, R. (Eds.). (2018). *Schülervorstellungen und Physikunterricht: Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis*. Springer Berlin Heidelberg. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-662-57270-2>
- [3] Wiesner, H., Schecker, H., & Hopf, M. (Eds.). (2017). *Physikdidaktik kompakt* (3. Auflage). Aulis Verlag.
- [4] Kircher, E., Girwidz, R., & Fischer, H. E. (Eds.). (2020). *Physikdidaktik | Grundlagen*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-59490-2>

- [5] Lampe, H.-U. (2015). Innovativer naturwissenschaftlicher Unterricht mit digitalen Werkzeugen: Experimente mit Messwerterfassung in den Fächern Biologie, Chemie, Physik (1. Aufl.). MNU-Themenreihe Bildungsstandards. Seeberger.
- [6] Kultusministerkonferenz (Ed.). (2016). *Strategie der Kultusministerkonferenz „Bildung in der digitalen Welt“*. https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2016/2016_12_08-Bildung-in-der-digitalen-Welt.pdf
- [7] Eickelmann, B., Bos, W., Gerick, J., Goldhammer, F., Schaumburg, H., Schwippert, K., Senkbeil, M., & Vahrenhold, J. (Eds.). (2019). *ICILS 2018 #Deutschland. Computer- und informationsbezogene Kompetenzen von Schülerinnen und Schülern im zweiten internationalen Vergleich und Kompetenzen im Bereich Computational Thinking*. Waxmann.
- [8] Vogelsang, C., Finger, A., Laumann, D., & Thyssen, C. (2019). Vorerfahrungen, Einstellungen und motivationale Orientierungen als mögliche Einflussfaktoren auf den Einsatz digitaler Werkzeuge im naturwissenschaftlichen Unterricht. *Zeitschrift Für Didaktik Der Naturwissenschaften*, 25(1), 115–129. <https://doi.org/10.1007/s40573-019-00095-6>
- [9] Große-Heilmann, R., Riese, J., Burde, J., Schubatzky, T., Weiler, D. (2021). Erwerb und Messung physikdidaktischer Kompetenzen zum Einsatz digitaler Medien. *PhyDid B-Didaktik der Physik – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung, 1* (2021).
- [10] Wang, W., Schmidt-Crawford, D., & Jin, Y. (2018). Preservice Teachers' TPACK Development: A Review of Literature. *Journal of Digital Learning in Teacher Education*, 34(4), 234–258. <https://doi.org/10.1080/21532974.2018.1498039>
- [11] Gramzow, Y., Riese, J., & Reinhold, P. (2013). Modellierung fachdidaktischen Wissens angehender Physiklehrkräfte. *Zeitschrift Für Didaktik Der Naturwissenschaften*, 19, 7–30.
- [12] Große-Heilmann, R., & Riese, J. (2021). Erwerb physikdidaktischen Wissens zum Einsatz digitaler Medien im Physikunterricht. In Sebastian Habig (Chair), 47. *Jahrestagung der Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik (GDGP): Naturwissenschaftlicher Unterricht und Lehrerbildung im Umbruch?* Symposium conducted at the meeting of Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik (GDGP), online.
- [13] Starkey, L. (2020). A review of research exploring teacher preparation for the digital age. *Cambridge Journal of Education*, 50(1), 37–56. <https://doi.org/10.1080/0305764X.2019.1625867>
- [14] Schmid, M., Krannich, M., & Petko, D. (2020). Technological Pedagogical Content Knowledge. Entwicklungen und Implikationen. *Journal Für LehrerInnenbildung Jlb 01-2020 Digitalisierung*. Advance online publication. https://doi.org/10.35468/jlb-01-2020_10
- [15] Riese, J. (2009). *Professionelles Wissen und professionelle Handlungskompetenz von (angehenden) Physiklehrkräften*. Zugl.: Paderborn, Univ., Diss., 2009. *Studien zum Physik- und Chemielernen: Bd. 97*. Logos-Verl.
- [16] Sandoval, W. A., & Bell, P. (2004). Design-Based Research Methods for Studying Learning in Context: Introduction. *Educational Psychologist*, 39(4), 199–201. https://doi.org/10.1207/s15326985ep3904_1
- [17] Collins, A., Joseph, D., & Bielaczyc, K. (2004). Design Research: Theoretical and Methodological Issues. *Journal of the Learning Sciences*, 13(1), 15–42. https://doi.org/10.1207/s15327809jls1301_2
- [18] Jahn, D. (2014). Durch das praktische Gestalten von didaktischen Designs nützliche Erkenntnisse gewinnen: Eine Einführung in die Gestaltungsforschung. *Wirtschaft Und Erziehung*, 66.
- [19] Arbeitsgruppe Digitale Basiskompetenzen: Becker, S., Bruckermann, T., Finger, A., Huwer, 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.
- [20] Mayer, R. (2014). *The Cambridge handbook of multimedia learning* (Second edition). *Cambridge handbooks in psychology*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139547369>
- [21] Tondeur, J., van Braak, J., Sang, G., Voogt, J., Fisser, P., & Ottenbreit-Leftwich, A. (2012). Preparing pre-service teachers to integrate technology in education: A synthesis of qualitative evidence. *Computers & Education*, 59(1), 134–144. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2011.10.009>
- [22] Franke, U., Fabian, A., Preiß, J., & Lachner, A. (2020). TPACK 4.0 – interdisziplinäre, praxisorientierte und forschungsbasierte Förderung von fachspezifischem mediendidaktischem Wissen bei angehenden Lehrpersonen. In K. Kaspar, M. Becker-Mrotzek, S. Hofhues, J. König, & D. Schmeink (Eds.), *Bildung, Schule, Digitalisierung* (pp. 178–184). Waxmann Verlag GmbH.

- [23] Meinhardt, C. (2016). *Selbstwirksamkeitserwartungen in physikdidaktischen Handlungsfeldern. Skalendokumentation. Version 1.0 (Februar 2016)*.
- [24] Schmidt, D. A., Baran, E., Thompson, A. D., Mishra, P., Koehler, M. J., & Shin, T. S. (2009). Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK): The Development and Validation of an Assessment Instrument for Preservice Teachers. *Journal of Research on Technology in Education*, 42(2), 123–149. <https://doi.org/10.1080/15391523.2009.10782544>
- [25] Schwarzer, R., & Schmitz, G. S. (2002). *Wirk-Lehr - Skala Lehrer-Selbstwirksamkeit*. <https://doi.org/10.23668/PSYCHARCHIVES.4600>
- [26] Riese, J., Gramzow, Y., & Reinhold, P. (2017). Die Messung fachdidaktischen Wissens bei Anfängern und Fortgeschrittenen im Lehramtsstudiengang Physik. *Zeitschrift Für Didaktik Der Naturwissenschaften*, 23(1), 99–112. <https://doi.org/10.1007/s40573-017-0059-2>
- [27] van Braak, J., Tondeur, J., & Valcke, M. (2004). Explaining different types of computer use among primary school teachers. *European Journal of Psychology of Education*, 19(4), 407–422. <https://doi.org/10.1007/BF03173218>
- [28] Tondeur, J., Scherer, R., Siddiq, F., & Baran, E. (2020). Enhancing pre-service teachers' technological pedagogical content knowledge (TPACK): a mixed-method study. *Educational Technology Research and Development*, 68(1), 319–343. <https://doi.org/10.1007/s11423-019-09692-1>
- [29] Rigotti, T., Schyns, B., & Mohr, G. (2008). A Short Version of the Occupational Self-Efficacy Scale: Structural and Construct Validity Across Five Countries. *Journal of Career Assessment*, 16(2), 238–255. <https://doi.org/10.1177/1069072707305763>
- [30] Kunter, M., Baumert, J., Leutner, D., Terhart, E., Seidel, T., Dicke, T., Holzberger, D., Kunina-Habenicht, O., Linninger, C., Lohse-Bossenz, H., Schulze-Stocker, F., & Stürmer, K. (2017). *Dokumentation der Erhebungsinstrumente der Projektphasen des BilWiss-Forschungsprogramms von 2009 bis 2016: Bildungswissenschaftliches Wissen und der Erwerb professioneller Kompetenz in der Lehramtsausbildung (BilWiss); die Bedeutung des bildungswissenschaftlichen Hochschulwissens für den Berufseinstieg von Lehrkräften (BilWiss-Beruf)*. Goethe-Universität; Universitätsbibliothek Johann Christian Senckenberg.
- [31] Backfisch, I., Lachner, A., Hische, C., Loose, F., & Scheiter, K. (2020). Professional knowledge or motivation? Investigating the role of teachers' expertise on the quality of technol-

ogy-enhanced lesson plans. *Learning and Instruction*, 66, 101300.

<https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2019.101300>

Danksagung

Die Entwicklung und Evaluation eines Seminars zum Thema „Förderung des Konzeptverständnisses mit digitalen Medien im Physikunterricht“ ist Teil des Projekts „TPACK 4.0 - interdisziplinäre, praxisorientierte und forschungsbasierte Förderung mediendidaktischer Kompetenzen von Lehrkräften“, das im Rahmen des Förderprogramms zur Entwicklung innovativer Strukturen, Formate und Lehrinhalte bzw. -angebote in der Lehrerbildung des Ministeriums für Wissenschaft, Forschung und Kunst Baden-Württemberg gefördert wird. Hierfür möchten wir uns bedanken.

Risiken der Radioaktivität aus Sicht von Jugendlichen

Claus Bolte*, Nicole Schrader*

*Freie Universität Berlin, Didaktik der Chemie, Haderslebener Str. 9, D-12163 Berlin

claus.bolte@fu-berlin.de – n.schrader@fu-berlin.de

Kurzfassung

Nicht zuletzt wegen ihres vielfältig faszinierenden Charakters ziehen wissenschaftliche Erkenntnisse zur Theorie der Radioaktivität und ihre vielfältigen, oft nicht unumstrittenen, Anwendungen die Aufmerksamkeit der Wissenschaftsgemeinde wie auch die einer breiten Öffentlichkeit auf sich. Doch so populär die Diskussionen und Berichterstattungen rund um die Themen Radioaktivität und Anwendungen von Kernenergie auch sein mögen, so facettenreich und durchaus subjektiv geprägt scheinen die öffentlichen Debatten und Streitgespräche. Angesichts der vielfältig und oftmals emotional oder gar stigmatisierend geführten Diskussionen fällt es schwer, sich ein – wohl reflektiertes und möglichst vorurteilsfreies – eigenes Urteil zu bilden; nicht zuletzt, da ja auch ein fach- und sachgerechtes Verständnis von den naturwissenschaftlich-technischen Grundlagen nicht einfach zu erzielen ist. Ebenso schwer sind die zu erwartenden Folgen und Risiken zu überschauen, die mit den zahlreichen Anwendungsmöglichkeiten verbunden sind oder sein können. Als Chemie-Lehrer*in und Fachdidaktiker*in stellt sich daher die Frage: Wie ist es eigentlich um die fachbezogenen Kompetenzen von Schüler*innen im Themenfeld von Radioaktivität und (ionisierender) Strahlung bestellt und für wie risikobehaftet schätzen Jugendliche die technologischen Anwendung von Radioaktivität und (ionisierender) Strahlung ein? Außerdem interessiert uns die Frage: In welcher Weise beeinflusst wissenschaftlich stimmiges Wissen die subjektiv geprägte Risikowahrnehmung von Jugendlichen?

1. Einleitung

Die Umsetzung naturwissenschaftlicher Erkenntnisse in neue Technologien und die Produkte, die aus den technologischen Anwendungen hervorgehen, bringt – und das dürfte unbestritten sein – Fortschritt auf vielen Gebieten und gesellschaftlichen Wohlstand hervor. Strittiger sind hingegen die Diskussionen um die nicht intendierten und potenziellen Risiken, die technische Innovationen stets auch in sich bergen. Diese zwei Seiten wissenschaftlichen Fortschritts und technologischer Innovationen müssen – so lautet die Forderung der Kultusministerkonferenz in den nationalen Bildungsstandards – von der Gesellschaft und dem Einzelnen „erkannt, bewertet und beherrscht werden...“ (KMK 2005a-c, 6). Der Umgang mit Risiken innovativer Technologien, wie dem Einsatz radioaktiver Stoffe in Medizin und Technik, und deren Bewertungen stehen daher, vielleicht nicht von Anfang an, so doch stetig zunehmend, im Mittelpunkt gesellschaftlicher Diskussionen. Dies scheint auf öffentlich geführte Diskussionen sowohl in den Bereichen medizin- und energie-technischer Anwendungen radioaktiver Materialien als auch mit Blick auf die militärische Nutzung nuklearer Technologien im besonderen Maße zuzutreffen.

In solchen gesellschaftlich ausgetragenen Kontroversen wird deutlich, dass Wahrnehmung und Einschät-

zung von Risiken im öffentlichen Meinungsbild nicht immer mit naturwissenschaftlich gesicherten Erkenntnissen oder mit technologisch fundierten Risikoabschätzungen in Übereinstimmung zu bringen sind (Krohn & Krücken 1993; Wiedemann 1996).

Mit Blick auf Schule und Unterricht provoziert die hier nur skizzierte Ausgangslage die folgenden grundlegenden Fragen:

1. Über welche naturwissenschaftlich (un-)stimmigen *Schüler-Vorstellungen* bzw. über welche *altersgemäß zu erwartenden fachlichen Kompetenzen* (vgl. KMK 2005) verfügen Schüler*innen zum Ende ihrer obligatorischen Schulzeit im Bereich Radioaktivität, radioaktive Materialien und ionisierende Strahlung?
2. Wie nehmen Schüler*innen bestimmte *Risikoquellen* im Kontext von Radioaktivität und ionisierender Strahlung wahr, und wie beurteilen sie die in diesen Szenarien ausgewählten *Risikomerkmale*?
3. In welchem Maße und in welcher Weise beeinflussen die Vorstellungen von Schüler*innen die Wahrnehmung und Beurteilung der mit verschiedenen Anwendungen radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlung verbundenen Szenarien (Risikoquellen)?

2. Theorie

2.1. Theoriebasierte Anleihen aus der Schüler-Vorstellungsforschung

Seit mehr als 50 Jahren ist die Schüler-Vorstellungsforschung aus dem naturwissenschaftsdidaktischen Forschungskontext kaum mehr wegzudenken (siehe Bibliografie von Pfundt und Duit, 2009); zahlreiche naturwissenschaftliche Inhaltsfelder wurden seither wiederholt und nahezu erschöpfend erforscht. Angesichts der eingangs skizzierten Relevanz des Themenfelds „Radioaktivität und (ionisierende) Strahlung“ überrascht es daher umso mehr, dass Studien im Bereich der Schüler-Vorstellungsforschung – insbesondere im deutschsprachigen Raum – in diesem Inhaltsfeld eher selten zu finden sind; Ausnahmen bilden die Arbeit von Riesch und Westphal (1975) aus den 1970er Jahren oder die Dissertation von Neumann (2013). Weitere richtungsweisende Arbeiten in diesem Bereich stammen überwiegend aus Großbritannien (Eijkelhof & Millar, 1988; Millar, 1994; Millar & Gill 1996; Boyes & Stanisstreet, 1994) oder den Niederlanden (Lijnse et al., 1990; Eijkelhof, 1990; 1996). Die Befunde dieser Studien sprechen dafür, dass Schüler*innen undifferenzierte und weitgehend naive Vorstellungen bezüglich des Konzepts radioaktiver Materie und Strahlung besitzen und zentrale Begriffselemente (Aebli 2001, S. 256; Dietz & Bolte in diesem Jahresband) häufig unsachgemäß kombinieren und verknüpfen (siehe hierzu auch Schrader & Bolte 2018; 2020).

Die Schüler-Vorstellungsforschung zum Phänomen Radioaktivität und den damit verbundenen Prozessen (Eijkelhof 1990; Millar 1994; Millar & Gill 1996; Schrader & Bolte 2018) zeigt, dass Schüler*innen zentrale Fachtermini und Begriffselemente, wie *Strahlung*, *radioaktives Material* und *Radioaktivität* oder auch *Bestrahlung* und *Kontamination* in vielen Fällen nicht fach- und sachgerecht verwenden. Außerdem belegen die Analysen der meist per Interview durchgeführten Befragungen, dass viele Schüler*innen Radioaktivität per se als schädlich für Lebewesen ansehen, was eine quasi ubiquitäre Angst vor nahezu jeder Art von Strahlung erklärt und dazu führt, dass jegliche Strahlenexposition (z.B. selbst Sonnen- oder Röntgenstrahlung; siehe weiter unten) von Jugendlichen als großes gesundheitliches Risiko wahrgenommen wird.

2.2. Theoriebasierte Anleihen aus der Risikowahrnehmungsforschung

Spätestens seit den 1970er Jahren werden in der psychologischen Risikoforschung verstärkt die Determinanten subjektiver Risikobeurteilung – auch empirisch systematisch – untersucht. Besonders hervorzuheben sind in diesem Zusammenhang die Arbeiten, die dem sog. „psychometrische Ansatz“ folgen (Slovic 1987; Fischhoff et al. 1978); einem Forschungsparadigma, das bereits in zahlreichen Studien und in

vielfältigen Forschungskontexten zur Anwendung gekommen ist.

Zu den charakteristischen Kennzeichen von Studien, die dem psychometrischen Paradigma folgen, zählt, dass den Studienteilnehmer*innen in der Regel eine mehr oder minder große Zahl an potenziell risikobehafteten Situationen, Aktivitäten, Substanzen o.ä. (sog. *Risikoquellen*) vorgelegt wird, die von den Proband*innen mit Hilfe eines Sortiments ausgewählter Skalen, die auf verschiedene *Risikomerkmale* fokussieren, abwägend einzuschätzen sind. Die derart erhobenen Individualdaten werden in den meisten Studien für jede Risikoquelle und jedes Risikomerkmale über alle Probanden aggregiert. Anschließend werden die aggregierten Daten mittels multivariater Analyseverfahren (z. B. durch Faktorenanalysen) systematisch gebündelt und inhaltlich verdichtet (vgl. u.a. Slovic 1987; 1992; Slovic & Jungermann 1993; Siegrist, Keller & Kiers 2005; Slovic, Fischhoff & Lichtenstein 1980; 1985; 1986). In vielen dieser Studien ließen sich aus den umfassenden Datensätzen zwei Komponenten (Faktoren) identifizieren, die in diesen Studien als „unbekannt (unknown)“ und als „schrecklich (dread)“ betitelt wurden.

Das Gros der hier genannten Studien beruht auf der Befragung junger Erwachsener (i.d.R. Studierende der Psychologie); die subjektiv geprägten Wahrnehmungsmuster und die Beurteilung von (potenziellen) Risikoquellen durch Jugendliche (z.B. Schüler*innen unterschiedlicher Schulformen und/oder von Jugendlichen gegen Ende ihrer obligatorischen Schulzeit) wurde u. W. bislang nur sehr selten untersucht.

Daher haben wir uns entschieden, in unserer Studie nicht nur Schüler-Vorstellungen zum Thema Radioaktivität zu untersuchen, sondern auch in Erfahrung zu bringen, wie Schüler*innen gegen Ende der Jahrgangsstufe 10 von Gymnasien und Integrierten Gesamtschulen in Berlin die Risiken, die sie mit verschiedenen Anwendungen radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlung verbinden, wahrnehmen und inwieweit ausgewählte Elemente des „psychometrischen Ansatzes“ (genauer gesagt: wie die Beurteilung der sog. Risikomerkmale) die Risikowahrnehmungsprofile von Jugendlichen determinieren.

2.3. Zusammenhang von Schüler-Vorstellungen und Risikowahrnehmung

Unserer Argumentation folgend mangelt es sowohl an Forschungsarbeiten, die auf die Identifizierung typischer Schüler-Vorstellungen im Bereich Radioaktivität und ionisierende Strahlung abzielen, als auch an solchen Studien, die der Frage nachgehen, wie Schüler*innen potenzielle Risikoquellen wahrnehmen und beurteilen, die mit der Anwendung der Radioaktivität einhergehen, oder die mit dem „Konsum“ von Stoffen verbunden sind, die mit radioaktiven Stoffen versetzt sind. Da es an Erkenntnissen im einen wie im anderen Bereich mangelt, ist es nicht verwunderlich, dass

auch die Frage: Wie beeinflussen Schüler-Vorstellungen zum Thema Radioaktivität und Strahlung die Risikowahrnehmung von Jugendlichen auf diesem Gebiet? u.W. bislang unerforscht ist. Diese Forschungslücke versuchen wir durch unsere Studie ein Stück weit zu verkleinern. Daher fokussieren wir in unserer Untersuchung auf die auch statistisch zu identifizierenden Zusammenhänge zwischen Schüler-Vorstellungen im Bereich Radioaktivität und ionisierende Strahlung einerseits und die Einschätzungen von Risikoquellen anhand ausgewählter Risikomerkmale durch Schüler*innen gegen Ende ihrer obligatorischen Schulzeit andererseits.

3. Fragestellung

Fasst man die bislang skizzierten Forschungsintentionen zusammen, so kommt man zu drei zentralen Forschungsfragen, die wir im Folgenden systematisch beleuchten werden:

1. Inwiefern gelingt es Schüler*innen die Begriffselemente *radioaktives Material, Strahlung und Radioaktivität* fachlich zutreffend zu verwenden sowie dabei zwischen *Kontamination und Bestrahlung* sachgemäß zu unterscheiden?
2. Wie schätzen Schüler*innen die mit verschiedenen Anwendungen aus dem Bereich Radioaktivität verbundenen Risiken ein?
3. Inwieweit beeinflussen Schüler-Vorstellungen über Radioaktivität und ionisierende Strahlung die Wahrnehmung und Beurteilung der mit verschiedenen Anwendungen radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlung verbundenen Risiken?

4. Methode

Zur Beantwortung dieser Forschungsfragen verwenden wir ein *eigens entwickeltes Befragungsinstrument* bestehend aus (zwei mal vier) verschiedenen kleinformatigen Testheft-Versionen (Schrader & Bolte 2019a). Der Forschungsfrage folgend enthalten die Testhefte jeweils *Aufgaben zur systematischen Analyse des konzeptuellen Begriffsverständnisses* und darüber hinaus *Aufgaben zur Ermittlung der Risikowahrnehmung im Bereich Radioaktivität und (ionisierende) Strahlung* (Schrader & Bolte 2018; 2019a; 2020). Darüber hinaus bitten wir die Proband*innen um einige personenbezogene Daten, wie Geschlecht und Alter. Außerdem bitten wir die Teilnehmer*innen auf einer 10-stufigen Ratingskala einzuschätzen, wie ausführlich ihres Erachtens das Thema Radioaktivität im naturwissenschaftlichen Unterricht bisher behandelt wurde (Schrader & Bolte, 2019a).

4.1. Aufgaben zur systematischen Analyse des konzeptuellen Begriffsverständnisses

Insgesamt haben wir acht in ihrer Struktur einander gleichende Aufgaben zur Analyse des konzeptuellen

Begriffsverständnisses entwickelt, die jeweils auf verschiedene Anwendungen radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlung fokussieren (Schrader & Bolte 2018; 2019a; 2020); im Fall unserer Untersuchung sind dies die folgenden Szenarien (bzw. in der Terminologie der Risikoforschung, folgende Risikoquellen):

- [1] Lebensmittelbestrahlung,
- [2] Röntgenuntersuchung*,
- [3] Szintigraphie,
- [4] Bodenbelastung,
- [5] Papierdickenmessung,
- [6] Füllstandsmessung,
- [7] Leckortung,
- [8] Radiojodtherapie.

Wie zu erkennen ist, fokussieren vier der acht Aufgaben auf *Bestrahlungsszenarien* ([1], [2], [5] und [6]), während die vier anderen auf *Kontaminationsszenarien* verweisen ([3], [4], [7], [8]). Vier Szenarien beleuchten *lebensweltliche und medizinisch relevante Anwendungsfelder* ([2], [3], [4] und [8]), die anderen vier fokussieren stärker auf *technische Anwendungsfelder* ([1], [5], [6] und [7]), die keinen unmittelbaren Bezug zur Lebenswelt der Schüler*innen besitzen dürften.

Um die Schüler*innen beim Bearbeiten der Tests nicht zu sehr zu belasten, haben wir die Aufgaben auf (zwei-mal-)vier Testheftversionen verteilt (s.u.). Jede Testheftversion beinhaltet fünf der acht konzipierten Aufgaben. Dabei fungieren vier Aufgaben als Ankeraufgaben (es handelt sich dabei um die Aufgaben [1], [2], [3] und [4]). Die 5. Aufgabe wurde dem Aufgabensortiment ([5] bis [8]) entnommen und auf die Testheftversionen verteilt (Schrader & Bolte, 2019a).

Die Aufgaben zum *konzeptuellen Begriffsverständnis* beginnen jeweils mit einem wertneutral formulierten Titel und einer bebilderten Beschreibung des jeweiligen Szenarios. Jedes Szenario repräsentiert im Sinne der Risikoforschung eine (potenzielle) Risikoquelle. Am Ende der kurzen Beschreibung werden die Schüler*innen aufgefordert, die nachstehenden neun Aussagen (Items) dahingehend zu beurteilen, ob sie die jeweilige Aussage für fachlich richtig oder falsch halten. Die jeweils neun Aussagen wurden so konzipiert, dass sie insgesamt drei Aussagegruppen (Begriffselemente) repräsentieren. Die drei Aussagegruppen greifen die drei o. g. zentralen fachlich-konzeptionellen Begriffselemente auf (*radioaktives Material, Strahlung und Radioaktivität*). Da diese drei Aussagegruppen wiederum drei Beurteilungsoptionen eröffnen, entsteht – konzeptionell betrachtet – eine drei-mal-drei Antwortoptionen umfassende Analyse-Systematik. Die so konzipierten Aussagegruppen erfragen, ob die im Szenario betrachteten Objekte (z.B. die bestrahlten Erdbeeren [1] oder ein per Szintigraphie untersuchter Patient [3]):

1. (a) *vielen*, (b) *wenige* oder (c) *keine radioaktiven Teilchen enthält*,
2. (a) *viel*, (b) *wenig* oder (c) *keine Strahlung enthält* und
3. (a) *stark*, (b) *schwach* oder (c) *nicht radioaktiv ist* (Schrader & Bolte 2018; 2019a; 2020).

Eine *Bestrahlungsaufgabe* wird als korrekt gelöst bewertet, wenn die Aussagenkombination: 1.c, 2.c und 3.c ausgewählt wurde. Um eine *Kontaminationsaufgabe* korrekt zu lösen, ist es unerheblich, ob der Proband/die Probandin darlegt, dass das Objekt viele (1.a) oder wenige (1.b) radioaktive Teilchen enthält, oder ob das Objekt stark (3.a) oder schwach (3.b) radioaktiv ist; beide Optionen gelten als fachlich angemessen und korrekt, da eine quantifizierende Betrachtung fachdidaktisch betrachtet hier irrelevant erscheint. Um eine Kontaminationsaufgabe in Gänze korrekt zu lösen, muss allerdings darüber hinaus auch darlegt werden, dass das betrachtete Objekt, obgleich kontaminiert und somit radioaktiv ist (also Strahlung emittiert), und dennoch keine Strahlung enthält (2.c).

Die für diese Studie gewählte Systematisierung hatte sich bereits in einer Pilotstudie mit 238 Schüler*innen der Jahrgangsstufe 10 bewährt und erste interessante Einblicke in die Denk- und Argumentationsweisen von Schüler*innen eröffnet (Schrader & Bolte, 2018).

Angesichts der Ergebnisse aus unserer Pilotstudie wie auch in Anbetracht der Befunde aus den eingangs vorgestellten Schüler-Vorstellungsstudien erwarten wir, dass wir mindestens zwei – wahrscheinlich sogar drei – Gruppen von Schüler*innen identifizieren werden, die sich hinsichtlich ihrer fachlich-konzeptuellen Vorstellungen deutlich unterscheiden. Zwei der auf dieser Basis zu identifizierenden Gruppen (die beiden Extremgruppen) werden die beiden Teil-Stichproben bilden, anhand derer wir ggf. existierende Zusammenhänge zwischen den fachlich-konzeptuellen Vorstellungen der Schüler*innen einerseits und der Wahrnehmung und Beurteilung von potenziellen Risikoquellen andererseits untersuchen.

Damit kommen wir zur Frage, wie Schüler*innen der Jahrgangsstufe 10 ausgewählte Risikoquellen überhaupt wahrnehmen und beurteilen.

4.2. Aufgaben zur Analyse der Wahrnehmung und Bewertung potenzieller Risikoquellen im Bereich Radioaktivität und (ionisierender) Strahlung*

Bei der Entwicklung der Aufgaben zur Ermittlung der Risikowahrnehmung im Bereich Radioaktivität haben wir uns – wie eingangs erwähnt – am gegenwärtig wohl bedeutsamsten Ansatz der psychologisch motivierten Risikoforschung, dem sog. „Psychometrischen Paradigma“ orientiert (Slovic 1987; 2000; Fischhoff et al. 1978; Slovic, Fischhoff, Lichtenstein 1985). In Studien, die dem psychometrischen Paradigma folgen, werden die Proband*innen – wie bereits skizziert – gebeten, verschiedene (potenzielle)

Risikoquellen (z.B. den *Verzehr bestrahlter Lebensmittel* (siehe Aufgabe [1]) oder das *„Wohnen in der Nähe eines Kernkraftwerks“* (siehe Schrader & Bolte, 2019a, S. 2) bewertend einzuschätzen.

Unseren Bemühungen, möglichst geeignete Risikoquellen auszuwählen, liegen zwei grundsätzliche Überlegungen zu Grunde: Zum einen wollten wir den Schüler*innen Risikoquellen zur Einschätzung vorlegen, die auch im Kontext unserer Schüler-Vorstellungsforschung zum Einsatz gekommen sind. Aus diesem Grund sind die vier Szenarien der sog. Anker-Aufgaben in den Fragebogen-Teil zur Risikoeinschätzung aufgenommen worden (siehe Szenarien [1] bis [4]).

Um die Risikobewertungen der Schüler*innen bzgl. dieser vier ausgewählten Risikoquellen jedoch besser einordnen und inhaltlich interpretieren zu können, haben wir uns darüber hinaus entschieden, zwei sog. *Referenzszenarien* zu konstruieren, die ebenfalls von den Schüler*innen bzgl. der von ihnen subjektiv wahrgenommen Risiken einzuschätzen sind. Wichtig war uns dabei, dass es sich um Szenarien handelt, die den Schüler*innen aus ihrem Alltag bekannt sind und dass die Szenarien nicht frei von subjektiv antizipierten Risiken sein sollten.

Zum einen fiel unsere Wahl auf das alltagsnahe Szenario *„ein Sonnenbad nehmen“*. Wir gehen davon aus, dass alle Schüler*innen wissen, was unter „ein Sonnenbad nehmen“ zu verstehen ist und dass ausgiebiges, zu häufiges oder zu langes ungeschütztes Sonnenbaden mit gesundheitlichen Risiken verbunden sein kann. Die Rückmeldungen der Schüler*innen zum Szenario *„ein Sonnenbad nehmen“* soll dementsprechend dabei helfen, die Bewertung der anderen Risikoquellen durch die beteiligten Schüler*innen zumindest relativierend einordnen zu können.

Zum anderen haben wir das Szenario *„in der Nähe eines Kernkraftwerks wohnen“* ausgewählt. Sieht man davon ab, dass in Berlin-Wannsee zwar ein Nuklearer Reaktor zu Forschungszwecken in Betrieb ist – was allerdings in der Bevölkerung kaum bekannt ist, – so ist das Szenario zwar nicht besonders alltäglich oder alltagsrelevant für das Gros der Schüler*innen; dennoch ist die Vorstellung in der Nähe eines Kernkraftwerks zu wohnen (oder wohnen zu müssen), für Schüler*innen nicht völlig abwegig oder utopisch, so dass auch dieses Szenario uns als normierendes Referenzszenario geeignet scheint.

Demzufolge liegen die folgenden Szenarien (Risikoquellen) unserem Fragebogen zur Analyse der Risikowahrnehmung zugrunde:

- [1] Lebensmittelbestrahlung: *„Bestrahlte Lebensmittel essen“*,
- [2] Röntgenuntersuchung: *„Röntgenuntersuchungen erhalten“*,*
- [3] Szintigraphie: *„Radioaktive Stoffe zur Diagnose von Krankheiten in den Körper aufnehmen“* und

[4] Bodenbelastung: „Radioaktiv belastete Lebensmittel essen“ (siehe Schrader & Bolte, 2019a) sowie:

[I] Referenzszenario 1: „in der Nähe eines Kernkraftwerks wohnen“ und

[II] Referenzszenario 2: „ein Sonnenbad nehmen“* (dieses Szenario wird nur den Gymnast*innen zur Beurteilung vorgelegt; siehe weiter unten).

Für die abwägenden Bewertungen der potenziellen Risikoquellen wurden den Teilnehmer*innen – dem psychometrischen Paradigma folgend – insgesamt neun Risikomerkmale vorgelegt; aus der Vielzahl möglicher Risikomerkmale haben wir die folgenden ausgewählt (Schrader & Bolte, 2019a):

1. Eingeschätztes Risiko,
2. Angstgefühl,
3. Kontrollierbarkeit,
4. Vermeidbarkeit,
5. Bekanntheit,
6. Wissenschaftliche Erforschtheit,
7. Vorteil-Risiko-Verhältnis,
8. Schadensschwere,
9. Schadenswahrscheinlichkeit.

Zur Einschätzung der Risikomerkmale-Items (ein Item pro Risikomerkmale pro Risikoquelle) steht eine zehnstufige, endpunktbenannte Ratingskala zur Verfügung (z. B. im Fall der Einschätzung des Risikos eine Skala von 1 = überhaupt kein Risiko bis 10 = sehr hohes Risiko (die anderen acht Risikomerkmale-Skalen besitzen jeweils andere Endpunkt benennende Aussagen; siehe Schrader & Bolte, 2019a).

Die Testhefte für Schüler*innen an Integrierten Sekundarschulen (ISS) und an Gymnasien (GYM) unterscheiden sich in der Anzahl der zu beurteilenden Risikoquellen, da sich in der Voruntersuchung gezeigt hatte, dass ISS-Schüler*innen Schwierigkeiten hatten, sich über einen längeren Zeitraum mit den vorgelegten Aufgaben konzentriert zu befassen (Schrader & Bolte, 2018). Aus diesem Grunde wurde in den Testheften der ISS-Teilnehmer*innen auf die Bearbeitung der Risikobewertungsaufgabe „ein Sonnenbad nehmen“ verzichtet (s.o.), was zum einen die Zahl der Testheftversionen (zwei-mal-vier Versionen) und zum anderen die durchaus unterschiedliche Zahl bearbeiteter Aufgaben im Ergebnisteil erklärt.

4.3. Überlegungen zur Analyse möglicher Zusammenhänge zwischen Schüler-Vorstellungen einerseits und der Wahrnehmung und Beurteilung von (potenziellen) Risikoquellen andererseits

Zur Abschätzung des Effekts der fachlich-konzeptuellen Vorstellungen von Jugendlichen auf deren Risikowahrnehmung, hatten wir geplant, die Proband*innen anhand ihrer fachbezogenen-konzeptuellen Rückmeldungen drei Gruppen zuzuteilen. Die beiden

Gruppen mit den extremsten Kompetenzausprägungen (Schüler*innen mit besonders vielen fachlich zutreffenden Antworten versus solche mit besonders vielen fachlich fehlerhaften Antworten) sollten anschließend hinsichtlich ihrer Risikoeinschätzungen gegenübergestellt und verglichen werden.

Eine Antwort wird als „richtig“, d.h. fachlich-konzeptuell stimmig und somit der wissenschaftlichen Sichtweise entsprechend gewertet, wenn *alle* Items einer Aufgabe korrekt markiert werden. Der Festlegung liegen folgende Überlegungen zugrunde:

- Etwas, das oder jemand, der *radioaktive Teilchen enthält*, gilt auch als *radioaktiv* (und umgekehrt), dementsprechend gilt etwas, das oder jemand, der *keine radioaktiven Teilchen* enthält, als *nicht radioaktiv*;
- weder eine Person noch ein Objekt kann *Strahlung enthalten* (im Sinne von „beinhalten“).
- *Kontaminierte Objekte oder Personen* enthalten viele oder wenige radioaktive Teilchen und sind stark oder schwach radioaktiv; sie enthalten allerdings keine radioaktive Strahlung.
- *Bestrahlte Objekte oder Personen* enthalten keine (zusätzlichen) radioaktiven Teilchen, sie sind dementsprechend nicht radioaktiv und enthalten folgerichtig keine Strahlung.

Für die hier beschriebenen Analysen ist – wie zu erkennen ist – die quantifizierende Unterscheidung zwischen viel/wenig bzw. stark/schwach nicht relevant.

Jede im Dreischritt „richtig“ gelöste Aufgabe wird als fachbezogen und konzeptuell stimmig und als richtig gelöst bewertet sowie mit einem Punkt kodiert; demzufolge können Proband*innen bei fünf zu lösenden Aufgaben maximal fünf Punkte erreichen (Tab. 1).

Nach Festlegung der Vergleichsgruppen werden die Mittelwerte der Risikoeinschätzungen deskriptiv- und varianz-statistisch analysiert. Dabei werden wir auf den Mann-Whitney-U-Test zur Prüfung statistisch signifikanter Gruppenunterscheidungen zurückgreifen, da wir erwarten, dass die erhobenen Daten nicht normalverteilt vorliegen werden.

5. Ergebnisse

Die Datenerhebung erfolgte zum Ende des ersten Schulhalbjahres 2018/19 in 31 Klassen der 10. Jahrgangsstufe. Sieben Schulen unterschiedlicher Schulform (vier Gymnasien und drei Integrierte Sekundarschulen) beteiligten sich an der Studie. Die Befragung fand innerhalb des regulären naturwissenschaftlichen Unterrichts statt. Die Dauer der Befragung betrug etwa 25 Minuten.

5.1. Stichprobenbeschreibung

Insgesamt haben 598 Schüler*innen an der schriftlichen Befragung teilgenommen. Für die nachfolgen-

den Analysen konnten die Datensätze von 506 Schüler*innen ($N_{Gym} = 338$ und $N_{ISS} = 168$) verwendet werden. Die Gesamtstichprobe setzt sich aus 246 Schülern (48 %) und 231 Schülerinnen (46 %) zusammen; 29 Jugendliche (6 %) haben die Kategorie „keines von beiden“ gewählt ($M_{Alter} = 15,39$, $Stdev_{Alter} = 0,68$).

5.2. Ergebnisse

Die Häufigkeitsanalysen zeigen, dass gut zwei Drittel (67,8%) der befragten Jugendlichen *keine* der fünf Aufgaben umfassend korrekt beantwortet hat; nur 2% der Befragten hat mehr als zwei Aufgaben in Gänze fachwissenschaftlich korrekt beantwortet (Tab. 1). Aufgrund des geringen Anteils korrekter Antworten, haben wir entschieden, auf eine Dreiteilung der Stichprobe zu verzichten und die Teilung der Stichprobe zugunsten der Teststärke am Median vorzunehmen (Gruppe 1: $N^0 = 343$ – Gruppe 2: $N^+ = 163$).

| $N_{Aufgaben}$ | $N_{Schüler*in}$ | % |
|----------------|------------------|-------|
| 0 | 343 | 67,8 |
| 1 | 98 | 19,4 |
| 2 | 55 | 10,9 |
| 3 | 8 | 1,6 |
| 4 | 0 | 0,0 |
| 5 | 2 | 0,4 |
| Σ | 506 | 100,0 |

Tab. 1: Häufigkeit mit der eine bestimmte Anzahl der Aufgaben der wissenschaftlichen Sichtweise entsprechend und in Gänze korrekt gelöst wurde

Im nachfolgenden Diagramm (Abb. 1) sind die Einschätzungen der beiden auf diese Weise generierten Gruppen bezugnehmend auf das Risikomerkmal „eingeschätztes Risiko“ und differenziert nach den sechs vorgelegten potentiellen Risikoquellen gegenübergestellt.

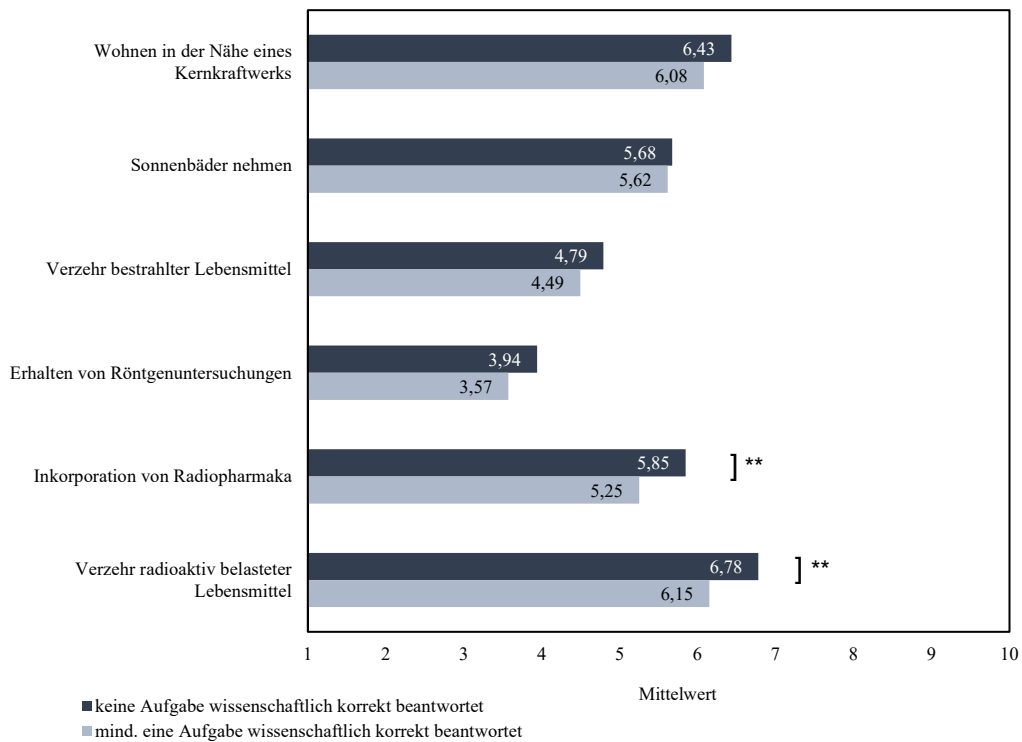


Abb.1: Subjektiv eingeschätztes Risiko bzgl. der verschiedenen Risikoquellen differenziert nach konzeptuellem Verständnis der Schüler*innen (Antwortskala: 1 = überhaupt kein Risiko – 10 = sehr hohes Risiko, ** $p < 0,01$)

Bereits auf den ersten Blick fällt auf, dass die Jugendlichen, die keine Aufgabe korrekt beantwortet haben, die Risiken, die sie mit den ihnen vorgelegten Risikoquellen verbinden, im Mittel höher einschätzen als die Jugendlichen, die mindestens eine Aufgabe gänzlich korrekt beantworteten. Statistisch signifikante Unterschiede zwischen den beiden unabhängigen Stichproben lassen sich allerdings nur bei den Einschätzungen der Risiken, die mit der Inkorporation von Radiopharmaka und dem Verzehr radioaktiv belasteter Lebensmittel verbunden sind, feststellen; der

Mann-Whitney-U-Test zeigt jeweils hoch signifikante Ergebnisse ($p < 0,01$). – Ein statistisch signifikanter Einfluss der Variable *konzeptuelles Verständnis* auf die Variable *Risikowahrnehmung* lässt sich lediglich bzgl. der Skala *Verzehr radioaktiv belasteter Lebensmittel* feststellen ($\beta = -.15$, $p < .05$).

Betrachtet man die Ergebnisse der Gesamtstichprobe (o. Abb.), so ist u. E. bemerkenswert, dass sich die Einschätzungen der jeweiligen Risikoquellen im Gros statistisch signifikant unterscheiden; lediglich die Paarvergleiche der Risikoquellen a) *Sonnenbaden*

und *Radiopharmaka einnehmen* sowie b) *radioaktiv belastete Lebensmittel essen* und *in der Nähe eines Kernkraftwerkes wohnen* unterscheiden sich nicht im statistisch signifikanten Ausmaß. Im Umkehrschluss lässt sich dieser Befund so interpretieren, dass diese beiden Paarvergleiche von den Schüler*innen ähnlich risikobehaftet beurteilt werden; dass also das Einnehmen von Radiopharmaka so riskant wie das Sonnenbaden eingeschätzt wird und/oder dass das Wohnen in der Nähe eines Kernkraftwerkes bereits so riskant erachtet wird wie das Konsumieren radioaktiv belasteter Lebensmittel.

Erwähnenswert erscheint uns außerdem, dass zwei (der insgesamt sechs) potenziellen Risikoquellen als eher nicht risikobehaftet eingestuft werden; die Mittelwerte der Risikoquellen *eine Röntgenuntersuchung erhalten* und *bestrahlte Lebensmittel verzehren* sind kleiner als 5,5 und liegen somit unterhalb des theoretischen Mittelwerts.

6. Interpretation und Fazit

Das eigens entwickelte Befragungsinstrument hat sich u. E. als geeignet erwiesen, um Zusammenhänge bzgl. der konzeptuellen Performanz von Schüler*innen, die Begriffe *Strahlung*, *radioaktives Material* und *Radioaktivität* in Kombination fachlich korrekt anzuwenden, systematisch untersuchen zu können. Der hohe Anteil der Jugendlichen, der leider keine der Aufgaben der wissenschaftlichen Sichtweise entsprechend und umfassend beantwortet hat, macht deutlich, dass die Jugendlichen die entsprechenden Begriffselemente eben nicht fach- und sachgerecht sowie konzeptuell angemessen anwenden (können). Insbesondere die fachlich inkorrekte Formulierung „*ein Objekt/eine Person enthielte Strahlung*“ wird von der Mehrheit der Jugendlichen als fachlich korrekt angenommen. Problematisch ist außerdem die *Schüler-Vorstellung*, dass *die Bestrahlung eines Objekts oder einer Person, zu dessen bzw. zu deren Kontamination führe* und dass *bestrahlten Objekten bzw. Personen diese Strahlung quasi einverleibt werde und sie auf diesem Weg selbst zu Strahlungsquellen würden* (Schrader & Bolte, 2018; 2020). Damit bestätigen unsere Ergebnisse Befunde vorangegangener Studien, die allerdings kleinere Stichproben beruhen, die in der Regel mittels qualitativer Methoden untersucht wurden.

Ferner zeigen die Ergebnisse unserer Studie, dass sich Jugendliche, die über ein (zumindest etwas) besseres, wissenschaftlich zutreffendes, konzeptuelles Verständnis verfügen, von denen, die keine Aufgabe gänzlich korrekt bearbeiteten, hinsichtlich ihrer Risikoeinschätzungen in allen zur Einschätzung vorgestellten Szenarien zumindest tendenziell unterscheiden; in zwei Fällen (bzgl. *der Einnahme von Radiopharmaka* und bzgl. *des Verzehrs radioaktiv belasteter Lebensmittel*) sind die Gruppenunterscheidungen statistisch signifikant. Dabei geht mit Blick auf alle sechs Szenarien ein unzutreffendes konzeptionelles

Verständnis mit einer größeren Risikowahrnehmung einher.

Der Einfluss des konzeptuellen Verständnisses auf Risikobewertungen ist unseren Ergebnissen folgend – statistisch betrachtet – insgesamt als eher gering zu bezeichnen; denn nur in einem Fall – im Fall des *Verzehrs radioaktiv belasteter Lebensmittel* – führen die Regressionsanalysen zu einem statistisch signifikanten Effekt ($\beta = -.15$, $p < .05$). Dabei weist das Vorzeichen des β -Wertes darauf hin, dass je geringer das konzeptuelle Verständnis ausfällt, umso größer das Risiko der entsprechenden Risikoquelle eingeschätzt wird.

Dass die Ergebnisse dieser Untersuchung statistisch betrachtet eher unspektakulär erscheinen mögen, mag dem Umstand geschuldet sein, dass wir bewusst solche potenziellen Risikoquellen ausgewählt und den Schüler*innen zur Einschätzung vorgelegt haben, die möglicherweise von vornherein als wenig risikobehaftet eingeschätzt werden; schließlich handelt es sich ja bei den vier Anker-Szenarien um solche aus den Bereichen Medizin und Ernährung, so dass die diese Szenarien per se eher als nicht so risikobehaftet wahrgenommen werden ($M < 6,6$ bei $M_{\text{theo.}} = 5,5$).

Ob solche Einschätzungen von Jugendlichen auch zurückgemeldet werden, wenn die Szenarien vermeintlich oder gar objektivierbar deutlich riskanter erscheinen (z.B. sich einer Strahlentherapie unterziehen, in einer radioaktiv kontaminierten Region wie Tschernobyl oder Fukushima leben oder in der Nähe eines nuklearen Zwischenlagers wohnen) ist es wert, untersucht zu werden.

Wir würden erwarten, dass die Einschätzung von Risikoquellen, die vorurteilsbehafteter attribuiert werden könnten (z.B. Arbeiten in einem Kernkraftwerk oder in einem Betrieb der Wiederaufbereitung oder der Entsorgung ausgedienter etc.), einerseits deutlich höher ausfallen könnten als dies in unseren Beispielen der Fall gewesen ist, und dass andererseits mehr und stärkere Effekte vom konzeptionellen Verständnis auf die Risikobewertungen nachweisbar werden könnten. Ebenso spannend und wichtig erachten wir das Vorhaben, das Untersuchungsdesign noch einmal zu nutzen, um Personen zu untersuchen, die über größere Expertise und solidere Kompetenzen in Bereich Radioaktivität und ionisierende Strahlung verfügen (sollten), z.B. Studierende der Chemie oder Physik bzw. Schüler*innen in Chemie- oder Physik-Leistungskursen.

Darüber hinaus wäre es u. E. auch interessant in Erfahrung zu bringen, in nachfolgenden Studien z.B. die Frage zu beantworten, welchen Einfluss kulturelle Variablen auf das konzeptuelle Verständnis einerseits und auf die Risikobewertung andererseits ausüben. Hier drängt sich u. E. die Untersuchung von Jugendlichen auf, die tatsächlich in der Nähe eines Kernkraftwerks oder eines nuklearen Zwischenlagers wohnen, die im Erzgebirge aufgewachsen sind oder die in historisch-geprägten Orten (z. B. in Hiroshima

oder in der Nähe von Fukushima) leben. Die Datenerhebung von Schüler*innen in Hiroshima haben wir bereits in Angriff genommen (Güler, Schrader & Bolte, in Arbeit).

7. Literatur

- Aebli, H. (2001). *Zwölf Grundformen des Lehrens. Eine Allgemeine Didaktik auf psychologischer Grundlage. Medien und Inhalte didaktischer Kommunikation, der Lernzyklus*. Klett-Cotta. 11. Auflage
- Bortz, J. & Schuster, C. (2010). *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler*. Berlin: Springer-Verlag, 7., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage
- Boyes, E. & Stanisstreet, M. (1994). Children's Ideas about Radioactivity and Radiation: sources, mode of travel, uses and dangers. *Research in Science and Technological Education*, 12 (2), 145-160
- Diehl, J. F. (2003). *Radioaktivität in Lebensmitteln*. Weinheim: Wiley
- Dietz, D. & Bolte, C. (2021). Mehrdimensionale Analyse zur Vernetzung von Begriffselementen des Basiskonzepts Energie. In diesem Tagungsband.
- Eijkelhof, H. M. C. & Millar, R. (1988). Reading about Chernobyl: the public understanding of radiation and radioactivity. *School Science Review*, 70 (251), 35-41
- Eijkelhof, H. M. C. (1990). *Radiation and Risk in Physics Education*. Utrecht: CDBeta Press.
- Fischhoff, B., Slovic, P., Lichtenstein, S., Read, S. & Combs, B. (1978). How safe is safe enough? A psychometric study of attitudes towards technological risks and benefits. In: *Policy Sciences*, 9, 127-152
- Lijnse, P. L., Eijkelhof, H. M. C., Klaassen, C. W. J. M., & Scholte, R. L. J. (1990). Pupils' and mass-media ideas about radioactivity. *International Journal of Science Education*, 12(1), 67-78
- Millar, R. (1994). School students' understanding of key ideas about radioactivity and ionizing radiation. *Public Understanding of Science*, 3, 53-70
- Millar, R. & Gill, J.S. (1996). School students' understanding of processes involving radioactive substances and ionizing radiation. In: *Physics Education*, 31 (1), 27-33
- Pfundt, H. & Duit, R. (2009). *Bibliography - Students alternative frameworks and science education*. Kiel: Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften
- Riesch, W., & Westphal, W. (1975). Modellhafte Schülervorstellungen zur Ausbreitung radioaktiver Strahlung. *Der Physikunterricht*, 9(4), 75-85.
- Schrader, N., & Bolte, C. (2018). Vorstellungen vom Unsichtbaren – Schülervorstellungen zum Thema Radioaktivität und ionisierende Strahlung. In: Maurer, C. (Hrsg.). *Qualitätsvoller Chemie- und Physikunterricht - normative und empirische Dimensionen*. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Band 38, 780-783
- Schrader, N., & Bolte, C. (2019). Todsicher oder sicher tot? Risikowahrnehmung von Schüler*innen im Themenfeld der Radioaktivität. In: Maurer, C. (Hrsg.). *Naturwissenschaftliche Bildung als Grundlage für berufliche und gesellschaftliche Teilhabe*. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Band 39, 780-783
- Schrader, N. & Bolte, C. (2019a) Fragebogen - Radioaktivität und Ionisierende Strahlung. Freie Universität Berlin. (Polyskript)
- Schrader, N., & Bolte, C. (2020). Schülervorstellungen im Bereich der Radioaktivität. In: Habig, S. (Hrsg.). *Naturwissenschaftliche Kompetenzen in der Gesellschaft von morgen*. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Band 40, 491-494
- Slovic, P. (1987). Perception of risk. In: *Science*, 236, 280-285
- Slovic, P. (2000). *The Perception of Risk*. London: Earthscan
- Slovic, P., Fischhoff, B. & Lichtenstein, S. (1985). Characterizing perceived risk. In: Kates, R.W., Hohenemser, C. & Kasperson, J.X. (Hrsg.). *Perilous progress: Managing the hazards of technology*. Boulder, CO: Westview, 91-125

Untersuchung der Wahrnehmung von Feynman-Diagrammen mittels Eye Tracking

Merten Dahlkemper^{*,+}, Jeff Wiener^{*}, Andreas Müller[°], Sascha Schmeling^{*}, Pascal Klein⁺

^{*} CERN, Esplanade de Particules 1, CH-1211 Genève 23, Schweiz,

⁺ Fakultät für Physik, Abteilung Didaktik der Physik, Universität Göttingen, Friedrich-Hund-Platz 1, 37077 Göttingen,

[°] Faculty of Science/Physics Section IUFE, Universität Genf, Pavillon d'Uni Mail, Boulevard du Pont d'Arve 40, CH-1211 Genève, Schweiz
merten.dahlkemper@cern.ch

Kurzfassung

Seit mehr als 70 Jahren sind Feynman-Diagramme (FD) aus der Elementarteilchenphysik kaum mehr wegzudenken, da sie komplexe Rechnungen auf eine kompakte Weise veranschaulichen. Dies wird vielfach auch für die Behandlung im Schulunterricht genutzt. Aus fachdidaktischer und lerntheoretischer Sicht wird der Nutzen verschiedener Repräsentationsformen zum Problemlösen und Lernen als zentral erachtet. Dennoch wird im Rahmen der Vermittlung von Teilchenphysik kontrovers darüber diskutiert, ob und in welcher Form FD im Unterricht der Schule vorkommen sollen, da umstritten ist, inwiefern der Nutzen dieser Darstellungen ihre potentiellen Nachteile durch resultierende Missverständnisse und Fehlvorstellungen übersteigt. Diese Schwierigkeiten und das Fehlen empirischer Untersuchungen zum visuellen Umgang mit FD weisen auf den Forschungsbedarf zu diesem Thema hin. Das Lernen mit graphischen Repräsentationen wie Feynman-Diagrammen beinhaltet visuelle Prozesse. Um diese Prozesse genauer zu untersuchen, verwenden wir Eye Tracking als eine inzwischen auch in den Fachdidaktiken zunehmend verbreitete Methode zur Messung der visuellen Aufmerksamkeit, die uns Einblick in die kognitiven Prozesse geben kann. Die Stichprobe unserer Eye Tracking-Studie setzt sich zum einen aus Studierenden zusammen, die mit der Repräsentationsform nicht vertraut sind, und zum anderen aus Forschenden in dem Gebiet der Elementarteilchenphysik. Das mittelfristige Ziel der Arbeit ist, aus den Studienergebnissen forschungsbasierte Instruktionen zum Betrachten, Zeichnen und Anwenden von FD im Rahmen eines Onlinekurses zur Teilchenphysik zu entwerfen.

1. Motivation

Die Teilchenphysik ist eines der Forschungsfelder, welches sich in der Öffentlichkeit seit vielen Jahren und zunehmend auch im Schulunterricht großer Beliebtheit erfreut. Dies erfordert, dass angemessene Lehr- und Lernmaterialien (weiter)entwickelt werden, mit denen das Thema Teilchenphysik Schüler:innen nahe gebracht werden kann.

Eine Darstellung, die im Zusammenhang mit didaktischen und populärwissenschaftlichen Beiträgen immer wieder gezeigt wird, sind die Feynman-Diagramme (FD; Kaiser, 2005). Nicht zuletzt sorgte auch der Erfinder Richard Feynman (1918-1989) selbst für die Popularisierung „seiner“ Diagramme (vgl. Feynman, 2014).

Jedoch werden die Diagramme in der theoretischen Physik auf eine andere Weise verwendet als es eine eher „buchstäbliche Lesart“ nahelegen würde. Dies ist ein Hinweis darauf, dass es eine Diskrepanz zwischen der *disziplinspezifischen* und *pädagogischen Affordanz* gibt. Das heißt, die Bedeutung, die der Repräsentationsform innerhalb der Disziplin zugemessen wird, ist nicht ohne weiteres auf seinen Nutzen zum Lehren von physikalischen Inhalten übertragbar (vgl. Airey & Eriksson, 2019; Airey & Linder, 2017).

In der physikdidaktischen Forschung gibt es bisher keine empirischen Untersuchungen dazu, wie mit Feynman-Diagrammen gelernt wird.

Aus diesem Grund untersuchen wir eben diese Wahrnehmung von Feynman-Diagrammen bei Personen unterschiedlicher Expertise. Als Methode zur Untersuchung von Lernprozessen bei visuellen Repräsentationen hat sich Eye Tracking als eine vielversprechende Methode etabliert, mit der z.B. Informationsverarbeitungsprozesse ebenso wie die Effektivität von Instruktionsdesigns erforscht werden können (z.B. Lai et al., 2013). In diesem Beitrag werden die Möglichkeiten von Eye Tracking für die Untersuchung des Themas Feynman-Diagramme diskutiert.

2. Hintergrund

2.1. Lernen mit multiplen Repräsentationen

In der Physik ist das Lernen mit multiplen Repräsentationen (also z.B. einer Text-Bild-Kombination) allgegenwärtig. Dabei haben multiple Repräsentationen beim Lernen drei Schlüsselfunktionen: Sie können sich ergänzen, indem sie komplementär zueinander sind, sie können sich ergänzen, indem sie sich jeweils einschränken, oder sie können ein tieferes Verständnis

konstruieren (Ainsworth, 1999, 2006; Opfermann et al., 2017).

Im Falle von Feynman-Diagrammen kann beispielsweise ihre Interpretation anhand von bekannteren Repräsentationen wie Stromkreisen oder des Doppelspaltversuchs eingeschränkt werden (Passon et al., 2020). Ebenso können Feynman-Diagramme zu einem tieferen Verständnis von Teilchenphysik beitragen, indem sie schon vorhandenes Wissen (etwa über die Existenz von Elementarteilchen) erweitern (z.B. indem anhand der Feynman-Diagramme die Idee von virtuellen Teilchen erläutert wird (Jones, 2002)).

Mit dem Lernen sind jedoch verschiedene kognitive Aufgaben verbunden. Zum einen müssen die Lernenden verstehen, wie Informationen in die Repräsentationsform kodiert sind. Außerdem müssen sie verstehen, wie die Repräsentation mit der jeweiligen Domäne in Beziehung steht; sie müssen wissen, wie die richtige Repräsentation ausgewählt und wie sie konstruiert wird (Ainsworth, 2006).

Hier macht die Cognitive Theory of Multimedia Learning (CTML; Mayer, 2002), basierend auf Erkenntnissen zur Informationsverarbeitung im Arbeitsgedächtnis, Vorschläge, wie die Repräsentationen präsentiert werden können, um das Lernen zu unterstützen. So wird z.B. empfohlen, textuelle und bildliche Darstellungen gemeinsam und in räumlicher Nähe zueinander darzustellen (Kontiguitätsprinzip). Im Design der vorliegenden Studie wurde versucht, die Empfehlungen bestmöglich zu berücksichtigen.

2.2. Feynman-Diagramme im Physikunterricht

Feynman-Diagramme wurden das erste Mal im Frühjahr 1948 durch Richard Feynman im Rahmen einer Konferenz öffentlich vorgestellt (Kaiser, 2005, S. 43). Seitdem haben sie sich zu einem weit verbreiteten graphischen Werkzeug in vielen Bereichen der theoretischen Physik, vor allem aber in der Quantenfeldtheorie und damit der Teilchenphysik entwickelt. Hauptsächlich werden sie als „Werkzeug zur Buchführung“ bei der störungstheoretischen Berechnung von Prozessen in der Teilchenphysik gebraucht (Kaiser, 2005). Innerhalb der theoretischen Physik (genauer gesagt der Quantenfeldtheorie) besitzen Feynman-Diagramme als semiotische Resource eine hohe disziplinspezifische Affordanz. Diese ist definiert als die vereinbarten bedeutungstiftenden Funktionen, die eine semiotische Ressource für eine bestimmte Community (die in der Disziplin Tätigen) erfüllt (Airey, 2015; Airey & Eriksson, 2019). Die Diagramme sind dabei eine *disziplinspezifische Kurzschrift* (Airey & Linder, 2017, S. 101 f.) für einen komplizierten mathematischen Ausdruck.

Der disziplinspezifischen Affordanz steht die pädagogische Affordanz gegenüber, die definiert ist

als die Eignung, einer Resource, bestimmte Inhalte zu vermitteln (Airey, 2015).

Laut Airey ist jedoch eine hohe disziplinäre Affordanz, wie sie bei Feynman-Diagrammen vorliegt, in der Regel mit einer verminderten pädagogischen Affordanz verbunden. Dies ist insofern bedeutsam, da die Diagramme heute nicht nur in wissenschaftlichen, sondern auch in populärwissenschaftlichen Publikationen und zum Teil auch in Lehr-Lernmaterialien für den Schulunterricht zu finden sind (z.B. Kobel et al., 2018). Hier werden sie in der Regel als (vermeintlich) anschauliche Darstellung teilchenphysikalischer Prozesse verwendet. So zeigen etwa Passon et al., (2018, 2020) verschiedene mit Feynman-Diagrammen verbundene Vorstellungen auf, die so nicht haltbar sind. Etwa ist jede Lesart, in der den Teilchen eine Trajektorie in Zeit und Raum zugeordnet wird, physikalisch unsinnig. Es wurden von verschiedenen Physiker:innen und Physikdidaktiker:innen Versuche unternommen, didaktische Einführungen zu Feynman-Diagrammen zu geben. Pascolini & Pietroni (2002) führten die Diagramme als „akkurate Metaphern“ ein und versuchten, die den Feynman-Diagrammen zugrunde liegenden Regeln anhand eines mechanischen Modells den Lernenden nahe zu bringen. Dieser Ansatz wurde in einem reinen Post-Test-Design empirisch untersucht, wobei ein positiver Einfluss auf das Lernen festgestellt wurde.

Generell unterscheiden sich die Erklärungen dadurch, wie stark auf eine „wörtliche Lesart“ eingegangen wird. In einigen Texten werden die Feynman-Diagramme als Raum-Zeit-Diagramme eingeführt ((Jones, 2002), während in anderen die einzelnen fundamentalen Vertices erläutert und mit mathematischen Termen verknüpft werden (Woithe et al., 2017). Wieder andere Texte gehen explizit auf die Vorstellung einer zu wörtlichen Lesart ein und beschreiben Feynman-Diagramme als einen Beitrag zu einer Wahrscheinlichkeitsamplitude (Allday, 1997; Lambourne, 1992; Passon et al., 2020).

Einen anderen Ansatz wählen Hoekzema et al. (2005). Diese arbeiten in ihrem Text mit einer reduzierten Form der Feynman-Diagramme, welche sie „reaction diagrams“ nennen, um damit Erhaltungssätze und Symmetrien in der Teilchenphysik zu erklären. Der Text wurde an Schulen eingesetzt und erhielt positives Feedback von Lehrpersonen. Insbesondere wurde der Ansatz mit der reduzierten Form der Feynman-Diagramme als verständlicher als ein vorhergehender Text mit herkömmlichen Feynman-Diagrammen beurteilt.

2.3. Eye Tracking in der physikdidaktischen Forschung

Eye Tracking ist eine Technik, mit der die Augenbewegungen nachverfolgt werden können. Ihr Einsatz in der Bildungsforschung beruht auf der sog.

„Eye-Mind-Hypothese“ (Just & Carpenter, 1976), welche besagt, dass die gegenwärtige Blickposition Auskunft darüber gibt, wo jeweils die Aufmerksamkeit liegt.

In der Physikdidaktik wird Eye Tracking etwa seit zehn Jahren verwendet. Die Anwendungsfelder reichen hierbei von der Untersuchung von Lernprozessen beim Lernen mit Simulationen (Hoyer & Girwidz, 2020) über die Untersuchung von Assessment-Szenarien mit multiplen Repräsentationen (Rosengrant et al., 2009), den Einfluss aktiver Manipulationen oder instruktiver Hilfestellungen (Klein et al., 2019; Madsen et al., 2013) bis hin zur Nutzung von Eye Tracking-Metriken als Prädiktoren für die Antwortkorrektheit beim Lösen von Aufgaben (Küchemann et al., 2021). Mit Eye Tracking gelang es beispielsweise, postulierte Aufgabenanforderungen beim Arbeiten mit Kinematik-Diagrammen empirisch nachzuweisen (Klein et al., 2018). Auch wurden bekannte Lernschwierigkeiten beim Umgang mit Kinematik-Diagrammen, wie die Punkt-Intervall-Konfusion, durch die Analyse von Blickdaten bestätigt.

Neben diesem konfirmatorischen Charakter zeigt sich das Potential von Eye Tracking auch darin, den visuellen Umgang mit Repräsentationen erstmalig zu erforschen. Im Kontext von Vektorfeldern wurden beispielsweise visuelle Strategien identifiziert, die Expert:innen zur Beurteilung der Divergenz anwenden; sie betrachten die Diagramme überwiegend systematisch mit vertikalen und horizontalen Sakkaden (Klein et al., 2021). Insbesondere im letzteren Fall ist es wichtig, die Methode des Eye Tracking mit anderen Indikatoren für das Verständnis der vorliegenden Repräsentationen zu kombinieren, etwa mit Verbaldaten (van Gog et al., 2005).

Darüber hinaus wird Eye Tracking im Design von Lernmaterialien verwendet, um bestehende Theorien, wie etwa die CTML zu testen und zu erweitern (Alemdag & Cagiltay, 2018; Jarodzka et al., 2017; Mayer, 2010).

Im vorliegenden Fall soll Eye Tracking verwendet werden, um einerseits Hypothesen über Lernschwierigkeiten bei Feynman-Diagrammen zu überprüfen und andererseits Strategien zu identifizieren, die Expert:innen beim Betrachten von Feynman-Diagrammen verwenden.

3. Forschungsziele

Das kurzfristige Ziel der Arbeit ist es, herauszufinden, ob es beim Lernen mit Feynman-Diagrammen spezifische Elemente innerhalb von schriftlichen und graphischen Instruktionen gibt, die lernförderlich oder -hinderlich sind und welche Informationen Eye Tracking hierüber liefern kann.

Außerdem soll herausgefunden werden, wie sich die visuellen Strategien beim Betrachten von Feynman-

Diagrammen zwischen Personen mit und Personen ohne Vorwissen und Expertise in der Anwendung von Feynman-Diagrammen unterscheidet.

Mittelfristig soll im Sinne der fachdidaktischen Entwicklungsforschung (*Design-based research*; The Design-Based Research Collective, 2003) mit Hilfe der Erkenntnisse der vorliegenden Studie eine Lerneinheit zum Thema Feynman-Diagramme im Rahmen eines Online-Kurses zu Teilchenphysik für Oberstufenschüler:innen am CERN entwickelt werden.

4. Pilot-Studie

Es wurde eine explorative Studie durchgeführt, anhand derer untersucht werden soll, welche Erkenntnisse bei der Anwendung von Eye Tracking auf Aufgaben mit Feynman-Diagrammen zu erwarten sind.

4.1. Methoden

Zunächst wurden einführende Erklärtex-te (Instruktionen) und Aufgaben in englischer und deutscher Sprache zum Thema entworfen. Die Instruktionen umfassten 7 Seiten und waren text- und bildbasiert. Ein Beispiel für eine solche Instruktion ist in Abb. 1 gezeigt.

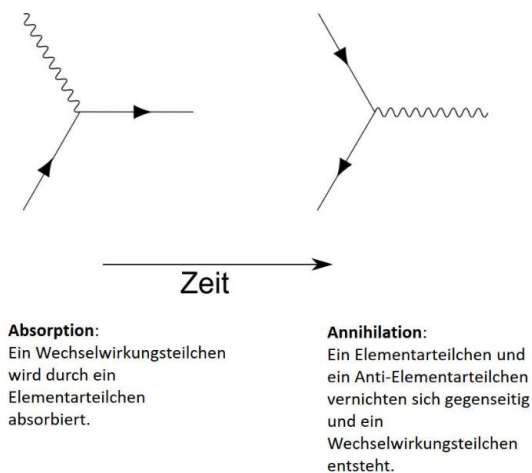


Abb. 1: Ausschnitt aus einer der sieben Instruktionsfolien. Gezeigt sind zwei der vier fundamentalen Vertices. Im Text darunter ist die jeweilige physikalische Interpretation beschrieben (*Absorption*, *Anihilation*). Neben den Vertices und dem Erklärtext ist als zusätzlicher Hinweis der Zeitpfeil als „Leserichtung“ für die Diagramme abgebildet.

Als Basis für die Erstellung der Instruktionen und Aufgaben dienten gängige Textbücher der Elementarteilchenphysik sowie Vorüberlegungen zu potentiellen Lernschwierigkeiten auf Basis von publizierten Lernressourcen (s.o.; z.B. Kobel et al., 2018; Woithe et al., 2017). Besonderer Wert wurde

in den Instruktionen auf die Einführung der fundamentalen Vertices sowie die inhärente Beinhaltung der Erhaltungssätze in den Feynman-Diagrammen gelegt.

Die insgesamt neun zu lösenden Aufgaben wurden in vier Aufgabentypen unterteilt: Im ersten Aufgabentyp sollten die Teilnehmenden beurteilen, ob ein gegebenes Diagramm gemäß der zuvor in den Instruktionen beschriebenen Regeln einen gültigen Prozess darstellt, im zweiten Typ sollte die Anzahl der Vertices angegeben werden, aus denen ein dargestelltes Feynman-Diagramm besteht, und im dritten und vierten Typ sollte ein gegebenes Diagramm mit anderen Diagrammen verglichen werden.

An der Studie nahmen insgesamt 16 Mitglieder der Didaktik-Forschungsgruppen am CERN sowie der Universität Göttingen teil. Der Grad an Expertise reichte von Schulwissen in Physik bis zur Promotion in Teilchenphysik. Während die Teilnehmenden die Instruktionen lasen und die Aufgaben lösten, wurden ihre Blickbewegungen aufgenommen. Die Aufnahme der Blickbewegungen erfolgte mit einem Remote Eye Tracker der Firma Tobii Pro (Fusion, Version 120 Hz). Die Teilnehmenden saßen etwa 80 – 100 cm vom Bildschirm entfernt und konnten sich frei bewegen.

Die 9-Punkt-Kalibration ergab eine Genauigkeit der Blickdaten zwischen $0,31^\circ$ und $1,33^\circ$ bei einer Präzision zwischen $0,17^\circ$ und $0,7^\circ$ auf einem 24“-Bildschirm mit einer Auflösung von 2560×1440 Px. Im besten Fall konnten die Blickbewegungen also auf etwa 5 mm oder 20 Pixel genau aufgelöst werden, im schlechtesten Fall auf 14 mm oder 70 Pixel. Dies korrespondiert in etwa mit den o.g. Materialien, bei denen die kleinsten Einzelstrukturen etwa 5 mm groß waren. Innerhalb der Instruktionen und Aufgaben konnte nicht gesprungen werden und nicht die Richtung gewechselt werden. Die Teilnehmenden hatten jedoch für jede einzelne Seite so viel Zeit wie sie brauchten.

Um zusätzliche Informationen über die Überlegungen der Teilnehmenden zu erhalten, wurden im Anschluss an die Lösung der Aufgaben den Teilnehmenden die Instruktionen und Aufgaben zusammen mit einem Video ihrer Augenbewegungen gezeigt und sie wurden befragt, wie sie mental beim Lösen der Aufgaben vorgegangen sind. Im folgenden wird dieser Teil als Retrospective Think Aloud (RTA) bezeichnet.

4.2. Erste Ergebnisse

Anhand der Erklärmuster im RTA wurden die Teilnehmenden in drei Gruppen eingeteilt: „Expert:innen“, „Noviz:innen“ und „Intermediates“. Die Expert:innen zeichneten sich dadurch aus, dass sie beim Erklären auf die physikalischen Begriffe (z.B. *Teilchen*, *Anti-Teilchen*, *Emission*, *Absorption*)

referierten, während die Noviz:innen diese Begriffe nicht verwendeten. Bei den Intermediates waren Ansätze von Expertendenken, aber kein kohärentes Muster erkennbar.

Die Eye Tracking-Daten wurden anschließend anhand dieser Einteilung in die verschiedenen Expertise-Gruppen aufgeteilt. Die kumulierten Blickdaten wurden anschließend pro Gruppe gegenüber gestellt und auf qualitative Unterschiede hin miteinander verglichen.

Von den vier Aufgabentypen eigneten sich drei für eine Analyse der Eye Tracking-Daten. Der erste Aufgabentyp, in dem beurteilt werden sollte, ob ein gegebener fundamentaler Vertex (also ein fundamentaler Baustein eines Feynman-Diagramms) den vorher gezeigten Regeln entspricht, war hingegen ein guter Indikator für die oben beschriebene Einteilung.

Im zweiten Aufgabentyp wurde nach der Anzahl der Vertices gefragt, aus denen das gezeigte Diagramm besteht. Für diese Aufgabe waren dementsprechend lediglich die Vertices relevant, also die Bereiche im Diagramm, an dem sich drei Linien treffen. In Abb. 2 sind die kumulierten Blickdaten für die drei Gruppen aufgetragen. Es zeigt sich hier, dass nur die Expert:innen den Großteil ihrer Aufmerksamkeit auf den relevanten Teil der Abbildung verwenden. Zwischen Intermediates und Noviz:innen gibt es in dieser Hinsicht keinen qualitativen Unterschied.

Im dritten Aufgabentyp sollte beurteilt werden, aus welchen der vier auf der linken Seite gezeigten Vertices das auf der rechten Seite gezeigte Diagramm zusammengesetzt ist. Die Blickmuster bei einer Aufgabe dieses Typs ist in Abb. 3 gezeigt. Hier fällt auf, dass die Expert:innen im Vergleich zu den Intermediates und Noviz:innen relativ viel Aufmerksamkeit auf dem im Sinne der Aufgabe „falschen“ Vertex B verwenden. Rein qualitativ sind auch hier die Unterschiede zwischen Intermediates und Noviz:innen kleiner als die zwischen den Expert:innen und den anderen Gruppen.

Im vierten Aufgabentyp sollte beurteilt werden, ob ein gegebenes Feynman-Diagramm aus den beiden zusätzlich gegebenen Vertices zusammengesetzt sein kann. Die kumulierten Blickdaten für eine Aufgabe dieses Typs sind in Abb. 4 gezeigt. Hier ist auffällig, dass sich die Blickdaten zwischen den einzelnen Gruppen im Gegensatz zu den anderen gezeigten Beispielen qualitativ kaum unterscheiden.

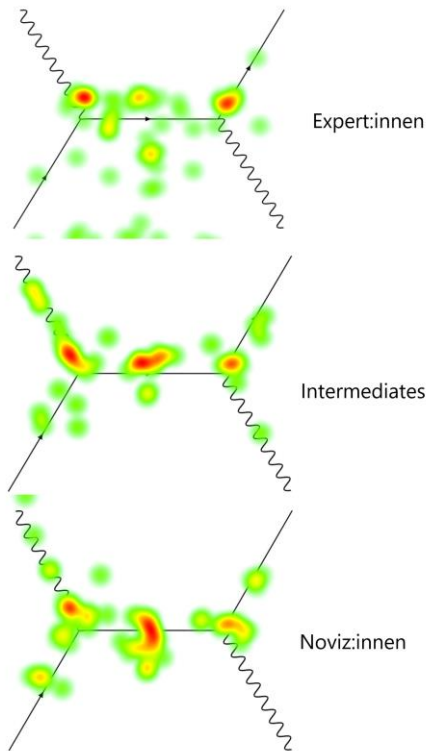


Abb. 2: Kumulierte Blickdaten für Expert:innen (oben), Intermediates (Mitte) und Noviz:innen (unten) bei einer Aufgabe des Typs 2 („Aus wie vielen Vertices besteht das Diagramm?“)

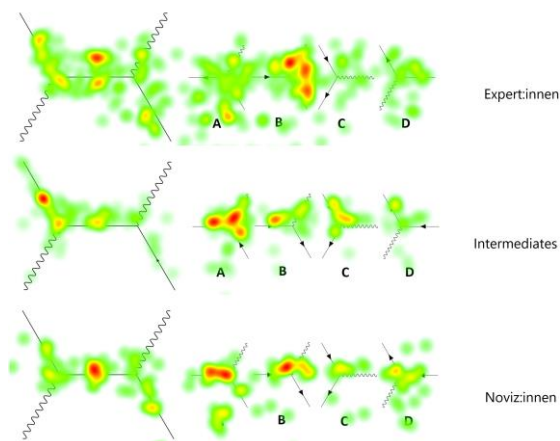


Abb. 3: Kumulierte Blickdaten für Expert:innen (oben), Intermediates (Mitte) und Noviz:innen (unten) bei einer Aufgabe des Typs 3 („Aus welchen Vertices setzt sich das Diagramm auf der linken Seite zusammen?“). Die richtige Antwort ist in diesem Fall D + A.

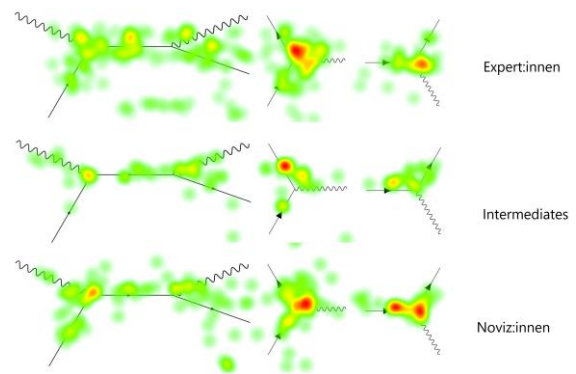


Abb. 4: Kumulierte Blickdaten für Expert:innen (oben), Intermediates (Mitte) und Noviz:innen (unten) bei einer Aufgabe des Typs 4 („Setzt sich das Diagramm auf der linken Seite aus den beiden Vertices auf der rechten Seite zusammen?“). Die Antwort ist in diesem Fall „Nein“.

5. Diskussion

In der vorliegenden Pilotstudie wurde erstmals die Wahrnehmung von Lernmaterialien zum Thema Feynman-Diagramme empirisch mit Hilfe von Eye Tracking untersucht. Die Blickmuster in Abb. 2 lassen darauf schließen, dass bei Nennung bestimmter Begriffe in einer Aufgabe bei Personen mit Vorwissen der Blick auf bestimmte Stellen in der Repräsentation gelenkt wird. Dies ist im Einklang mit bisherigen Eye Tracking-Studien, in denen ebenfalls gezeigt werden konnte, dass Expert:innen relativ viel visuelle Aufmerksamkeit auf relevante als auf irrelevante Bereiche der Aufgabe verwenden und insgesamt weniger Zeit zum Lösen der Aufgaben brauchen als Noviz:innen (vgl. Klein, et al., 2019; A. M. Madsen et al., 2012).

Wie die Abbildungen 3 und 4 zeigen, ist dieses Ergebnis in unserer Studie jedoch nicht persistent über alle Aufgabentypen. So kam es auch vor, dass Expert:innen relativ gesehen mehr Zeit auf einer falschen Antwortoption verbrachten als Intermediates und Noviz:innen, oder es konnten keine Unterschiede zwischen den Gruppen beobachtet werden. Dies kann unterschiedliche Gründe haben. So erwähnten mehrere Expert:innen in den RTA-Daten, dass sie versucht hatten, die einzelnen Vertices mental zu rotieren, um sicher zu gehen, dass der Vertex nicht doch eine Option sein könnte. Noviz:innen erwähnten dies nicht.

Eine Einschränkung dieser Pilotstudie ist ihre kleine Stichprobe sowie die fehlende Repräsentativität in Bezug auf die Zielgruppe der Materialien (Oberstufenschüler:innen). Aus diesem Grund haben wir uns für eine qualitative und heuristische Form der Auswertung entschieden. Die vorliegenden Ergebnisse können lediglich ein Hinweis auf weitere Forschung sein.

6. Ausblick

Im Anschluss an die vorgestellte Pilotstudie soll eine Hauptstudie durchgeführt werden, in der eine größere Stichprobe von Schüler:innen, Studienanfänger:innen sowie Physiker:innen untersucht wird. Die Instruktionen und Aufgaben dieser Studie werden dabei im Sinne einer didaktischen Rekonstruktion auf Basis von Literatur, den Erkenntnissen aus der Pilotstudie sowie Interviews mit Expert:innen erstellt. Die Erkenntnisse aus dieser Studie sollen anschließend genutzt werden, um Lehr-Lernmaterialien zu erstellen. Hier könnten auch interaktive Aufgaben, wie etwa das Zeichnen von Diagrammen (vgl. Ainsworth et al., 2011) oder sog. *Eye-Movement-Modeling-Examples* (vgl. van Gog et al., 2009) zum Einsatz kommen.

7. Literatur

- Ainsworth, S. (1999). The functions of multiple representations. *Computers & Education*, 33(2), 131–152. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360131599000299>
- 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). Drawing to Learn in Science. *Science*, 333(6046), 1096–1097. <https://doi.org/10.1126/science.1204153>
- Airey, J. (2015). *Social Semiotics in Higher Education: Examples from teaching and learning in undergraduate physics*. 103. <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:uu:diva-266049>
- Airey, J., & Eriksson, U. (2019). Unpacking the Hertzprung-Russell Diagram: A Social Semiotic Analysis of the Disciplinary and Pedagogical Affordances of a Central Resource in Astronomy. *Designs for Learning*, 11(1), 99–107.
- Airey, J., & Linder, C. (2017). Social Semiotics in University Physics Education. In D. F. Treagust, R. Duit, & H. E. Fischer (Hrsg.), *Multiple Representations in Physics Education* (S. 95–122). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-58914-5_5
- Alemdag, E., & Cagiltay, K. (2018). A systematic review of eye tracking research on multimedia learning. *Computers & Education*, 125, 413–428. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.06.023>
- Allday, J. (1997). The nature of force in particle physics. *Physics Education*, 32(5), 327. <https://doi.org/10.1088/0031-9120/32/5/016>
- Feynman, R. P. (2014). *QED*. In *QED*. Princeton University Press. <https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/9781400847464/html>
- Hoekzema, D., Schooten, G., van den Berg, E., & Lijnse, P. (2005). Conservation Laws, Symmetries, and Elementary Particles. *The Physics Teacher*, 43(5), 266–271. <https://doi.org/10.1119/1.1903808>
- Hoyer, C., & Girwidz, R. (2020). Animation and interactivity in computer-based physics experiments to support the documentation of measured vector quantities in diagrams: An eye tracking study. *Physical Review Physics Education Research*, 16(2), 020124. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.16.020124>
- Jarodzka, H., Gruber, H., & Holmqvist, K. (2017). *Eye tracking in Educational Science: Theoretical frameworks and research agendas*. <https://doi.org/10.16910/jemr.10.1.3>
- Jones, G. T. (2002). The uncertainty principle, virtual particles and real forces. *Physics Education*, 37(3), 223–233. <https://doi.org/10.1088/0031-9120/37/3/306>
- Just, M. A., & Carpenter, P. A. (1976). Eye fixations and cognitive processes. *Cognitive Psychology*, 8(4), 441–480. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0010028576900153>
- Kaiser, D. (2005). *Drawing Theories Apart: The Dispersion of Feynman Diagrams in Post-war Physics*. University of Chicago Press.
- Klein, P., Becker, S., Küchemann, S., & Kuhn, J. (2021). Test of understanding graphs in kinematics: Item objectives confirmed by clustering eye movement transitions. *Physical Review Physics Education Research*, 17(1), 013102. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.17.013102>
- Klein, P., Küchemann, S., Brückner, S., Zlatkin-Troitschanskaia, O., & Kuhn, J. (2019). Student understanding of graph slope and area under a curve: A replication study comparing first-year physics and economics students. *Physical Review Physics Education Research*, 15(2), 020116. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.15.020116>
- Klein, P., Viiri, J., & Kuhn, J. (2019). Visual cues improve students' understanding of divergence and curl: Evidence from eye movements during reading and problem solving. *Physical Review Physics Education Research*, 15(1), 010126. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.15.010126>
- Klein, P., Viiri, J., Mozaffari, S., Dengel, A., & Kuhn, J. (2018). Instruction-based clinical

- eye-tracking study on the visual interpretation of divergence: How do students look at vector field plots? *Physical Review Physics Education Research*, 14(1), 010116. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.14.010116>
- Kobel, M., Bilow, U., Lindenau, P., & Schorn, B. (2018). *Teilchenphysik: Ladungen, Wechselwirkungen und Teilchen—Unterrichtsmaterial ab Klasse 10*. Joachim Herz Stiftung. https://www.teilchenwelt.de/fileadmin/user_upload/Redaktion/Netzwerk_Teilchenwelt/material/Band1_UnterrichtsmaterialTP_2018.pdf
- Küchemann, S., Klein, P., Becker, S., Kumari, N., & Kuhn, J. (2021). *Classification of Students' Conceptual Understanding in STEM Education using Their Visual Attention Distributions: A Comparison of Three Machine-Learning Approaches*. 36–46. <https://www.scitepress.org/PublicationsDetail.aspx?ID=RR+w7e5T9Tc=&t=1>
- Lai, M.-L., Tsai, M.-J., Yang, F.-Y., Hsu, C.-Y., Liu, T.-C., Lee, S. W.-Y., Lee, M.-H., Chiou, G.-L., Liang, J.-C., & Tsai, C.-C. (2013). A review of using eye-tracking technology in exploring learning from 2000 to 2012. *Educational Research Review*, 10, 90–115. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2013.10.001>
- Lambourne, R. (1992). Predicting the physics of particles. *Physics Education*, 27(2), 71. <https://doi.org/10.1088/0031-9120/27/2/003>
- Madsen, A. M., Larson, A. M., Loschky, L. C., & Rebello, N. S. (2012). Differences in visual attention between those who correctly and incorrectly answer physics problems. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 8(1), 010122. <https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.8.010122>
- Madsen, A., Rouinfar, A., Larson, A. M., Loschky, L. C., & Rebello, N. S. (2013). Can short duration visual cues influence students' reasoning and eye movements in physics problems? *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 9(2), 020104. <https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.9.020104>
- Mayer, R. E. (2002). Multimedia learning. In *Psychology of Learning and Motivation* (Bd. 41, S. 85–139). Academic Press. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0079742102800056>
- Mayer, R. E. (2010). Unique contributions of eye-tracking research to the study of learning with graphics. *Learning and Instruction*, 20(2), 167–171. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2009.02.012>
- Opfermann, M., Schmeck, A., & Fischer, H. E. (2017). Multiple Representations in Physics and Science Education – Why Should We Use Them? In D. F. Treagust, R. Duit, & H. E. Fischer (Hrsg.), *Multiple Representations in Physics Education* (S. 1–22). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-58914-5_1
- Pascolini, A., & Pietroni, M. (2002). Feynman diagrams as metaphors: Borrowing the particle physicist's imagery for science communication purposes. *Physics Education*, 37(4), 324. <https://doi.org/10.1088/0031-9120/37/4/306>
- Passon, O., Lindenau, P., & Kobel, M. (2020). Von Feynman-Diagrammen und Stromkreisen. *Unterricht Physik*, 180. <https://www.friedrich-verlag.de/physik/quantenphysik/von-feynman-diagrammen-und-stromkreisen-7480>
- Passon, O., Zügge, T., & Grebe-Ellis, J. (2018). Pitfalls in the teaching of elementary particle physics. *Physics Education*, 54(1), 015014. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/aadbc7>
- Rosengrant, D., Thomson, C., & Mzoughi, T. (2009). Comparing Experts and Novices in Solving Electrical Circuit Problems with the Help of Eye-Tracking. *AIP Conference Proceedings*, 1179(1), 249–252. <https://doi.org/10.1063/1.3266728>
- The Design-Based Research Collective. (2003). Design-Based Research: An Emerging Paradigm for Educational Inquiry. *Educational Researcher*, 32(1), 5–8. <https://doi.org/10.3102/0013189X03200105>
- van Gog, T., Jarodzka, H., Scheiter, K., Gerjets, P., & Paas, F. (2009). Attention guidance during example study via the model's eye movements. *Computers in Human Behavior*, 25(3), 785–791. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2009.02.007>
- van Gog, T., Paas, F., van Merriënboer, J. J. G., & Witte, P. (2005). Uncovering the Problem-Solving Process: Cued Retrospective Reporting Versus Concurrent and Retrospective Reporting. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 11(4), 237–244. <https://doi.org/10.1037/1076-898X.11.4.237>
- Woithe, J., Wiener, G. J., & Veken, F. F. V. der. (2017). Let's have a coffee with the Standard Model of particle physics! *Physics Education*, 52(3), 034001. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/aa5b25>

Danksagung

Wir danken Julia Woithe für hilfreiche Hinweise zum Materialdesign sowie Stefanie Peter für ihre Hilfe bei der Durchführung der Studie. Diese Arbeit wurde gefördert durch das Wolfgang-Gentner-Programm des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF-Forschungsvorhaben 05E18CHA).

Mehrdimensionale Analyse zur Vernetzung von Begriffselementen des Basiskonzepts Energie

Dennis Dietz*, Claus Bolte*

*Freie Universität Berlin, Didaktik der Chemie, Haderslebener Straße 9, 12163 Berlin
dennis.dietz@fu-berlin.de, claus.bolte@fu-berlin.de

Kurzfassung

Als Reaktion auf die enttäuschenden Ergebnisse in den zurückliegenden TIMS- (Baumert et al., 1997) und PISA-Studien (Baumert et al., 2001; Prenzel et al., 2004) wurden Basiskonzepte, wie das fächerübergreifende Energiekonzept, in den deutschen Bildungsstandards für den mittleren Schulabschluss verankert (KMK, 2005a-c). Damit war die Hoffnung verbunden, die nach der konstruktivistischen Lerntheorie und den Leitlinien des kumulativen Lernens wichtige Vernetzung von Unterrichtsinhalten zu forcieren. In der vorliegenden Arbeit gehen wir der Frage nach, inwieweit wir in von Schüler*innen der Jahrgangsstufe 9 formulierten Essays zum Basiskonzept Energie vertikale (fachimmanente) und horizontale (fächerübergreifende) Vernetzungsstrukturen nachweisen können. Da die uns bekannten Modelle und Ansätze zur Analyse und Beschreibung von Vernetzungsleistungen entweder ausschließlich auf den Aspekt der vertikalen Vernetzung oder ausschließlich auf den Aspekt der horizontalen Vernetzung fokussieren, haben wir auf der Basis dieser Modelle und Ansätze ein weiter ausdifferenziertes Analyseinstrument entwickelt, das neben der vertikalen Vernetzung ebenso der Dimension der horizontalen Vernetzung Rechnung trägt. Mit dem eigens entwickelten Modell zur Analyse der Vernetzung von Begriffselementen in Essays (MAVerBE) haben wir 132 Essays zum Energiekonzept von Schüler*innen eines Gymnasiums untersucht. In diesem Beitrag stellen wir ausgewählte Analyseergebnisse zur Diskussion.

1. Ausgangslage

Die wenig zufriedenstellenden Ergebnisse Deutschlands in der ersten TIMS-Studie interpretierten Baumert et al. (1997, S.146) dahingehend, dass eine zu geringe vertikale Vernetzung des naturwissenschaftlichen Unterrichts die Ursache für den geringen Lernzuwachs der Schüler*innen sei. Unter vertikaler Vernetzung wird die fachimmanente Vernetzung von Wissen verstanden (Fischer et al., 2007, S.662). Konsequenterweise forderte die Bund-Länder-Kommission im gleichen Jahr, dass es mehr vertikale und darüber hinaus auch mehr horizontale Vernetzung im Unterricht geben müsse (BLK, 1997, S.45). Horizontale Vernetzung bezeichnet dabei die fächerübergreifende Vernetzung von Unterrichtsinhalten (Fischer et al., 2007, S.662). Um diesen geforderten Zuwachs an vertikaler und horizontaler Vernetzung zu ermöglichen, wurden im Jahr 2005 Basiskonzepte in den Bildungsstandards des mittleren Schulabschlusses verankert (Demuth et al., 2005; KMK, 2005a-c). Wie es um die Vernetzungsleistungen der Schüler*innen innerhalb dieser Basiskonzepte aber bestellt ist, erscheint uns aktuell eine empirisch noch weitgehend ungeklärte Frage zu sein.

2. Theorie

2.1 Die Vernetzung von Begriffen im menschlichen Wissen

Das begriffliche Wissen stellt einen wesentlichen Bestandteil des menschlichen Wissens dar (Aebli, 1981). Die Fähigkeit des kognitiven Systems, Begriffe als mentale Repräsentationen von zentralen erlebten Tendenzen oder Invarianzen zu bilden, ist eine

erste Voraussetzung dafür, dass der Mensch die quasi unendlich vielfältigen Situationen, die in der Interaktion mit seiner Umwelt entstehen, bewältigen kann (Schnotz, 1994, S.27). Aebli (2003, S.245) stellt diesbezüglich fest, dass die Bildung eines Begriffs bedeutet, „eine Erscheinung im Griff“ zu haben.

Eine zweite, für den Menschen im Umgang mit der komplexen Umwelt, wesentliche Fähigkeit des kognitiven Systems besteht nach Miller (1956) sowie Laird, Rosenbloom und Newell (1986) darin, Informationen zu sogenannten „chunks“ zusammenzufassen und als Einheiten zu verwenden. Diese Einheiten können entsprechend Aebli (1980, S.43 in Anlehnung an Selz, 1913; 1922) und Schnotz (1994, S.30) zu höheren Einheiten miteinander verknüpft werden. Aebli (1981, S.103f.) bezeichnet diesen Vorgang während der Begriffsbildung als Objektivierung, bei der verknüpfte Begriffe zu Ketten verdichtet und auf diese Weise zu Objekten höherer Ordnung werden, die wiederum miteinander zu Netzen verknüpft werden können.

Nach dem Prinzip der kognitiven Ökonomie werden also Begriffe gebildet, welche zu Einheiten unterschiedlicher Ordnung zusammengefasst werden können. Auf diese Weise kommt es innerhalb des begrifflichen Wissens zur Ausbildung von Komplexions- und Abstraktionshierarchien (Schnotz, 1994, S.30 in Anlehnung an Dörner, 1976). Eine Komplexion bezeichnet Teile, die in einer bestimmten raum-zeitlichen Ordnung miteinander verknüpft sind und so ein Ganzes bilden (Dörner, 1976, S.33). Räumliche Verknüpfungen sind häufig Substantive und an Formulierungen wie „hat als Teil“ zu erkennen. Zeitliche

Relationen sind häufig Verben, mit denen Prozesse beschrieben werden können. Kausale Zusammenhänge werden als raum-zeitliche Relationen aufgefasst (Dörner, 1976, S.33). Begriffliche Komplexionshierarchien können auf unterschiedlichen Abstraktionsebenen gebildet werden. Zunehmend abstrakte Begriffe sind an einer abnehmenden Anzahl der sie konstituierenden Merkmale und an einer erweiterten Anzahl an Exemplaren erkennbar, die unter den jeweiligen abstrakten Begriff subsummiert werden (Achtenhagen et al., 1992, S.97f.). Den Aufbau des begrifflichen Wissens nehmen Strukturalisten wie Aebli (1980; 1981) und Schnotz (1994) also als propositionales Netzwerk an. Jeder Begriff beinhaltet zahlreiche Begriffselemente, die auf unterschiedliche Art und Weise miteinander verknüpft sind (Aebli, 2003).

Aebli (1981, S.206f.) ergänzt die Aussagen von Dörner (1976) zur hierarchischen Struktur des begrifflichen Wissens dahingehend, dass diese Hierarchien nur situativ und damit temporär ausgebildet werden. Im Zuge der Rekonstruktion eines Begriffs blickt der Mensch innerhalb seines begrifflichen Netzes von einem bestimmten Punkt aus auf die Relationen zwischen den vernetzten Begriffselementen. Dieser Blick in das Netz des begrifflichen Wissens wird von Aebli (1981, S.206) auch als Perspektivbildung bezeichnet. Da dabei zunächst die vom Perspektivpunkt ausgehenden Relationen betrachtet werden, wird hierbei temporär die hierarchische Struktur eines Begriffs erkennbar, die im Zuge der Begriffsbildung, z.B. durch das Folgen einer Erklärung, aufgebaut wurde (Aebli, 1981, S.206f.). Diese Form der Hierarchisierung wird jedoch im Anschluss an die Perspektivbildung wieder aufgehoben. Wird die Perspektivbildung desselben Sachverhalts von einem anderen Standpunkt aus betrachtet, wird der Sachverhalt ausgehend von einem anderen Knoten des Begriffsnetzes rekonstruiert (Aebli, 1981, S.207); die flexible Nutzung von begrifflichen Elementen wird so geübt. In einem erfolgreich vernetzten Wissen ist ein aktives Zugreifen auf die einzelnen begrifflichen Elemente – also eine vielfältige und flexible Perspektivbildung – möglich. Die Bedeutung der möglichst vielfältigen Vernetzung von Begriffselementen zu Begriffen sowie von Begriffen untereinander für das Lernen spiegelt sich in allen bedeutsamen Lerntheorien wider.

Gagné, der als Begründer der Theorie des kumulativen Lernens gilt, nannte eine von acht aufeinander aufbauenden Lernarten das „Regellernen“. Beim „Regellernen“ werden Begriffe, die im vorherigen Lerntypen erworben wurden, zu Ketten miteinander verknüpft werden (Gagné, 1970, S.52). Mandl (2006, S.29) stellt im Zusammenhang mit den Grundzügen der konstruktivistischen Lerntheorie fest: „Neues Wissen kann nur erworben und genutzt werden, wenn es in die vorhandenen Wissensstrukturen eingebaut [...] wird.“ Die durch den Einbau des neuen Wissens in bestehende Wissensstrukturen entstehende Vernetzung gilt als ein Qualitätsmerkmal von Wissen (siehe

auch de Jong & Ferguson-Hessler, 1996). Zur Beschreibung der Qualität des vernetzten Lernens sind verschiedene Modelle bzw. Ansätze bekannt, die wir in der gebotenen Kürze in den folgenden beiden Unterkapiteln vorstellen werden.

2.2 Modelle zur Beschreibung vertikaler Vernetzungsleistungen

Das Modell der vertikalen Vernetzung von Fischer, Glemnitz, Kauertz und Sumfleth (2007) unterscheidet zwischen den Vernetzungsaktivitäten Erinnern, Strukturieren und Elaborieren. Diese kognitiven Aktivitäten finden wiederum auf verschiedenen Vernetzungsniveaus statt. Als hierarchisch angeordnete Vernetzungsniveaus nutzt das Modell von Fischer et al. (2007) den *Fakt*, *mehrere Fakten*, *einen Zusammenhang*, *unverbundene Zusammenhänge*, *verbundene Zusammenhänge* sowie *das übergeordnete Konzept*. Mit Hilfe des Modells der vertikalen Vernetzung wurden bereits Vernetzungsleistungen in videographiertem Unterricht vielfältig untersucht (u.a. Neumann et al., 2008; Wadouh et al., 2009) oder auch Testaufgaben zur Leistungsbestimmung entwickelt (Kauertz, 2007; Ropohl, 2010). Kauertz (2007, S.111) stellte im Zuge seiner empirischen Untersuchung des Zusammenhangs zwischen der Aufgabenschwierigkeit und dem in der Aufgabe geforderten Vernetzungsniveau fest, dass sich die Niveaus tendenziell in der Reihenfolge *Fakt*, *Zusammenhang*, *mehrere Fakten*, *verbundene Zusammenhänge*, *übergeordnetes Konzept* sowie *unverbundene Zusammenhänge* ordnen ließen. Obgleich diese von Kauertz (2007) ermittelte Reihenfolge statistisch nicht vollständig abgesichert werden konnte, scheint die Anzahl der zu verknüpfenden Elemente neben der Qualität der Vernetzung als schwierigkeiterzeugendes Merkmal für die Schüler*innen als erwiesen. Auch Ropohl (2010, S.117) plädiert dafür, dass es sinnvoll ist, zwischen dem Fakten-, dem Zusammenhangs- und dem Konzeptniveau qualitativ zu unterscheiden. Aus diesen Gründen wird das Modell der vertikalen Vernetzung für die Komplexitätsdimension in den Kompetenzstrukturmodellen des ESNaS-Projektes, wenngleich in etwas abgewandelter Form, verwendet (u.a. Kauertz et al., 2010). Um die Anzahl der zu verknüpfenden Elemente angemessen zu berücksichtigen, werden im ESNaS-Projekt die Vernetzungsniveaus *1 Fakt*, *2 Fakten*, *1 Zusammenhang*, *2 Zusammenhänge* und *das übergeordnete Konzept* unterschieden (u.a. Kauertz et al., 2010).

Bernholt, Parchmann & Commons adaptierten das Modell der hierarchischen Komplexität (2009) für den Chemieunterricht und begründeten so das MHC-C („C“ steht im MHC-C für Chemie). Die Autor*innen orientieren sich an den hierarchisch zunehmend komplexen Operationsniveaus *primary*, *concrete*, *abstract*, *formal* und *systematic* des von Commons et al. (1998) entwickelten Modells der hierarchischen Komplexität (MHC). Das MHC basiert auf logisch-mathematischen Prinzipien und ist inhaltsunabhängig anwendbar. Das adaptierte MHC-C berücksichtigt die

Vernetzungsniveaus *unreflektiertes Erfahrungswissen, Fakten, Prozessbeschreibung, lineare Kausalität* sowie die *multivariate Interdependenz*. Nachdem Bernholt (2010) das MHC-C zur Kompetenzmodellierung im Bereich Fachwissen für das Fach Chemie vorgestellt hat, wurde das MHC-C im weiteren Verlauf als Grundlage für die Komplexitätsdimension in Kompetenzstrukturmodellen (u.a. Woitkowski et al., 2011) und auch für die Analyse von Vernetzungsleistungen in videographiertem Unterricht (Podschuweit et al., 2016) verwendet.

Ropohl (2010, S.117) stellt heraus, dass es zwischen dem Modell der vertikalen Vernetzung von Fischer et al. (2007) mit seiner qualitativen Unterscheidung des Fakten-, Zusammenhangs- und Konzeptniveaus große Überschneidungen mit dem von Bernholt et al. (2009) adaptierten Modell der hierarchischen Komplexität gibt. Woitkowski, Riese und Reinhold (2011, S.297) stellen die theoretischen Überschneidungen der Kategoriendefinitionen dieser beiden Modelle graphisch übersichtlich dar. Den forschungspraktischen Vergleich der beiden Modelle legen Nehring, Päßler und Tiemann (2017) vor, indem sie beide Modelle auf die Untersuchung der Komplexität von Lehrerfragen im Chemieunterricht anwenden. Dabei stellen die Autoren fest, dass beide Modelle zu knapp 70 % vergleichbare Ergebnisse liefern (Nehring et al., 2017). Unterschiede zeigen sich insbesondere bei den Kombinationen *1 Fakt/Prozessbeschreibung* sowie *1 Zusammenhang/Fakten*. Außerdem weisen die Autoren nach, dass das nur selten auftretende höchste Vernetzungsniveau *übergeordnetes Konzept* nicht ein einziges Mal als *multivariate Interdependenz* kodiert werden konnte (Nehring et al., 2017). Da die beiden Modelle nicht vollständig vergleichbare Ergebnisse liefern, empfehlen Nehring et al. (2017, S.248), je nach Fragestellung z.B. für formale Analysen das Modell der vertikalen Vernetzung zu nutzen und für die Analyse des Charakters der begrifflichen Verbindungen das adaptierte Modell der hierarchischen Komplexität zu verwenden. Unseres Erachtens sprechen die Ergebnisse von Nehring et al. (2017) für die Notwendigkeit, auf Grundlage des Modells der vertikalen Vernetzung von Fischer et al. (2007) und des Modells der hierarchischen Komplexität von Bernholt et al. (2009) einen eigenen Ansatz zur Untersuchung der vertikalen Vernetzungsdimension zu entwickeln. Diesen Ansatz werden wir im Kapitel 4.2 begründend vorstellen.

2.3 Ein Ansatz zur Beschreibung horizontaler Vernetzungsleistungen

Lewing und Schneider (2019) haben einen weiteren richtungsweisenden Ansatz entwickelt. Mit Hilfe ihres Verfahrens können horizontale Vernetzungsstrukturen computerbasiert in Schulbüchern untersucht werden. Der Frage nachgehend, inwieweit in Schulbüchern für einen integrierten naturwissenschaftlichen Unterricht eine stärkere horizontale Vernetzung zentraler Begriffe zu beobachten ist als in

Schulbüchern für einen fächerdifferenzierten Unterricht, führen sie sogenannte Kookkurrenzanalysen durch (Lewing & Schneider, 2019). Zwei Begriffe sind ihrer Definition entsprechend kookkurrent, wenn sie in zwei angrenzenden Sätzen gemeinsam auftreten (Lewing & Schneider, 2019, S.724). Um nun die horizontale Vernetzung dieser kookkurrenten Begriffe beschreiben zu können, suchen sie in Anlehnung an die Sachstrukturanalysen von Härtig (2010) nach dem Vorhandensein dieser Begriffe in Schulbüchern einzelner naturwissenschaftlicher Unterrichtsfächer, um sie letztendlich einem "klassischen" Unterrichtsfach (Biologie, Chemie oder Physik) oder einer Kombination von Unterrichtsfächern (Biologie/Chemie, Biologie/Physik, usw.) zuordnen zu können.

Wir werden - wie bereits erwähnt - im Kapitel 4.2 ein weiter elaboriertes Modell vorstellen, das die in diesem Kapitel dargestellten Modelle zur Beschreibung vertikaler oder horizontaler Vernetzungsleistungen zu einem funktionalen Modell vereint. Mit Hilfe dieses Modells können Vernetzungsleistungen von Schüler*innen umfassend und multidimensional untersucht werden. Unter Zuhilfenahme des Modells haben wir versucht, der im folgenden Kapitel beschriebenen Fragestellung ersten Antworten zuzuführen.

3. Fragestellung

Das in den Standards für den mittleren Schulabschluss implementierte Energiekonzept ist das einzige Basiskonzept, das in allen drei naturwissenschaftlichen Fächern Biologie, Chemie und Physik von Bedeutung ist (KMK, 2005a-c). Da die Basiskonzepte mit dem Ziel eingeführt wurden, mehr vertikale und horizontale Vernetzung zu erreichen (Demuth et al., 2005), eignet sich dieses Basiskonzept u.E. in besonderem Maße dafür, sowohl die vertikalen als auch die horizontalen Vernetzungsleistungen der Schüler*innen zu untersuchen. Wir gehen daher der folgenden Forschungsfrage nach: *In welchem Maße lassen sich in Schüler*innen-Äußerungen zum Basiskonzept Energie vertikale und horizontale Vernetzungsstrukturen nachweisen?*

4. Methode

4.1 Das Analyseinstrument

Mit den Methoden *Wortassoziationen, lautes Denken, Interviews, Concept Mapping* sowie *Essays* existieren viele unterschiedliche methodische Ansätze, um einen Einblick in die kognitiven Strukturen von Schüler*innen zu gewinnen (u.a. Stewart, 1980). Mit Blick auf das übergeordnete Ziel unseres Forschungsvorhabens (siehe Kapitel 7 Ausblick) haben wir uns dazu entschieden, die Schüler*innen zu Beginn der Jahrgangsstufe 9 *Essays* zum Thema Energie schreiben zu lassen. Diese Methode bietet den Vorteil, dass kein zusätzliches Methodentraining für die Schüler*innen notwendig ist. Zudem kann eine größere Anzahl an Schüler*innen, in unserem Fall eine gesamte Jahrgangsstufe, unter Beachtung ökonomischer Rahmenbedingungen untersucht werden.

| | | | |
|---------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| <i>endotherm</i> | <i>kinetische Energie</i> | <i>Stoffwechsel</i> | <i>Energieform</i> |
| <i>System</i> | <i>Fotosynthese</i> | <i>Reaktionsenergie</i> | <i>Arbeit</i> |
| <i>Energiefluss</i> | <i>chemische Energie</i> | <i>elektrische Energie</i> | <i>Ernährung</i> |
| <i>chemische Reaktion</i> | <i>Energieumwandlung</i> | <i>Teilchen</i> | <i>potenzielle Energie</i> |
| <i>Zellatmung</i> | <i>Aktivierungsenergie</i> | <i>Wärme</i> | <i>Licht</i> |
| <i>Energieerhaltung</i> | <i>Mitochondrium</i> | <i>exotherm</i> | <i>Bewegung</i> |
| | <i>Energiegehalt</i> | <i>Temperatur</i> | |

Nun bist du an der Reihe. Versetze dich in Pauls und Mias Situation, die nun gemeinsam einen Text zum Thema **Energie** schreiben wollen.

1. Markiere zuerst die Begriffe in dem Kasten (oben), die du für deinen Text zum Thema **Energie** verwenden willst.

2. Wenn dir weitere Begriffe zum Thema **Energie** einfallen, die du für deinen Text zum Thema **Energie** verwenden willst, dann schreibe sie in den leeren Kasten.

3. Schreibe einen ausführlichen Text zum Thema **Energie**, indem du die markierten Begriffe verwendest.

Abb. 1: Ausschnitt aus dem Instrument zur Analyse der Vernetzungsleistungen von Schüler*innen zum Basiskonzept Energie

In Anlehnung an die Arbeiten von van Kirk (1979), der seinen Proband*innen Satzbildungsaufgaben mit vorgegebenen Begriffen zu biologischen Themen vorlegte, erhalten die Schüler*innen in unseren Studien eine Liste mit 26 Begriffselementen des Basiskonzepts Energie, um sie beim Schreiben der Essays zu unterstützen (Abb. 1). Die eigens zusammengestellte Liste beinhaltet besonders relevante Begriffselemente zum Thema Energie, die wir in einem ersten Verfahrensschritt aus den Rahmenlehrplänen Berlin und Brandenburgs der Fächer Biologie, Chemie und Physik extrahiert haben (SenBJF Berlin, 2017a-c). In einem zweiten Schritt wurden 107 Lehrer*innen gebeten, die 108 Begriffselemente umfassende Liste hinsichtlich ihrer Relevanz für ihr jeweiliges Unterrichtsfach zu bewerten (Dietz et al., 2021). Um die Liste, die wir den Schüler*innen schlussendlich vorgelegt haben, auf eine überschaubare Zahl von Begriffselementen zu begrenzen, haben wir die fünf häufigsten Nennungen der Lehrer*innen für das jeweilige naturwissenschaftliche Unterrichtsfach zusammengetragen. Ergänzt wurden diese 15 Elemente der Liste um die Begriffselemente, deren Behandlung in mindestens zwei oder in sogar allen drei fachspezifischen Rahmenlehrplänen Berlin und Brandenburgs explizit eingefordert werden (SenBJF Berlin, 2017a-

c). Um keine fachbezogene Assoziationsketten zu provozieren, haben wir die Datenerhebung nicht im naturwissenschaftlichen Fachunterricht, sondern während einer Deutschstunde, durchgeführt.

4.2 Das Modell zur Analyse der Vernetzung von Begriffselementen in Essays (MAVerBE)

Zur Analyse der Essays greifen wir auf die Methode der inhaltlich-strukturierenden qualitativen Inhaltsanalyse unter Verwendung einer Kombination von inhaltlichen und skalierenden Kategorien zurück (Mayring, 2015). Auf Basis der im Theoriekapitel dargestellten Vorarbeiten haben wir ein eigenes Modell entwickelt, mit welchem nicht nur die vertikalen, sondern auch die horizontalen Vernetzungsleistungen von Schüler*innen in den Essays umfassend untersucht werden können. Das Modell zur Analyse der Vernetzung von Begriffselementen in Essays (kurz: MAVerBE) besteht aus einem dreidimensionalen Kategoriensystem (Abb. 2, s. nächste Seite).

Für die *erste Analysedimension* verwenden wir eine Synthese des Modells der vertikalen Vernetzung (Fischer et al., 2007, im Folgenden: MvV) und des von Bernholt et al. (2009) für den Chemieunterricht adaptierten Modells der hierarchischen Komplexität (MHC-C). Für unsere Synthese berücksichtigen wir sowohl die theoretischen Vorarbeiten zum Vergleich des MvV und des MHC-C (Woitkowski et al., 2011) als auch die von Nehring, Päßler und Tiemann (2017) beschriebenen praktischen Erfahrungen bei der Kodierung desselben Datenmaterials mit beiden Modellen. Außerdem ist der im Folgenden dargestellte Ansatz für das von uns gewählte Aufgabenformat *Essay* u.E. bestmöglich geeignet.

Auf einem niedrigen vertikalen Vernetzungsniveau nutzen die Schüler*innen einen bis maximal zwei Begriffe in einfachen Teil-Ganzes-Relationen. Diese Relationen sind häufig an der Verwendung einfacher Verben wie „sein“ und „haben“ erkennbar. Diese wenig komplexen Schilderungen können entweder auf (un)wissenschaftlichen Präkonzepten oder wissenschaftlichen Fakten beruhen. Daher berücksichtigen wir in unserem Modell neben der sowohl im MvV als auch im MHC-C enthaltenen Kategorie *Fakten* auch die ausschließlich im MHC-C vorgeschlagene Kategorie *Erfahrungswissen*. Im Gegensatz zum MHC-C sind wir der Ansicht, dass die Kategorien *Erfahrungswissen* und *Fakten* als gleichwertig anzusehen sind, da in beiden Fällen Begriffselemente in einer ähnlichen Art und Weise *wenig komplex* verknüpft werden.

In der nächsthöheren Kategorie unseres MAVerBE werden mindestens zwei Begriffe in einer qualitativ höherwertigen Art und Weise verknüpft. In diese Kategorie gehören zeitliche Relationen, die den *Prozessbeschreibungen* im MHC-C entsprechen, aber auch Kausalitäten (also Ursache-Wirkungs-Beziehungen) sowie Bedingungen und Abhängigkeiten, wie sie z.B. aus der Kategorie *Zusammenhang* im MvV bekannt sind.

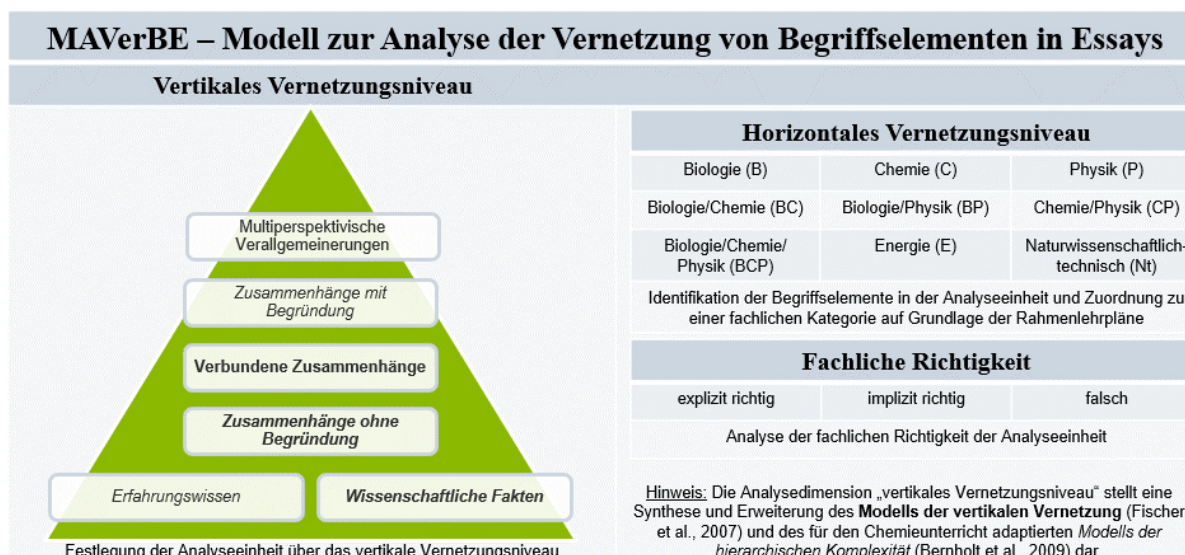


Abb. 2: Das MAVerBE beinhaltet ein dreidimensionales Kategoriensystem zur umfassenden Analyse der Vernetzungsleistungen von Schüler*innen in Essays

Wir führen daher die Kategorien *Zusammenhang* des MvV und *Prozessbeschreibung* des MHC-C zusammen, und zwar auch deshalb, da unsere Pilotierungen gezeigt haben, dass häufig nur sprachliche Nuancen zur Diskriminierung von Aussagen in eine dieser beiden Kategorien führten. Ob ein Schüler bzw. eine Schülerin z.B. feststellt, dass im zeitlichen Verlauf einer chemischen Reaktion Wärmeenergie freigesetzt wird (was einer Prozessbeschreibung im MHC-C entspräche) oder durch eine chemische Reaktion Wärmeenergie freigesetzt wird (was einer Kausalität im MvV gleichkäme), ändert nur wenig daran, dass in beiden Fällen die Begriffselemente chemische Reaktion und Wärmeenergie komplexer als auf dem zuvor beschriebenen Erfahrungswissen- bzw. Faktenniveau miteinander verknüpft werden. Auch wenn im MHC von Commons (1998) als Grundlage für das MHC-C ein Komplexitätsunterschied zwischen den Leveln *primary* und *concrete* festgestellt wird, spricht die Berücksichtigung der schriftsprachlichen Kompetenzen der Schüler*innen dafür, dass diese beiden Kategorien für die Analyse von Essays zu einer zusammengefasst werden sollten. Die so festgelegte Kategorie bezeichnen wir als *Zusammenhänge ohne Begründung*. Damit folgen wir hinsichtlich der Namensgebung dem Vorschlag von Woitkowski und Riese (2017, S.41), wonach Prozessbeschreibungen auch als unbegründete Zusammenhänge bezeichnet werden können. Mit dieser klaren Trennung zwischen einer wenig komplexen Verknüpfung auf der Ebene des Erfahrungs- und Faktenwissens und einer komplexeren Verknüpfung von Begriffselementen auf der Ebene der unbegründeten Zusammenhänge erhoffen wir uns, die bereits im Theoriekapitel beschriebene Unschärfe zwischen den Kategorien *Fakten*, *Prozessbeschreibung* und *Zusammenhänge* beim Vergleich des MvV und des MHC-C aufzuheben (Woitkowski et al., 2011; Nehring et al., 2017).

Im MvV wird mit den Kategorien *mehrere Fakten* und *unverbundene Zusammenhänge* die Anzahl der zu verknüpfenden Begriffe berücksichtigt. Aufzählungen von Fakten bzw. Zusammenhängen werden im MvV ein höheres vertikales Komplexitätsniveau zugesprochen als dem einzelnen Fakt bzw. dem einzelnen Zusammenhang (Fischer et al., 2007). In unserem MAVerBE berücksichtigen wir diese beiden Kategorien jedoch nicht, weil es unseres Erachtens für die Analyse der Vernetzung des begrifflichen Wissens der Schüler*innen unerheblich ist, ob die Schüler*innen Elemente in einem Essay in Form von Aufzählungen oder in Form von durch andere Äußerungen getrennten Sätzen darlegen. Dieses Vorgehen deckt sich mit den Ausführungen von Commons et al. (1998, S.240), nach denen eine beliebige Verknüpfung von Elementen einer unteren Stufe nicht zu einer höheren Komplexität führt. Höhere Komplexitätsstufen werden jedoch mit einer steigenden Anzahl an Verknüpfungsoperationen erreicht (Commons et al., 1998, S.252). Eine solche Steigerung ist zunächst einmal durch das gezielte, also nicht-willkürliche, Verknüpfen von Zusammenhängen miteinander möglich. Die Verknüpfung muss dabei so gestaltet sein, dass der „Outcome“ des ersten Zusammenhangs den des zweiten beeinflusst (Commons et al., 1998, S. 254). Dies ist beispielsweise bei einer Kausalkette der Fall. Kausalketten können u.a. bei der Beschreibung mehrerer miteinander gekoppelter Energieumwandlungsprozesse formuliert werden. Auf diese Weise verknüpfte Zusammenhänge ordnen wir der auch im MvV enthaltenen Kategorie *verbundene Zusammenhänge* zu.

Eine zusätzliche Steigerung des vertikalen Komplexitätsniveaus besteht darin, die Verknüpfung von Zusammenhängen in Form einer Begründung zu gestalten. Im MHC-C wird in der Begründung eines Zusammenhangs ein komplexitätssteigerndes Merkmal gesehen. Begründete Zusammenhänge werden im

MHC-C als *lineare Kausalität* bezeichnet (Bernholt et al., 2009, S.231). Wir folgen auch in diesem Fall dem Namensvorschlag von Woitkowski und Riese (2017, S.41) und bezeichnen diese Kategorie als *Zusammenhänge mit Begründung*.

In der eigens entwickelten höchsten Vernetzungskategorie, die wir als *Multiperspektivische Verallgemeinerungen* bezeichnen, berücksichtigen wir solche Ausführungen von Schüler*innen, in denen sie in besonderem Maße abstrakte Leitideen bzw. Konzepte des Energiebegriffs miteinander verknüpfen und an mindestens einem Beispiel erläutern. Zu diesen Leitideen bzw. Konzepten gehören die Energieformen und Energiequellen, die Energieumwandlung, der Energietransfer, die Energieentwertung, die Energieerhaltung sowie die Entropie (Duit, 1986; 2014; Neumann et al., 2013; Poggi et al., 2017). Die besondere Vernetzungsleistung besteht unseres Erachtens darin, dass die Schüler*innen Begriffe einer sehr hohen Abstraktionsebene verwenden (Dörner, 1976) und dabei in Anlehnung an die von Aebli (1981, S.206) beschriebene Perspektivbildung, die temporär gebildeten unterschiedlichen Begriffshierarchien miteinander verknüpfen. So gesehen blicken die Schüler*innen also multiperspektivisch in ihr begriffliches Wissensnetz.

In der *zweiten Analysedimension* suchen wir in Anlehnung an Lewing und Schneider (2019) nach kookurrenten Begriffen. Als kookurrent definieren wir solche Begriffe, die sich in denselben Analyseeinheiten befinden, die wir im Zuge der Analyse des vertikalen Vernetzungsniveaus identifiziert haben. Die Zuordnung der Begriffe zu einem Unterrichtsfach oder zu einer Kombination mehrerer Unterrichtsfächer erfolgt über die Überprüfung, in welchem bzw. in welchen naturwissenschaftlichen Rahmenlehrplänen Berlin und Brandenburgs sich diese befinden.

Zusätzlich zu der Analyse der vertikalen und horizontalen Vernetzungsniveaus analysieren wir außerdem die fachliche Richtigkeit innerhalb der identifizierten Analyseeinheiten. Da die Äußerungen von Schüler*innen in der Regel nicht druckreif formuliert sind, also nicht immer eindeutig als fachlich korrekt oder falsch klassifiziert werden können, haben wir uns entschlossen zwischen explizit richtigen, implizit richtigen und offensichtlich falschen Aussagen der Schüler*innen zu unterscheiden. Dieser Fokus repräsentiert die *dritte Analysedimension*.

Für die Kodierung der Einschätzungsdimensionen *vertikales Vernetzungsniveau* und *fachliche Richtigkeit* nutzen wir die Software MAXQDA 2020 (VERBI Software, 2019). Die im Zuge dieser Auswertung identifizierten Analyseeinheiten werden mit MAXQDA in Form einer Excel-Tabelle extrahiert. Im Anschluss wird innerhalb dieser Excel-Tabelle die Anzahl der identifizierten Begriffselemente in der jeweiligen fachlichen Kategorie notiert. Nach Durchführung der Kookurrenzberechnungen in Excel

werden diese Daten mit Hilfe der Software UCINET (Borgatti et al., 2013) visualisiert (s. Abb. 3b).

5. Ausgewählte Ergebnisse

5.1 Stichprobe

Anfang des Schuljahres 2019/20 haben wir 134 Schüler*innen des 9. Jahrgangs eines Gymnasiums während einer Deutschunterrichtsstunde (Dauer der Unterrichtsstunde: 45 Minuten) gebeten, ein Essay zum Thema Energie zu schreiben. 132 Essays von 73 Schülerinnen und 54 Schülern (5 Schüler*innen machten keine Angabe; zwei Essays mussten aussortiert werden) gingen in die Analysen ein. Die Schüler*innen waren im Mittel $13,9 \pm 0,4$ Jahre alt. Im Durchschnitt haben die Schüler*innen 126 ± 75 Wörter lange Essays verfasst.

5.2 Analyse vertikaler Vernetzungsleistungen

Dem Analyseverfahren folgend wurden in den 132 Essays insgesamt 1894 Analyseeinheiten (und somit durchschnittlich 14,3 Analyseeinheiten pro Essay) identifiziert. Davon konnten 1797 Kodierungen einem vertikalen Vernetzungsniveau zugeordnet werden. Die restlichen Analyseeinheiten waren wiederholende oder im Sinn unklare Aussagen.

Die Verteilung dieser Analyseeinheiten auf die sechs Kategorien der ersten Analysedimension ist in Abbildung 3a (s. nächste Seite) dargestellt. Auffällig ist, dass mehr als die Hälfte (56,3 %) der von den Schüler*innen getätigten Aussagen einem niedrigen vertikalen Vernetzungsniveau zuzuordnen sind, also den Kategorien *Erfahrungswissen* oder *wissenschaftliche Fakten* zugewiesen werden müssen. Zu den häufigsten Nennungen auf diesem niedrigen Vernetzungsniveau gehören das Aufzählen verschiedener Energieformen sowie das Wiedergeben von Eigenschaften der Energie. Die mit 31,0 % am zweithäufigsten besetzte Kategorie ist die Kategorie *Zusammenhänge ohne Begründung*. Innerhalb dieser Kategorie häufen sich Aussagen darüber, für welche Prozesse Energie benötigt wird. Auch die Beschreibung einfacher Energieumwandlungsprozesse (je nach Formulierung der Schüler*innen als Kausalität oder Prozessbeschreibung) fällt in diese Kategorie. 11,2 % der Aussagen der Schüler*innen werden der Kategorie *verbundene Zusammenhänge* zugeordnet. In diesen Fällen verknüpfen die Schüler*innen besonders häufig die zuvor genannten Bedingungen oder Energieumwandlungsprozesse mit weiteren Energieumwandlungsprozessen; beispielsweise beschreiben die Schüler*innen verhältnismäßig oft die miteinander gekoppelten Energieumwandlungsprozesse in einem Kohlekraftwerk. Ein besonders hohes vertikales Vernetzungsniveau in Form eines *Zusammenhangs mit Begründung* (0,9 %) oder einer *multiperspektivischen Verallgemeinerung* (0,3 %) wird nur äußerst selten erreicht.

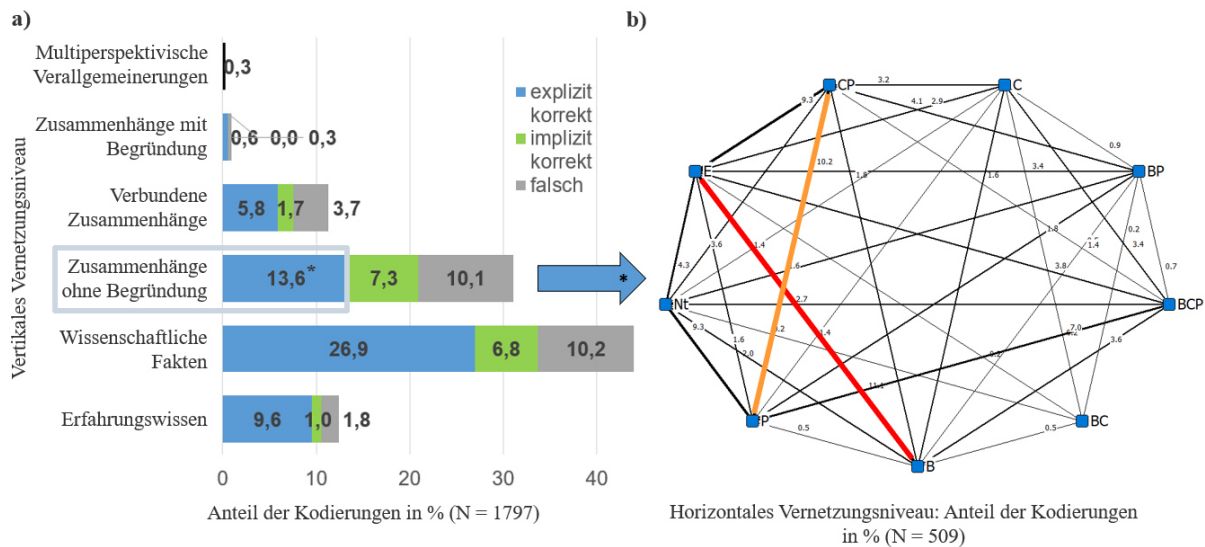


Abb. 3: Ausgewählte Ergebnisse aus der Analyse von 132 Essays mit dem MAVerBE. a) mit Blick auf das vertikale Vernetzungsniveau inklusive Beurteilung der fachlichen Richtigkeit, b) mit Blick auf das horizontale Vernetzungsniveau der explizit richtigen Schüleräußerungen auf dem vertikalen Vernetzungsniveau *Zusammenhänge ohne Begründung*; dominierende Vernetzungsstrukturen sind farblich hervorgehoben

5.3 Analyse horizontaler Vernetzungsleistungen

Innerhalb der Aussagen eines vertikalen Vernetzungsniveaus haben wir, wie in Kapitel 4.2 beschrieben, die horizontalen Vernetzungsleistungen untersucht. Exemplarisch haben wir die Ergebnisse einer solchen Analyse für die explizit richtigen *Zusammenhänge ohne Begründung* in der Abbildung 3b dargestellt. In dieser Kategorie konnten 509 Kookkurrenzen verschiedener Begriffselemente ermittelt werden. Die fachliche Zuordnung der Begriffselemente zu einem Fach bzw. einer Fächerkombination, die wir auf Grundlage der Berliner und Brandenburger Rahmenlehrpläne vorgenommen haben, ergab mit 11,1 % eine besondere Häufung der horizontalen Vernetzungen zwischen dem Energiebegriff (E) und Begriffselementen aus der Biologie (B) (siehe Abb. 3b, rot hervorgehobene Verbindung). Die Schüler*innen formulierten hier besonders häufig unbegründete Zusammenhänge zu den Themen Ernährung oder Photosynthese als Möglichkeiten der Energiegewinnung. Eine weitere Häufung mit 10,2 % zeigt sich zwischen Begriffselementen der Physik (P) und der Fächerkombination Chemie/Physik (CP) (Abb. 3b, orange hervorgehobene Verbindung). In diesem Kontext formulierten die Schüler*innen auffällig oft unbegründete Zusammenhänge zwischen den Begriffselementen elektrische Energie (P) und Wärme oder Licht (beide CP). Die häufige Nutzung der Begriffselemente elektrische Energie, Wärme und Licht deckt sich mit den Ergebnissen aus der Replikationsstudie von Crossley, Hirn und Starauscheck (2009). In dieser Studie sollten Schüler*innen der 9. Jahrgangsstufe in Assoziationstests aufschreiben, woran sie denken, wenn sie das Wort Energie hören, und was sie unter Energie verstehen. Im Rahmen dieser Befragung verwendeten die Schüler*innen einer 9. Jahrgangsstufe eines Gymnasiums ebenfalls häufig die

Begriffselemente elektrische Energie, Wärme und Licht (Crossley et al., 2009, S.4).

6. Diskussion

Die Ergebnisse unserer Analysen sprechen dafür, dass es uns gelungen ist, *ein Instrument zur Analyse sowohl vertikaler als auch horizontaler Vernetzungsstrukturen in Essays von Schüler*innen zum Basiskonzept Energie* zu entwickeln. Zugegeben: Die Orientierung an den Nennungen der Begriffselemente in den jeweiligen fachspezifischen Rahmenlehrplänen zur Einschätzung der horizontalen Vernetzungsdimension ist kritisch zu diskutieren. Da Rahmenlehrpläne aber als eine Art gesellschaftlich verhandelter Konsens zu verstehen sind, der schließlich auf den jeweiligen Expertisen ausgewählter Expert*innen der Rahmenplankommissionen beruht, stellt die von uns getroffene Entscheidung zumindest einen möglichst objektiven und funktionalen Zugang dar.

Außerdem ist in Anbetracht der Besetzungshäufigkeiten der sechs Kategorien des vertikalen Vernetzungsniveaus zu diskutieren, ob in zukünftigen Arbeiten das vierte Niveau (*verbundene Zusammenhänge*) und das fünfte Niveau (*Zusammenhänge mit Begründung*) zu einer gemeinsamen Kategorie zusammengefasst werden sollten, da – wie Abbildung 3a unterstreicht – Aussagen der Schüler*innen dem fünften Niveau nur sehr selten zuzuordnen waren.

7. Ausblick

Mit der hier vor- und zur Diskussion gestellten Untersuchung haben wir eine Art Bestandsaufnahme vorgenommen. Wir haben Schüler*innen des zunächst letzten Jahrgangs eines Berliner Gymnasiums hinsichtlich ihres Verständnisses bezüglich des Energiekonzepts untersucht, denen in den Jahrgangsstufen 7 und 8 der deutschen Tradition entsprechend Unterricht in den naturwissenschaftlichen Fächern

fächerdifferenziert erteilt wurde. Wir haben zu rekonstruieren versucht, welche Vernetzungsstrukturen ihren Begriffsverständnissen zugrunde liegen. Über die Qualität dieser Schüler*innen-Leistungen kann man geteilter Meinung dahingehend sein, ob die Performanz der Schüler*innen nun zu loben sei oder hinter den Erwartungen zurückgeblieben sind. Eine abschließende Bewertung dieser Frage möchten wir nicht vornehmen, da unsere Forschungsintentionen anders gelagert sind. Im nächsten Schritt wollen wir nämlich der Frage nachgehen, ob und in welcher Weise die Vernetzungsleistungen von Schüler*innen, die an derselben Schule in den folgenden Schuljahren an einem integrierten naturwissenschaftlichen Unterricht teilgenommen haben, zu unterscheiden sind. Zu diesem Zweck haben wir zu Beginn des Schuljahres 2020/21 Schüler*innen der 9. Jahrgangsstufe gebeten, Essays zur gleichen Aufgabenstellung zu schreiben. Diese Schüler*innen hatten in den beiden Schuljahren zuvor am integrierten naturwissenschaftlichen Unterricht dieses Gymnasiums teilgenommen. Die Ergebnisse unserer laufenden Analysen werden wir zeitnah zur Diskussion stellen.

8. Literatur

- Achtenhagen, F., John, E. G., Preiß, P., Tramm, T., Schunck, A., Seemann-Weymar, H. (1992). *Lernhandeln in komplexen Situationen*. Neue Konzepte einer betriebswirtschaftlichen Ausbildung. Wiesbaden: Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler GmbH.
- Aebli, H. (1980). *Denken: das Ordnen des Tuns. Band 1: Kognitive Aspekte der Handlungstheorie*. Stuttgart: Klett-Cotta.
- Aebli, H. (1981). *Denken: das Ordnen des Tuns. Band 2: Denkprozesse*. Stuttgart: Klett-Cotta.
- Aebli, H. (2003). *Zwölf Grundformen des Lehrens*. 12. Auflage. Stuttgart: Klett-Cotta.
- Baumert, J., Lehmann, R., Lehrke, M., Schmitz, B., Clausen, M., Hosenfeld, I., Köller, O. & Neubrand, J. (Hrsg.). (1997). *TIMSS – mathematisch-naturwissenschaftlicher Unterricht im internationalen Vergleich: deskriptive Befunde*. Opladen: Leske + Budrich.
- Baumert, J., Klieme, E., Neubrand, M., Prenzel, M., Schiefele, U., Schneider, W., Stanat, P., Tillmann, K.-J. & Weiß, M. (Hrsg.). (2001). *PISA 2000 - Basiskompetenzen von Schülerinnen und Schülern im internationalen Vergleich*. Opladen: Leske & Budrich.
- Bernholt, S., Parchmann, I. & Commons, M. L. (2009). Kompetenzmodellierung zwischen Forschung und Unterrichtspraxis. *ZfDN*, 15, 219-245.
- Bernholt, S. (2010). *Kompetenzmodellierung in der Chemie – Theoretische und empirische Reflexion am Beispiel des Modells hierarchischer Komplexität*. Berlin: Logos.
- BLK-Projektgruppe Innovation im Bildungswesen (1997). *Expertise „Steigerung der Effizienz des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts“*, Materialien zur Bildungsplanung und Forschungsförderung, Heft 60, Bonn.
- Borgatti, S. P., Everett, M. G. & Johnson, J. C. (2013). *Analyzing Social Networks*. Sage Publications.
- Commons, M. L., Trudeau, E. J., Stein, S. A., Richards, F. A. & Krause, S. R. (1998). Hierarchical Complexity of Tasks Shows the Existence of Developmental Stages. *Developmental Review*, 18(3), 237-278.
- Crossley, A., Hirn, N., Staraschek, E. (2009). Schüervorstellungen zur Energie - Eine Replikationsstudie -. In *CD zur Frühjahrstagung des Fachverbandes Didaktik der Physik in der Deutschen Physikalischen Gesellschaft* (S. 1-9), Bochum.
- De Jong, T., Ferguson-Hessler, M. G. M. (1996). Types and Qualities of Knowledge. *Educational Psychologist*, 31(2), 105-113.
- Demuth, R., Ralle, B. & Parchmann, I. (2005). Basiskonzepte – eine Herausforderung an den Chemieunterricht. *Chemkon*, 12(2), 55-60.
- Dietz, D., Hickmann, P., Lenze, J. & Bolte, C. (2021). Analyse der Vernetzung von Begriffselementen im Basiskonzept Energie. In S. Habig (Hrsg.), *Naturwissenschaftlicher Unterricht und Lehrerbildung im Umbruch? Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik online Jahrestagung 2020* (S. 193-196).
- Dörner, D. (1976). *Problemlösen als Informationsverarbeitung*. Stuttgart: Kohlhammer.
- Duit, R. (1986). *Der Energiebegriff im Physikunterricht*. Kiel: IPN.
- Duit, R. (2014). Teaching and Learning the Physics Energy Concept. In R. F. Chen, A. Eisenkraft, D. Fortus, J. Krajcik, K. Neumann, J. Nordine, & A. Scheff. (Ed.), *Teaching and Learning of Energy in K-12 Education*. Switzerland: Springer.
- Fischer, H. E., Glemnitz, I., Kauertz, A., Sumfleth, E. (2007). Auf Wissen aufbauen – Kumulatives Lernen in Chemie und Physik. In E. Kircher, R. Girwidz, P. Häußler (Hrsg.), *Physikdidaktik. Theorie und Praxis*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Gagné, R. M. (1970). *Die Bedingungen des menschlichen Lernens*. 2. Auflage. Hannover: Hermann Schroedel Verlag KG.
- Härtig, H. (2010). *Sachstrukturen von Physikschulbüchern als Grundlage zur Bestimmung der Inhaltsvalidität eines Tests*. Berlin: Logos.
- Kauertz, A. (2008). *Schwierigkeitserzeugende Merkmale physikalischer Leistungstestaufgaben*. Berlin: Logos.
- Kauertz, A., Fischer, H. E., Mayer, J., Sumfleth, E. & Walpuski, M. (2010). Standardbezogene Kompetenzmodellierung in den Naturwissenschaften der Sekundarstufe I. *ZfDN*, 16, 135-153.

- Kultusministerkonferenz (KMK) (2005a). *Bildungsstandards im Fach Biologie für den mittleren Schulabschluss*. München: Luchterhand.
- Kultusministerkonferenz (KMK) (2005b). *Bildungsstandards im Fach Chemie für den mittleren Schulabschluss*. München: Luchterhand.
- Kultusministerkonferenz (KMK) (2005c). *Bildungsstandards im Fach Physik für den mittleren Schulabschluss*. München: Luchterhand.
- Laird, J. E., Rosenbloom, P. S. Newell, A. (1986). Chunking in soas: the anatomy of learning mechanisms. *Machine Learning*, 1, 11-46.
- Lewing, J., Schneider, S. (2019). Sachstrukturen in Schulbüchern des naturwissenschaftlichen Unterrichts – Kookkurenzanalyse von Fachbegriffen der naturwissenschaftlichen Fächer. In *Naturwissenschaftliche Bildung als Grundlage für berufliche und gesellschaftliche Teilhabe. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik Jahrestagung in Kiel 2018* (S. 723-726).
- Mandl, H. (2006). Wissensaufbau aktiv gestalten. *Schüler 2006*. 28-30.
- Mayring, P. (2015). *Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken*. 12. Auflage. Weinheim und Basel: Beltz-Verlag.
- Miller, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity to process information. *Psychological Review*, 63, 81-97.
- Nehring, A., Päßler, A. & Tiemann, R. (2017). The Complexity of Teacher Questions in Chemistry Classrooms: an Empirical Analysis on the Basis of Two Competence Models. *Int J of Sci and Math Educ*, 15, 233-250.
- Neumann, K.; Fischer, H. E. & Sumfleth, E. (2008). Vertikale Vernetzung und kumulatives Lernen im Chemie- und Physikunterricht. In E.-M. Lankes (Hrsg.), *Pädagogische Professionalität als Gegenstand empirischer Forschung* (S. 141 – 151). Münster: Waxmann.
- Neumann, K., Viering, T., Boone, W. J., Fischer, H.E. (2013). Towards a Learning Progression of Energy. *J Res Sci Teach*, 50, 162-188.
- Prenzel, M., Baumert, J., Blum, W., Lehmann, R., Leutner, D., Neubrand, M., Pekrun, R., Rolff, H.-G., Rost, J. & Schiefele, U. (Hrsg.). (2004). *PISA 2003. Der Bildungsstand der Jugendlichen in Deutschland – Ergebnisse des zweiten internationalen Vergleichs*. Münster: Waxmann.
- Podschuweit, S., Bernholt, S. & Brückmann, M. (2016). Classroom learning and achievement: how the complexity of classroom interaction impacts students' learning. *Research in Science & Technological Education*. 1-22.
- Poggi, V., Miceli, C., Testa, I. (2017). Teaching energy using an integrated science approach. *Phys. Educ*. 52, 1-9.
- Ropohl, M. (2010). *Modellierung von Schülerkompetenzen im Basiskonzept Chemische Reaktion: Entwicklung und Analyse von Testaufgaben*. Berlin: Logos.
- Schnotz, W. (1994). *Aufbau von Wissensstrukturen. Untersuchungen zur Kohärenzbildung bei Wissenserwerb mit Texten*. Weinheim: Beltz.
- Selz, O. (1913). *Über die Gesetze des geordneten Denkverlaufs*. Stuttgart: Spemann.
- Selz, O. (1922). *Zur Psychologie des produktiven Denkens und des Irrtums*. Bonn: Cohen.
- Senatsverwaltung für Bildung, Jugend und Familie Berlin (2017a). *Rahmenlehrplan Teil C Biologie, Jahrgangsstufen 7-10*. https://bildungsserver.berlin-brandenburg.de/fileadmin/bbb/unterricht/rahmenlehrplaene/Rahmenlehrplanprojekt/amtliche_Fas-sung/Teil_C_Biologie_2015_11_10_WEB.pdf
- Senatsverwaltung für Bildung, Jugend und Familie Berlin (2017b). *Rahmenlehrplan Teil C Chemie, Jahrgangsstufen 7-10*. https://bildungsserver.berlin-brandenburg.de/fileadmin/bbb/unterricht/rahmenlehrplaene/Rahmenlehrplanprojekt/amtliche_Fas-sung/Teil_C_Chemie_2015_11_10_WEB.pdf
- Senatsverwaltung für Bildung, Jugend und Familie Berlin (2017c). *Rahmenlehrplan Teil C Physik, Jahrgangsstufen 7-10*. https://bildungsserver.berlin-brandenburg.de/fileadmin/bbb/unterricht/rahmenlehrplaene/Rahmenlehrplanprojekt/amtliche_Fas-sung/Teil_C_Physik_2015_11_16_web.pdf
- Stewart, J. (1980). Techniques for Assessing and Representing Information in Cognitive Structure. *Science Education*, 64(2), 223-235.
- Van Kirk, J. (1979). *Content analysis using cognitive science techniques*. Paper presented at the 1979 Annual Meeting of the National Association for Research in Science Teaching, Atlanta, GA.
- VERBI Software (2019). *MAXQDA 2020* [computer software]. Berlin: VERBI Software. Verfügbar unter maxqda.com.
- Wadouh, J., Sandmann, A. & Neuhaus, B. (2009). Vernetzung im Biologieunterricht – deskriptive Befunde einer Videostudie. *ZfDN*, 15, 69-87.
- Woitkowski, D., Riese, J. & Reinhold, P. (2011). Kriterienorientierte Konstruktion eines Kompetenzniveaumodells im physikalischen Fachwissen. *ZfDN*, 17, 289-313.
- Woitkowski, D. & Riese, J. (2017). Modellierung fachwissenschaftlicher Kompetenz angehender Physiklehrkräfte. *ZfDN*, 23, 39-52.

Inklusionsorientierung und Differenzierung

René Dohrmann, Alexander Moritz Rüge, Novid Ghassemi, Volkhard Nordmeier

Freie Universität Berlin, Didaktik der Physik, Arnimallee 14, 14195 Berlin
rene.dohrmann@fu-berlin.de; nghassemi@zedat.fu-berlin.de; volkhard.nordmeier@fu-berlin.de

Kurzfassung

Die Bemühungen und normativen Vorgaben zur inklusionsgerechten Umgestaltung des Bildungssystems sowie zahlreiche damit verbundene Empfehlungen und administrative Vorgaben zum Umgang mit Heterogenität scheinen eher sukzessive in den Curricula von Lehramtsstudiengängen an deutschen Hochschulen verankert zu werden. Damit wird auch das Physik-Lehramtsstudium in Bezug auf die Ausprägung von Förderkompetenzen (angehender) Physiklehrkräfte häufig nur bedingt den unterrichtlichen Ansprüchen und Anforderungen für einen adäquaten Umgang mit heterogenen Ausgangslagen gerecht.

Im vorliegenden Beitrag werden binnendifferenzierende Maßnahmen als ein wichtiger Beitrag zum Umgang mit Heterogenität in der Schule hervorgehoben. Vertiefend werden in diesem Zusammenhang Befunde zur Binnendifferenzierung im Physikunterricht systematisch zusammengefasst. Darüber hinaus wird über den aktuellen Stand der curricularen Umsetzung differenzierungsbezogener Inhalte in der Physiklehrkräftebildung an deutschen Hochschulen berichtet und verschiedene, themenbezogene Desiderate abgeleitet.

Im Ausblick werden aktuelle, projektbezogene Forschungs- und Entwicklungsschwerpunkte vorgestellt.

1. Ausgangslage: Heterogenität

Die Diskrepanzen in Bezug auf die optimale Förderung von Schülerinnen und Schülern treten bei der Betrachtung des deutschen Schulsystems deutlich hervor. Einerseits hat sich Deutschland im Rahmen der UN-Behindertenrechtskonvention zur individuellen Förderung aller Kinder an einer gemeinsamen Schule verpflichtet (Bielefeldt, 2009). Andererseits ist das Schulsystem traditionell auf die Homogenisierung von Lerngruppen ausgerichtet (Gröhlich, Scharenberg & Bos, 2009). Dies zeigt sich unter anderem an der Vielfalt der weiterführenden Schulformen, der Nichtversetzung leistungsschwächerer Schüler:innen oder der Einteilung in Leistungs- oder Neigungskurse. Diesen Maßnahmen „liegt eine regelrechte ‚Sehnsucht nach der homogenen Lerngruppe‘ [...] und die Überzeugung zugrunde, dass sich der Unterrichtsstoff in homogenen Lerngruppen leichter auf ein mittleres Niveau ausrichten lasse, um Überforderung bei den Leistungsschwächeren und Unterforderung bei den Leistungsstärkeren zu vermeiden“ (Bos & Scharenberg, 2010, S. 73f.).

Diese Homogenisierungstendenz erweist sich jedoch als defizitär und illusorisch und ignoriert die vorherrschende Heterogenität in den Klassenzimmern – sei es in Bezug auf das Geschlecht, das (Lern-) Alter, die Ethnizität, sprachliche Fähigkeiten, das Vorwissen oder das Milieu, und damit verbundene lern- und leistungsbezogene Differenzen unter den Schülerinnen und Schülern (Budde, 2018; Kluczniok, Große & Roßbach, 2014).

Die Attribuierung der Begriffe erfolgt in diesem Zusammenhang vornehmlich dichotom. Die Homogenität von Lerngruppen wird häufig als erstrebenswert erachtet, wohingegen heterogenen Lerngruppen eine gewisse Abweichung von einer, ohne Begründung unterstellten, Norm zugewiesen wird. Heterogenität in der Schule wird als Belastung empfunden (Specht, 2009) und ist (noch) eher negativ konnotiert (Sliwka & Nguyen, 2017).

Dass die Ausgangslage in den Klassen jedoch äußerst heterogen ist, kann und darf nicht ignoriert werden, denn die Befunde der großen Vergleichsstudien der letzten drei Dekaden (PISA, TIMMS, IEA, IGLU) legen nahe, dass alle Homogenisierungsmaßnahmen gescheitert sind (Schulz-Heidorf, 2016). Stattdessen setzt sich ein gegenteiliger Trend fort: Die Heterogenität nimmt zu (Stanat, Schipolowski, Mahler, Weirich & Henschel, 2019).

Dies gilt nicht nur für alle Schulformen, sondern ebenso für alle Fächer (Schulz-Heidorf, 2016) und schließt somit auch den Physikunterricht ein.

Im Detail zeigt sich die kompetenzbezogene Unterschiedlichkeit der Schüler*innen im Fach in Abbildung 1. Dort sind die aggregierten Befunde von 50 neunten Klassen (Physikunterricht Sekundarschule) dargestellt, die im Rahmen der IPN-Videostudie hinsichtlich verschiedener Schwerpunkte untersucht wurden (Seidel et al., 2006).

| Kompetenzprofile der Schüler | Kognitive Fähigkeiten | Physikwissen | Interesse an Physik | Selbstkonzept in Physik | Prozent Gesamtgruppe | Prozent Mädchen | Prozent Jungen |
|------------------------------|-----------------------|--------------|---------------------|-------------------------|----------------------|-----------------|----------------|
| „Stark“ | + | + | + | + | 24 | 27 | 73 |
| „Uninteressiert“ | + | + | - | o | 12 | 62 | 38 |
| „Unterschätzend“ | + | + | o | - | 29 | 55 | 45 |
| „Überschätzend“ | - | o | + | + | 16 | 36 | 64 |
| „Schwach“ | - | - | - | - | 19 | 64 | 36 |

+ Hohe Ausprägung o Mittlere Ausprägung - Niedrige Ausprägung

Abb. 1: Schüler:innen-Kompetenzprofile im Physikunterricht (VBV, 2007; nach Seidel, 2006)

Es zeigt sich, dass innerhalb einer ‘Durchschnitts-klasse’ erhebliche Unterschiede in Bezug auf die kognitiven Fähigkeiten, das physikalische Fachwissen sowie das Interesse an und das Selbstkonzept in Physik bestehen. Bei genauer Betrachtung wird deutlich, dass dies nicht allein für den Vergleich zwischen den hier dargestellten fünf Kompetenzprofilen gilt, sondern auch individuell für alle Schülerinnen und Schüler (ebd.).

Aus diesem Grund müssen Physiklehrkräfte in die Lage versetzt werden mit Heterogenität angemessen umzugehen, z. B. durch den Einsatz organisatorischer, didaktischer und methodischer Maßnahmen, durch die individuell unterschiedliche Lernsituationen geschaffen werden, um optimale Lernbedingungen für alle Schüler*innen zu gewährleisten (Müller, 2016).

2. Umgang mit Heterogenität

Antworten auf die Frage, wie Unterricht geplant und durchgeführt werden kann, um der heterogenen Ausgangslage gerecht(er) zu werden, werden aus wissenschaftlicher Sicht seit langem gegeben. Nicht nur in der Bildungsforschung (i. w. S.) (Reintjes, Kunze & Ossowski, 2019; Wagner, 2019; Budde, 2018; Sumida, 2017; Vock & Gronostaj, 2017; Müller, 2016; Bohl et al. 2012; Hoyer, 2012; Kelemen, 2010; Helmke, 2009; Wischer, 2009; Paradies, 2008; Schweizer, 2006; Tomlinson, 2005; Brügelmann, 2002; Schwarzmann, 1991), sondern auch in der Physikdidaktik (Wodzinski, 2016, 2015; Kulgemeyer, 2014; Bruggmann Minnig, 2011; Hepp & Lichtenstern, 2010; Forschergruppe Uni Kassel, 2007; Wodzinski & Wodzinski, 2007) wird ein binnendifferenzierter Unterricht gefordert, um „eine optimale Passung der Unterrichtsinhalte und -angebote an die Lernausgangslage von Schülerinnen und Schülern zu erreichen [...]“ (Paradies, 2008, S. 65).

Diesen Erkenntnissen folgend wurde nicht nur für die Schule die Umsetzung einer inklusiven Bildung und begabungsgerechten Förderung durch die Kultusministerkonferenz gefordert (KMK, 2009, 2011), sondern auch in den Standards für die Lehrkräftebildung (KMK, 2008, 2014, 2015) festgelegt, welche problembezogenen Inhalte im Lehramtsstudium relevant bzw. welche Kompetenzziele zu erreichen sind: z. B.

der Umgang mit Heterogenität im Physikunterricht, Physikunterricht in inklusiven Lerngruppen (KMK 2008, 2014); Inklusion und professioneller Umgang mit Heterogenität, Entwicklung und Implementierung von Konzepten differenzierenden Unterrichts (KMK 2015). Ähnliche Forderungen wurden durch die HRK (2013) und das iPEGE (2009) formuliert.

Da aus wissenschaftlicher und bildungsadministrativer Sicht die Weichen für einen binnendifferenzierten Physikunterricht bereits gestellt sind, scheint es nun ratsam, den evaluativen Fokus auf den damit beabsichtigten Impact in Bezug auf die Ausrichtung und Umsetzung von Physikunterricht zu legen.

3. Physikunterricht in Deutschland – ausgewählte Befunde

Einen seltenen Einblick in den Unterrichtsalltag des Faches Physik gewährt die bereits angesprochene IPN-Videostudie (Seidel et al., 2006), bei der 50 zufällig ausgewählte Klassen aus vier Bundesländern während einer Doppelstunde im Physikunterricht der neunten Jahrgangsstufe begleitet wurden. Der durchschnittliche Physikunterricht in Deutschland ist demnach durch eine sehr starke Lehrkräftezentrierung geprägt (Median SuS-Arbeitsphasen: 8.6 min). Den Schüler*innen bleibt kaum Zeit für Rückfragen sowie für selbstständiges Experimentieren. Fehler werden selten thematisiert und die ‚Lernbegleitung‘ wird durch ein fragend-entwickelndes Unterrichtsgespräch (80 % der Zeit spricht die Lehrkraft) dominiert (ebd.).

Darüber hinaus muss dem Physikunterricht eine gewisse Skripthaftigkeit attestiert werden, die über die Schulformen und Klassenstufen hinweg äußerst ähnlich ist: Häufig wird während einer Einführung die Stunde mit der Demonstration eines Phänomens oder einer entsprechenden Fragestellung begonnen. Es folgt ein fragend-entwickelndes Unterrichtsgespräch, das die Erschließung von Lösungsansätzen oder das Bilden von Hypothesen zum Ziel hat. In einer Phase der Überprüfung wird anschließend zumeist in Demonstrationsexperimenten (evtl. unter der Mitwirkung von Schülerinnen und Schülern) die Hypothese ‚belegt‘ oder der vorher postulierte Lösungsansatz bestätigt. Danach werden zur Sicherung die wichtigsten Ergebnisse zentral an der Tafel z. T. unter Mitwirkung der Schülerinnen und Schüler gesammelt und in die Hefte übernommen. Sollte die Zeit es zulassen wird die Stunde mit Anwendungsbeispielen oder weiterführenden Experimenten beendet (Stäudel, 2006; Leisen, 2003).

Auch aktuellere Befunde zeichnen ein ähnlich ‚ernüchterndes‘ Bild. So identifiziert die DPG u. a. folgende Problemkreise für den Physikunterricht:

- „Angestrebte Kompetenzen werden bei Weitem nicht erreicht
- Fehlende Vernetzung des Stoffes, rein additives Lernen
- Geringes Interesse (Physik ist besonders unbeliebt) [...]

- Mädchen trauen sich zu wenig zu [...]“ (DPG, 2016, S. 7)

Resümierend lässt sich festhalten, dass der Physikunterricht in Deutschland wenig schüler:innen-orientiert und kaum differenziert ist und damit die Ansprüche an einen modernen, an einer heterogenen Schüler:innenschaft orientierten Unterricht vermissen lässt. Die Herausforderungen sind groß und die Umsetzung fordert von allen beteiligten Akteur:innen ein verstärktes Engagement, denn die „verbreitete Gleichförmigkeit des Unterrichts in Deutschland bedeutet letztlich das größte Hindernis für produktive Veränderungen: Mehr oder weniger in allen Köpfen (Lehrkräfte, Eltern, Administration, Politik und auch bei den Schülern) existiert eine selbstverständliche Grundvorstellung von Unterricht, die sich völlig unzureichend für eine generelle, besonders aber die individuelle Förderung eignet.“ (VBV, 2007, S. 81)

Die hier zitierten Studien lassen eher indirekt auf die häufig mangelnde Binnendifferenzierung von Physikunterricht schließen. Aus diesem Grund wird im folgenden Abschnitt versucht, konkrete Befunde zum Thema zusammenzustellen.

4. Binnendifferenzierung im Physikunterricht

Wodzinski (2015/2016) konstatiert in zwei Überblicksartikeln, dass nur wenige physikdidaktische Konzepte und Befunde vorhanden sind und dass kaum bis keine Befunde zu Differenzierungsmaßnahmen im Physikunterricht vorliegen.

Dies wurde zum Anlass genommen, die aktuelle Befundlage zur Thematik systematisch zu untersuchen (Campbell, Taylor, Bates & O’Connor-Bones, 2018).

Im Rahmen einer Abschlussarbeit (Rüge, 2020) wurde für folgende Forschungsfragen (u. a.) ein systematisches Literaturreview durchgeführt:

F1. Wie häufig nutzen Physiklehrkräfte binnendifferenzierende Maßnahmen?

F2. Welche binnendifferenzierenden Maßnahmen wenden Physiklehrkräfte an?

F3. Welche Einstellungen haben Physiklehrkräfte gegenüber Binnendifferenzierung?

Dabei wurden verschiedene Datenbanken in Bezug auf Veröffentlichungen bzw. Befunde im Zusammenhang mit Binnendifferenzierung und Physikunterricht, unter Verwendung vorher festgelegter Suchbegriffe und Kriterien, durchsucht (GDCP, PhyDid, Researchgate, FIS Bildung, Google Scholar). Dreizehn Publikationen haben den Ausschlusskriterien standgehalten und wurden zur Beantwortung der Fragen herangezogen. Auf dieser Grundlage konnte keine der Forschungsfragen zufriedenstellend beantwortet werden. Keine der Studien konnte aufzeigen, in welchem Umfang Physiklehrkräfte binnendifferenzierende Maßnahmen in ihren Unterricht einfließen lassen

(F1). Für die Beantwortung der Fragen F2 und F3 kann auf die Arbeit von Bruggmann Minnig (2011), als am besten nutzbares Suchergebnis im Rahmen des Reviews, verwiesen werden. Dort wurden Physiklehrkräfte interviewt (N=34) und Physikunterricht videographiert. Die qualitative Vorgehensweise ermöglicht wichtige Einblicke, erlaubt jedoch keine Generalisierung – auch, weil die Ergebnisse zur Binnendifferenzierung nur einen der Schwerpunkte der Studie bilden.

Die drei hier vorgestellten Fragen bleiben demnach weiterhin offen.

5. Binnendifferenzierung in Hochschulcurricula

Eine wichtige Voraussetzung für die Umsetzung binnendifferenzierender Maßnahmen im Unterricht sind unter anderem die entsprechenden Kompetenzen und Einstellungen der Physiklehrkräfte. Eine Entwicklung hin zu den gewünschten Ausprägungen bzw. eine Verfestigung ebensolcher sollte nach Möglichkeit bereits im Studium erfolgen. Dementsprechende Inhalte müssten folglich in den Curricula der lehrkräftebildenden Hochschulen (Physik) verankert sein.

Dieser Argumentation folgend sollten, im Rahmen einer im Projekt LemaS-DiaMINT Physik¹ durchgeführten Studie, inklusionsorientierte Inhalte in den Curricula von Hochschulen, an denen Lehramtsstudiengänge im Fach Physik angeboten werden, identifiziert werden.

Für die Studie wurden zunächst Hochschulen, an denen ein Lehramtsstudium Physik aufgenommen werden kann, via ‚Hochschulkompass‘ der HRK identifiziert. Die Datengrundlage für die weiteren Analysen bildeten dann die Studien- und Prüfungsordnungen sowie die Modulhandbücher für das Lehramtsstudium Physik (Hauptfach) von 56 deutschen Hochschulen, die im Wintersemester 2019/20 Gültigkeit besaßen. Bei der Analyse wurde auf das Gesamtstudium (Ba/Ma oder Staatsexamen) fokussiert.

Die ausführliche Beschreibung der Vorgehensweise ist bei Dohrmann, Ghassemi & Nordmeier (2021) zu finden.

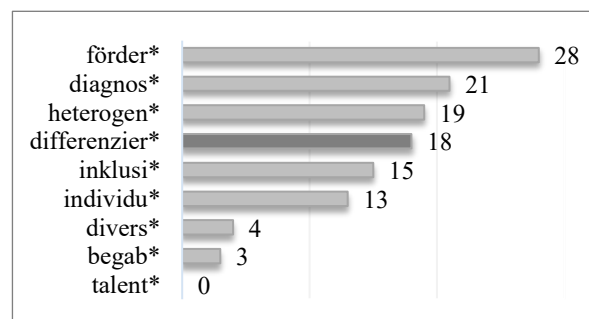


Abb. 2: Häufigkeit der Suchbegriffe (Anzahl Hochschulen je Suchbegriff)

¹ Das Projekt LemaS-DiaMINT-Physik wird im Rahmen des Verbundprojekts *LemaS* durch das Bundesministerium für Bildung

und Forschung gefördert. (<https://www.lemas-forschung.de/projekte/teilprojekt-11>)

In Abbildung 2 wird die Anzahl der Hochschulen je Suchbegriff dargestellt. An lediglich 19 Standorten lassen sich in den Curricula Inhalte zum Thema *Umgang mit Heterogenität* finden (Bsp.: „[...] Planung und Analyse von Physikunterricht unter besonderer Berücksichtigung von Kompetenzorientierung, Heterogenität und Genderaspekten“. *Differenzierungsbezogene* Inhalte können an 18 Standorten gefunden werden (Bsp.: „[...] zielgruppenorientierte und differenzierte Lernarrangements konzipieren und reflektieren können.“), gefolgt von Inhalten zum Thema *Individualisierung* (13). In den Curricula von 17 der untersuchten Hochschulen wurden keine der in Abb. 2 dargestellten Suchbegriffe gefunden.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass zwischen den Hochschulen erhebliche Unterschiede in Bezug auf den Umfang und die inhaltliche Ausrichtung der curricularen Verankerung inklusionsorientierter und differenzierungsbezogener Inhalte in der Fachdidaktik Physik bestehen. Zumeist sind nur einzelne Aspekte zu finden. Lediglich 18 Lehramtsstudiengänge Physik adressieren explizit den Themenbereich Differenzierung.

Hohenstein et al. (2014) stellen ähnliche Ergebnisse in Bezug auf die curriculare Umsetzung der Standards in den Bildungswissenschaften fest und schließen daraus, dass die länderübergreifende Gültigkeit der Standards nicht erfüllend eingehalten sei. Liebner und Schmaltz (2021) untersuchten die Inklusionsorientierung in den Bildungswissenschaften (alle dt. Hochschulen in der Lehrkräftebildung) und stellten ebenfalls fest, dass zwischen den Hochschulen erhebliche Unterschiede in Umfang und inhaltlicher Ausrichtung der curricularen Verankerung inklusionsorientierter (und damit auch differenzierungsbezogener) Inhalte bestehen.

6. Zusammenfassung

Im Beitrag wurde gezeigt, dass der Physikunterricht in Deutschland weitgehend lehrkraftzentriert und kaum schüler:innenorientiert durchgeführt wird. Dabei folgt er weitgehend einem impliziten, sich wiederholenden ‚Skript‘ und bleibt hinter seinen eigenen Ansprüchen zurück.

Zwar werden binnendifferenzierende Maßnahmen als adäquates Mittel zum Umgang mit (einer zunehmend größer werdenden) Heterogenität vorgeschlagen und auch vorgeschrieben, dennoch liegen so gut wie keine Befunde zum Umfang des Einsatzes binnendifferenzierender Maßnahmen im Physikunterricht, zum physikdidaktischen Wissen in Bezug auf Binnendifferenzierung oder den entsprechenden Einstellungen von Physiklehrkräften vor.

Auch während des Studiums scheint ein nicht unerheblicher Teil der Physik-Lehramtsstudent:innen in den physikdidaktischen Lehrveranstaltungen mit dem Thema nicht in Berührung zu kommen.

Es konnte gezeigt werden, dass einerseits Handlungsbedarf bei der curricularen Verankerung und bei der Umsetzung differenzierungsbezogener Inhalte im Studium sowie bei der Entwicklung entsprechender Konzepte zur Umsetzung im Unterricht besteht. Andererseits zeigt sich ein nicht unerheblicher Forschungsbedarf in Bezug auf den Einsatz, die Einsatzdauer und die Wirksamkeit sowie das Wissen über und die Einstellungen gegenüber binnendifferenzierender Maßnahmen an den Schulen bzw. unter den Physiklehrkräften.

7. Ausblick

Im Rahmen der LemaS-Initiative sollen im Teilprojekt DiaMINT Physik (s. o.) die Physiklehrkräfte der teilnehmenden Projektschulen zu ihren Einstellungen gegenüber Binnendifferenzierung (Letzel, Pozas & Schneider, 2020) sowie zur Häufigkeit des Einsatzes binnendifferenzierender Maßnahmen (Quellenberg, 2009) quantitativ befragt werden.

Darüber hinaus wurden und werden Lernaufgaben (z. T. unter Mitwirkung der Lehrkräfte der LemaS-Projektschulen) entwickelt, die nicht nur den leistungsstärkeren Schüler:innen zugutekommen, sondern ebenso die Lern- und Leistungsvoraussetzungen aller Schülerinnen und Schüler im Physikunterricht adäquat adressieren sollen. Eine entsprechende Evaluation der entwickelten Aufgaben ist in Planung (FBLA-S: Transfer, Herausforderung, Klarheit, Autonomie, Zufriedenheit, Eingebundenheit, Interesse) (Zeldovich, Michenthaler & Scheuch, 2017).

8. Literatur

- Bielefeldt, H. (2009). *Zum Innovationspotenzial der UN-Behindertenrechtskonvention (3. aktualisierte und erweiterte Auflage)*. Berlin: Deutsches Institut für Menschenrechte.
- Bohl, Thorsten; Bönsch, Manfred; Trautmann, Matthias; Wischer, Beate (2012): *Binnendifferenzierung. Ein altes Thema in der aktuellen Diskussion. Zur Einleitung*. In: Thorsten Bohl, Manfred Bönsch, Matthias Trautmann und Beate Wischer (Hg.): *Binnendifferenzierung. Teil 1: Didaktische Grundlagen und Forschungsergebnisse zur Binnendifferenzierung im Unterricht*. 3. unv. Aufl. Immenhausen bei Kassel: Prolog-Verlag (Reihe: *Theorie und Praxis der Schulpädagogik*, 17).
- Bos, W. & Scharenberg, K. (2010). *Lernentwicklung in leistungshomogenen und -heterogenen Schulklassen*. In W. Bos, E. Klieme & O. Köller (Hrsg.), *Schulische Lern-gelegenheiten und Kompetenzentwicklung. Festschrift für Jürgen Baumert* (S. 173–194). Münster: Waxmann
- Brügelmann, H. (2002). *Heterogenität, Integration, Differenzierung – Befunde der Forschung, Perspektiven der Pädagogik*. In F. Heinzel & A. Prenzel (Hrsg.), *Heterogenität, Integration und Differenzierung in der Primarstufe* (S. 31-43). Opladen: Leske + Budrich.

- Bruggmann Minnig, M. (2011). Innere Differenzierung im Physikunterricht. Basel: Universität Basel.
- Budde, Jürgen (2018): Heterogenität in Schule und Unterricht: Online verfügbar unter <https://www.bpb.de/lernen/digitale-bildung/werkstatt/266110/heterogenitaet-in-schule-und-unterricht>, zuletzt aktualisiert am 17.12.2020.
- Campbell, A.; Taylor, B.; Bates, J.; O'Connor-Bones, U. (2018). Developing and Applying a Protocol for a Systematic Review in the Social Sciences. In: *New Review of Academic Librarianship*, 24 (1), S. 1 – 22.
- Dohrmann, René, Ghassemi, NoVID; Nordmeier, Volkhard (2021): Curriculare Umsetzung einer inklusionsorientierten Physiklehrer*innenbildung in Deutschland. In: Habig, S. (Hg.): *Naturwissenschaftlicher Unterricht und Lehrerbildung im Umbruch? Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung virtuell*, S. 294-297. Universität Duisburg-Essen.
- DPG (2016): Physik in der Schule. Zusammenfassung. Eine Studie der Deutschen Physikalischen Gesellschaft e. V. Online verfügbar unter <https://www.dpg-physik.de/veroeffentlichungen/publikationen/studien-der-dpg/pix-studien/studien/schulstudie-2016/schulstudie-zusammenfassung.pdf>, zuletzt aktualisiert am 16.12.2021.
- Forschergruppe - Universität Kassel (2007): Schritt für Schritt zur Lösung. Differenzierung durch Aufgaben mit gestuften Lernhilfen. In: *Unterricht Physik* 18 (99/100).
- Gröhlich, C., Scharenberg, K. & Bos, W. (2009). Wirkt sich Leistungsheterogenität in Schulklassen auf den individuellen Lernerfolg in der Sekundarstufe aus? *Journal for Educational Research Online*, 1 (1), 86–105.
- Helmke, A. (2009). Unterrichtsqualität und Lehrerprofessionalität. Diagnose, Evaluation und Verbesserung des Unterrichts. Seelze-Velber: Kallmeyer.
- Hepp, Ralph; Lichtenstern, Hedwig (2010): Verschiedene Ziele - verschiedene Aufgaben. Vielfältige Aufgabenformate zur Unterrichtsentwicklung nutzen. In: *Naturwissenschaften im Unterricht Physik* (117/118), S. 4–8.
- Hohenstein, F., Zimmermann, F., Kleickmann, T., Köller, O. & Möller, J. (2017). Sind die bildungswissenschaftlichen Standards für die Lehramtsausbildung in den Curricula der Hochschulen angekommen? *Zeitschrift für Erziehungswissenschaften*, 497-507.
- Hoyer, Tim (2012). Begabungsbegriff und Leistung. Eine pädagogische Annäherung. In: Armin Hackl, Claudia Pauly, Olaf Steenbeck und Gabriele Weigand (Hg.): *Werte schulischer Begabtenförderung. Begabung und Leistung*. Frankfurt a. M. (Karg Hefte. Beiträge zur Begabtenförderung und Begabtenforschung, 4), S. 14–22.
- iPEGE (2009): Professionelle Begabtenförderung - Empfehlungen zur Qualifizierung von Fachkräften in der Begabtenförderung. Salzburg: Eigenverl. Österr. Zentrum für Begabtenförderung und Begabungsforschung (ÖZBF).
- Jungkamp, B. (2017). Vorwort. In: M. Vock; A. Gronostaj. *Umgang mit Heterogenität in Schule und Unterricht*. 1. Auflage. Berlin: Friedrich-Ebert-Stiftung, Abt. Studienförderung (Schriftenreihe des Netzwerk Bildung, 40). S. 5-8.
- Kelemen, Gabriela (2010): A personalized model design for gifted children' education. In: *Procedia Social and Behavioral Sciences* (2), S. 3981–3987.
- Kluczniok, K., Große, C. & Roßbach, H.-G. (2014). Heterogene Lerngruppen in der Grundschule. In W. Einsiedler, M. Götz, A. Hartinger & F. Heinzel (Hrsg.), *Handbuch Grundschul-pädagogik und Grundschuldidaktik* (4. überarbeitete Aufl., S. 194–200). Stuttgart: UTB.
- KMK (2015): Förderstrategie für leistungsstarke Schülerinnen und Schüler. Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 11.06.2015. Online verfügbar unter https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/pdf/350-KMK-TOP-011-Fu-Leistungsstarke_-_neu.pdf, zuletzt geprüft am 28.01.2019.
- KMK (2009): Grundsatzposition der Länder zur begabungsgerechten Förderung. Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 10.12.2009. Online verfügbar unter https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2009/2009_12_12-Begabungsgerechte-Foerderung.pdf, zuletzt geprüft am 28.01.2019.
- KMK & HRK (2015). *Lehrerbildung für eine Schule der Vielfalt*. Gemeinsame Empfehlung von Hochschulrektorenkonferenz und Kultusministerkonferenz. Online verfügbar unter http://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2015/2015_03_12-Schule-der-Vielfalt.pdf, zuletzt geprüft am 07.10.2020.
- Kulgemeyer, C. (2014): Heterogenität im Physikunterricht. In: *MINT-Zirkel*, 3 (11/12), S. 10.
- Leisen, J. (2003): Wider das Frage- und Antwortspiel. Neue Inhalte aufgabengeleitet entwickeln. In: Ball, H. u. a. (Hrsg.). *Friedrich Jahresheft „Aufgaben“*. Seelze: Friedrich.
- Letzel, V.; Pozas, M.; Schneider, C. (2020): 'It's all about the attitudes!' – Introducing a scale to assess teachers' attitudes towards the practice of differentiated instruction. In: *International Journal of Inclusive Education*, S. 1–15.
- Liebner, S. and Schmaltz, C. (2021), "Teacher Training for Inclusive Education in Germany: Status Quo and Curricular Implementation", Goldan,

- J., Lambrecht, J. and Loreman, T. (Ed.) *Resourcing Inclusive Education (International Perspectives on Inclusive Education, Vol. 15)*, Emerald Publishing Limited, pp. 133-145.
- Müller, Martina (2016): *Begabungsförderung in der Lehrer/innenbildung - Voraussetzungen und Rahmenbedingungen. Eine empirische Untersuchung an den pädagogischen Hochschulen Österreichs*. Wien: LIT (Pädagogische Professionalisierung und Schule, Band 3).
- Paradies, Liane (2008): *Innere Differenzierung*. In: Ingrid Kunze und Claudia Solzbacher (Hg.): *Individuelle Förderung in der Sekundarstufe I und II*. 4., unveränd. Aufl. Baltmannsweiler: Schneider Hohengehren, S. 65–74.
- Quellenberg, H. (2009): *Studie zur Entwicklung von Ganztagschulen (StEG) - ausgewählte Hintergrundvariablen, Skalen und Indices der ersten Erhebungswelle*. Frankfurt am Main: Gesellschaft zur Förderung Pädagogischer Forschung [Materialien zur Bildungsforschung, 24]. Online verfügbar unter <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0111-opus-31286>
- Reintjes, Christian; Kunze, Ingrid; Ossowski, Ekkehard (2019): *Editorial: Begabungsförderung und Professionalisierung – Befunde, Perspektiven, Herausforderungen*. In: Christian Reintjes, Ingrid Kunze und Ekkehard Ossowski (Hg.): *Begabungsförderung und Professionalisierung. Befunde, Perspektiven, Herausforderungen*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt, Julius, 7-18.
- Rüge, M. (2020): *Binnendifferenzierung aus der Sicht von Physiklehrkräften. Eine Systematic Review über den Forschungsstand über Anwendung, Wissen und Einstellungen in Bezug auf Binnendifferenzierung*. Masterarbeit. Freie Universität Berlin.
- Schwarzmann, Peter (1991): *Der Schülerversuch als Möglichkeit der Begabtenförderung in der Hauptschule*. In: Klaus Hartmut Wiebel (Hg.): *Zur Didaktik der Physik und Chemie. Probleme und Perspektiven*. Tagung für Didaktik der Physik/Chemie. Weingarten, 1990. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik. Alsbach: Leuchtturmverlag, S. 324–326.
- Schweizer, Karl (2006): *Leistung und Leistungsdiagnostik*. Heidelberg: Springer.
- Seidel, T. (2006): *The role of student characteristics in studying micro teaching-learning environments*. *Learning Environ Res* 9, 253–271 (2006).
- Seidel, Tina; Prenzel, Manfred; Rimmel, Rolf; Dalehefte, Inger Marie; Herweg, Constanze; Kobarg, Mareike; Schwindt, Katharina (2006): *Blicke auf den Physikunterricht. Ergebnisse der IPN Videostudie*. In: *Zeitschrift für Pädagogik* 52 (6), S. 799–821.
- Specht, W. (Hrsg.) (2009). *Nationaler Bildungsbericht Österreich 2009*. Graz: Leykam
- Stanat, P.; Schipolowski, S.; Mahler, N.; Weirich, S.; Henschel, S. (Hrsg.) (2019): *IQB-Bildungstrend 2018. Mathematische und naturwissenschaftliche Kompetenzen am Ende der Sekundarstufe I im zweiten Ländervergleich*. Münster: Waxmann.
- Stäudel, Lutz (2006): *Von der Testaufgabe zur Lernaufgabe*. In: Ulrich Steffens und Rudolf Messner (Hg.): *PISA macht Schule. Konzeptionen und Praxisbeispiele zur neuen Aufgabenkultur*. 1. Aufl. Fulda: Institut für Qualitätsentwicklung (Folgerungen aus PISA für Schule und Unterricht, 3), S. 181–240.
- Sumida, M. (2017). *Science Education for gifted Learners*. In K. S. Taber & B. Akpan (Hrsg.), *Science Education. An International Course Companion (New Directions in Mathematics and Science Education, S. 479-491)*. Rotterdam: SensePublishers.
- Sliwka, Anne; Nguyen, Thuy Loan (2017): *Zur Bedeutung der schulischen Organisation und der Kompetenzen von Lehrkräften für die Talentidentifikation und -förderung*. In: Ulrich Trautwein und Marcus Hasselhorn (Hg.): *Begabungen und Talente*. Göttingen: Hogrefe (Jahrbuch der pädagogisch-psychologischen Diagnostik. Tests und Trends, 15).
- Stanat, P.; Schipolowski, S.; Mahler, N.; Weirich, S.; Henschel, S. (2019): *IQB-Bildungstrend 2018. Mathematische und naturwissenschaftliche Kompetenzen am Ende der Sekundarstufe I im zweiten Ländervergleich*. Münster: Waxmann.
- Sumida, Manabu (2017): *Science Education for gifted Learners*. In: Keith S. Taber und Ben Akpan (Hg.): *Science Education. An International Course Companion*. Rotterdam: SensePublishers (New Directions in Mathematics and Science Education), S. 479–491.
- Tomlinson, C. A. (2005). *Grading and Differentiation: Paradox or Good Practice? Theory Into Practice*, 44(3), 262-269
- Vereinigung der Bayerischen Wirtschaft (VBW) (Hg.) (2007): *Bildungsgerechtigkeit. Jahresgutachten 2007*. Aktionsrat Bildung. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Vock, M.; Gronostaj, A. (2017): *Umgang mit Heterogenität in Schule und Unterricht*. 1. Auflage. Berlin: Friedrich-Ebert-Stiftung, Abt. Studienförderung (Schriftenreihe des Netzwerk Bildung, 40).
- Wagner, Gundula (2019): *Begabte Grundschul Kinder fördern. Eine empirisch deskriptive Studie zu individuellen Merkmalen und situativen Bedingungen*. In: Hannelore Knauder und Christa-Monika Reisinger (Hg.): *Individuelle Förderung im Unterricht. Empirische Befunde und Hinweise für die Praxis*. 1. Auflage. Münster: Waxmann, S. 85–98.
- Wischer, B. (2009): *Der Diskurs um Heterogenität und Differenzierung. Beobachtungen zu einem*

- schulpädagogischen „Dauerbrenner“. In B. Wischer & K.-J. Tillmann (Hrsg.), *Erziehungswissenschaft auf dem Prüfstand* (S. 69-93). Weinheim: Juventa
- Wodzinski, R. (2016): Heterogenität im Physikunterricht Fachdidaktische Herausforderungen. In: *Plus Lucis*, 2, S. 2 - 5.
- Wodzinski, R. (2015): Leistungsheterogenität im naturwissenschaftlichen Unterricht – methodische Ansätze und empirische Befunde. In: Bernholt, S. (Hrsg.): *Heterogenität und Diversität – Vielfalt der Voraussetzungen im naturwissenschaftlichen Unterricht*. Kiel: IPN, S. 31 - 42.
- Wodzinski, R.; Wodzinski, C. T. (2007): Ansätze für Differenzierung im Physikunterricht. Diagnose von Differenzen und mögliche Konsequenzen für den Unterricht. In: *Naturwissenschaften im Unterricht Physik (99/100)*, S. 10–15.
- Zeldovich, M., Michenthaler, J. & Scheuch, M. (2017): Fragebogen zur Beurteilung der Lehr- und Lernaufgaben für SchülerInnen (FBLA-S). In T. Haase (Hrsg.), *Forschung zu kompetenzorientierten Lernaufgaben in landwirtschaftlichen Fachschulen (Zugänge, Sonderausgabe, S. 31-44)*. Sonderausgabe des Forschungsberichts der Hochschule für Agrar- und Umweltpädagogik

Förderung

Das Projekt LemaS-DiaMINT Physik ist Teil der LemaS-Initiative und wird aus mit Mitteln des BMBF finanziert.

Empirische Forschung im Erlanger SchülerForschungsZentrum ESFZ

- Erste Ergebnisse einer explorativen Fragebogenstudie -

Angela Fösel*, Philipp Bitzenbauer*

*Didaktik der Physik, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Staudtstraße 7, 91058 Erlangen
angela.foesel@fau.de

Kurzfassung

Seit etwas mehr als 10 Jahren gibt es das Erlanger SchülerForschungsZentrum ESFZ (<https://esfz.nat.uni-erlangen.de/>), verortet am Department Physik der Friedrich-Alexander-Universität (FAU) Erlangen-Nürnberg. Schülerinnen und Schüler, die Lust und Spaß am Forschen und Tüfteln an eigenen Projektideen aus dem Bereich Naturwissenschaft und Technik haben, finden hier Unterstützung in einem wissenschaftlich-professionellen Rahmen: In einwöchigen Forschungscamps nutzen bis zu 25 Jugendliche die zur Verfügung gestellte Infrastruktur, um über den Unterricht hinaus unter Betreuung von studentischen Tutor*innen und Wissenschaftler*innen an eigenen Projektideen aus Naturwissenschaft und Technik zu forschen.

Im Rahmen einer explorativen Fragebogenstudie soll erhoben werden, wie Schülerinnen und Schüler, die bereits an ESFZ-Forschungscamps teilgenommen haben, die Betreuung in den Camps erlebt haben, wie sehr sie sich in das Forschungsleben eingebunden fühlten, und welche Fähigkeiten und Fertigkeiten ihrer Meinung nach in den Camps erlernt und gefördert wurden.

Im Beitrag werden der für die Erhebung konzipierte Online-Fragebogen und auch die Modalitäten der Durchführung vorgestellt. Die Ergebnisse einer ersten Pilotstudie werden präsentiert, und es werden auch mögliche Forschungsfragen für daran anknüpfende Untersuchungen im Rahmen der empirischen Begleitforschung zum Erlanger SchülerForschungsZentrum diskutiert.

1. Konzept des Erlanger SchülerForschungsZentrums und Motivation für empirische Begleitforschung

Seit etwas mehr als zehn Jahren gibt es das Erlanger SchülerForschungsZentrum ESFZ¹, verortet am Department Physik der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU). Schülerinnen und Schüler ab 14 Jahren, die Lust und Spaß am Forschen und Tüfteln an eigenen Projektideen aus dem Bereich Naturwissenschaft und Technik haben, finden hier Unterstützung in einem wissenschaftlich professionellen Rahmen, um sich über den Unterricht hinaus mit ihren eigenen MINT-Forschungsprojekten zu beschäftigen. Das ESFZ veranstaltet in der Regel² viermal jährlich in den Ferien einwöchige Forschungscamps,

an denen bis zu 25 Jugendliche teilnehmen können. Eine exzellente Infrastruktur zum Forschen an eigenen Projektideen ist vorhanden. Studentische Tutor*innen, Wissenschaftler*innen und Professor*innen betreuen die Schüler*innen (Fösel et al., 2010; Fösel & Anton, 2019).

Das Erlanger SchülerForschungsZentrum wurde von Professor*innen und Wissenschaftler*innen des Departments Physik der FAU ins Leben gerufen (Fösel & Anton, 2021). Es wird als eigenständige Einrichtung der Universität betrieben und finanziert, wobei die finanziellen Mittel für den laufenden Betrieb zu großen Teilen von externen Förderern und Partnern³ kommen und von der Leitung des ESFZ eingeworben werden. Das ESFZ ist so in der Lage, für die

¹ <https://esfz.nat.uni-erlangen.de/>

² Die Auswirkungen der Corona-Pandemie lassen aktuell keine Forschungscamps in den Räumlichkeiten der Universität zu. Schüler*innen mit eigenen Projektideen bekommen dennoch Unterstützung durch das ESFZ: Erfahrene studentische Tutor*innen des Erlanger SchülerForschungsZentrums unterstützen die Jugendlichen online beim Experimentieren (für Details

zum Angebot siehe <https://esfz.nat.uni-erlangen.de/esfzweb/2020/10/05/corona-kein-forschungscamp-wir-unterstuetzen-dich-trotzdem/>) und werden so zu persönlichen Begleitenden beim Forschen und Tüfteln.

³ <https://esfz.nat.uni-erlangen.de/esfzweb/spenden-und-sponsoren/>

Teilnehmenden die Kosten für das gesamte Forschungscamp, abgesehen von An- und Abreise, zu übernehmen, wodurch ein Beitrag zur Bildungsgerechtigkeit geleistet wird.

Rückmeldungen aus anonymen Fragebögen am Ende der Forschungswochen zeigen, dass das besondere Konzept des ESFZ bei den Jugendlichen sehr großen Anklang findet (vgl. Abb. 1).



Abb. 1: Rückmeldungen aus anonymen Fragebögen.

Das ESFZ scheint aus Sicht der Jugendlichen also in der Tat eine Einrichtung zu sein, die ihnen sehr gute Möglichkeiten bietet, eigene Projektideen aus Physik und Technik zu verwirklichen. Wissenschaftlich fundiert sind die Rückmeldungen allerdings nicht.

Empirische Begleitforschung zum Erlanger SchülerForschungsZentrum hilft nun, wissenschaftlich fundiert objektive Informationen über Fähigkeiten und Fertigkeiten der ESFZ-Teilnehmer*innen einerseits und deren Ansichten zum Konzept des ESFZ andererseits zu erhalten.

Informationen über experimentelle Fähigkeiten und Fertigkeiten liegen bereits vor; sie sind Ergebnisse einer Untersuchung aus den Jahren 2016-2019:

Die subjektive Wahrnehmung, dass ESFZ-Teilnehmer*innen – neben z. B. hoher Motivation,

großem Interesse und einem ausgeprägten Durchhaltevermögen – durch gute oder sehr gute experimentelle Fähigkeiten und Fertigkeiten charakterisiert werden können, legte die Forschungsfrage nahe: Wie gut können die ESFZ-Teilnehmer*innen tatsächlich experimentieren, d.h. Fragestellungen entwickeln, Hypothesen bilden, Versuchsanordnungen funktionsfähig aufbauen, beobachten bzw. messen, Daten aufbereiten und sachgerechte Schlüsse ziehen?

Um dieser Frage nachzugehen, wurde in den Jahren 2016-2019 ein computerbasiertes Online-Testverfahren eingesetzt, das experimentelle Teilkompetenzen bezüglich dreier Bereiche des Experimentierprozesses erfasst: Planung, Durchführung und Auswertung von Experimenten. Das verwendete Testverfahren (vgl. Theyßen et al., 2010) wurde im Verbundprojekt „Messung experimenteller Kompetenz in Large Scale Assessments“ (MEK-LSA) der Universitäten Duisburg-Essen und Bremen sowie des Leibniz-Instituts für die Pädagogik der Naturwissenschaften (IPN Kiel) entwickelt.

Dieses Testinstrument wurde dem ESFZ für eine Untersuchung der experimentellen Kompetenz der ESFZ-Teilnehmer*innen zur Verfügung gestellt. Insgesamt haben 100 Jugendliche aus 13 Forschungscamps den Test durchgeführt. Die Testdurchführung erfolgte hierbei jeweils bei der Erstteilnahme eines Schülers bzw. einer Schülerin an einem Forschungscamp⁴. Details zu Durchführung, Auswertung und Interpretation des Tests im ESFZ wurden bereits vorgestellt (Fösel, 2021).

Aktuell liegt der Fokus der empirische Begleitforschung im Erlanger SchülerForschungsZentrum auf dem Konzept des ESFZ.

Nachfolgend werden die Inhalte einer explorativen Fragebogenstudie vorgestellt, und es wird die Durchführung der Pilotstudie skizziert.

2. Explorative Fragebogenstudie

2.1 Das Konzept des ESFZ im Fokus der empirische Begleitforschung

Die Rückmeldungen aus den anonymen Fragebögen (vgl. Abb. 1) lassen die Schlüsse zu, dass die Jugendlichen

- die Betreuung sehr wertgeschätzt haben (z.B.: „Zudem war die Betreuung sehr gut und es war eine sehr schöne Arbeitsatmosphäre.“)
- das Arbeiten an eigenen Projektideen und die damit verbundene „Offenheit“ für eigene Ideen und Forschungsmethoden als sehr positiv empfanden

mindestens viermal teilgenommen. - Die Schüler*innen kommen aus ganz Bayern, in einigen Ausnahmefällen sogar aus Regionen über die Grenzen von Bayern oder gar Deutschland hinaus.

⁴ Aus der Statistik der Teilnehmerzahlen des ESFZ lässt sich entnehmen, dass sich jedes Jahr Jugendliche neu auf das Abenteuer „Forschen an eigenen Projektideen“ einlassen. Den Zahlen lässt sich aber auch entnehmen, dass an den Projekten typischerweise längerfristig gearbeitet wird. Ca. 11% der Schüler*innen haben

(z.B. „wahnsinnig viele Möglichkeiten“, „Die Selbständigkeit. Man hat nie irgendwas vorge-setzt bekommen, was man zu tun hat, [durfte] eigene Projekte selber machen.“)

Zudem kommunizierten ESFZ-Teilnehmer*innen immer wieder, dass es für sie eine neue und durchweg positive Erfahrung war, in einem Forschungszentrum am Department Physik der FAU unmittelbar in den Forschungsalltag von Naturwissenschaftler*innen eingebunden zu sein. Sie nahmen sehr gerne und begeistert von der Gelegenheit Gebrauch, mit Forscher*innen an der Naturwissenschaftlichen Fakultät über ihre Projekte zu sprechen und zu diskutieren, und sie waren positiv überrascht von der Möglichkeit, Gerätschaften und Materialien diverser Lehrstühle und Abteilungen für ihre Experimente nutzen zu können. Auch haben die Schüler*innen am Ende einer Forschungswoche in Abschlussgesprächen immer wieder betont, welche neuen Fertigkeiten und Fähigkeiten (mit Fokus auf naturwissenschaftlichen Arbeitsweisen) sie mit Unterstützung durch die Tutor*innen kennen lernen und erlernen durften.

2.2 Methodik

2.2.1 Forschungsfrage und Stichprobe

All diese Rückmeldungen stellten die inhaltliche Grundlage einer explorativen Fragebogenstudie dar, um diese individuellen Schülerrückmeldungen zum ESFZ systematisiert zu erheben: Schüler*innen, die bereits an ESFZ-Forschungscamps teilgenommen haben, wurden retrospektiv mittels eines Fragebogens befragt, um zu klären,

- wie sie die Betreuung in den Camps erlebt haben,
- wie sehr sie sich in das Forschungsleben eingebunden fühlten,
- welche Fähigkeiten und Fertigkeiten ihrer Meinung nach in den Camps erlernt und gefördert wurden und
- wie offen und frei sie die Möglichkeiten der Forschung an ihren Projekten empfanden.

Befragt wurden Teilnehmer*innen an Forschungscamps der Jahre 2018-2020: 30 Datensätze liegen nach der Pilotrunde zur Auswertung vor.

2.2.2 Fragebogenkonstruktion

Wir haben einen Online-Fragebogen unter Verwendung von unipark⁵ entwickelt, welcher aus vier Itemskalen zu den Inhalten bzw. Themen

- Betreuungsverhältnis,
- wissenschaftliche Eingebundenheit in den universitären Alltag,
- Fähigkeiten und Fertigkeiten und
- Offenheit

aufgebaut ist. Die Items zu den Skalen „Betreuung“, „wissenschaftliche Eingebundenheit in den universitären Alltag“ und „Offenheit“ wurden adaptiert nach Pawek (2009). Die Skala Fähigkeiten und Fertigkeiten wurde eigenständig konzipiert. Tabelle 1 stellt eine Charakterisierung der vier Skalen dar.

| Itemskala | adaptiert nach | # Items | Cronbach's α |
|-----------------------------------|----------------|---------|---------------------|
| Betreuungsverhältnis | Pawek, 2009 | 19 | 0.85 |
| wissenschaftliche Eingebundenheit | Pawek, 2009 | 7 | 0.67 |
| Fähigkeiten und Fertigkeiten | - | 10 | 0.81 |
| Offenheit | Pawek, 2009 | 5 | 0.82 |

Tab. 1: Charakterisierung der Skalen des eingesetzten Fragebogens. Beispielitems finden sich im Fließtext.

Die Bewertung der vorgegebenen Aussagen erfolgte für alle vier Skalen mit Hilfe einer 5-stufigen Ratingskala („stimmt gar nicht“ bis „stimmt völlig“).

Nachfolgend werden die Skalen „Betreuungsverhältnis“, „wissenschaftliche Eingebundenheit“ und „Offenheit“ weitergehend vorgestellt, stellen sie doch aus unserer Sicht wesentliche Säulen des Konzepts des ESFZ dar (Abb. 2): Die wahrgenommene Betreuung und die empfundene wissenschaftliche Eingebundenheit sind wesentlich für ein Forschen an eigenen Ideen und damit auch wesentlich für die empfundene Offenheit (vgl. Rückmeldungen aus anonymen Fragebögen bzw. Abb. 1). Diese Offenheit beim Tüfteln und Forschen an den eigenen Ideen mit der entsprechenden Wertschätzung und Förderung durch Tutor*innen und Professor*innen soll ein zentrales Merkmal des ESFZ darstellen. Das Erlernen von Fähigkeiten und Fertigkeiten, wie sie für ein Forschen an naturwissenschaftlichen Projektideen hilfreich bis notwendig sind, sehen wir etwas außerhalb der Konstellation Betreuung - wissenschaftliche Eingebundenheit - Offenheit.

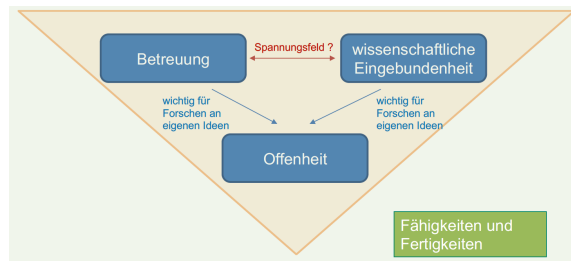


Abb. 2: Wesentliche Säulen des Konzepts des ESFZ im Zusammenspiel.

⁵ <https://unipark.com/>

Skala „Betreungsverhältnis“. Diese Skala setzt sich aus 19 Items zusammen. Erste Anregungen zur Erstellung der Skala gehen auf Pawek (Pawek, 2009, S. 198) zurück. Zwei Items seien exemplarisch genannt und sollen klar machen, dass die Items unmittelbar und zielgerichtet Bewertungen zu einem wesentlichen Aspekt des ESFZ-Konzepts abfragen:

„Ich hatte das Gefühl, dass die Betreuer von meiner eigenen Projektidee fasziniert sind.“ (Item 3 von 19)

„Ich fand es gut, dass die Betreuer die Weiterentwicklung meiner eigenen Projektidee durch gezielte Nachfragen anregten“ (Item 9 von 19)

Skala „wissenschaftliche Eingebundenheit in den universitären Alltag“. Diese Skala setzt sich aus sieben Items zusammen. Erste Anregungen zur Erstellung der Skala gehen auf Pawek (2009, S. 198) zurück.

„Dass ich jederzeit mit Forschern aus anderen Abteilungen sprechen konnte, fand ich gut.“ (Item 3 von 7)

„Ich habe einen Einblick in den Berufsalltag von Wissenschaftlern bekommen.“ (Item 4 von 7)

„Ich hatte das Gefühl, Teil eines wissenschaftlichen Teams zu sein.“ (Item 6 von 7)

Skala „Offenheit“. Diese Skala setzt sich aus fünf Items zusammen. Erste Anregungen zur Erstellung der Skala gehen auf Pawek (2009, S. 198) zurück. Ersichtlich ist, dass hier zielgerichtet ein wertendes Urteil über ein Forschen und Tüfteln an den eigenen Ideen gesucht wird.

„Während des Experimentierens konnte ich meine eigenen Ideen für das Projekt einbringen und umsetzen.“ (Item 4 von 5)

„Während des Experimentierens hatte ich das Gefühl, alles selbst bestimmen zu können.“ (Item 5 von 5)

2.2.3 Datenauswertung

In einem ersten Auswertungsschritt wurden die Schülerantworten mittels deskriptiver Statistik ausgewertet. Robbins und Heiberger (2011) diskutieren in ihrem Übersichtsartikel die Vorzüge von „Diverging Stacked Bar Charts“ gegenüber anderer Diagrammtypen zur Visualisierung von Daten, die mithilfe von Ratingskalen gewonnen wurden. In diesem Beitrag wird deshalb zur graphischen Darstellung der mithilfe von Ratingskalen erhobenen Daten auf solche Diverging Stacked Bar Charts zurückgegriffen. In

Diverging Stacked Bar Charts wird zur Zusammenfassung der Ergebnisse für jede zu bewertende Aussage einer Skala ein Balken von normierter Länge dargestellt, welcher jeweils relativ zur Skalenmitte ausgerichtet ist. Der prozentuale Anteil der Probandinnen und Probanden, die einer Aussage zustimmen (hier: „stimmt“ bzw. „stimmt völlig“) kann rechts von der Skalenmitte abgelesen werden (Breite der blauen Balken). Umgekehrt ist der prozentuale Anteil derjenigen Studienteilnehmenden, die eine Aussage ablehnen (hier: „stimmt nicht“ bzw. „stimmt gar nicht“) links von der Skalenmitte abzulesen (Breite der roten Balken). Der Prozentsatz Befragter der Gesamtstichprobe, die einer Aussage weder zustimmen noch diese ablehnen (hier: „stimmt teils, teils“) wird durch die Breite des grauen Balkens dargestellt, der an der Skalenmitte ausgerichtet ist. Eine Tendenz zur Zustimmung der Befragten zu einer gegebenen Aussage zeigt sich in einem Ausschlag des gesamten Balkens nach rechts, ein Ausschlag nach links deutet auf eine Ablehnung hin.

Die hier vorgestellte Studie ist als Pilotstudie zu verstehen; weitere Befragungen, ergänzt durch Interviews, sollen durchgeführt werden, sobald Forschungscamps am Department Physik wieder in Präsenz möglich sind. Nachfolgend werden exemplarisch Ergebnisse dieser Pilotstudie präsentiert.

3. Ergebnisse

3.1 Skala „Offenheit“

„Mit meinem Projekt will ich herausfinden, ob elektrische bzw. magnetische Felder das Wachstum von Kresse beeinflussen. In dieser Woche habe ich mich vor allem auf das magnetische Feld konzentriert. Dazu habe ich eine kleine Petrischale mit Kressesamen bepflanzt und in ein Magnetfeld gestellt, das von zwei Spulen erzeugt wird. Der Versuch lief 42 Stunden. Danach habe ich den Versuch wiederholt. In diesem Durchgang habe ich statt der zwei Eisenzyylinder, zwei Aluminiumzylinder als Spulenkerne verwendet. Das Aluminium leitet das magnetische Feld nicht, aber die Wärme schon. Damit wollte ich herausfinden, ob die Wärme durch die Spulen einen Einfluss auf das Wachstum hat“ (Faschingscamp 2020, Miriam K., 14 Jahre).

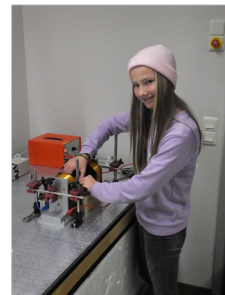


Abb. 3: Miriam beim Konzipieren eines Aufbaus für ein homogenes Magnetfeld: Kressesamen sollen beim Wachstum im Magnetfeld untersucht werden im Vergleich zu einer Kontrollgruppe an Kressesamen.

Skala Offenheit

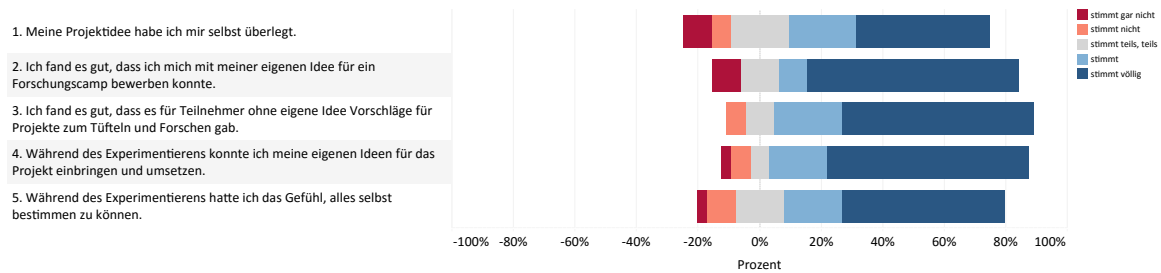


Abb. 4: Diverging Stacked Bar Chart zur Skala „Offenheit“.

Mit diesen Worten beschreibt die Schülerin Miriam (zum Zeitpunkt des Forschercamps 14 Jahre alt) ihr Projekt „Wachstum von Kresse in elektrischen und magnetischen Feldern“. Die Idee zu diesem Projekt hierzu kam allein von Miriam.

Die Tutor*innen und Wissenschaftler*innen ermutigten Miriam, ihr Forschungsprojekt umzusetzen. Sie unterstützen sie dadurch, dass sie Fragen stellten, die Miriam eigenständig zu neuen Forschungsaktivitäten anregen. Sie waren aber zu jedem Zeitpunkt auch offen für Vorschläge und Vorgehensweisen, die Miriam selbst ins Spiel brachte.

Miriam schätzte diese Offenheit beim Arbeiten im ESFZ sehr. Auch aus den Auswertungen der Pilotstudie geht hervor, dass die überwiegende Mehrheit der Befragten Offenheit im ESFZ empfunden haben: die Befragten fühlten sich mehrheitlich frei beim Experimentieren im ESFZ, was als Argument dafür zu werten ist, dass die Teilnehmenden Autonomie in ihrem Forschungsprozess erlebten (vgl. Abb. 4).

3.2 Skala „wissenschaftliche Eingebundenheit in den universitären Alltag“

Auch anhand der Schülerantworten zur Skala wissenschaftliche Eingebundenheit wird eine Tendenz in Richtung Zustimmung feststellbar (vgl. Abb. 5). Hier gibt es allerdings Unterschiede zwischen den Items, z.B. wenig „volle Zustimmung“ bei Item 6 oder keine Ablehnung bei Item 1. Hier könnten über die

Wissenschaftliche Eingebundenheit in universitären Alltag

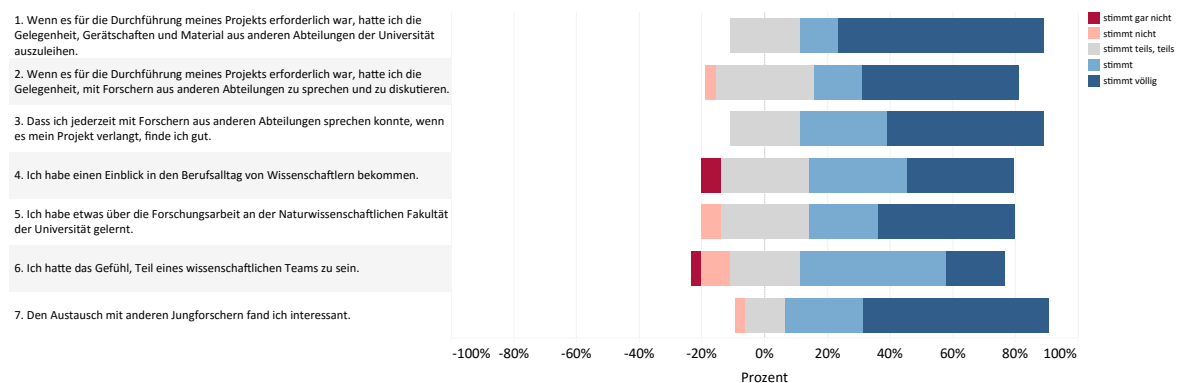


Abb. 5: Diverging Stacked Bar Chart zur Skala „wissenschaftliche Eingebundenheit in universitären Alltag“.

Pilotstudie hinausgehende Befragungen (z.B. Interviews) weitere Informationen liefern.

3.3 Skala „Betreuungsverhältnis“

Die Visualisierung der Ergebnisse zur Skala „Betreuungsverhältnis“ ist in Abb. 6 zu sehen.

Um eine zielgerichtete Verbesserung der Qualität des Betreuungsverhältnisses zu ermöglichen, sollten explorativ Faktoren identifiziert werden, die ein gutes Betreuungsverhältnis manifestieren.

Wir untersuchten daher die der Skala zugrundeliegende Faktorstruktur mittels einer explorativen Faktorenanalyse. Von der Eignung der vorliegenden Daten für eine explorative Faktorenanalyse kann nach dem Kaiser-Meyer-Olkin-Kriterium und dem Bartlett-Test auf Sphärizität ausgegangen werden, obgleich die Ergebnisse anhand der Pilotstudien Daten von nur $N = 30$ Probandinnen und Probanden als vorläufig anzusehen sind. Eine Hauptkomponentenanalyse mittels anschließender Varimax-Rotation führte auf die Extraktion von zwei Faktoren mit Eigenwerten oberhalb von 1.0, die gemeinsam 55.67% der Varianz in den Daten aufklären.

Hohe Faktorladungen (überwiegend oberhalb von 0.7) und Sekundärladungen, die betragsmäßig mehrheitlich weit unterhalb von 0.3 liegen, sprechen zwar dafür, dass die beiden extrahierten Faktoren empirisch gut trennbar sind, allerdings erscheint anhand der Daten aus unserer Pilotstudie nur einer der beiden

Betreuungsverhältnis im ESFZ

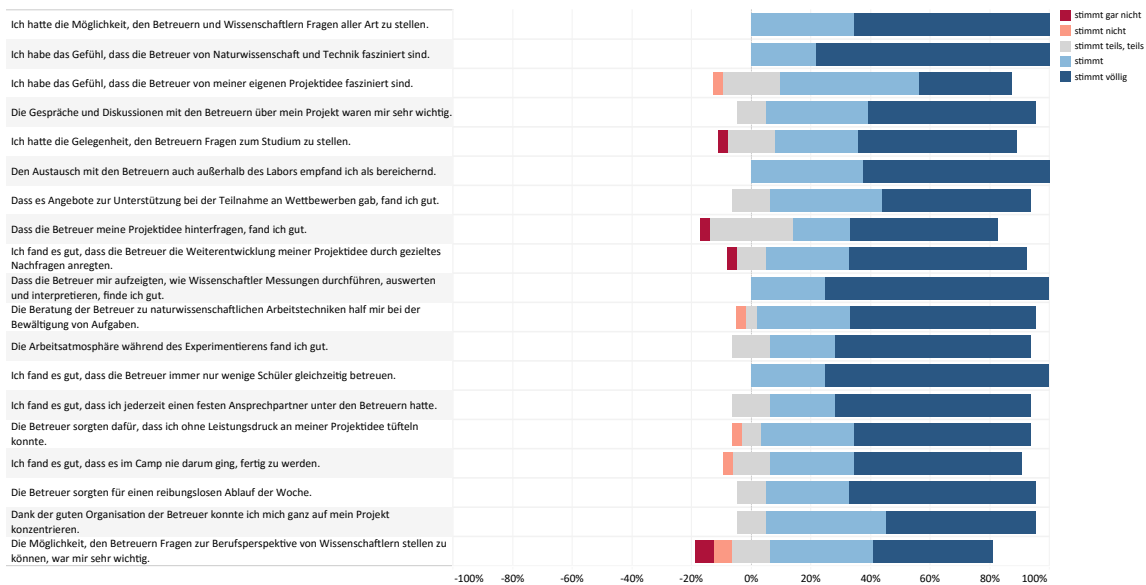


Abb. 6: Diverging Stacked Bar Chart zur Skala „Betreuungsverhältnis“.

Faktoren inhaltlich klar interpretierbar. Dabei handelt es sich um einen Faktor Interaktion zwischen Betreuern und ESFZ-Teilnehmenden, auf den sieben Items der Skala laden (vgl. Abb. 7). Die Faktorreliabilität wurde mittels Cronbach’s Alpha zu 0.90 geschätzt. Die inhaltliche Interpretation des zweiten Faktors, wie er sich anhand der Pilotstudien ergab, war nicht möglich und bietet offene Fragen für zukünftige Untersuchungen: Folgestudien müssen zeigen, ob sich der erste Faktor zur Interaktion Betreuende – Teilnehmende mit einer größeren Stichprobe replizieren lässt und welche weiteren Faktoren die Betreuungsqualität im ESFZ manifestieren.

Auf diese Weise erscheint in der Zukunft eine weitere Optimierung der Betreuung im ESFZ möglich. Ein analoges Vorgehen für die weiteren Skalen und die Anreicherung der quantitativen Fragebogendaten mittels qualitativer Studien soll zur Verbesserung des gesamten Konzepts des ESFZ basierend auf empirischen Erkenntnissen beitragen.

4. Zusammenfassung und Ausblick

Wir haben dargelegt, dass das ESFZ Möglichkeit zum Forschen und Tüfteln an eigenen Ideen bietet und, dass die Einrichtung kompetent und motiviert fördert. Wir haben motiviert, dass empirische Forschung über subjektive Äußerungen von Schüler*innen hinaus das ESFZ gezielt verbessern kann. Ein erster Schritt ist die Konzeption einer explorativen Fragebogenstudie, deren Inhalte hier ausführlich beschrieben wurden. Die Ergebnisse der Pilotrunde decken sich prinzipiell mit den subjektiven Äußerungen. Jedoch lassen weitere Befragungen noch viele Möglichkeiten zu, das ESFZ gezielt zu verbessern: Insbesondere bezüglich des für die Verantwortlichen des ESFZ (und auch für die Sponsoren) so wichtigen Aspekts der Betreuung. Geplant sind eine Überarbeitung des entwickelten Fragebogens auf Grundlage der Ergebnisse der Pilotstudie, der anschließende Einsatz des Fragebogens zur Evaluation zukünftiger Forschungscamps, sowie die Ergänzung dieser empirischen Einblicke mit Hilfe qualitativer Methoden.

Betreuungsverhältnis im ESFZ - Faktor 1

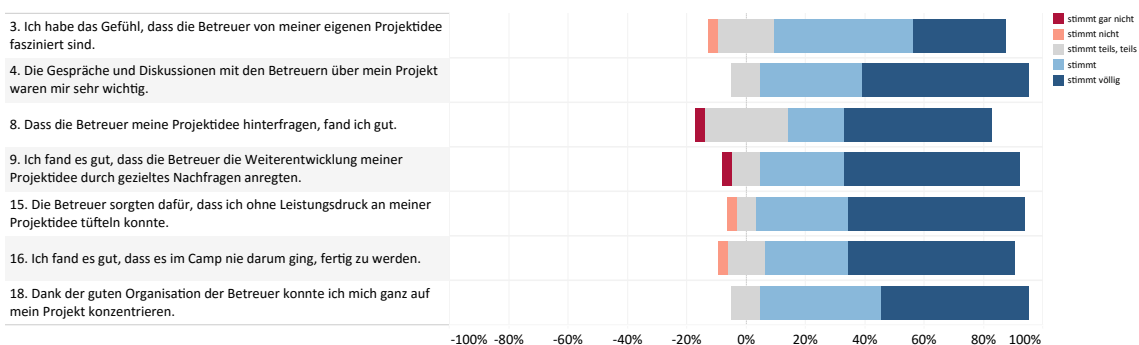


Abb. 7: Items, die als Ergebnis einer explorativen Faktoranalyse einem Faktor 1 (von 2) zugeschrieben werden können. Faktorladungen: $\lambda_3 = 0.76, \lambda_4 = 0.88, \lambda_8 = 0.83, \lambda_9 = 0.71, \lambda_{15} = 0.81, \lambda_{16} = 0.81, \lambda_{18} = 0.73$.

5. Literatur

- Erlanger SchülerForschungsZentrums ESFZ.
<https://esfz.nat.uni-erlangen.de> (Stand: 5/2021)
- Fösel, A., Anton, G., Christl, M., Durst, J., & Schreiner, I. (2010). Lust und Spaß am Forschen und Tüfteln - Das Erlanger Schülerforschungszentrum (ESFZ) für Bayern. In PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung. Url: <http://phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/188> (Stand: 5/2021)
- Fösel, A. & Anton, G. (2019). Lust und Spaß am Forschen und Tüfteln. Vortrag auf der 4. Fachtagung Schülerforschungszentren (Organisation und Durchführung: Joachim Herz-Stiftung in Kooperation mit der FAU und dem ESFZ). Url: https://schuelerforschungszentren.de/fileadmin/Redaktion/Tagungen/2019_Erlangen/Vortrag_ESFZ_4._Fachtagung_SFZ.pdf (Stand: 5/2021)
- Fösel, A. & Anton, G. (2021). Die Universität als Keimzelle und Betreiber des ESFZ. In J. Plath, C. Lenz, J. Maxton-Küchenmeister – Joachim Herz Stiftung & Stiftung Jugend forscht e.V. (Hrsg.), Best Practices und Tipps von Expert:innen für Schülerforschungszentren (S. 67-70). Url: https://joachim-herz-stiftung.de/fileadmin/Redaktion/JHS_BroschuereSFZ.pdf (Stand: 5/2021)
- Fösel, A. (2021). Empirische Forschung im Erlanger SchülerForschungsZentrum. In S. Habig (Hrsg.), Naturwissenschaftlicher Unterricht und Lehrerbildung im Umbruch? (S. 737-740). Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Online-Jahrestagung 2021, Band 43. Url: https://gdcp-ev.de/wp-content/tb2021/TB2021_737_Foesel.pdf (Stand: 5/2021)
- Pawek, C. (2009). Schülerlabore als interessensfördernde außerschulische Lernumgebungen für Schülerinnen und Schüler der Mittel- und Oberstufe. eDissertation. IPN, Kiel. Url: https://dlr.de/schoollab/Portaldata/24/Resources/dokumente/Diss_Pawek.pdf (Stand: 5/2021)
- Robbins, N. und Heiberger, R. (2011): Plotting Likert and other rating scales. In: Proceedings of the 2011 Joint Statistical Meeting, S. 1058-1066. Url: https://montana.edu/msse/Data_analysis/Likert_Survey_Graphs.pdf (Stand: 5/2021)
- Theyßen, H., Schecker, H., Neumann, K., Eickhorst, B. & Dickmann, M. (2016). Messung experimenteller Kompetenz ein computergestützter Experimentiertest. In Phydid B – Didaktik der Physik – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung 1/15, S. 26-48. Url: <http://phydid.de/index.php/phydid/article/view/652> (Stand: 5/2021)

Das physikbezogene Growth Mindset bei Schüler*innen fördern

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

Dweck definiert zwei Mindsets, die als tief verankerte Überzeugungen zu unterschiedlichen Reaktions- und Handlungsmustern führen. Das Fixed Mindset beschreibt die Überzeugung, dass Intelligenz determiniert ist und damit der Spielraum für erlernbare Fähigkeiten und Fertigkeiten durch Begabung festgelegt ist. Damit stehen demonstrierbare Leistungserfolge im Fokus und herausfordernde Situationen werden möglichst vermieden. Das Growth Mindset bildet den Gegenpol und beschreibt Intelligenz, aber auch Kompetenz als stets weiterentwickelbar. Somit steht das Lernen selbst im Mittelpunkt und Schüler*innen mit Growth Mindset nehmen Herausforderungen als Lerngelegenheit positiv wahr. Das Mindset selbst wird vor allem durch persönliche Erfahrungen und Bezugspersonen geprägt, entsprechend kann es mit geeigneten Interventionen gezielt verändert werden.

Auf der Basis der in den USA schon weiter verbreiteten Mindset-Forschung und eines speziell für Physik entwickelten Mindset-Fragebogens wurde das domänenspezifische Mindset von Schüler*innen im Physikunterricht in allen Jahrgangsstufen erhoben und Korrelationen zu äußeren Gegebenheiten wie Alter, Geschlecht und Schulart untersucht. Darauf aufbauend soll mit einer fachspezifischen Intervention das Growth Mindset von Schüler*innen in der Sekundarstufe I gefördert werden. Die Intervention wird im Beitrag vorgestellt.

1. Fixed und Growth Mindset

Die Mindset-Definition von Dweck bezieht sich auf die impliziten Überzeugungen zur Intelligenz, die sich auf einem Kontinuum zwischen den beiden Polen Fixed Mindset und Growth Mindset manifestieren. Das Fixed Mindset beschreibt dabei die Überzeugung, dass Intelligenz eine feste, unveränderliche Eigenschaft sei, die den individuellen Rahmen der Entwicklung determiniert. Am anderen Ende der impliziten Theorien zur Intelligenz ist das Growth Mindset zu finden, das auf der Überzeugung gründet, Intelligenz könne zu jedem Zeitpunkt noch ein Stück weit ausgebaut werden und damit verknüpft seien auch Wissen und Können stets entwickelbar (Dweck, 1999).

Insbesondere im akademischen Kontext überwiegen die Vorteile eines Growth Mindsets, unabhängig von den tatsächlichen, physiologischen Gegebenheiten (vgl. Breker (2016) für einen Überblick zum wissenschaftlichen Diskurs über die tatsächliche Veränderbarkeit von Intelligenz bzw. deren Veranlagung). Die Überzeugung der entwickelbaren Intelligenz führt zu dem Lernziel, neues Wissen und Können zu erlangen bzw. Kompetenzen auszubauen. Herausforderungen mit unklarem Ausgang werden auf dem Lernweg eher angenommen und Anstrengung beim Lernen wird als Beitrag zum Erfolg akzeptiert. Damit bietet das Growth Mindset die besseren Voraussetzungen für den Lernerfolg, was auch Untersu-

chungen zum Zusammenhang zwischen Mindset und Lernerfolg bzw. Lernergebnissen zeigen (Blackwell et al., 2007; Yeager et al., 2019).

2. Mindset-Interventionen

Aufgrund der positiven Auswirkungen des Growth Mindsets bei Schüler*innen sind Interventionen zur Förderung des Growth Mindset ein Schwerpunkt der Mindset-Forschung. Die ersten Interventionen mit Schüler*innen vermittelten die Idee des Growth Mindset in vier bis acht Unterrichtseinheiten (Blackwell et al., 2007; Good et al., 2003), daran angelehnt wurden kürzere und skalierbare Online-Interventionen entwickelt (Paunesku et al., 2015), die auch in der US-repräsentativen Mindset-Studie von Yeager et al. (2019) eingesetzt wurden.

Das Growth Mindset, das in der Intervention vermittelt werden soll, lässt sich auf eine Kernaussage zusammenfassen: die Schüler*innen sollen davon überzeugt werden, dass ihr Potential, also was sie in der Zukunft erreichen und lernen können, nicht festgelegt ist (z. B. durch eine Begabung), sondern zu jedem Zeitpunkt weiterentwickelt werden kann. Um diese Botschaft zu vermitteln, nutzen die Mindset-Interventionen eine Art Metapher auf Grundlage der Neuroplastizität, also der Veränderbarkeit des Gehirns. In der Metapher wird das Gehirn mit einem Muskel verglichen, der durch Training wächst und stärker wird (Blackwell et al., 2007,

Zeeb et al., 2020). Diese Information wird eingebettet in neurowissenschaftliche Forschungsergebnisse, gleichzeitig wird eine Verbindung zur Lernrealität der Schüler*innen hergestellt, indem die Muskel-Metapher an typische Erfahrungen geknüpft wird: *„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: Alex zum Beispiel ist geübt in der Fremdsprache Englisch, Sophie findet Kopfrechnen leicht. Alex fällt Kopfrechnen schwer – sie könnte darin allerdings genauso gut wie Sophie sein, wenn sie ihre ‚Kopfrechnen-Muskeln‘ im Gehirn genauso trainieren würde wie Sophie. Ihre ‚Englisch-Muskeln‘ hat sie ja schließlich auch erfolgreich trainiert.“* (Original in MindsetWorks, 2002-2014, Übersetzung von Julia Ostertag in Zeeb, 2020).

Die gelernte Kernbotschaft wird in den Mindset-Interventionen mit dem „Saying-is-Believing“-Effekt gestärkt, der besagt, dass sich individuelle Überzeugungen festigen, wenn sie anderen Personen weitervermittelt werden (Higgins & Rholes, 1978). Häufig ist eine Aufgabe innerhalb der Intervention das Schreiben eines Briefes an Schüler*innen nachfolgender Jahrgänge, so dass die Teilnehmer*innen der Intervention die gelernten Informationen über das wachsende Gehirn und die Muskel-Metapher in eigenen Worten formulieren (Yeager et al., 2019).

Diese Art der Mindset-Intervention führt mit standardisiertem Material und geringem Zeitaufwand (teilweise unter einer Stunde) zu einem gestärkten Growth Mindset bei den Schüler*innen und teilweise auch zu messbar besseren Lernergebnissen (Yeager et al., 2019). Wie diese Effekte zustande kommen, erklären Yeager und Walton anschaulich in ihrem Review (2011). Die einfache Kernbotschaft, sowie die inhaltliche Anknüpfung an Alltagserfahrungen der Schüler*innen tragen dazu bei. Ebenfalls ein wichtiger Faktor ist die Tatsache, dass sich die Intervention an alle Schüler*innen richtet und in ihrem Aufbau nicht besonders die leistungsschwächeren Schüler*innen ansprechen soll oder in anderer Form Gruppen von Schüler*innen selektiert. Dadurch wird die Ablehnungshaltung verringert, die häufig bei sozialpsychologischen Interventionen beobachtet wird (Yeager & Walton, 2011). Durch die Möglichkeit der standardisierten Intervention, sowie die kurze Zeitdauer, bietet es sich außerdem an, die Growth-Mindset-Intervention in der gewohnten Lernumgebung stattfinden zu lassen. Dadurch wird der Interventionscharakter abgeschwächt, was ebenfalls die Ablehnungshaltung reduziert, vor allem aber die Anknüpfung an die Lernerfahrungen der Teilnehmer*innen vereinfacht. In einer Studie von Walton und Cohen (2011) konnten über drei Jahre hinweg bessere Leistungen bei College-Studierenden nachgewiesen werden, die an einer einstündigen Mindset-Intervention teilgenommen hatten. Gleichzeitig konnten nur wenige der Teil-

nehmer*innen nach den drei Jahren die Growth-Mindset-Botschaft noch als solche wiedergeben und die Mehrheit verneinte, dass diese Intervention einen Einfluss auf ihre akademische Leistung hätte (Walton & Cohen, 2011). Dieses Beispiel zeigt, dass die unscheinbaren, nicht direkt adressierenden Interventionen einen lange bestehenden, messbaren Einfluss haben können. Der Grund liegt in einem sich rekursiv verstärkenden Veränderungsprozess der Überzeugung, der durch die Intervention in Gang gebracht wird (Kenthirarajah & Walton, 2015). Die Mindset-Intervention vermittelt die Botschaft des „Gehirn-Muskels“ und dass Veränderung und Wachstum durch Lernen möglich sind. Die Schüler*innen nehmen diese Idee unterbewusst oder als kurzfristige Überzeugungsänderung in den Lernalltag mit und ändern davon ausgehend ihr Lernverhalten. Wird dieses veränderte Lernverhalten positiv bestärkt, beispielsweise durch einen Lernerfolg, eine entsprechende Rückmeldung der Lehrkraft oder das Gefühl der Eingebundenheit und des Verstehens in der Unterrichtssituation, wird die Growth-Mindset-Idee gestärkt. Das Lernverhalten bleibt erstmal verändert und bietet somit Raum für mehr positive Lernerfahrungen. Mit der Zeit kann sich so die Growth-Mindset-Idee zu einer impliziten Überzeugung manifestieren (Yeager & Walton, 2011).

3. Growth Mindset Culture

Die Interventionsstudien zum Growth Mindset zeigen, dass das Mindset von Schüler*innen veränderbar ist und dass das Growth Mindset durch geeignete Botschaften gestärkt werden kann. Dies gilt natürlich auch losgelöst von einer intendierten Mindset-Veränderung: Schüler*innen erlernen ein (fachbezogenes) Mindset, abhängig von den Botschaften, die sie dazu hören. „Children pass on the messages“ schreibt Dweck dazu (Dweck 2006 S. 186). Das Mindset von Kindern und Jugendlichen wird also von den Eltern, aber eben auch von anderen Bezugspersonen geprägt, zu denen auch die Lehrkräfte gehören (Mueller & Dweck, 1998).

Zu den prägenden Botschaften gehören sowohl verbale Rückmeldungen von Lehrkräften, als auch das Klassenklima an sich. Im Englischen wird der Begriff „Mindset Culture“ dafür verwendet. Die Mindset-Studie von Yeager et al. (2019), die eine US-repräsentative Stichprobe untersucht, zeigt einen höheren Lernerfolg in Zusammenhang mit einem Growth Mindset gerade bei den Schüler*innen, deren Klassenklima sich tendenziell als Growth-Mindset-Umgebung beschreiben lässt (Yeager et al., 2019). Das Modell für die Mindset-Prägung erklären Haimovitz und Dweck (2017): ein (Miss-)Erfolgs-erlebnis der Schüler*innen aktiviert das Fixed bzw. Growth Mindset der Lehrkraft selbst. Abhängig von ihren eigenen Überzeugungen reagiert die Lehrkraft im Folgenden eher prozess- oder personenbezogen und prägt damit das Mindset der Schüler*innen. Beispielsweise verstärkt personenbezogenes Feed-

back (insbesondere nach Leistungstests) ein Fixed Mindset, da es die Leistung als Personenmerkmal kennzeichnet, was die Idee der angeborenen Begabung als Notwendigkeit unterstützt. Ein prozessbezogenes Feedback hingegen rückt eher das Lernen in den Mittelpunkt und, wenn es Lernprozess und Lernergebnis zusammenbringt, auch den Erfolg durch Lernen und Anstrengung, was ein Growth Mindset unterstützt (Mueller & Dweck, 1998).

4. Physikbezogenes Mindset

Ob jemand ein Fixed oder Growth Mindset hat, ist also veränderbar und lässt sich auch gezielt durch geeignete Interventionen verändern. Gleichzeitig ist das Mindset nicht global zu betrachten und die wenigsten Personen haben allgemein ein Fixed oder Growth Mindset, sondern es ist eher hierarchisch und kontextabhängig zu betrachten (Hong et al., 1999; Yeager et al., 2013). Im naturwissenschaftlichen Bereich ist das Fixed Mindset beispielsweise stärker ausgeprägt (Dweck, 2008). Um das Mindset von Schüler*innen zu erheben, wird jedoch meist die allgemeine Skala „Implizite Theorien zur Intelligenz“ (Dweck, 1999) verwendet, die Items wie „Intelligenz ist eine Grundeigenschaft, die sich nicht verändern lässt“ enthält. Wenn das Mindset fachspezifisch erfasst werden soll, wird diese Skala lediglich in der Wortwahl modifiziert, z. B. wird Intelligenz durch „Fähigkeiten in Physik“ oder „Intelligenz in Physik“ (Sisk et al., 2018) ersetzt.

Mit der Beobachtung, dass sich die Mindset-Verteilungen fachspezifisch verhalten, stellt sich jedoch auch die Frage, ob es fachbezogene Charakteristika des Fixed und Growth Mindsets gibt. Aufbauend auf qualitativen Untersuchungen (Spatz & Goldhorn, 2021) wurde ein physikspezifischer Mindset-Fragebogen entwickelt, der neben den Überzeugungen zur allgemeinen Intelligenz auch Fragen zu Begabung und Anstrengung im Fach Physik umfasst (Beispiel-Items: „Für Physik muss man eine bestimmte Begabung haben.“ oder „Jede*r kann Physik verstehen, man muss nur genug dafür tun.“) (Spatz & Hopf, 2017; Goldhorn et al., 2020). Mit einer Stichprobe von rund 1600 Schüler*innen konnte das physikbezogene Fixed und Growth Mindset bestimmt werden und auch die Verteilung der Mindsets in verschiedenen Jahrgangsstufen dargestellt werden (Goldhorn et al., 2020).

5. Physikbezogenes Mindset-Intervention

Der prozentuale Anteil von Schüler*innen, die ein physikbezogenes Fixed Mindset haben, nimmt während der Sekundarstufe I mit jedem Lernjahr Physik zu. Insbesondere die Überzeugung einer fachbezogenen Begabung als Voraussetzung für Erfolg in Physik scheint durch den Physikunterricht selbst gestärkt zu werden (Goldhorn et al., 2020). Ähnliche Beobachtungen werden beispielsweise auch zum „Talent-Habitus“ in Physik berichtet: Schüler*innen nennen ein angeborenes Talent als wichtige Grund-

lage für fachspezifischen Erfolg und diese Überzeugung wird im Laufe der Schulzeit und der Lernerfahrungen in Physik stärker (Archer et al., 2020).

Um mit einer Intervention das fachbezogene Growth Mindset zu fördern, sollen die Elemente der bisher erfolgreichen Growth Mindset-Interventionen mit den Erfahrungen im Fach Physik verknüpft werden. Gleichzeitig soll die Intervention nicht curricular eingebunden sein, d. h. die fachbezogenen Elemente sollen unabhängig vom Vorwissen der Schüler*innen bearbeitet werden können. Die geplante Intervention wird daher aus zwei Teilen bestehen: einer allgemeine Growth Mindset Intervention und einer Verknüpfung mit den Lerninhalten und Lernerfahrungen in Physik.

Im allgemeinen Mindset-Teil lernen die Schüler*innen die Muskel-Metapher zum Gehirn. Dieses Bild vom trainierbaren Gehirn wird durch ein vereinfachtes Modell zur Signalübertragung im Gehirn gestärkt: beim Verarbeiten von Informationen, also auch beim Lernen, entstehen neue Verbindungen (Synapsen) zwischen Nervenzellen (Neuronen). Je öfter die gleichen Gehirnareale in der Informationsverarbeitung aktiv werden, desto mehr Synapsen werden zwischen den entsprechenden Neuronen gebildet. Die Anzahl der Synapsen erhöht die Verarbeitungsgeschwindigkeit und erleichtert damit sowohl das Abrufen des Wissens als auch das Verknüpfen neuer Informationen. In der wachsenden Anzahl der Synapsen wird das „Wachstum“ des Gehirns aufgegriffen: so wie ein Muskel durch Belastung trainiert und die Muskelfasern gestärkt werden, erhöht das Lernen und Wiederholen die Zahl der Synapsen und damit „wächst“ der „Gehirnmuskel“ und wird leistungsstärker.

Im zweiten Teil der Mindset-Intervention wird die hypothesengeleitete Erkenntnisgewinnung im Fach Physik eingeführt und die Schüler*innen bearbeiten dieses Vorgehen anhand eines physikalischen Phänomens, das sie aus dem Alltag kennen (z. B. warum sich verschiedene Materialien bei gleicher Umgebungstemperatur unterschiedlich warm anfühlen). Die Lernmaterialien sind dabei so gewählt, dass kein Vorwissen nötig ist und anhand des Aufbaus durchlaufen die Schüler*innen die Schritte der hypothesengeleiteten Erkenntnisgewinnung zur Erklärung des Phänomens. Der Arbeitsauftrag ist außerdem an eine Growth-Mindset-Lernstrategie angelehnt (in Anlehnung an Brainology® von Mindset Works (2002-2014)): für jeden Buchstaben im Wort „Brain“ wird ein Arbeitsschritt ausgeführt, der die wiederholte Aktivierung und Verknüpfung der Informationsbausteine beinhaltet (Brainstorming, Recherche, Aktiv werden, Immer wieder wiederholen, Nicht aufgeben). Zum Abschluss der Intervention sollen die Schüler*innen die Kernbotschaften selbst zusammenfassen, allerdings in der Form, dass sie jüngeren Schüler*innen die wichtigsten Botschaften zum (Physik-)Lernen weitergeben. Somit soll der „Saying-is-believing“-Effekt genutzt werden

und eine Verstärkung der Überzeugung bei den Schüler*innen erzielt werden.

Die physikbezogene Mindset-Intervention basiert auf einem Workbook, das die Schüler*innen eigenständig bearbeiten. Das Workbook enthält alle benötigten Informationen, Platz für die Bearbeitung und immer wieder kleine Aufgaben zur Aktivierung, z. B. kurze Quizfragen nach Informationstexten, kurze Meinungsabfragen oder Erfahrungsabfragen. Es soll weitestgehend selbsterklärend sein, dennoch wird die Intervention im Rahmen des regulären Physikunterrichts stattfinden, damit die Einbindung in das Fach Physik gestärkt ist, aber auch Unterstützung durch die Lehrkraft möglich ist, falls Schüler*innen etwas nicht verstehen.

Dadurch, dass die Intervention im Unterricht stattfindet, ist eine stärkere Förderung des Growth Mindset durch die von den Lehrkräften geschaffene Lernumgebung möglich. Durch ihre Rückmeldungen können Lehrkräfte Growth-Mindset-fördernde Normen im Unterricht (auch über die Intervention hinaus) integrieren. Feedback, das ein Growth Mindset stärkt, verknüpft beispielsweise Lernerfolge mit dem Lernprozess (Mueller & Dweck, 1998). Es bleibt sachbezogen, ist zukunftsorientiert, indem z. B. Gelegenheit zur Überarbeitung gegeben wird (Haimovitz & Dweck, 2017), und es vermeidet soziale Vergleiche (Sun, 2015).

6. Geplante Mindset-Interventionsstudie

Die geplante Intervention umfasst eine Dauer von zwei Doppelstunden Physik. Für die begleitende Studie im Pre-Post-FollowUp-Design wird außerdem die Zeit für das Ausfüllen der Fragebögen (jeweils 5 bis 10 Minuten) benötigt. Die Zielgruppe sind Schüler*innen im ersten Lernjahr Physik, die bereits seit einigen Monaten Physikunterricht haben. Der Zeitpunkt ergibt sich aus den Ergebnissen der Querschnittserhebung (Goldhorn et al., 2020): Schüler*innen der 7. Jahrgangsstufe, die im ersten Lernjahr Physikunterricht haben, lassen sich zu 69 % dem Growth Mindset zuordnen. In der 8. Jahrgangsstufe, also nach etwas mehr als einem Schuljahr Physik, haben nur noch 43 % der befragten Schüler*innen ein Growth Mindset. Im besten Fall kann eine Intervention innerhalb des ersten Lernjahres Physik dieser Entwicklung entgegenwirken.

Vor der Intervention wird der physikbezogene Mindset-Fragebogen ausgefüllt, anschließend bearbeiten die Schüler*innen in zwei aufeinanderfolgenden Doppelstunden (oder aufgeteilt auf Einzelstunden) das Workbook, das die Metapher der „Gehirn-Muskeln“ vermittelt und mit dem Fach Physik verknüpft. Im Anschluss an die Intervention wird der Nachtest ausgefüllt. Da die Mindset-Intervention nur der Impuls für eine sich rekursiv verstärkende Überzeugungsänderung sein soll, ist für diese Studie besonders der Follow-Up-Test wichtig. Dieser soll frühestens sechs Wochen nach der Intervention durchgeführt werden.

Vor Beginn der Intervention soll es eine Fortbildung für einen Teil der Lehrkräfte geben, in welcher der Einfluss von einer Growth Mindset-Lernumgebung thematisiert wird und Hilfestellung für eine entsprechende Umsetzung gegeben wird. Dadurch haben die Lehrkräfte die Möglichkeit, die Schüler*innen während der Intervention durch Growth Mindset-fördernde Rückmeldungen zu unterstützen.

7. Ausblick

Im nächsten Schritt wird die geplante Intervention, insbesondere das dafür erstellte Workbook, mit einer kleinen Zahl an Klassen erprobt. Für diese Pilot-Studie ist das erste Halbjahr im Schuljahr 2021/2022 geplant. Darauf aufbauend werden ggf. Anpassungen gemacht, bevor die hier beschriebene Hauptstudie im Pre-Post-FollowUp-Design durchgeführt wird. Geplant ist das zweite Halbjahr im Schuljahr 2021/2022.

8. Literatur

- Archer, L., Moote, J., & MacLeod, E. (2020). Learning that physics is ‘not for me’: Pedagogic work and the cultivation of habitus among advanced level physics students. *Journal of the Learning Sciences*, 29(3), 347–384. <https://doi.org/10.1080/10508406.2019.1707679>
- 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>
- Breker, T. (2016). Fähigkeitsselbstkonzept, Selbstwirksamkeit & Mindset - Wie können Lehrkräfte Erkenntnisse aus der Sozial-Kognitiven Psychologie nutzen, um die Potenzialentfaltung von Schülerinnen und Schülern zu fördern? Dissertation, Europa-Universität Viadrina Frankfurt. <https://opus4.kobv.de/opus4-euv/frontdoor/index/index/docId/209>
- Dweck, C. S. (1999). *Self-theories: Their role in motivation, personality, and development*. Psychology Press.
- Dweck, C. S. (2006). *Mindset: The new Psychology of Success*. Random House.
- Dweck, C. S. (2008). *Mindsets and Math/Science Achievement*. New York: Carnegie Corporation of New York, Institute for Advanced Study, Commission on Mathematics and Science Education.
- Goldhorn, L., Wilhelm, T., Spatz, V., & Rehberg, J. (2020). Fixed und Growth Mindset: Selbstbilder von Schüler*innen in Physik. *PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*, 187-191. <http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/1030/1126>

- Good, C., Aronson, J., & Inzlicht, M. (2003). Improving adolescents' standardized test performance: An intervention to reduce the effects of stereotype threat. *Journal of Applied Developmental Psychology*, 24(6), 645–662.
<https://doi.org/10.1016/j.appdev.2003.09.002>
- Haimovitz, K., & Dweck, C. S. (2017). The Origins of Children's Growth and Fixed Mindsets: New Research and a New Proposal. *Child Development*, 88(6), 1849–1859.
<https://doi.org/10.1111/cdev.12955>
- Higgins, E. T., & Rholes, W. S. (1978). „Saying is Believing“: Effects of Message Modification on Memory and Liking for the Person Described. *Journal of Experimental Social Psychology*, 14, 363–378.
- 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>
- Kenthirajah, D., & Walton, G. M. (2015). How Brief Social-Psychological Intervention Can Cause Enduring Effects. In R. Scott & S. Kosslyn (Eds.), *Emerging Trends in the Social and Behavioral Sciences*, Hoboken, NJ: John Wiley and Sons.
- MindsetWorks (2002-2014). You can grow your intelligence. <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>
- 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>
- Citation: Spatz, V., & Goldhorn, L. (2021). When It's More Difficult, I Just Cram More! An Exploratory Interview Study on Students' Mindsets in Physics. *European Journal of Science and Mathematics Education*, 9(1), 1-18.
- Spatz, V., & Hopf, M. (2017). Erhebungsinstrument zu den Mindsets von Lernenden im Fach Physik Oder: „Albert Einstein — Der war schon so ein bisschen begabt ...“ In: C. Maurer (Hrsg.), *Implementation fachdidaktischer Innovation im Spiegel von Forschung und Praxis*. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Zürich 2016, Band 37, S. 344 – 347.
- Sun, K. L. (2015). There's no limit: Mathematics teaching fo a growth mindset. Stanford University.
- Walton, G. M., & Cohen, G. L. (2011). A Brief Social-Belonging Intervention Improves Academic and Health Outcomes of Minority Students. *Science*, 331(6023), 1447–1451.
<https://doi.org/10.1126/science.1198364>
- 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., Miu, A. S., Powers, J., & Dweck, C. S. (2013). Implicit Theories of Personality and Attributions of Hostile Intent: A Meta-Analysis, an Experiment, and a Longitudinal Intervention. *Child Development*, 84(5), 1651–1667.
<https://doi.org/10.1111/cdev.12062>
- Yeager, D. S., & Walton, G. M. (2011). Social-Psychological Interventions in Education: They're Not Magic. *Review of Educational Research*, 81(2), 267–301.
<https://doi.org/10.3102/0034654311405999>
- Zeeb, H. (2020). „Mathe? Musik? Das kann ich eh nicht!“ – Was denken Lernende über ihre Fähigkeiten und was bedeutet das für den Unterricht? <https://www.face-freiburg.de/2020/studie-mathe-musik-das-kann-ich-eh-nicht/>
- 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>

Selbstgesteuertes Lernen mit digital erweiterten Workbooks

Susanne Heinicke*, Stefan Heusler*

*Institut für Didaktik der Physik, Westfälische Wilhelms-Universität Münster

Wilhelm Klemm Str. 10, 49159 Münster

susanne.heinicke@uni-muenster.de

Kurzfassung

Die Zeit des Distanzlernens hat die Digitalisierung schulischen Lernens auch im Physikunterricht weiter vorangebracht. Gleichzeitig wird offenkundig welche sozialen, persönlichen und individuellen Aspekte des unterrichtlichen Lernens durch das vornehmlich digitale Format nicht ersetzt werden können. Es heißt also, Lehren aus den Erfahrungen der vergangenen Monate zu ziehen und digitale Elemente gewinnbringend unter Beachtung der Lernförderlichkeit in den Unterricht zu integrieren. Auf Basis forschungsseitiger Erkenntnisse (Einzelstudien und Metastudien wie z.B. Hattie 2013, Herzig 2014), theoretischer Überlegungen und einer empirischen Fallstudie leiten wir Empfehlungen für die inhaltliche Auswahl und Strukturierung von digital erweitertem Lehr-Lernmaterial ab. Grundlagen, Studienergebnisse sowie Erfahrungen aus der prototypischen Realisierung solchen Lehr-Lernmaterials an der Universität Münster stellen wir in diesem Beitrag vor.

1. Einleitung: Lernmaterialien, Arbeitsblätter und Workbooks

Im Physikunterricht werden als Lernmaterial häufig Arbeitsblätter eingesetzt. Schüler und Schülerinnen erhalten über diese Arbeitsblätter zum einen Informationen und Arbeitsanweisungen und fertigen zum anderen an dafür vorgesehenen Stellen auf dem Arbeitsblatt beispielsweise Notizen an, dokumentieren Ergebnisse, führen Berechnungen durch und schreiben bzw. ergänzen Texte. Die Bereitstellung ersterer unterstützt eine handlungsbezogene Autonomie der Lernenden, da die zur geforderten Handlung notwendigen Informationen von der Lehrkraft in die Hand der Lernenden gegeben werden. Die Lehrkraft kann dabei anders als ein Schulbuch die Anweisungen individuell auf die Lerngruppe und differenzierend sogar für einzelne Lernende anpassen. Der Einbezug der interaktiven Elemente andererseits führt den Rahmen des Unterrichtsgeschehens mit individuellen Handlungen und Ergebnissen zusammen und überführt dadurch - ebenfalls anders als das Schulbuch - das Arbeitsblatt in ein Dokument des persönlichen Lernens.

Eine konsistente und gerahmte Zusammenführung von Arbeitsblättern über ein Themengebiet hinweg führt außerdem die sonst oft fragmentarisch zerstreuten Einzelnotizen im Heft oder auf einer Einzelseite mit einzelnen Arbeitsblättern oder weiteren Zetteln mit Experimentieranleitungen und Sicherheitshinweisen zusammen. Dies leisten die an der Universität Münster entwickelten Workbooks. Wir orientieren uns hier zu einem an bekannten Formaten konsistenter Arbeitsbücher des Mathematik- und Fremdsprachenunterrichts und erweitern dies aber 1) in Bezug auf die spezifischen Anforderungen des naturwissenschaftlichen Kontextes, 2) durch inhaltliche Rahmungen zur Dokumentation des Lernfortschritts und 3) um digitale Lernbausteine wie digital ausgelagerte

zusätzliche Texte, Videos, Bilder, Simulationen, Experimentier-Apps usw..

Im Folgenden stellen wir die theoretischen Grundlagen, gestalterischen Grundlinien, erste empirische Evaluationsergebnisse und die zukünftigen Weiterentwicklungen vor. Die typographische Ausgestaltung beschreiben wir in (Heinen & Heinicke, 2021).

2. Theoretische Grundlagen: Schriftliche Notizen im Unterricht: wie und wozu?

Welche Funktionen können schriftliche Dokumente und Dokumentationen im Unterricht übernehmen? Wozu beziehen wir sie als Lernmittel in den Unterricht ein?

2.1. Prozess- und produktbezogene Funktion

Es lassen sich hier im Wesentlichen zwei Kategorien von Funktionen unterscheiden: Die prozessbezogene und die produktbezogene Funktion.

Prozessbezogene Funktion: Schriftliche Dokumentationen während der aktiven Erarbeitungsphase fördern die Verarbeitung und Speicherung von Informationen (Bligh, 2000 und Kiewra et al., 1991).

Sie sorgen für:

- eine gemeinsame, bzw. individuelle Sicherung und Ordnung von (Zwischen-) Ergebnissen
- als „externer Speicher“ für eine kognitive Entlastung
- und durch den Zeitaufwand und Taktung des Dokumentierens für eine Entschleunigung und Strukturierung von Unterricht

Dabei ist allerdings zu beachten, dass diese Effekte nach Studien von Kiewra et al. (1991) und Sweller (1994) dann zum Zuge kommen, wenn der Lernkontext nicht kognitiv zu belastend ist.

Produktbezogene Funktion

Schriftlichen Dokumentationen kommt auch als Ausdruck des Lernprozesses eine Bedeutung nach der jeweiligen Unterrichtsstunde zu. Sie werden nachhaltig

- zu einem Ausdruck des gemeinsamen / geteilten Kenntnisstandes und dienen entsprechend der Konservierung und Transparenz der zurückgelegten Lernetappen
- zu einem externen Speicher zur Wiederholung für den weiteren Unterricht und Lernkontrollen
- zur Dokumentation und Visualisierung des Lernprozesses und -fortschritts

Dabei zeigen Studien, dass eine Revision der Verschriftlichungen in erheblichem Maße die Leistung in anschließenden Tests fördert (vgl. Armbruster 2000; Fisher and Harris 1973; Kiewra 1985; Kiewra et al. 1991; Knight and McKelvie 1986).

Allerdings zeigte sich auch eine deutliche Abhängigkeit der Leistungen in den anschließenden Tests zur Quantität und Qualität der Verschriftlichung (Johnstone & Su 1994; Baker & Lombardi, 1985; Kierwa, 1985; Norton & Hartley, 1986).

Katayama und Robinson (2000) weisen in diesem Fall ebenfalls darauf hin, dass die größte Hürde für die Anfertigung qualitativ hochwertige Verschriftlichungen in der Summe der kognitiven Belastung liege. Daher dient die Cognitive Load Theory (CLT, Theorie der kognitiven Belastung) von Sweller (1994) als Grundlage der Konzeption des Lernmaterials.

2.2. Cognitive Load Theory

Die CLT konstatiert, dass die Kapazität des beim Lernen aktiven Arbeitsgedächtnisses begrenzt ist und in drei Beiträge zur kognitiven Belastung in der Betrachtung von Lernprozessen unterteilt werden kann: die intrinsische, die extrinsische und die lernbezogene Belastung.

Intrinsische Belastung:

Dieser Beitrag bezieht sich auch den tatsächlichen Lerngegenstand oder -inhalt, den es zu lernen gilt.

Extrinsische Belastung:

Dieser Beitrag zur kognitiven Belastung umfasst die Ausgestaltung, in der der Lerninhalt präsentiert wird. Je weniger kognitive Belastung hier durch die Aufbereitung des zu Lernenden gebunden wird, desto mehr steht für den dritten Anteil zur Verfügung.

Lernbezogene Belastung:

Die neben intrinsischer und extrinsischer Belastung noch verfügbare Kapazität des Arbeitsgedächtnisses steht für die eigentliche Verarbeitung der Information zur Verfügung. Sie umfasst die Beanspruchung der Lernenden, das zu Lernende zu erfassen.

2.3. Beispiele und Auswirkungen auf Lernmaterialien im Unterricht

In Bezug auf die Konzeption von Lernsituationen lässt sich auf Basis der CLT die Forderung ableiten, die extrinsische Belastung zugunsten der intrinsischen und lernbezogenen möglichst niedrig zu halten. Formuliert die Lehrkraft die zu dokumentierenden Ergebnisse nur mündlich oder schreibt sie sie an eine Tafel, die sich in Format und Vorstrukturierung von den zur Dokumentation vorgesehenen Arbeitsblättern der Lernenden unterscheidet, dann tauchen unweigerlich typische Nachfragen auf, wie beispielsweise: Wo soll ich das aufschreiben? / Was soll ich machen - das passt bei mir nicht mehr hin! / Soll ich eine neue Seite anfangen? / Wie viel kommt denn da noch? / Ich habe aber keinen Platz mehr für einen 4. Punkt! / Was ist, wenn ich das nicht so gut zeichnen kann? Solche Fragen verdeutlichen, dass die extrinsische Belastung Kapazitäten bindet, die für das eigentliche Lernen nicht zur Verfügung stehen.

Auch ein Blick in die Mappen der Lernenden zeigt meist das oben genannte Bild der Dokumentationsfragmente, die wenig übersichtlich, unzusammenhängend und oftmals unvollständig kein Dokumentationsprodukt darstellen, dass den in den entsprechenden Studien formulierten Anforderungen an Quantität und Qualität genügt.

Die Gestaltung von Lernmaterial kann hier die notwendige Grundlage schaffen, um die prozess- und produktbezogene Funktion der schriftlichen Dokumentation im Unterricht zu unterstützen. Die extrinsische Belastung zeigt sich in Entscheidungen, die die Lernenden in der Dokumentation auf einem nicht vorstrukturierten Blatt Papier treffen müssen wie beispielsweise

- die räumliche Strukturierung der Schreibfläche
- das Mapping von Tafelanschrieb und dem Format der Schreibfläche
- die Wahlmöglichkeiten in Bezug auf die Schreibfläche und die Schreibwerkzeuge
- die gestalterische Umsetzung in Bezug auf Schriftgröße oder die Umsetzung eigener Zeichnungen
- der Einbezug nachfolgender Inhalte („Wieviel Platz brauche ich gleich noch?“)
- andere Handlungsoptionen und Informationen der Umgebung (-> Inhibition)
- Herstellen von Kohärenz (räumlich, zeitlich)

Hier können die in (Heinen & Heinicke, 2021) genauer explizierten layout- und typographiebezogene Entscheidungen und Vorgaben die extrinsische Belastung spürbar senken. Dies erfolgt vor allem durch

- eine Vorstrukturierung der Struktur für die Dokumentationen und vorstrukturierte Graphiken
- eine angemessene Dosierung der Information
- und die Einbindung weiterer Medien.

Als weitere theoretische Grundlage werden darum zwei Ansätze zur Vorstrukturierung von Dokumentationen herangezogen.

2.4. Vorstrukturierungen von Dokumentationen

In der Strukturierung der Workbooks orientieren wir uns im Wesentlichen an zwei Varianten

Cornell-Notes: Ein bekanntes Beispiel für eine solche Vorstrukturierung sind die sogenannten Cornell-Notes. Hierbei wird die Schreibfläche der Dokumentation in bestimmte fest vorgegebene Bereiche aufgeteilt: 1) Main Notes, 2) Keywords & Questions und 3) Summary. Eine solche Strukturierung bietet grundsätzlich eine gute Orientierung und schließt an Ansätze wie Logbucheinträge und Lerntagebücher an. Der empirische Nachweis der Wirksamkeit von Cornell-Notes ist allerdings nicht eindeutig.

Guided Notes: Die sogenannten Guided Notes stellen inhaltlich vorstrukturierte Notizblätter da, die beispielsweise in den USA zur Begleitung von Vorlesung entwickelt und empirisch untersucht wurden. Lernende vervollständigen hierbei parallel zur Instruktion die bereitgestellten Lernmaterialien.

In Überprüfungen zur Wirksamkeit von Guided Notes stellten Studien (Austin et al. 2002; Heward, 1994; Lazarus, 1993) fest, dass Lernende bessere Testergebnisse mit Hilfe von Guided Notes erzielten und dass sich dieser Effekt für Lernende mit unterschiedlichen Lernvoraussetzungen nachweisen ließ.

3. Notizen analog vs. digital

Angesichts der aktuellen Digitalisierungswelle im deutschen Bildungssystem stellt sich die Frage, in wie fern die Form von entweder analog-handschriftliche oder digitale Notizen einen Einfluss auf die betrachteten Lernprozesse, die kognitive Belastung oder die Nachhaltigkeit des Lernens haben könnte. Hierzu liegen bislang nur wenige Studien vor, die den Einsatz von analog-handschriftlichen versus digital-getippten Dokumentationen vergleichen und keine Studien, die Analog-handschriftliche Notizen mit solchen anhand digitaler Stifte vergleichen.

Luo et al. (2018) stellten die Ergebnisse von vier Studien einander gegenüber und zeigten auf, dass sich bislang kein einheitliches – oder zumindest kein triviales - Bild ergibt. In textbezogenen Zusammenhängen stellte sich ein Vorteil der digitalen gegenüber den analogen Notizen heraus, waren allerdings auch Zeichnungen und Symbole beteiligt, erwiesen sich die handschriftlich-analogen Notizen in ihrer prozessbezogenen Funktion als wirksamer.

Betrachtet man die produktbezogene Funktion anhand einer Überprüfung in Lernzielkontrollen, zeigten die analog-handschriftlichen Notizen einen Vorteil, wenn die Notizen vor der Kontrolle noch einmal zur Erinnerung betrachtet wurden. Erfolgte ein solcher Review nicht, schnitten die Probanden der digital-Kontrollgruppe besser ab.

Neben diesen nicht einschlägigen Ergebnissen befanden sich die Ergebnisse der Studien darüber hinaus in einigen Bereichen nicht in Übereinstimmung, miteinander. Darüber hinaus muss in Bezug auf den hier diskutierten Kontext zum einen zu berücksichtigen, dass es sich um Studien unter (College-)Studenten handelt und dass sich bei den aktuell in der Schule Einzug haltenden digitalen Endgeräten weniger um Laptops als vielmehr um Tablets mit touchsensitiven Oberflächen handelt, so dass neben dem Eintippen auch ein digitales Aufzeichnen mit Stift möglich ist.

Diese Aspekte bedürfen demnach einer weiteren Erforschung und Klärung. In Bezug auf den Einsatz im schulischen Unterricht ergeben sich folgende Vor- und Nachteile der analogen und der digitalen Dokumentation, die ebenfalls weiteren empirischen Untersuchungen bedürfen. Die Auflistung stützt sich auf Beobachtungen und Rückmeldungen zweier Lerngruppen (Klasse 7/8 Gymnasium) in der Erprobung von Workbooks zu den Themenbereichen Optik, Klima und Elektrizitätslehre.

B. Blick in den Farbkasten

Aufgabe 4: Farben mischen im Farbkasten – das kennst du schon längst. Wir wollen uns das Ganze nun systematisch anschauen und sortieren (erstmal ohne Brauntöne und Schwarz):

Aufgabe 4: Als nächstes lassen wir noch mehr Mischfarben weg und betrachten nur noch die Hauptfarben.

Male sie so in die drei Kreise, dass sich die richtigen Mischfarben ergeben.

Knobelaufgabe: Wie mischt man Lila?

Schau genau hin: Wie mischt ein Farbdruker die Farben?

Meyers Ritzze:
Die Farbe wird beim Mischen.
Die Grundfarben sind
Diese Farbmischung wird verwendet in
Diese Farbmischung nennt man auch
... weiß

Hilfe und Videos gibt es auf dem Padlet!

Hauptfarben
gelb
rot
blau
magenta
cyan

Primärfarben = Grundfarben. Sie können nicht gemischt werden.
Subtraktive Farbmischung

Abb. 1: Beispielseite Arbeitsblatt aus Workbook Licht & Farbe.

Vorteile analoger, papierbasierter Dokumentation:

- Komplexe und konzeptbezogene Zusammenhänge leichter erfassbar auf einer Papierseite als am Bildschirm
- nicht-lineare Darstellungen, Abbildungen, Zeichnungen leichter vorzunehmen
- einfache Hervorhebungen möglich
- Leichter bei längeren Texten (lesen / schreiben)

- motivierender

Nachteile analoger, papierbasierter Dokumentation:

- nicht so leicht korrigierbar
- teils höherer Zeitaufwand beim Schreiben
- externe Bilder können nicht eingefügt werden
- Papierverbrauch
- können nicht so leicht extern / mehrfach gesichert und bearbeitet werden
- keine Suchfunktion

Vorteile digitaler Dokumentation:

- Dateien können gesichert werden
- Bilder einfügen, Texte kopieren
- Einfach zu korrigieren / zu verändern
- Texte schnell zu tippen, Rechtschreibkorrektur
- Schriftbild ordentlicher

Nachteile digitaler Dokumentation:

- Distractionspotential (vgl. auch Kinzie et al. 2005, Cain et al. 2016, Wood et al. 2012)
- Zeichnen nicht einfach möglich (Laptop / PC)
- Kaum Haptik, Kontakt nicht unmittelbar

4. Beispiele Layout Workbooks

Basierend auf den oben vorgestellten theoretischen Grundlagen haben wir gemeinsam mit Designern das Layout der Workbooks entwickelt. Sie basieren entsprechend zum einen auf

1. den Maßnahmen zur Reduktion der extrinischen kognitiven Belastung
2. der grundlegenden Struktur lernunterstützender Dokumentationen der Cornell- und Guided Notes
3. den typographischen Entscheidungen wie sie in (Heinen, Heinicke, 2021) erläutert sind.

4.1. Beispiele

Das gesamte Workbook stellt zum anderen nicht nur ein einzelnes Arbeitsblatt oder eine Zusammenführung von mehreren, sondern eine kohärente Sammlung und Zusammenführung von mehreren aufeinander abgestimmten und gerahmten Kapiteln zu einem Themenkomplex dar.

Die Rahmung erfolgt auf der Mikroebene durch wiederkehrende Icons und andere graphische Designs, aus denen Aufgabentyp, Sozialform, Anforderungsniveau / Schwierigkeitsgrad usw. deutlich werden. Auf der Makroebene erhält das Workbook seine themenumfassende Rahmung durch entsprechende Seiten der Einleitung, Sicherung und Finalisierung.

INHALTSVERZEICHNIS & ROADMAP

INHALTSVERZEICHNIS WORKBOOK 1

| | |
|---|---|
| 1. Einstieg – Farben wahrnehmen | 4. Farbzapfen – Die Farben der Farbenwelt |
| 2. Das Auge und die Sehzellen – So sieht man heute! | 5. Farbfehlsichtigkeiten – Das sind die Gründe dafür |
| 3. Das „sichtbare Spektrum“ – Die ganze Pracht des Regenbogens | 6. Farbensehen bei Tieren – Tiere sehen anders! |

ROADMAP
Wenn du einen Abschnitt erledigt hast, trage ihn in die Roadmap ein. Ergänze Zeichnungen, damit du dich erinnerst, was du in diesem Abschnitt gelernt hast

Das kommt im nächsten Workbook:

- Farben mischen – Was kommt raus?
- Lichtfarben – So funktioniert ein Handdiagnose!
- Achtung Problemen! – Ist die Zitrone wirklich gelb?
- Dagegen! – Farben in ihre Gegenfarben
- Hinters Licht gefühlt – Optische Farben-Täuschungen
- Farben – Jetzt noch mal alles zusammengefasst

Ein Kapitel entspricht ungefähr einer Doppelseite. Wir sprechen uns über das Tempo jeweils ab. Bitte schreibe mir nach jeder Physikstunde auch immer eine Rückmeldung, wie weit du gekommen bist.

Roadmap:
Eine Abbildung, wo man eintragen kann, welche Schritte man schon geschafft hat und auf der man sieht, welche noch kommen.

Abb.2: Beispielseite der einführenden Rahmung – Roadmap mit Dokumentation des Lernfortschritts über alle 6 Kapitel des Workbooks.

4.2. Digitale Erweiterungen

Über QR-Codes, eine begleitende Internetseite (z.B. Padlet) oder auch augmented reality wird das Workbook nun digital erweitert. Zu dieser Erweiterung gehören beispielsweise:

- die Auslagerung längerer Texte, die gelesen, aber nicht anhand von spezifischen Aufgaben bearbeitet werden sollen. Hier wird das Schulbuch in digitaler Form ausgelagert und dadurch gleichzeitig an das Lernprodukt angebunden.
- die Hinterlegung von Bildern (v.a. bei Ausdruck der Workbooks in Graustufen) und Videos
- die Verknüpfung zu Animationen und Simulationen oder browserbasierten Apps
- der Verweis auf die Verwendung einer auf dem digitalen Gerät gespeicherten App
- der Auftrag zur Erstellung eines digitalen Produktes (v.a. Bild, Audio, Video)
- Selbstchecks oder Lernstandsüberprüfungen anhand von Quizen oder Tests.

5. Bisherige Evaluationsergebnisse

Den Rückmeldungen der Lernenden zufolge erwiesen sich aus ihrer Sicht u.a. folgende Aspekte als hilfreich vor allem für das selbstregulierte Lernen in der Zeit der Schulschließungen und des Distanzunterrichts:

- Vorbereitung und Vorstrukturierung der Workbook-Seiten und Arbeitsaufträge

- Transparenz der Unterrichtsstunde / der gesamten Themenreihe durch die kohärente Rahmung des Workbooks
- Übersichtlichkeit / einfacher zu bearbeiten durch kohärentes Design
- Ansprechendes Aussehen auch nach Ausfüllen der Dokumentationen
- hilfreiche wachsende Wörterliste und Lernstandsdokumentation in Lernpfad
- leichte Erreichbarkeit der digitalen Erweiterungen
- Übersichtlichkeit durch ausgelagerte, aber ebenfalls leicht erreichbare digital ausgelagerte Texte.

Als kritische Aspekte wurden von den Schülerinnen und Schülern genannt, dass die Marginalspalte nicht zu viele Icons enthalten dürfe, um übersichtlich zu bleiben und Platz für eigene Notizen zu lassen. Allgemein wünschten sich einige der Lernenden mehr Platz für Notizen.



Abb.3: Links, Icons und QR-Codes in der Marginalspalte des Workbooks.

6. Ausblick Online-Portal und weitere Forschung

Forschungsseitig werden in nachfolgenden Studien und Erprobungen die Wirksamkeit in Bezug auf Lernprozesse, Motivation und Nachhaltigkeit weiter vergleichend untersucht werden. Ein weiteres Forschungsdesiderat bildet die Frage der vergleichenden Wirksamkeitsbetrachtung von analogen und digitalen

Dokumentationsformen sowie der Einbettung der digitalen Erweiterungen.

In Bezug auf die Weiterentwicklung und Zugänglichkeit der Workbooks und der entwickelten Designvorlagen entwickelt das Institut für Didaktik der Physik der Universität Münster (IDP) gemeinsam mit Informatikern der Plattform *tutory* und Webdesignern von *mintley* unter finanzieller Unterstützung der Heraeus-Stiftung aktuell eine für Lehrkräfte zugängliche Plattform zum Erstellen und Teilen von Workbooks für den Physikunterricht. Diese Plattform wird ebenfalls den Zugang zu digitalen Materialien wie Fotos, Videos, Simulationen und Animationen enthalten, mit denen die Lernmaterialien auf diese Weise unkompliziert digital erweitert werden können. Die Phase der Erprobung ist bereits angelaufen. Interessierte Schulen können sich gerne beim IDP melden.

7. Literatur

- Armbruster, B. B. (2000). Taking notes from lectures. In: R. F. Flippo & D. C. Caverly (Hrsg.) Handbook of college reading and study strategy research. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates Publishers, 175–199.
- Baker, L., & Lombardi, B. R. (1985). Students' lecture notes and their relation to test performance. *Teaching of Psychology*, 12(1), 28–32.
- Bligh, D. A. (2000). What's the use of lectures?. San Francisco, CA: Jossey-Bass.
- Cain, M. S., Leonard, J. A., Gabrieli, J. D. E. & Finn, A. S. (2016). Media Multitasking in Adolescence. *Psychonomic Bulletin & Review* 23(6), 1932–1941.
- Fisher, J. L., & Harris, M. B. (1973). Effect of note taking and review on recall. *Journal of Educational Psychology*, 65(3), 321–325.
- Hattie, J. (2013) Lernen sichtbar machen. Baltmannsweiler: Schneider Verlag.
- Heinen, R und Heinicke, S. (2021, eingereicht). Gestaltung von Lernmaterial und Didaktische Typographie. Phyd B.
- Herzig, B. (2014): Wie wirksam sind digitale Medien im Unterricht? Bertelsmann-Stiftung.
- Katayama, A. D., & Robinson, D. H. (2000). Getting students “partially” involved in note-taking using graphic organizers. *The Journal of Experimental Education*, 68(2), 119–133.
- Kiewra, K. A. (1985). Investigating notetaking and review: A depth of processing alternative. *Educational Psychologist*, 20, 23–32.
- Kiewra, K. A., DuBois, N. F., Christian, D., McShane, A., Meyerhoffer, M., & Roskelley, D. (1991). Note-taking functions and techniques. *Journal of Educational Psychology*, 83(2), 240–245.

- Kiewra, K. A., & Fletcher, H. J. (1984). The relationship between levels of note-taking and achievement. *Human Learning: Journal of Practical Research & Applications*, 3(4), 273–280.
- Knight, L. J., & McKelvie, S. J. (1986). Effects of attendance, note-taking, and review on memory for a lecture: Encoding vs. external storage functions of notes. *Canadian Journal of Behavioural Science*, 18(1), 52–61.
- Luo, L.; Kiewra, K. A.; Flanigan, A. E.; Peteranetz, M. S. (2018). Laptop versus Longhand Note Taking: Effects on Lecture Notes and Achievement
Instructional Science: An International Journal of the Learning Sciences (46), 947-971.
- Johnstone, A. H., & Su, W. Y. (1994). Lectures – a learning experience? *Education in Chemistry*, 31(3), 75–79.
- Norton, L. S. and Hartley, J. (1986). What factors contribute to good examination marks? The role of notetaking in subsequent examination performance. *Higher Education* 15, 355–371.
- Sweller, J. (1994). Cognitive load theory, learning difficulty, and instructional design. *Learning and Instruction*, 4(4), 295-312.
- Austin, J.L., Gilbert Lee, M., Thibeault, M.D., Carr, J.E. & Bailey, J.S. (2002). Effects of Guided Notes on University Students' Responding and Recall of Information. *Journal of Behavioral Education* 11, 243–254.
- Heward, W. L. (1994). Three “low-tech” strategies for increasing frequency of active student response during group instruction. In: R. Gardner, III, D. M. Sainato, J. O. Cooper, T. E. Heron, W. L. Heward, J. Eshleman, & T. A. Grossi (Hrsg.). *Behavior analysis in education: Focus on measurably superior instruction*. Pacific Grove, CA: Brooks/Cole, 283–320.
- Lazarus, B. D. (1993). Guided notes: effects with secondary and post-secondary students with mild disabilities. *Education and Treatment of Children*, 16, 272–289.
- Wood, E., Zivcakova, L., Gentile, P., Archer, K., De Pasquale, D. & Nosko, A. (2012). Examining the Impact of Off-Task Multi-Tasking with Technology on Real-Time Classroom Learning. *Computers & Education* 58 (1), 365-374.
- Kinzie, M. B., Whitaker, S. D. & Hofer, M.J. (2005). Instructional Uses of Instant Messaging (IM) during Classroom Lectures. *Journal of Educational Technology & Society* 8 (2).
- Materialien auf www.physikkommunizieren.de

Selbstbestimmtes und angeleitetes Experimentieren im Schülerlabor

Sarah Hohrath*, Heiko Krabbe*, Sandra Aßmann*, Maria Opfermann[†]

*Ruhr-Universität Bochum, Universitätsstr. 150, 44801 Bochum;

[†]Bergische Universität Wuppertal, Gaußstr. 20, 42119 Wuppertal

sarah.hohrath@ruhr-uni-bochum.de, heiko.krabbe@ruhr-uni-bochum.de,

sandra.assmann@ruhr-uni-bochum.de, opfermann@uni-wuppertal.de

Kurzfassung

Schülerlabore ermöglichen Schülerinnen und Schülern (SuS) wie echte Forschende in einer authentischen Lernumgebung zu agieren. In physikalischen Projekten können SuS z. B. einen Experimentierprozess planen, durchführen, auswerten und evaluieren – und somit selbstreguliert lernen. Im Rahmen dieser Mixed Methods-Studie soll untersucht werden, wie der Grad der Instruktion (angeleitet vs. selbstbestimmt) während des Experimentierens – in Abhängigkeit vom Vorwissen des Lernenden – den Kompetenzaufbau (FF1) beziehungsweise den Selbstregulationsprozess beeinflusst (FF2) und wie sich Vorwissen und Instruktionsgrad auf die Judgments of Performance der Lernenden auswirken (FF3). Die Erhebung ist ab Februar 2021 geplant: $N = 128$ SuS der 7. und 8. Jgst. experimentieren in Kleingruppen zum Phänomen des Sonnentalers im Schülerlabor. Hierbei erhalten sie identische Materialien und nach dem Predict-Observe-Explain-Ansatz strukturierte Arbeitsblätter. Die angeleitet experimentierenden Gruppen bekommen Vorgaben für den Ablauf des Experimentierprozesses, während die selbstbestimmt experimentierenden Gruppen explorativ vorgehen können. Während des Experimentierens werden einzelne Kleingruppen videographiert, um ihren Lernprozess hinsichtlich der Selbstregulation zu analysieren. Zudem werden die SuS Fachwissens-tests sowie Judgments of Performance und Confidence Judgments ausfüllen. Der Beitrag gibt erste Einblicke in das Projekt, Erkenntnisse aus einer Pilotierungsstudie und erläutert das geplante Forschungsvorhaben.

1. Theoretische Grundlagen

Schülerinnen und Schüler benötigen konkrete Erfahrungen mit Phänomenen, um daraus physikalische Konzepte entwickeln können (von Aufschnaiter & Rogge, 2010). Es besteht jedoch ein Zwiespalt, inwiefern die Konzeptbildung besser gelingt, wenn die Lernenden durch geeignete Anleitung zu den notwendigen Erfahrungen hingeführt werden oder sie diese beim eigenständigen forschenden Lernen selbstreguliert entdecken (z. B. Kirschner et al., 2006; Lazonder & Harmsen, 2016).

Im (deutschen) Physikunterricht findet teils „kochbuchartiges“ Experimentieren statt (Hopf & Berger, 2011), sodass die Lernenden nur einen vorgegebenen Plan bearbeiten und dementsprechend angeleitet arbeiten. Schülerexperimente ermöglichen es Schülerinnen und Schülern aber auch, selbstbestimmt ein Experiment zu planen, durchzuführen, und dabei gegebenenfalls Anpassungen vorzunehmen, und es abschließend auszuwerten (Wirth et al., 2008). Dies erfordert selbstregulierte Tätigkeiten, die Teil der metakognitiven Komponente des selbstregulierten Lernens sind (z. B. Boekaerts, 1999; Otto et al., 2011) und je nach Vorwissen und Selbstständigkeit der Lernenden, Unterstützung durch die Lehrkraft benötigen (Girwidz, 2015).

In diesem Projekt wird daher die Auswirkung von angeleitetem und selbstbestimmtem Experimentieren auf den Kompetenzaufbau untersucht und verglichen.

Wenn Schülerinnen und Schüler selbstbestimmt experimentieren, müssen sie sich eigenständig einen Experimentierplan überlegen, diesen durchführen und auf überraschende beziehungsweise unerwartete Ergebnisse reagieren und eigenständig Schlussfolgerungen anstellen. Dabei kann es passieren, dass sie wesentliche Aspekte des Experiments nicht entdecken. Experimentieren sie hingegen angeleitet, so entfällt der Planungsschritt. Sie müssen nicht auf unerwartete Ergebnisse mittels einer Umplanung von Experimenten reagieren, sondern werden gezielt durch alle für die Konzeptentwicklung relevanten Aspekte des Experiments geführt. Insbesondere für das selbstständige Experimentieren bieten Schülerlabore eine authentische Umgebung, sodass die Schülerinnen und Schüler wie echte Forscherinnen und Forscher handeln können (Sommer et al., 2018).

Die selbstregulierten Tätigkeiten werden von metakognitiven Urteilen begleitet, welche die Schülerinnen und Schüler während des Experimentierens bilden (Schraw, 2009) – wir beschränken uns hierbei auf Judgments of Performance (JoP) und Judgments of Learning (JoL), da beide Maße mit einem Lernerfolgstest in Beziehung gesetzt und interpretiert werden können (vgl. Kant et al., 2017). Die Judgments of Performance erheben prospektiv, wie Schülerinnen und Schüler ihre Leistung in einem zur Thematik passenden Test einschätzen, während die Judgments of Learning prospektiv eine Selbsteinschätzung des Verständnisses bezüglich der Thematik fordern

(DeBruin et al., 2017). Durch die prospektive Erhebung erhalten wir die bestmögliche unbeeinflusste Einschätzung der Lernenden über ihr Lernen und ihren Lernstand, weil die Schülerinnen und Schüler ihr Urteil auf Grundlage ihrer eigens gesammelten Erfahrungen während des Experimentierens fällen und diese noch nicht durch eine Leistungsabfrage – und das damit einhergehende Feedback – beeinflusst wurden. Wir gehen davon aus, dass Unterschiede im Instruktionsgrad während des Experimentierens (also selbstbestimmtes versus angeleitetes Arbeiten) einen Einfluss auf die Selbsteinschätzungen des Lernstandes ausüben und damit zu unterschiedlichen Judgments of Performance respektive of Learning führen.

2. Forschungsfragen

Daraus entwickeln sich die folgenden Forschungsfragen:

(FF1) Wie beeinflusst der Grad der Instruktion (angeleitet vs. selbstbestimmt) während des Experimentierens – in Abhängigkeit vom Vorwissen des Lernenden – den Konzeptaufbau?

(FF2) Wie beeinflusst der Grad der Instruktion (angeleitet vs. selbstbestimmt) während des Experimentierens – in Abhängigkeit vom Vorwissen des Lernenden – den Selbstregulationsprozess?

(FF3) Wie wirken sich das Vorwissen und der Instruktionsgrad auf die Judgments of Performance (JoP) und Judgments of Learning (JoL) der Lernenden aus?

3. Forschungsdesign der aktuellen Studie

Es werden das Schülerlaborprojekt, der Fachwissenstest und dessen Pilotierung, die Experimentierphase sowie die Erhebung der metakognitiven Urteile dargestellt.

3.1. Das Schülerlaborprojekt

Die Schülerinnen und Schüler nehmen im Klassenverband an einem Projekt im Alfred-Krupp-Schülerlabor der Ruhr-Universität Bochum teil, in dem das Phänomen der Sonntaler untersucht wird. Hierbei handelt es sich um kreisrunde Lichtflecken, die bei sonnigem Wetter unter einem Blätterdach zu sehen sind (Schlichting, 1994). Durch die Sonne als kreisrunde, ausgedehnte Lichtquelle entsteht bei der Abbildung der nicht kreisförmigen Lücken im Blätterdach auf dem Boden ein kreisförmiger Lichtfleck als Überlagerung (Schlichting, 1995). In unserem Projekt können die Schülerinnen und Schüler anhand von vier Lichtquellen (einer punktförmigen Taschenlampe, einer länglichen und einer mit 9 im Kreis angeordneten LEDs sowie einer ausgedehnten, matten Haushaltsglühlampe) und drei Blenden (einer dreieckigen, einer runden und einer viereckigen) das Phänomen anhand von diversen, selbst durchzuführenden Modellexperimenten untersuchen.

Der Projekttag ist dabei wie folgt aufgebaut: Nach der Begrüßung füllen die Teilnehmenden den Fachwissenstest zur Optik aus. Danach wird das nötige Vorwissen für die Experimente kurz aktiviert und die Teilnehmenden beginnen in Kleingruppen zu experimentieren. Nach dem Experimentieren geben die Schülerinnen und Schüler individuell ihre metakognitiven Urteile bezüglich ihrer Performance (JoP) und ihres eigenen Lernens (JoL) ab. Dann wird erneut der Fachwissenstest ausgefüllt und es findet eine Auflösung des Phänomens statt, indem die Entstehung der Sonntaler mit den Schülerinnen und Schülern besprochen wird. Abschließend erhalten die Schulklassen die Möglichkeit, ihr gelerntes Wissen auf Schattenexperimente zu übertragen, indem sie analoge Experimente mit Schattenkörpern statt Blenden durchführen.

3.2. Fachwissenstest

Der Fachwissenstest zu Beginn und Ende des Projekttag wurde basierend auf Two-Tier-Items von Teichrow und Erb (2019) entwickelt und um adaptierte Aufgaben nach Haagen-Schützenhöfer und Hopf (2013), Mavanga (2001) sowie McDermott und Shaffer (2009) ergänzt. Er umfasst die Themen Lichtausbreitung und Abbildungen an Blenden, bei Schattenkörpern und am ebenen Spiegel. Auf der ersten Ebene wird ein physikalischer Sachverhalt abgefragt, für den auf der zweiten Ebene eine Begründung gegeben werden muss. Die erste Ebene besteht aus Multiple-Choice-Single-Select-Aufgaben mit drei Antwortmöglichkeiten, die zweite Ebene aus Aufgaben mit vier Antwortmöglichkeiten. In Abb. 1 ist ein Beispielitem zu sehen. Insgesamt bestehen sowohl der Vorwissenstest als auch der Nachwissenstest aus 19 Items, die die Ausbreitung von Licht, Schattenabbildungen, Blendenabbildungen sowie Spiegelungen thematisieren.

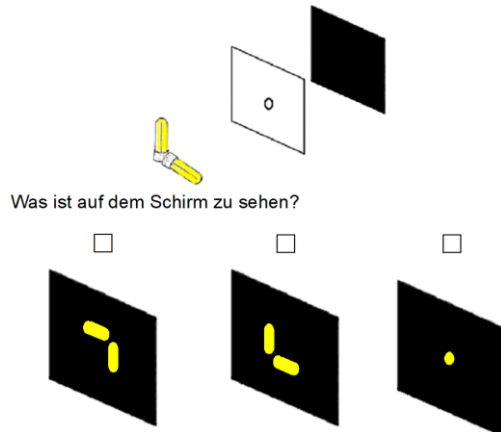
Bewertet wird der Test, indem ein Punkt für eine richtige Antwort auf der ersten Stufe gegeben wird und zusätzlich ein weiterer, wenn auch die Begründung stimmt. Die richtige Begründung führt bei einer falschen Antwort auf der ersten Stufe jedoch zu null Punkten. Somit können die Teilnehmenden 0, 1 oder 2 Punkte erhalten.

3.2.1. Pilotierung des Fachwissenstests

Der Fachwissenstest wurde von 12.2020 – 02.2021 pilotiert, wobei dies auf Grund des Wechsels von Präsenz- zu Distanzunterricht analog und digital stattfand. Insgesamt haben $N=83$ Schülerinnen und Schüler der siebten Jahrgangsstufe eines nordrhein-westfälischen Gymnasiums den Fachwissenstest ausgefüllt. Es wurden 33 Items auf 3 Testhefte in einem rotierenden System aufgeteilt und es konnte mittels einer Rasch-Analyse eine optimierte Itemauswahl von 19 Items für das endgültige Testheft vorgenommen werden. Die Personen-Reliabilität verbesserte sich von 0.46 bei 33 Items auf 0.48 bei den 19 verbleibenden Items. Die geringe Personen-Reliabilität deutet

darauf hin, dass die Konzepte zu optischen Abbildungen bei den Lernenden noch instabil und in der Entwicklung sind. Die Messung eines Lernfortschritts könnte damit trotzdem möglich sein (Lienert & Raatz, 1998). Eine Faktorenanalyse konnte auf Grund der Blockstruktur nicht durchgeführt werden.

Zwei Stablampen bilden zusammen ein „L“. Sie beleuchten eine Lochblende.



Was ist auf dem Schirm zu sehen?

- Durch die geradlinige Lichtausbreitung wird nur das Loch abgebildet.
 Durch die geradlinige Lichtausbreitung ist die Abbildung der Lampen seitenverkehrt.
 Die Form der Lichtquellen bestimmt die Abbildung.
 Die Form der Blende bestimmt die Abbildung.

Abb.1: Beispielaufgabe aus dem Fachwissenstest – Bereich Blendenabbildung

3.3. Experimentierphase

Während des Experimentierens werden die Kleingruppen auf die beiden Interventionen (angeleitet versus selbstbestimmt) aufgeteilt und untersuchen das Phänomen der Sonnentaler. In beiden Interventionen erhalten die Lernenden dieselben Materialien und Experimentieranschläge, in denen die Parameter Blende und Lichtquelle variiert werden. In der angeleiteten Gruppe ist die Abfolge der Experimentieranschläge festgelegt, in der selbstbestimmten Gruppe nicht.

Die Experimentieranschläge orientieren sich am Predict-Observe-Explain-Ansatz (White & Gunstone zitiert nach Mayer, 2008), sodass die Kleingruppen zuerst eine Erwartung für den Experimentausgang aufschreiben müssen und dann angeben, wie sicher sie sich mit ihrer Erwartung sind (Skala von 1 bis 7), um anschließend das Experiment durchzuführen. Nach der Beobachtung müssen die Schülerinnen und Schüler in ihren Kleingruppen eine Erklärung für das Beobachtete finden und auch hier angeben, wie sicher sie sich mit ihrer Erklärung sind.

3.4. Metakognitive Urteile

Die metakognitiven Urteile, zu denen unter anderem Judgments of Learning und Judgments of Performance gehören (Schraw, 2009), werden im Rahmen

des Schülerlabortages mittels jeweils zwei Fragen direkt nach dem Beenden der Experimentierphase erhoben. Die Fragen für die Einschätzungen sind jeweils an den Fachwissenstest angepasst und beziehen sich dementsprechend immer auf das Themenfeld der geometrischen Optik. Die erste Frage zum Judgment of Learning bzw. Judgment of Performance bezieht sich auf die erste Ebene im Fachwissenstest und erfasst, wie gut die Antwort erinnert bzw. gegeben werden kann. Die zweite Frage bezieht sich jeweils auf die zweite Ebene des Fachwissenstests, also auf die Begründung. Die Schülerinnen und Schüler geben ihre Einschätzung auf einer Skala von 0 bis 100 Prozent an.

4. Bisherige Erkenntnisse aus der Pilotierung

Im Rahmen einer Pilotierungsstudie, deren Datenerhebung im Januar 2020 stattfand, konnten bereits erste Erkenntnisse für das Forschungsprojekt gesammelt werden.

4.1. Stichprobe

Es haben insgesamt $N = 15$ Schülerinnen und Schüler einer achten Jahrgangsstufe eines Gymnasiums in Nordrhein-Westfalen an der Erhebung teilgenommen. Die Lernenden haben in Gruppen von $n = 3$ Lernenden zusammen experimentiert, wobei die Gruppen von der Lehrkraft zusammengesetzt wurden. Zwei der fünf Gruppen arbeiteten selbstbestimmt und die anderen drei Gruppen angeleitet.

4.2. Design der Pilotierung

Die Kleingruppen erhielten jeweils denselben Kontext (Sonnentaler), eine Leitfrage, die sie nach dem Experimentierprozess beantworten sollten, sowie sechs Experimentieranschläge, die die drei Lichtquellen (punktförmig, länglich, ausgedehnt) und zwei Blenden (rund, dreieckig) kombinierten. Darin wurden die Lernenden zuerst aufgefordert eine Erwartung der Abbildung aufzuschreiben (predict), anschließend das Experiment durchzuführen (observe) und schlussendlich eine Erklärung für das gesehene Lichtbild zu geben (explain).

Während die angeleitete Experimentierende die Bearbeitungsabfolge der Experimentieranschläge vorgegeben bekamen, mussten die selbstbestimmten Arbeitenden die Abfolge selbst festlegen. Es wurde erwartet, dass sie diese Entscheidung auf Basis der Erfahrungen aus den vorangegangenen Experimenten treffen. Durch die Experimentieranschläge sollte aber auch gesichert werden, dass alle Schülerinnen und Schüler die für die Konzeptbildung relevanten Situationen erleben.

In der Pilotierung wurden die Selbstregulierungsprozesse betrachtet, aber das Fachwissen und die metakognitiven Erfahrungen noch nicht erfasst.

4.3. Datenerfassung und Auswertung

Die Schülerinnen und Schüler wurden während des Experimentierens aus zwei Perspektiven audio- und videographiert, um einen möglichst umfangreichen Einblick in ihren Experimentier- und Lernprozess zu erhalten.

Die Videos der Experimentierphasen wurden nach Dresing und Pehl (2011) transkribiert und anschließend kodiert. Die Kodierung erfolgte in Anlehnung an eine Unterteilung von selbstreguliertem Lernen. Selbstreguliertes Lernen wird zum einen durch Komponentenmodelle, wie z. B. das Drei-Schichten-Modell von Boekaerts (1999), und zum anderen durch Prozessmodelle, wie z. B. das Selbstregulations-Prozessmodell von Schmitz, beschrieben (Götz & Nett, 2017). Im Rahmen dieser Pilotierung betrachten wir Komponenten des selbstregulierten Lernens, sodass das selbstregulierte Lernen anhand der Komponentenmodelle vorgestellt wird. Selbstregulierte Tätigkeiten können demnach in drei Komponenten unterteilt werden: die kognitive, die metakognitive und die motivationale. Die metakognitiven Lernstrategien sind den kognitiven übergeordnet (Schuster, 2019), da die kognitiven bei der Informationsaufnahme und -verarbeitung verwendet werden (Artelt & Wirth, 2014; Wild, 2018) und somit positiv durch die metakognitiven Strategien beeinflusst werden können (z. B. Schuster, 2019). Die metakognitiven Lernstrategien, die auch im Fokus der Arbeit standen, sind das Planen, Überwachen, Regulieren und Evaluieren des eigenen Lernens (z. B. Otto et al., 2011). Dies ist insbesondere für die selbstbestimmt-arbeitenden Gruppen unerlässlich, da diese sich einen eigenen Plan schreiben und eigenständig experimentieren mussten.

Wenn eine Planung zum Einsatz einer Lernstrategie für das weitere Vorgehen stattfindet, handelt es sich um eine metakognitive Planung (z. B. Thillmann, 2007). Basiert die Planung nur auf der reinen Organisation eines Ablaufs, ist es eine kognitive. Nicht alle Aussagen von Schülerinnen und Schülern sind eindeutig zuzuordnen, sodass die Kategorie der Planung unterteilt wurde in kognitive, metakognitive und nicht-eindeutig zuzuordnende Planung (siehe Tab. 1).

Unter überwachenden Lernstrategien, auch Monitoring genannt, fallen Äußerungen, in denen die Lernenden ihren eigenen Wissensstand bzw. ihr Vorgehen reflektieren (z. B. Hasselhorn & Artelt, 2018). Eine Regulation des eigenen Lernens findet wiederum statt, wenn auf Basis des Überwachten ein Eingreifen durch die Lernenden in den Arbeitsprozess stattfindet und dieser, beispielsweise auf Grund neuer Erkenntnisse, angepasst werden muss (z. B. Stebner et al., 2015). Die Evaluation umfasst die Fragen nach dem Erreichen des angestrebten Lernergebnisses und dem Verständnis des Inhaltes (z. B. Nückles & Wittwer, 2014).

Zudem wird das strategische Wissen der Schülerinnen und Schüler kodiert, um einen Einblick zu erhalten, inwieweit die Lernenden Ergebnisse miteinander

in Beziehung setzen, den Kontext nutzen oder eine Rollenverteilung vornehmen, denn all dies kann eine erfolgreiche Bewältigung einer Aufgabe unterstützen.

4.4. Ergebnisse

Durch die Kodierung anhand der Transkripte konnte folgende Tabelle 1 erstellt werden. Dabei ist zu beachten, dass die Gruppen 1 und 5 selbstbestimmt experimentiert haben und die Gruppen 2, 3 und 4 die Anleitung erhalten haben. Es wurde der Quotient „Kodierungen pro Minute“ zur besseren Vergleichbarkeit gebildet, da die einzelnen Kleingruppen unterschiedlich viel Zeit benötigt haben. Es konnte in der Stichprobe kein Unterschied in dem Selbstregulationsgrad zwischen den Interventionen ermittelt werden. In dieser Stichprobe lernen die selbstbestimmt-arbeitenden Kleingruppen nicht häufiger selbstreguliert als die angeleitet-arbeitenden. Insbesondere bei den Planungsstrategien wäre ein Unterschied zu erwarten gewesen, da die selbstbestimmt-arbeitenden Kleingruppen eine Planung vornehmen mussten, aber dies wird durch den Quotienten „Planungsstrategien pro Minute“ nicht belegt.

4.5. Diskussion

Offenbar reichte die Variation zwischen den beiden Gruppen angeleitet und selbständig nicht aus, um ein unterschiedliches Verhalten hervorzurufen. Die selbstbestimmt experimentierenden Gruppen zeigen kein schrittweises explorierendes Vorgehen, das sich an den vorhergehenden Beobachtungen orientiert, sondern arbeiten einen selbst zu Beginn festgelegten Plan unabhängig von den Resultaten ab. Ursache dafür kann sein, dass die geringe Anzahl von nur sechs Kombinationsmöglichkeiten kein Explorieren notwendig macht oder dass die Schülerinnen und Schüler aus dem Unterricht ein explorierendes Vorgehen nicht gewohnt sind.

Basierend auf den Ergebnissen, die auf Grund der Stichprobengröße nicht verallgemeinerbar sind, wird der Unterschied zwischen selbstbestimmtem und angeleitetem Experimentieren vergrößert. Die selbstbestimmten Gruppen bekommen keine Experimentier-vorschläge mehr, sondern nur Protokollbögen, die das Predict-Observe-Explain-Prinzip einfordern. Dabei werden sie angehalten, die Experimente schrittweise nacheinander zu planen. Außerdem wird das Experimentiermaterial um eine weitere Lampe (9-LED-Taschenlampe) und eine weitere Blendenform (viereckig) erweitert, um mehr Kombinationsmöglichkeiten zu schaffen. Für die Hinzunahme der Taschenlampe mit 9 LEDs spricht auch, dass allen Gruppen in der Pilotierung der gedankliche Schritt zur Überlagerung vieler punktförmiger Lichtquelle bei der ausgedehnten Lichtquelle schwerfiel. Die 9 LED-Taschenlampe bietet dafür einen gedanklichen Zwischenschritt an.

| Gruppe | 1 Selbst- bestimmt | 2 Angeleitet | 3 Angeleitet | 4 Selbst- bestimmt | 5 Angeleitet | Summe |
|---|--------------------------|-----------------|-----------------|--------------------------|-----------------|-------|
| Metakognitive Planung | 0 | 0 | 2 | 4 | 3 | 9 |
| Kognitive Planung | 7 | 0 | 0 | 0 | 7 | 14 |
| Nicht-eindeutig zu- zuordnende Planung | 25 | 9 | 24 | 31 | 3 | 92 |
| Monitoring | 40 | 25 | 23 | 23 | 13 | 124 |
| Regulation | 56 | 15 | 12 | 20 | 13 | 116 |
| Evaluation | 41 | 25 | 24 | 44 | 9 | 143 |
| Strategisches Wissen | 7 | 6 | 5 | 23 | 6 | 46 |
| Summe | 176 | 80 | 90 | 145 | 54 | 544 |
| Verwendete Zeit (in Min.) | 70,85 Min. | 50,85 Min. | 20,3 Min. | 54,45 Min. | 26,15 Min. | |
| Kodierungen pro Minute | 2,5 | 1,6 | 4,4 | 2,7 | 2,1 | |
| Planungsstrategien pro Minute | 0,5 | 0,2 | 1,3 | 0,6 | 0,5 | |

Tab. 1: Häufigkeitsverteilung der einzelnen Kategorien im Datenmaterial (entnommen aus Hohrath, 2020)

5. Zeitlicher Ablauf des Forschungsvorhabens

Bisher konnten der Schülerlabortag erstellt und die einzusetzenden Instrumente zusammengestellt sowie der Fachwissenstest pilotiert werden. Zudem war es möglich, mit einer kleinen Stichprobe erste qualitative Erkenntnisse zu sammeln. Nun steht die Datenerhebung im Alfred-Krupp-Schülerlabor der Ruhr-Universität Bochum an, die auf Grund der geltenden Corona-Beschränkungen noch nicht stattfinden konnte.

6. Literatur

- Artelt, C. & Wirth, J. (2014). Kognition und Metakognition. In T. Seidel & A. Krapp (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie* (6., vollständig überarbeitete Aufl., S. 167-192). Beltz Verlag.
- Boekaerts, M. (1999). Self-regulated learning: where we are today. *International Journal of Educational Research*, 31(6), 445-457.
- de Bruin, A., Dunlosky, J., & Cavalcanti, R. B. (2017). Monitoring and regulation of learning in medical education: the need for predictive cues. *Medical Education*, 51, 575-584.

- Dresing, T., & Pehl, T. (2011). *Praxisbuch Transkription. Regelsysteme, Software und praktische Anleitungen für qualitative ForscherInnen*. Eigenverlag.
- Girwidz, R. (2015): Medien im Physikunterricht. In E. Kircher, R. Girwidz, & P. Häußler (Hrsg.), *Physikdidaktik. Theorie und Praxis* (3. Aufl., S. 193-245). Springer Spektrum.
- Götz, T. & Nett, U. E. (2017). Selbstreguliertes Lernen. In T. Götz (Hrsg.), *Emotion, Motivation und Selbstreguliertes Lernen* (2. Auflage, S. 143-184). Verlag Ferdinand Schöningh.
- Haagen-Schützenhöfer, C., & Hopf, M. (2013 – nicht veröffentlicht). Testheft Optik (Version März).
- Hasselhorn, M., & Artelt, C. (2018). Metakognition. In D. H. Rost, J. R. Sparfeldt, & S. R. Buch (Hrsg.), *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie* (5., überarbeitete und erweiterte Aufl., S. 520-525). Beltz Verlag.
- Hohrath, S. (2020). *Selbstregulative Fähigkeiten im Kontext von angeleitetem und selbstbestimmtem Experimentieren – Eine qualitative Studie*. Masterarbeit zur Erlangung des Grades Master of Education. Witten.
- Hopf, M., & Berger, R. (2011). Experimentieren. In H. Wiesner, H. Schecker, & M. Hopf (Hrsg.), *Physikdidaktik kompakt* (S. 106-114). Aulis Verlag.

- Kant, J. M., Scheiter, K., & Oschatz, K. (2017). How to sequence video modeling examples and inquiry tasks to foster scientific reasoning. *Learning and Instruction, 52*, 46-58.
- Kirschner, P. A., Sweller, J. & Clark, R. E. (2006). Why Minimal Guidance During Instruction Does Not Work: An Analysis of the Failure of Constructivist, Discovery, Problem-Based, Experiential, and Inquiry-Based Teaching. *Educational Psychologist 41*(2), 75-86.
- Lazonder, A. W., & Harmsen, R. (2016). Meta-analysis of inquiry-based learning: Effects of guidance. *Review of educational research, 86*(3), 681-718.
- Lienert, G. A. & Raatz, U. (1998). *Testaufbau und Testanalyse* (6. Aufl.). Weinheim: Beltz.
- Mavanga, G. G. (2001). *Entwicklung und Evaluation eines experimentell- und phänomenorientierten Optikcurriculums. Untersuchung zu Schülervorstellungen in der Sekundarstufe I in Mosambik und Deutschland*. Logos Verlag.
- Mayer, R. E. (2008). *Learning and Instruction* (2. Aufl.). Pearson.
- McDermott, L. C., & Shaffer, P. S. (2009). *Tutorien zur Physik*. In Zusammenarbeit mit der Physics Education Group University of Washington. Pearson Verlag.
- Nückles, M. & Wittwer, J. (2014). Lernen und Wissenserwerb. In T. Seidel & A. Krapp (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie* (6., vollständig überarbeitete Aufl., S. 225-252). Beltz Verlag.
- Otto, B., Perels, F., & Schmitz, B. (2011). Selbstreguliertes Lernen. In H. Reinders, H. Ditton, C. Gräsel, & B. Gniewosz, (Hrsg.). *Empirische Bildungsforschung. Gegenstandsbereiche* (S. 33-44). Springer VS.
- Schlichting, H. J. (1995). Sonnentaler fallen nicht vom Himmel. Geringfügig erweiterte Version eines Aufsatzes erschienen in *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht, 48/4*, 199-207.
- Schlichting, H. J. (1994). Sonnentaler – Abbilder der Sonne. *Praxis der Naturwissenschaften – Physik, 43/4*, 19, 2-6.
- Schraw, G. (2009). Measuring metacognitive judgments. In D. J. Hacker, J. Dunlosky, & A. C. Graesser (Hrsg.), *Handbook of Metacognition in Education* (S. 415-428). Routledge.
- Schuster, C. (2019). *Transfer metakognitiver Strategien beim selbstregulierten Lernen: Ein Konzept zur Verknüpfung verschiedener Lerngelegenheiten im Ganztage*. Inauguraldissertation zur Erlangung des akademischen Grades einer Doktorin der Philosophie der Fakultät für Philosophie und Erziehungswissenschaft der Ruhr-Universität Bochum. Gladbeck.
- Sommer, K., Wirth, J., & Rummel, N. (2018). Authentizität der Wissenschaftsvermittlung im Schülerlabor – Einführung in den Thementeil. *Unterrichtswissenschaft, 46*, 253-260.
- Stebner, F., Schiffhauer, S., Schmeck, A., Schuster, C., Leutner, D. & Wirth, J. (2015). *Selbstreguliertes Lernen in den Naturwissenschaften. Praxis-material für die 5. und 6. Jahrgangsstufe*. Waxmann.
- Teichrow, A., & Erb, R. (2019). Entwicklung und Evaluation eines zweistufigen Testinstruments für Schülervorstellungen zur Anfangsoptik. *Didaktik der Physik – Frühjahrstagung*. Aachen.
- Thillmann, H. (2007). *Selbstreguliertes Lernen durch Experimentieren: Von der Erfassung zur Förderung*. Dissertation zur Erlangung des Grades Dr. Phil. Essen.
- von Aufschnaiter, C., & Rogge, C. (2010). Wie lassen sich Verläufe der Entwicklung von Kompetenz modellieren? *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 16*, 95-114.
- Wild, K.-P. (2018). Lernstrategien und Lernziele. In: D. H. Rost, J. R. Sparfeldt, & S. R. Buch (Hrsg.), *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie* (5., überarbeitete und erweiterte Aufl., S. 467-473). Beltz Verlag.
- Wirth, J., Thillmann, H., Künsting, J., Fischer, H. E., & Leutner, D. (2008). Das Schülerexperiment im naturwissenschaftlichen Unterricht. Bedingungen der Lernförderlichkeit einer verbreiteten Lehrmethode aus instruktionspsychologischer Sicht. *Zeitschrift für Pädagogik, 54*, 361-375.

Danksagung

Dieses Forschungsprojekt ist Teil des Promotionskollegs „Metakognitives Monitoring in authentischen Lehr-/Lernkontexten im Schülerlabor (MeMo-akS)“ der Professional School of Education der Ruhr-Universität Bochum. Unser besonderer Dank geht an die Forschenden, die uns ihre Items für den Fachwissenstest zur Verfügung gestellt haben und an die Schülerinnen und Schüler und die Lehrkräfte, die an der Pilotierungsstudie sowie an der Pilotierung des Fachwissenstests mitgewirkt haben. Ohne diese Unterstützung wäre das Forschungsvorhaben bisher nicht umsetzbar gewesen.

Physik und Sport

Kontextorientierte Unterrichtsmaterialien zur Förderung des Interesses am Mechanikunterricht

Moritz Kriegel*, Verena Spatz*

*Technische Universität Darmstadt
Didaktik der Physik
Hochschulstraße 12
64289 Darmstadt

moritz.kriegel@physik.tu-darmstadt.de

Kurzfassung

Das geringe Interesse der Lernenden an Physik ist seit der IPN-Studie bekannt und seitdem auf weitgehend gleichbleibendem Niveau. Dabei gilt die Mechanik oft als ein besonders uninteressantestes Themengebiet. Demgegenüber zeigen empirische Befunde allerdings auch, dass der Interessenunterschied weniger durch das Thema als vielmehr durch die Einbettung in bestimmte Kontexte und die damit verbundenen Tätigkeiten hervorgerufen wird (Elster, 2010). Eine Möglichkeit das Interesse an Physik zu fördern stellt dementsprechend ein "Lernen in sinnstiftenden Kontexten" (Muckenfuß, 1995) dar. Es konnte theoretisch begründet werden, dass sich der Sport durch seine Alltäglichkeit sowie durch vielfältige Bezüge der Physik zum menschlichen Körper als ein solcher sinnstiftender Kontext im Mechanikunterricht eignet. Aus diesem Grund wurden im Rahmen einer Abschlussarbeit Vorschläge für die Erarbeitung von vier Inhalten aus dem Bereich der Mechanik im Kontext Sport mit entsprechenden Materialien für die Einführungsphase der gymnasialen Oberstufe in Hessen entwickelt. Eine semistrukturierte Lehrkräftebefragung hat Indizien dafür geliefert, dass die Konzepte trotz eines hohen Zeitaufwandes zur Steigerung des Interesses im Physikunterricht beitragen können.

1. Einleitung

Sport ist Physik – Betrachtet man einen Turner, wie er gekonnt seine Kür am Reck absolviert, eine Diskuswerferin, die den Diskus in die Luft schleudert oder eine Schwimmerin, die scheinbar mühelos pfeilschnell durchs Wasser gleitet, so sind die meisten Menschen zunächst einmal von der scheinbaren Einfachheit der Bewegungen begeistert. Schaut man jedoch etwas genauer hin, treten die vielfältigsten physikalischen Gesetzmäßigkeiten zu Tage, die diesen Bewegungen zugrunde liegen. Der Turner weiß aufgrund von jahrelanger Übung ganz genau, in welchen Momenten er die Arme anziehen, die Beine strecken oder die Hüfte anwinkeln muss, damit die Bewegung gelingt. Verborgen bleibt dabei meist, dass er dadurch ganz gezielt (ob bewusst oder unbewusst) die richtigen Hebelverhältnisse für eine Kippe oder den notwendigen Drehimpuls für einen Salto zum Abgang erzeugt. Auch wird meist nicht offensichtlich, dass die vorherrschenden Kraft- und Auftriebsverhältnisse ganz maßgeblich die Flug- oder Gleiteigenschaften von Diskus und Schwimmerin beeinflussen.

Ganz allgemein finden sich nahezu alle Themen der Mechanik in der Schule in den verschiedensten Sportarten wieder und viele können sogar direkt am

eigenen Körper in der Bewegungsausführung oder indirekt, beispielsweise über die Flugbahn eines Balles, erfahren werden. Der Sport soll daher im Folgenden als interessanter und sinnstiftender Kontext begründet werden und anschließend als Grundlage für Unterrichtsmaterialien aus vier Themen der Mechanik dienen.

2. Interesse an Physik

Das Interesse stellt nach Krapp (1992) eine stark subjektive, affektionale Eigenschaft von Menschen dar, die das schulische Lernen maßgeblich beeinflusst. Er unterscheidet dabei individuelles und situatives Interesse. Während ersteres eine relativ stabile Persönlichkeitseigenschaft darstellt, beschreibt zweiteres eher eine spontane Interessantheit, die beispielsweise durch ansprechende Lernmaterialien oder motivierende Unterrichtssettings geweckt werden kann. Beide Interessenskonstrukte haben dabei einen starken Einfluss auf die Lernleistung (vgl. Krapp, 1992, S.749).

Betrachtet man explizit das Interesse und die Beliebtheit am Physikunterricht, so fällt das Ergebnis eher nüchtern aus. So ist spätestens seit der IPN-Studie weitgehend bekannt, dass ein mangelndes Interesse der Lernenden am Physikunterricht besteht (vgl.

Hoffmann et al., 1998). Die Autoren unterscheiden dabei in *Sachinteresse*, also das Interesse an der Physik als Naturwissenschaft und in *Fachinteresse*, also das Interesse am Schulfach Physik. Das Fachinteresse der Mädchen an Physik ist dabei über alle Jahrgänge hinweg geringer als jenes der Jungen und rangiert stets hinter den Interessen an anderen naturwissenschaftlichen Fächern. Das Sachinteresse ist ebenfalls als relativ gering einzustufen und nimmt im Laufe der Schuljahre immer weiter ab. Empirische Befunde zeigen aber auch, dass der Interessesunterschied weniger durch das Thema als vielmehr durch die Einbettung in bestimmte Kontexte und die damit verbundenen Tätigkeiten hervorgerufen wird (Elster, 2007). Themen, die aus dem Alltag der Lernenden kommen oder einen konkreten Bezug zum menschlichen Körper besitzen, werden hingegen als besonders interessant eingestuft (vgl. Hoffmann et al., 1998). Themen, die einer reinen Fachsystematik folgen, werden dagegen als uninteressant gewertet (vgl. Hoffmann et al., 1998; Merzyn, 2008). Bis heute bleibt das Interesse an physikalischen Themen oder am Schulfach Physik insgesamt allerdings auf einem weitgehend niedrigen Niveau (z.B. Prenzel, 2007; Merzyn, 2008; Daniels, 2008).

3. Kontextorientierter Physikunterricht

Als Möglichkeit zur Förderung des Interesses wird immer wieder die Einbettung in die richtigen Kontexte gefordert. Um diesem Umstand Rechnung zu tragen, wird schon seit 1995 von Heinz Muckenfuß das „Lernen in sinnstiftenden Kontexten“ gefordert und aktuelle Projekte, wie „Physik im Kontext“ (Duit & Mikelskis-Seifert, 2012) versuchen, eine Anwendung im Unterricht zu ermöglichen. Es wird insgesamt das Ziel verfolgt, den Physikunterricht näher an der Lebenswelt zu gestalten. Ein Kontext ist dabei nach Muckenfuß ein „lebenspraktisch bedeutsamer Themenbereich, dessen physikalische Erschließung eine differenzierte Sichtweise eröffnet sowie die Kommunikations- und Handlungsfähigkeit [der Lernenden] vergrößert“ (ebd. 1995, S. 270). Bei der Anwendung einer Kontextorientierung im Unterricht warnt Müller (2006) allerdings davor, dass „authentische Kontexte [häufig nur] vorgegaukelt [...]“ werden und so zu „vorgeblichen Kontexten“ (ebd., S.109) verkommen. Der Kontext diene beispielsweise zu Beginn der Unterrichtsstunde als motivierendes Alltagsbeispiel und werde dann nicht mehr erwähnt.

Über die Frage, inwiefern kontextorientierte Unterrichtsettings einen positiven Einfluss auf die Lernleistung der Schülerinnen und Schülern haben, lässt sich nach wie vor keine eindeutige Aussage treffen. Eine internationale Metastudie von Bennet et al. (2003) kommt zu dem Ergebnis, dass der Lernerfolg ähnlich groß, wie in einem „klassischen“ Physikunterricht einzuschätzen ist.

Zur Frage, inwiefern eine Kontextorientierung die Einstellung und das Interesse hinsichtlich des Physikunterrichts fördern kann, zeichnet die Studie von

Bennet et al. (2003) ein positives Bild. Sie kommt zu dem Ergebnis, dass die Lernenden durch kontextbasierte Ansätze einerseits eine gesteigerte Motivation für den naturwissenschaftlichen Unterricht zeigen und andererseits eine positivere Einstellung zu den Naturwissenschaften im Ganzen entwickeln können (vgl. Bennett et al., 2003). Eine deutsche Kontrollstudie von Berger (2002) liefert ein ähnliches Ergebnis. Dabei wurde untersucht, ob sich ein Unterricht auf Grundlage eines medizinischen Kontextes förderlich auf das Interesse der Lernenden auswirkt. Konkret wurden Kurse aus der Sekundarstufe II in einem Thema klassisch und in einem darauffolgenden Thema kontextorientiert unterrichtet. Im Zuge dessen wurden die Interessantheit des Unterrichts, das Fachinteresse sowie das individuelle Interesse abgefragt und Leistungstests durchgeführt. Es zeigte sich, dass die Interessantheit des Unterrichts durch den kontextorientierten Ansatz hochsignifikant gesteigert werden konnte. Besonders bei weniger interessierten (weiblichen) Lernenden, hatte der kontextorientierte Ansatz einen besonders großen Effekt. Nach Berger liegt in dieser Maßnahme also die Möglichkeit die „große Schere“ (ebd. 2002, S. 128) der Interessenverteilung innerhalb einer Lerngruppe zu schließen. Auch Colicchia (2002) bestätigt diesen Befund in seiner Dissertation zur Steigerung des Physikinteresses mithilfe des Kontextes „Medizin und Biologie“.

Beide Autoren konnten jedoch keinen wesentlichen Zuwachs des individuellen Interesses messen. Es konnte also lediglich die „Interessantheit“ des Unterrichts gesteigert werden. Bedenkt man die relative Stabilität des individuellen Interesses nach Krapp und die vergleichsweise kurze Zeit der Intervention, so erscheint dies nicht verwunderlich (vgl. Berger, 2002).

4. Sport als „sinnstiftender Kontext“

Sport ist Alltag für die meisten Lernenden. Sie gehen ihm entweder aktiv nach oder begegnen ihm beinahe täglich in den Medien. Für viele Jugendliche gilt der Sport dabei als ein spannendes Themengebiet. Der Sport stellt außerdem ein nahezu unbegrenztes und beliebig komplexes Themenfeld dar, in dem stetig physikalische Prinzipien angewendet werden können. Bob Adair (2002) beschreibt die mögliche Komplexität mit den Worten: „The physics of baseball isn't rocket science. It's much harder,“ (zitiert nach Lisa, 2016, S. xvi). Die thematische Vielfalt lässt sich leicht einsehen, wenn man die Anzahl der Sportarten, sowie die gesamte Biomechanik oder Physiologie bedenkt. Überall können und werden physikalische Sachverhalte zur Erklärung herangezogen.

Gleichzeitig lässt sich der Sport beliebig zergliedern und notwendigerweise auch vereinfachen. Manche Bewegung, wie beispielsweise die Flugbahn eines Tischtennisballes, lässt sich in der Schule nicht restlos modellieren. Die mathematischen und physikalischen Ansprüche würden den Unterrichtsrahmen sprengen. Vereinfachungen sind demnach unausweichlich, stellen aber auch in der Wissenschaft ein

wichtiges Werkzeug dar. Modellbildung sowie Annäherungen und damit grundlegende wissenschaftliche Arbeitsweisen können so gelernt werden (Lisa, 2016). Das Lernen an „[...] komplexen und authentischen Problemstellungen [...]“ kann außerdem dazu beitragen „anwendbares Wissen“, also prozedurales Wissen, zu erwerben (Mandl, 2000, S. 144).

Es sollte jedoch darauf geachtet werden, dass die Vereinfachungen nicht die Realität des Sports untergraben. Wenn etwas über die Flugbahn von Bällen gelernt werden soll, stellt die Annahme, es gäbe keine Luft, eine zunächst sinnvolle Vereinfachung dar. Es sollte aber nicht der Anschein erweckt werden, dass man die Existenz des Luftwiderstandes leugnet. Die Betrachtung der realen Flugbahn sollte also stets erfolgen (vgl. Lisa, 2016).

5. Unterrichtsmaterialien

Bedenkt man die Abnahme des Interesses mit zunehmendem Alter der Lernenden und die Unbeliebtheit des Themenfeldes der Mechanik, so erscheint eine Intervention in Form eines sportkontextorientierten Physikunterrichts gerade an dieser Stelle sinnvoll. Vor diesem Hintergrund wurden im Rahmen einer Abschlussarbeit solche Unterrichtsmaterialien entwickelt, die im Folgenden vorgestellt werden (Kriegel, 2020). Dazu werden einzelne Experimente oder Aufgabenstellungen aus den Materialien herausgegriffen. Es soll dadurch ein Einblick gegeben werden, wie der Kontext Sport im Mechanikunterricht eingesetzt werden kann. Dazu werden drei verschiedene, fakultative oder obligatorische Themen, orientiert am hessischen Kerncurriculum der gymnasialen Oberstufe (KCGO, 2016), herangezogen. Eine zusätzliche, vierte Unterrichtseinheit behandelt mit „Messungenauigkeiten und -unsicherheiten“ ein grundlegendes Thema der Mechanik sowie der Naturwissenschaften allgemein. Die vollständigen Materialien sind auf der Website der Didaktik der Physik der TU Darmstadt verfügbar (https://www.physik.tu-darmstadt.de/physikdidaktik/didaktik_der_physik_menu/index.de.jsp).

5.1. Untersuchung von (Sprint-)Bewegungen

In der Leichtathletik geht es ständig um Themen wie Strecke, Geschwindigkeit oder Beschleunigung. So ist man beim Weitsprung daran interessiert, mit einem Steigerungslauf zunächst eine mäßige und dann eine maximale Beschleunigung zu generieren, dadurch eine möglichst große Anlaufgeschwindigkeit zu erreichen, um letztlich eine möglichst weite Strecke zu überspringen.

Sportliche Bewegungen, wie beispielsweise der Stabhochsprung, können dabei äußerst komplex sein. Für eine Erarbeitung der physikalischen Grundlagen der Geschwindigkeit und der Beschleunigung bietet sich daher eine näherungsweise eindimensionale Bewegung, wie der Sprint und die Staffel in der Leichtathletik, an. Neben der Bewegung an sich können sport-

liche Hochleistungen und medienwirksame Ereignisse, wie der Sprintweltrekord von Usain Bolt, das Interesse an dem Themenfeld befördern.

Das Ziel der Unterrichtseinheit ist das Erstellen und Verstehen von t-s- und t-v-Diagrammen anhand von Sprint- und Staffelläufen. Diese sollen qualitativ erfahren und quantitativ erfasst werden. Im Laufe der Einheit werden dadurch die Begriffe der Durchschnitts- und Momentangeschwindigkeit anhand von geradlinig gleichförmigen und beschleunigten Bewegungen erarbeitet.

Der Physikunterricht findet hierzu auf dem Sportplatz oder dem Schulhof statt. Nach verschiedenen Läufen, bei denen die Laufzeiten bestimmt werden, haben die Lernenden bereits ein Grundverständnis von den Begriffen der Durchschnitts- und Momentangeschwindigkeit. Als einen abschließenden Versuch absolvieren mindestens zwei der Lernenden einen Staffellauf mit fliegendem Wechsel. Dabei messen die anderen mindestens fünf Zwischenzeiten über festgelegte Streckenabschnitte. Die Messwerte werden anschließend in einem t-s- und einem t-v-Diagramm (ähnlich wie in **Abb.1**) dargestellt. Die Lernenden thematisieren, welchen Einfluss der fliegende Wechsel auf die Durchschnittsgeschwindigkeit und die Momentangeschwindigkeit hat. Klammert man die Beschleunigungsphasen der Läufer*innen aus, so zeigt sich eine nahezu gleichförmig geradlinige Bewegung.

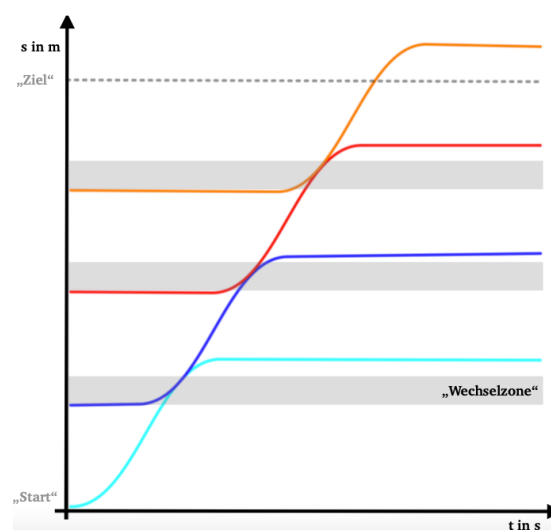


Abb.1: Idealisiertes t-s-Diagramm einer 4x100-Meter-Staffel. Die 4 Läufer*innen sind farblich markiert (eigene Abbildung).

Die Lerngruppe kann anhand der verschiedenen Läufe die erarbeiteten Begriffe direkt am eigenen Körper erfahren. Je nach Wahl der aufgenommenen Zwischenzeiten kann der Fokus auf die beschleunigte oder die gleichförmige Bewegung gelegt werden.

5.2. Schräger (Basketball-)Wurf

Der schräge Wurf stellt ein fakultatives Thema der Einführungsphase in Hessen dar (Kultusministerium Hessen, 2016). Er wird dabei meist zum Abschluss

des Mechanikunterrichts behandelt. Um den Sport als Kontext für die Behandlung des schrägen Wurfs zu nutzen, bietet sich besonders das Basketballspiel an. Aufgrund der relativ großen Masse des Basketballes und der in der Regel geringen Abwurfgeschwindigkeiten, können Abweichungen von der idealisierten Flugparabel durch Einflüsse wie Luftwiderstand oder Magnuseffekt im Unterricht vernachlässigt werden. Die vorhandenen Abweichungen von der Wurfparabel beschreibt Lisa (2016) und merkt an, dass diese für eine hohe Trefferquote nicht vollständig zu vernachlässigen sind. Dieser Umstand sollte mit der Lerngruppe im Anschluss an die idealisierten Betrachtungen diskutiert werden, was als Ausgangspunkt für weiterführende Themen der Mechanik dienen kann.

Den Einstieg in die Unterrichtseinheit stellen einfache Freiwürfe dar. Die Lernenden sollen verschiedene Würfe absolvieren und dabei bewusst die möglichen Parameter wie Abwurfhöhe, -geschwindigkeit und -winkel, die Ballrotation oder den Abstand zum Korb verändern und den jeweiligen Einfluss auf die Trajektorie des Balles beobachten. Dazu können auch Slow-Motion-Aufnahmen mit der Smartphone-Kamera hilfreich sein. Auch Applets zur Bewegungsanalyse können hier gewinnbringend eingesetzt werden. Im Laufe der Unterrichtsreihe werden die gewonnenen Erfahrungen und die produzierten Videos diskutiert und an vorhandenes Wissen zum waagrechten Wurf angeknüpft. Eine Herleitung der Gleichung der Wurfparabel kann gemeinsam mit der Lehrkraft erfolgen.

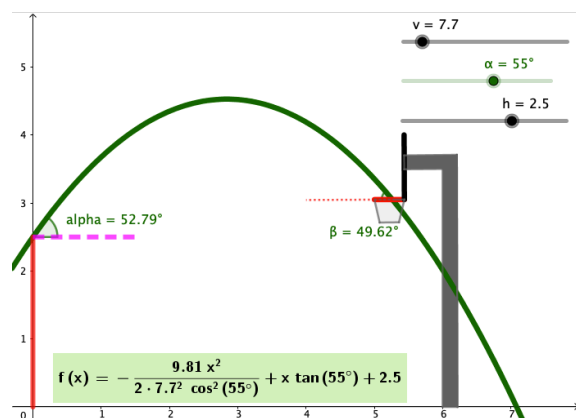


Abb.2: geoGebra-Animation zum Basketballwurf (eigene Abbildung).

Die Lernenden könnten sich an dieser Stelle fragen, inwiefern das erworbene Wissen über die Flugbahn eine Relevanz für deren Treffergenauigkeit im Basketballspiel hat. Um diesem Umstand zu begegnen sollte anschließend die Betrachtung der realen Problematik im Zentrum stehen. Dazu wird die Klasse in drei bis vier Gruppen eingeteilt. Die Lernenden untersuchen die selbstgewählten Einflüsse wie Winkel, Abwurfhöhe, Abstand, Rotation oder Ähnliches. Hierzu können u.a. Slow-Motion-Videos, Strichlisten über erfolgreiche Würfe, Skizzen der Wurfparabeln

oder subjektive Eindrücke zum Wurf gesammelt werden. Die Ergebnisse werden auf einem Poster festgehalten. Für motorisch eingeschränkte Lernende oder zur Vertiefung des Verständnisses können auch Animationen wie in **Abb.2:** geoGebra-Animation zum Basketballwurf (eigene Abbildung verwendet werden.

Für die Lernenden können dabei folgende Fragen (exemplarisch anhand der Einflussgröße Winkel) hilfreich sein:

- Wie kann der Winkel gemessen/abgeschätzt werden?
- Welchen Einfluss hat der Winkel auf die Flugbahn?
- Was muss zwangsläufig noch verändert werden, damit Treffer aus verschiedenen Winkeln erzielt werden können?
- Gibt es einen idealen Winkel für eine hohe Trefferquote?

Abschließend sollte die Verbindung zwischen der idealisierten und der real erfahrenen Flugbahn diskutiert werden. Die Möglichkeiten und Grenzen des Modells werden dabei aufgezeigt. Dabei kann das „metakonzeptuelle Wissen“ der Lernenden (Mikelskis-Seifert et al., 2010, piko-Brief Nr.8, S. 1), also das Wissen über die Anwendung und Grenzen von Modellen, durch den direkten Vergleich von idealisierter und realer Flugbahn aufgebaut werden.

5.3. Bananenflanken-(Magnus-)Effekt

In der Unterrichtseinheit sollen die Lernenden nach Möglichkeit den Magnus-Effekt an einer realen Flugbahn beobachten können. Es ist anzunehmen, dass in einer Lerngruppe mindestens ein*e Lernende*r in einer Sportart derart technisch versiert ist, um eine solche Flugbahn zu demonstrieren. Mit ein wenig Übung lassen sich gerade mit einem Tischtennisball stark rotierende Bälle spielen, die eindrucksvollen Flugbahnen folgen. Auch mit einem Fußball könnten einige der Lernenden oder die Lehrkraft in der Lage sein, eine Bananenflanke auszuführen. Sollten andere Sportarten, wie Tennis oder Golf, in der Klasse vertreten sein, kann hierauf flexibel reagiert werden.

Eine besonders herausragende Flugbahn eines Fußballes lässt sich an einem Freistoß von Roberto Carlos aus dem Jahr 1997 beobachten (es finden sich hierzu zahlreiche Videos im Internet). Es gelang ihm dabei, ein Treffer aus einer Entfernung von etwa 35m, vorbei an einer Mauer aus vier Personen, zu erzielen. Der Tormann blieb regungslos stehen, wohingegen sich ein Balljunge neben dem Tor vor dem herannahenden Ball wegduckte (**Abb.3:** Freistoß von Roberto Carlos im Jahr 1997 (eigene Abbildung).

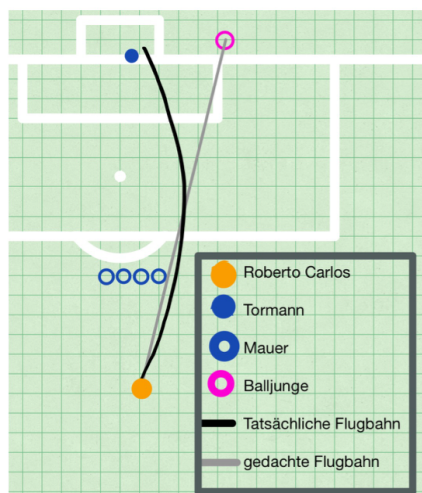


Abb.3: Freistoß von Roberto Carlos im Jahr 1997 (eigene Abbildung mod. nach Lisa, 2016).

Lisa (2016) konnte zeigen, dass der Magnuseffekt einen größeren Einfluss auf die Flugbahn des Balles hatte als die Gravitation. Der eindrucksvolle Freistoß kann als Einstieg in die Unterrichtseinheit verwendet werden, um im Anschluss in Experimenten selbstständig gekrümmte Flugbahnen zu erzeugen.

In einer Gruppenarbeit können Bild für Bild Aufnahmen der Flugbahnen erstellt werden und mit Geschwindigkeits- und Kraftpfeilen versehen werden (**Abb.4:** Geschwindigkeits- und Kraftpfeile bei der Flugbahn eines Tischtennisballes mit Rechtsrotation (eigene Abbildung)). Sollten die technischen Möglichkeiten für Stroboskop-Aufnahmen zur Verfügung stehen, so können diese hierfür gewinnbringend genutzt werden.

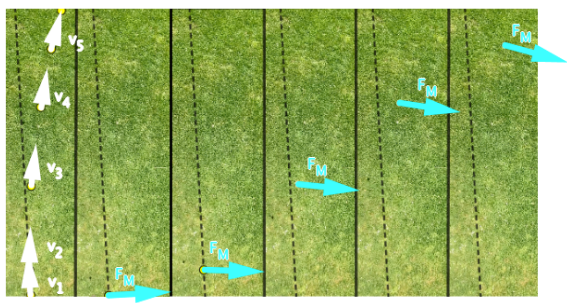


Abb.4: Geschwindigkeits- und Kraftpfeile bei der Flugbahn eines Tischtennisballes mit Rechtsrotation (eigene Abbildung)

Die Lernenden können dadurch den Einfluss des Magnuseffektes auf die Flugbahn verschiedener Bälle direkt miterleben und Anhand der Bild für Bild-Aufnahmen nachvollziehen. Im Laufe der Unterrichtsreihe sollte eine qualitative Erklärung des Effektes durch die Lehrkraft erfolgen.

5.4. Messwerte, -unsicherheiten und -abweichungen im Sport

Sowohl in der Mechanik als auch im sportlichen Wettkampf werden ständig Messwerte wie Längen und Zeiten aufgenommen. Die folgende Unterrichts-

reihe soll den Lernenden ein Gefühl für die Möglichkeiten und Grenzen der dabei verwendeten Messmethoden vermitteln. Verschiedene Sportarten dienen dabei als Beispiele für typische Messabweichungen in der Mechanik. Die Unterrichtsreihe kann somit als Grundlage für weitere Experimente in der Mechanik dienen.

Einen einfachen Einstiegsversuch stellt die Laufzeitmessung zweier Lernender bei einem Sprint dar. Der Rest der Lerngruppe kann sich beliebig neben der Strecke verteilen und misst die Zeit. Die Messergebnisse werden in einem Tabellenkalkulationsprogramm erfasst und die angenommenen Unsicherheiten können abgefragt werden. Anschließend wird die Streuung der Messergebnisse diskutiert und die „absolute“ Messung infrage gestellt.

In anschließenden Gruppenarbeiten werden weitere Aspekte der Messmethodik in der Mechanik erarbeitet. So lässt sich beispielsweise der Parallaxenfehler beim Ablesen von Zeiger-Messinstrumenten anhand von der Abseitsstellung im Fußball erarbeiten (**Abb.5:** Parallaxenfehler bei der Beurteilung einer Abseitsstellung im Fußball (eigene Abbildung)).

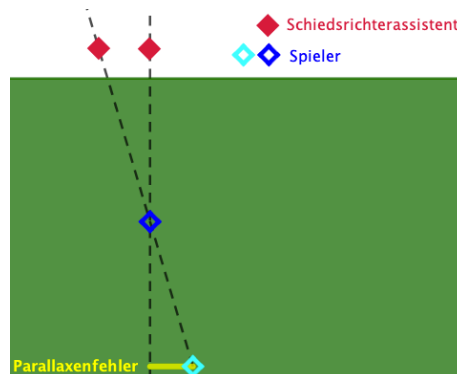


Abb.5: Parallaxenfehler bei der Beurteilung einer Abseitsstellung im Fußball (eigene Abbildung).

Die Lerngruppe kann dabei Abseitsituationen auf einem Platz nachstellen und verstehen, wie falsche Abseits-Entscheidungen des Schiedsgerichts zustande kommen können. Das dabei gewonnene Verständnis kann direkt auf das Ablesen von Messinstrumenten übertragen werden.

Mögliche Probleme mit der Zeitmessung können beispielsweise anhand des Startes im Sprint erarbeitet werden. Bei einem Abstand zwischen Innen- und Außenbahn von etwa 9m geht man zunächst davon aus, dass es vernachlässigbar ist, wo man sich als Läufer*in relativ zu dem Punkt befindet, an dem der Startschuss abgegeben wird. Tatsächlich ergibt sich aber bei einer mittleren Schallgeschwindigkeit von 343m/s eine Laufzeitdifferenz des Schalls von $t = 0,026s$ zwischen den beiden Bahnen. Bei einer gleichen durchschnittlichen Laufgeschwindigkeit von 10m/s auf diesen Bahnen ergibt sich im Ziel ein Abstand der beiden Laufenden von etwa 26cm. Diese nicht mehr zu vernachlässigende Laufzeit des Schalls beim Startschuss zwischen Innen- und Außenbahn

kann dabei von den Lernenden in einer Gruppenarbeit mit Hilfe von akustischen Stoppuhren analysiert werden. Hierzu kann beispielsweise die Smartphone App „Phyphox“ der RWTH Aachen verwendet werden.

6. Rückmeldung durch Lehrkräfte

Im Rahmen der pandemiebedingten Möglichkeiten konnte zu den Vorschlägen für die Unterrichtseinheiten, die in entsprechenden Unterrichtsmaterialien vollständig ausgearbeitet wurden, eine Rückmeldung durch eine semistrukturierte Lehrkräftebefragung (N=8) mit Fragebogen und ergänzenden Interviews realisiert werden. Die Lehrkräfte sollten ihre Einschätzung zu den Bereichen Inhalt/Struktur, fachliche Aspekte, Sportkontext/Interesse und Durchführbarkeit abgeben.

6.1. Inhalt und Struktur

Dabei wurde zunächst mehrheitlich angegeben, dass sich die Themen zwar größtenteils im Kerncurriculum wiederfinden, jedoch viele davon nur als fakultativ vorgeschlagen werden. Der Magnuseffekt lässt sich nicht direkt einem Themenblock der Mechanik in der Einführungsphase zuordnen. Diesem Umstand könnte man lediglich mit einer thematischen Öffnung des KCGO begegnen, wenn man nicht die Fülle des sportlichen Kontextes massiv einschränken möchte. Der größte Kritikpunkt der Lehrkräfte stellt allerdings der gesteigerte Zeitaufwand dar. So sehen alle Lehrkräfte in der Anwendung des Sportkontextes eine zeitliche Belastung, die beispielsweise durch Hin- und Rückwege zum Sportplatz begründet wird.

6.2. Fachliche Aspekte

Die Lehrkräfte gaben mehrheitlich an, dass die Konzepte eine fachliche Überforderung für die Lernenden darstellen könnten. Dabei wird die gesteigerte Schwierigkeit allerdings nicht im Sportkontext, sondern eher in der mathematischen Beschreibung der Sachverhalte vermutet. Eine Fokussierung auf qualitative Betrachtungen könnte hier eine Vereinfachung darstellen. Der Sportkontext stellt für die fachliche Vorbereitung der Lehrkräfte nach deren eigener Einschätzung keine zusätzliche Belastung dar.

6.3. Durchführbarkeit

Die Lehrkräfte sehen im Allgemeinen (über den Zeitbedarf hinaus) keine großen Hindernisse bei der Durchführung der Unterrichtseinheiten aufgrund der, an den jeweiligen Schule vorliegenden, situativen Bedingungen.

6.4. Sportkontext und Interesse

Zunächst einmal wurde der Kontext Sport von allen Lehrkräften als für sie persönlich interessant eingestuft. Sie gaben an, dass aus ihrer Sicht auch bei den Lernenden mit einer gesteigerten Motivation im Unterricht zu rechnen ist. Die Lehrkräfte erwarteten außerdem, dass es durch die Anwendung des Sportkontextes zu einem großen situativen Interesse kommen und das Sachinteresse an der Physik und dem Sport gesteigert werden könnte. Ein erhöhtes Fachinteresse

am Physikunterricht allgemein wird ebenfalls vermutet. Die Lehrkräfte gaben zudem mehrheitlich an, dass sie den Sport als sehr lebensweltnahen Kontext einschätzen.

7. Fazit

Letztlich kommen die Lehrkräfte alle zu dem Ergebnis, dass die Vorschläge eine authentische Behandlung der Inhalte der Mechanik im Sportkontext erlauben und dabei beiden Fächern genügen. Sie gehen dabei, wie erwartet, vor allem von einer Steigerung des situativen Interesses und des Sachinteresses aus. Fundierte Aussagen über die Wirksamkeit der Unterrichtsmaterialien auf das Interesse der Lernenden können allerdings erst nach einer noch ausstehenden Erprobung im realen Unterricht erfolgen.

8. Literatur

- [1] Bennett, J., Hogarth, S., Lubben, F. (2003) *A systematic review of the effects of context-based and Science-Technology-Society (STS) approaches in the teaching of secondary science*. Review summary. University of York, UK.
- [2] Berger, R. (2002) Einfluss kontextorientierten Physikunterrichts auf Interesse und Leistung in der Sekundarstufe II. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 8, 119-132.
- [3] Colicchia, G. (2002) *Physikunterricht im Kontext von Medizin und Biologie – Entwicklung und Erprobung von Unterrichtseinheiten zur Steigerung des Interesses und für den fachübergreifenden Physikunterricht*, Dissertation, Ludwig Maximilian Universität München.
- [4] Daniels, Z. (2008) *Entwicklung schulischer Interessen im Jugendalter*. Münster: Waxmann.
- [5] Duit, R. & Mikelskis-Seifert, S. (2012) *Physik im Kontext* (2. Auflage). Seelze: Friedrich Verlag GmbH.
- [6] Elster, Doris. (2007). In welchen Kontexten sind naturwissenschaftliche Inhalte für Jugendliche interessant?. *Plus lucis - Zeitschrift der physikalisch-chemischen Gesellschaft in Österreich*. 2-8.
- [7] Hoffmann, L. et al. (1998) *Die IPN-Interessenstudie Physik*. Kiel: Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften.
- [8] Kriegel, M. (2020) *Physik und Sport – Kontextorientierte Unterrichtsmaterialien zur Förderung des Interesses am Mechanikunterricht*. Wissenschaftliche Hausarbeit zur ersten Staatsprüfung für das Lehramt an Gymnasien, Technische Universität Darmstadt.
- [9] Kultusministerium Hessen (2016) *Kerncurriculum gymnasiale Oberstufe – Physik*. Zugriff am 27.05.2021 unter: <https://kultusministerium.hessen.de/schulsystem/bildungsstandards-kerncurricula-und-lehrplaene/kerncurricula/gymnasiale-oberstufe/physik>.

- [10] Krapp, A. (1992) Interesse, Lernen und Leistung. Neue Forschungsansätze in der Pädagogischen Psychologie. *Zeitschrift für Pädagogik* 38 (5). 747-770. URN: urn:nbn:de:0111-pedocs-139773.
- [11] Lisa, M. (2016) *The physics of sports*. New York: McGraw Hill Education.
- [12] Mandl, H., Gruber, H., Rekl, A. (2000) Was lernen wir in Schule und Hochschule: Träges Wissen?. In Mandl, H. & Gerstenmaier, J. (Hrsg.), *Die Kluft zwischen Wissen und Handeln* (139-156). Göttingen: Hogrefe-Verlag.
- [13] Mikelskis-Seifert et al. (2010) *piko-Briefe – Der fachdidaktische Forschungsstand kurzgefasst*. Kiel: IPN – Leibnitz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften und Mathematik.
- [14] Merzyn, G. (2008). *Naturwissenschaften, Mathematik, Technik – immer unbeliebter?* Hoheneggen: Schneider-Verlag GmbH.
- [15] Muckenfuß, H. (1995) *Lernen im sinnstiftenden Kontext*. Berlin: Cornelsenverlag.
- [16] Müller, R. (2006) Kontextorientierung und Alltagsbezug. In Mikelskis, H.F. (Hrsg.), *Physik Didaktik – Praxishandbuch für die Sekundarstufe I und II* (S. 102-119). Berlin: Cornelsen Verlag.
- [17] Prenzel, M. et al. (2007) *PISA 2006 in Deutschland - Zusammenfassung*. PISA Konsortium Deutschland.

Beliefs zur Theoretischen Physik, der unbekannteren Seite der Schulphysik

Anja Schulz*, Marion Zöggeler⁺, Alexander Strahl[#]

*Pädagogische Hochschule Salzburg, NCoC - ÖZBF, anja.schulz@phsalzburg.at

⁺Universität Salzburg, School of Education, AG Didaktik der Mathematik, marion.zoeggeler@sbg.ac.at

[#]Universität Salzburg, School of Education, AG Didaktik der Physik, alexander.strahl@sbg.ac.at

Kurzfassung

Sowohl die Physikdidaktik als auch der österreichische Lehrplan fordern die Einbindung von Arbeitsmethoden, die zur Gewinnung und Sicherung neuer Erkenntnisse beitragen, sowie Ziele im Physikunterricht vorgeben. Um diese Lehr- und Lernziele zu erreichen, ist eine Auseinandersetzung mit der Bedeutung der Begriffe Theorie, Gesetz, Modell und Hypothese unabdingbar. Nur so können die Lernenden ein annehmbares Verständnis über die Theoriebildung in der Physik entwickeln. Dabei nimmt die Theoretische Physik eine besondere Stellung ein, bei der auch die verschiedenartige Rolle der Mathematik deutlich wird. Um die Vorstellungen der Schüler:innen über das Wesen der Physik zu erkunden, wurde zunächst ein Fragebogen in quantitativer Form erstellt, der die derzeitigen Überzeugungen (Beliefs) über die Physik der Schüler:innen, im Alter zwischen 17 und 20 Jahren, testen sollte. Aufbauend auf die gewonnenen Kenntnisse über die Lernausgangslage der Lernenden kann ein passender Unterricht konzipiert werden, der an das Vorwissen der Jugendlichen anknüpft. Im Rahmen des Beitrages werden die wesentlichen Ergebnisse der explorativen Datenerhebung, bei der 191 Proband:innen getestet wurden, dargestellt und diskutiert.

1. Einleitung

In seinen Vorlesungen an der Universität Göttingen wies David Hilbert, einer der bedeutendsten Mathematiker der Neuzeit, auf die allgemeine Auffassung hin, physikalische Naturgesetze seien unabänderlich. Um ein allgemeingültiges Gesetz zu finden, stellt man als Ausgangspunkt zur Forschungstätigkeit eine Hypothese auf. Mit Experimenten wird dann über die Annahme oder Ablehnung entschieden. Ist das Gesetz gefunden, lassen sich die Naturvorgänge erklären. Der Aufgabenbereich der Physik liegt also im Aufdecken von Gesetzen, wodurch Wahrnehmungen der Realität für uns erklärbar werden. Welche Tätigkeit die Theoretische Physik in dieser Auffassung übernimmt, bleibt unklar. Ist allein das gesetzartige Beschreiben von Phänomenen in der Natur wirklich schon Physik? Oder wird erst dadurch die Ausgangsposition gebildet, mit der die eigentliche Problematik der Physik beginnt? (Hilbert, 1992)

Die Antwort auf diese Fragen ist gewiss nicht einfach und ohne ein angemessenes Verständnis der Physik und deren Funktion nur schwer möglich. Aus diesem Grund muss ein wesentliches Ziel des Physikunterrichts an unseren Schulen die Vermittlung eines adäquaten Verständnisses des Wesens der Physik sein. Diese Forderung an den Unterricht wurde schon Mitte des 20. Jahrhunderts von Pädagogen (u. a. Litt, 1959) und von Naturwissenschaftsdidaktikern (u. a. Kuhn, 1976) gestellt. Dies bedeutet, im Unterricht naturwissenschaftlicher Fächer erkenntnis- und wissenschaftstheoretische Fragen einzubeziehen (Kircher et al., 2015). Gegenwärtig befassen sich Studien mit

der Frage, wie die Theoretische Physik – neben der Empirie – im Unterricht aufgewertet werden kann und wie das ihr eigene wahre Bild den Schüler:innen vermittelt werden kann (Uhden, 2012; Heine, 2018).

Um Schüler:innen und Studierenden, die größtenteils ein empiristisch geprägtes Bild der Physik haben (Höttecke, 2001; Höttecke & Rieß, 2007), einen geeigneten Zugang zur Theoretischen Physik zu ermöglichen, ist es sinnvoll, ihre Vorstellungen zu untersuchen. In diesem Sinne wurde eine Erhebung über die Beliefs von Schüler:innen zur Theoretischen Physik (Schulz, 2017) durchgeführt. Der Begriff „Beliefs“ bezeichnet Vorstellungen, Einstellungen und Haltungen, die sich mental, affektiv und motivational (Krey, 2012; Heine, 2018) auf Gegenstände und Strukturen auswirken und die Grundlage für weiteres Verständnis bilden. In diesem Beitrag werden Beliefs als Vorstellungen über das Wesen der Physik im Allgemeinen und über die Theoretische Physik im Besonderen und nicht als Vorstellungen über inhaltliche Sachverhalte verstanden.

2. Gegenwärtige Forschungsschwerpunkte

2.1. Die Theoretische Physik als Bereich der Physik

„Ich hoffe, daß niemand mehr der Meinung ist, daß Theorien durch zwingend logische Schlüsse aus Protokollbüchern abgeleitet werden, eine Ansicht, die in meinen Studententagen noch sehr in Mode war.“ (Pauli, 1984, S. 95)

Das Verständnis von Physik bei Schüler:innen und Studierenden ist im Allgemeinen von einer empiristischen Sichtweise geprägt, bei der das Experiment die zentrale Rolle einnimmt und die Theorie davon abgeleitet wird. Dies spiegelt sich auch in der gegenwärtigen fachdidaktischen Forschung wider. In Studien über die Stellung der Theoretischen Physik und die Vorstellung von Schüler:innen und Studierenden zeigt sich die – gegenüber der Theorie – hervorgehobene Bedeutung des Experiments (Höttecke & Rieß, 2007; Krey, 2012, Heine & Pospiech, 2015a, b).

Tatsächlich sehen Lernende und oft auch Lehrende das Wesen der Physik als das Überprüfen von Hypothesen durch Experimente, das Auswerten von Messergebnissen, das Berechnen physikalischer Größen und das Umstellen von Formeln. Sie sind überzeugt, dass all dem unveränderliche Naturgesetze zu Grunde liegen. Das Wesen der Physik als experimentelle und theoriegeleitete Wissenschaft umfasst des Weiteren das qualitative Verstehen physikalischer Vorgänge in ihrem Zusammenhang, das begriffliche Verstehen und die korrekte Verwendung von Fachbegriffen, sowie die Einsicht in Strukturen, Konzepte, Gesetzmäßigkeiten und Denkprinzipien. (Krause, 2013; Heine, 2018)

In Studien über die Vorstellung vom Wesen der Physik bei Expert:innen, Theoretischen Physiker:innen und Experimentalphysiker:innen, und bei Studierenden werden unterschiedliche Beliefs festgestellt. Während Theoretische Physiker:innen das Wechselspiel von Experiment und Theorie hervorheben, haben Experimentalphysiker:innen eine gesplante Vorstellung vom Zusammenwirken dieser beiden Bereiche. Die Vorstellungen von Studierenden beziehen sich vor allem auf die Bedeutung des Experiments, das neue Gebiete in der Physik erschließen hilft und den Ausgangspunkt für die Theorie darstellt, die die Erklärung dafür geben soll. Nur selten kann in den Vorstellungen der Studierenden festgestellt werden, dass Experimentalphysik und Theoretische Physik sich auch unabhängig voneinander bzw. ergänzend entwickeln und dass die Theorie mitunter auch Vorhersagen macht, die anschließend experimentell überprüft, bestätigt oder widerlegt werden können. (Höttecke & Rieß, 2007; Heine & Pospiech, 2015a, b)

Im Allgemeinen wird die Theoretische Physik als ein abstraktes Konstrukt mit mathematischem Formalismus gesehen, das der Welt der Lernenden fremd ist, bestenfalls mit Modellen verdeutlicht werden kann und im Auswendiglernen von bald vergessenen Formeln und Merksätzen besteht.

Die Theoretische Physik hat jedoch als Zielvorgabe im Unterricht und in der Ausbildung von Lehrenden neben dem Vermitteln von Wissen und Konzepten einen bedeutenden Bildungsauftrag im Hinblick auf die Förderung von Denkweisen und die Bildung der Problemlösefähigkeit. Dies stellt einen wesentlichen Aspekt der gesamten Physik dar. Das wechselseitige Verhältnis von Experiment und Theorie erschließt

den Erkenntnisweg in der Physik, wobei der Mathematik eine besondere Rolle zuteilwird. Daraus ergibt sich ein inhaltlicher Zusammenhang der beiden Fachbereiche Physik und Mathematik. In dieser Verknüpfung und im Verständnis physikalischer Konzepte liegt der Bildungswert der Theoretischen Physik. Als weiteres Wesensmerkmal kommt dazu, dass sie als Vermittlerin wissenschaftstheoretischer Vorstellungen in Verbindung mit mathematischen Strukturen und mit Empirie die Physik von den anderen naturwissenschaftlichen Fächern abhebt. (Heine, 2018)

2.2. Die Bedeutung der Mathematik in der Physik

„Durch rein mathematische Konstruktion vermögen wir nach meiner Überzeugung diejenigen Begriffe und diejenige gesetzliche Verknüpfung zwischen ihnen zu finden, die den Schlüssel für das Verstehen der Naturerscheinungen liefern. [...] Erfahrung bleibt natürlich das einzige Kriterium der Brauchbarkeit einer mathematischen Konstruktion für die Physik. Das eigentlich schöpferische Prinzip liegt aber in der Mathematik.“ (Einstein, 1934, zit. nach Uhden, 2012, S. 7)

In der Aussage Einsteins und in ähnlichen Aussagen namhafter Physiker wird die Bedeutung der Mathematik für die Physik hervorgehoben. Mathematik ist nicht nur das Hilfsmittel zum Quantifizieren und Rechnen, sondern trägt als wesentliches Element zur Strukturbildung und zum konzeptionellen Verständnis physikalischer Inhalte bei (Uhden, 2012). Der Gebrauch mathematischer Methoden, vor allem mathematischer Modelle zur Beschreibung physikalischer Zusammenhänge, prägt – im Sinne Einsteins – das physikalisch-mathematische Arbeiten und umfasst auch einen kreativen Aspekt, wenn beispielsweise damit Erklärungen folgerichtig schrittweise analysiert und Neues entdeckt bzw. vorhergesagt werden kann. (Uhden, 2012)

Die Mathematik in der Physik ist eng mit physikalischen Gesetzen verknüpft und das Verstehen von mathematischen Konzepten ist für ein tieferes Verständnis physikalischer Sachverhalte teilweise unabdingbar (Uhden, 2016), z. B. bei den Konzepten von Geschwindigkeit und Beschleunigung, denen das mathematische Konzept der Änderungsrate zugrunde liegt (Hewitt, 2006; Taşar, 2010). Dem Einwand, dass mechanische Rechentätigkeiten das physikalische Verständnis erschweren, muss entgegengehalten werden, dass im Unterricht die Art und Weise, wie Mathematik in die Physik eingebunden wird, ausschlaggebend ist.

Nach Richard Skemp (1976) muss zwischen einem instrumentellen und einem relationalen Verständnis der Mathematik unterschieden werden. Ersteres umfasst die Verwendung der Mathematik in Form von regelgeleiteten Rechentechniken, die jedoch das Erkennen von zugrundeliegenden Strukturen nicht zulassen. Letzteres dringt tiefer in mathematische Konzepte ein und erfasst innere Zusammenhänge. Dies

bedeutet für die Physik, dass es notwendig ist, ein relationales Verständnis der Mathematik zu entwickeln, um ein tieferes Verstehen für physikalische Zusammenhänge zu erzielen. (Uhden, 2016).

Damit Schüler:innen die Verknüpfung von Physik und Mathematik verstehen und einen angemessenen Zugang zur Theoretischen Physik finden, muss an ihren Vorstellungen über den Sinn der Mathematik in der Physik angesetzt werden. Nach Olaf Uhden (2016) vollzieht sich das mathematische Denken in der Physik auf zwei Ebenen: einerseits in der Verwendung als mathematisches Werkzeug zur Auswertung von experimentellen Ergebnissen und zum Umwandeln von Formeln, andererseits als tieferes Verständnis physikalischer Zusammenhänge. Dabei zeigt sich die Aufgabe der Mathematik nicht nur als routinemäßige Rechenfertigkeit, sondern ebenso als strukturbildendes Element zum Verständnis physikalischer Konzepte. Umgekehrt sind gerade durch die Verwendung der Mathematik in der Physik neue mathematische Methoden entwickelt worden. Auf der Grundlage des mathematischen Modellierungskreislaufes (Blum & Leiß, 2005; Borromeo Ferri, 2006; Fuchs & Blum, 2008; Siller, 2009) wurde für die Physik ein angepasster Modellierungskreislauf erstellt, der sowohl den technischen als auch den strukturellen Charakter der Mathematik beinhaltet (Uhden et al., 2012).

In der Welt wahrgenommene Phänomene werden durch Vereinfachung und Idealisierung in ein physikalisch-mathematisches Modell übertragen, das innerhalb seiner Struktur eine Mathematisierung auf verschiedenen Stufen ermöglicht und in umgekehrter Richtung eine geeignete Interpretation verlangt. Dabei ist eine strukturelle Verwendung bzw. ein relationales Verständnis der Mathematik notwendig. Diese strukturelle Verwendung zeigt sich im Mathematisieren und im Interpretieren innerhalb der physikalischen inhaltlichen Struktur des Modells. Die Mathematik wird zum Beschreiben und Untersuchen eines Sachverhaltes benützt und führt zu weiteren Erkenntnissen, zu Deutungen, Klärungen bzw. Vorhersagen und zu konzeptionellen Strukturbildungen. Dies fördert die Entwicklung von Denkprozessen und Problemlösefähigkeiten. Der technische Beitrag der Mathematik betrifft die reine Rechenfertigkeit, das Mittel, das von außen als instrumentelle Verwendung mathematischer Methoden, z. B. zur Lösung von Gleichungen oder zur Berechnung von Zahlenwerten, in den Modellierungskreislauf eingreift (Uhden, 2012). Erst ein angemessenes Verständnis des Zusammenhangs von mathematischer Denkweise und physikalischen Sachverhalten kann zu einer sinnvollen Verwendung mathematischer Funktionen und Formeln in der Physik führen.

2.3. Erkenntnisweg zu physikalischen Theorien

Die Methodologie des Erkenntnisprozesses beschreibt den Weg von der Hypothese über das Experiment zur Theorie und zum physikalischen Gesetz,

welches die ursprüngliche Realität wiedergeben soll. Physikalische Gesetze sind nichts Feststehendes, Unveränderliches, wie von Schüler:innen meist angenommen wird (Larochelle & Désautels, 1991; Solomon, 1996). In ihrer Vorstellung bezeichnet eine Hypothese etwas Unwahrscheinliches, ein Gesetz etwas Gesichertes, die Theorie einen nicht ausreichend bzw. vollständig erforschten Sachverhalt; demnach stellt die Theorie die „Vorstufe“ zum Gesetz dar (Höttecke & Rieß, 2007).

Die Ergebnisse von Untersuchungen bei Kindern und Jugendlichen (Driver et al., 1996) lassen erkennen, dass dem Experiment die grundlegende Funktion in der Physik zugeschrieben wird, Effekte zu erzielen, Kausalitäten herzustellen, Neues zu gewinnen und die Theorie zu überprüfen (vgl. Schulz, 2017). Die Erkenntnisgewinnung erfolgt meistens als Schlussfolgerung aus empirischen Beobachtungen mehrerer einzelner Experimente, woraus allgemeingültige Sätze abgeleitet werden (vgl. Höttecke & Hopf, 2018). Damit ist bei der Erkenntnisgewinnung aus einem Experiment eine induktive Vorgehensweise im Vordergrund, die auch zu falschen Ableitungen führen könnte.

Karl Popper (1976) steht dieser Art der Schlussfolgerung kritisch gegenüber und fragt sich, inwiefern induktive Schlüsse gerechtfertigt sind. Wolfgang Pauli (1984) hat das Ableiten einer physikalischen Theorie aus einzelnen Experimenten als überholt angesehen. Dennoch wird die induktive Methode als häufige Vorgehensweise in der Physik angewandt und spiegelt sich in einigen Schulbüchern und im Lehrplan wider (Bundesministerium Bildung, Wissenschaft und Forschung, 2018). Das Experiment als Ausgangsbasis für den Erkenntnisprozess wird mitunter überschätzt und als isoliert betrachtet, losgelöst von der Kenntnisvermittlung der Theoretischen Physik (Höttecke & Rieß, 2007).

Unter dem wahrscheinlichkeitstheoretischen Aspekt der Häufigkeit finden induktive Ableitungen allerdings eine Berechtigung (vgl. u. a. Hume 1748).

Der Induktion steht in der Physik die Deduktion gegenüber, die auf Schlussfolgerungen von speziellen Aussagen aus einer allgemeinen Theorie beruht und vorwiegend in der Theoretischen Physik ihre Anwendung findet. Die Ergänzung von induktiver und deduktiver Methode im physikalischen Erkenntnisweg zeigt sich im Wechselspiel von neuen Forschungsergebnissen, die einmal vordergründig aus der experimentellen Forschung stammen und zu Grundsätzen führen und ein andermal von der Theoretischen Physik abgeleitet im Experiment bestätigt werden. Dazu spielen die Ideen des zufälligen Auffindens und der Kreativität eine wichtige Rolle. (vgl. Strahl, 2018)

Somit erfolgt die Erkenntnisgewinnung in der Physik im Zusammenspiel von Experiment und Theorie.

2.4. Modellbildung in der Physik

In der Physik, insbesondere in der Theoretischen Physik, ergibt sich die Notwendigkeit, auf Modelle zur

Erklärung von Phänomenen und zur Aufstellung von Theorien zurückzugreifen. Die Modellbildung ist eine grundlegende Art, Anschaulichkeit und Vereinfachung in einen abstrakten Sachverhalt zu bringen. Neben dem allgemeinen gegenständlichen Modell, das zur Veranschaulichung eines realen Objektes dient, sind für die Physik vor allem das ikonische und das symbolische Modell von Bedeutung. Das ikonische Modell dient der Vorstellung und Veranschaulichung einer realen Gegebenheit bzw. eines abstrakten Sachverhaltes durch Vereinfachung, indem bestimmte Komponenten je nach Zweckbestimmung vernachlässigt bzw. hervorgehoben werden. Symbolische Modelle sind abstrakt-mathematische Modelle, die der Beschreibung eines physikalischen Zusammenhangs durch Formeln, Gleichungen bzw. Funktionen dienen. (u. a. Strahl, 2018)

Studien (z. B. Höttecke & Rieß, 2007) belegen, dass Studierende Modelle vielfach als korrekte Abbildung der Wirklichkeit annehmen. Bei der Modellbildung muss aber deutlich zwischen Modell- und Wirklichkeitsebene unterschieden werden.

Das Modell bedarf einer angemessenen Beschreibung und hat bis zu einer gewissen Gültigkeit, welche je nach Erfordernis bis zu einem bestimmten Grad verschoben werden kann. Die Bedeutung des Modells liegt in der Verbindung von Experiment und Theorie, zum einen als Beschreibung und Aufbereitung experimenteller Daten zur Auffindung physikalischer Theorien, zum anderen als Veranschaulichung einer formalen Theorie zum besseren Verständnis.

3. Untersuchung von Beliefs von Lernenden zur Theoretischen Physik

Grundlage für die weitere fachdidaktische Forschung ist die Kenntnis von Schülervorstellungen zu den in der Einleitung angeführten Grundsatzfragen. Auf ihre Antworten aufbauend, können die erforderlichen methodischen Schritte im Unterricht vollzogen werden. In diesem Sinne wird in der vorgestellten Studie, die im Rahmen einer Diplomarbeit (Schulz, 2017) durchgeführt worden ist, auf die Beliefs von Schüler:innen zum Wesen der Physik und der Theoretischen Physik, zum Erkenntnisweg, zur Bedeutung der Mathematik in der Theoretischen Physik und zum Wechselspiel von Experiment und Theorie eingegangen und das Ergebnis aufgezeigt.

Folgende Überlegungsfragen durchziehen die gesamte Studie:

- Lassen sich bei Schüler:innen im Allgemeinen einheitliche philosophische Denkrichtungen über die Physik feststellen und wenn ja, um welche handelt es sich im Konkreten?
- Inwieweit kann ein Interesse an der Theoretischen Physik bei Lernenden festgestellt werden und gibt es diesbezüglich Unterschiede zwischen weiblichen und männlichen Probanden?

- Lassen sich anhand der Schwerpunkte A, B, C, D, E im Fragebogen Beliefs der Lernenden zur Physik rekonstruieren?

Da keine geeigneten Untersuchungsinstrumente zu Beliefs von Schüler:innen der Allgemeinbildenden höheren Schule (AHS) zur Theoriebildung in der Physik gefunden werden konnten, wurde ein Fragebogen zu wissenschaftstheoretischen Betrachtungen der Physik erstellt. Ziel der Untersuchung war es, einerseits Denkstrukturen von Schüler:innen zu analysieren und andererseits Lehrpersonen eine Vorstellung davon zu vermitteln, wie Lernende Physik verstehen und beschreiben.

3.1. Entwicklung eines geeigneten Messinstrumentes

Eine kurze Beschreibung des Fragebogens soll Aufschluss über dessen Art und Zusammensetzung geben. Die Untersuchung bezieht sich auf folgende fünf thematische Schwerpunkte A, B, C, D, E, denen 40 Items zugeordnet sind.

- A: Fragestellungen zu physikalischen Begriffen (20 Items)
- B: Fragestellung zur Aufgabe der Theoretischen Physik (5 Items)
- C: Fragestellung zum physikalischen Erkenntnisweg (5 Items)
- D: Fragestellung zur Aufgabe der Mathematik in der Theoretischen Physik (5 Items)
- E: Fragestellung zur Beziehung zwischen Experiment und Theorie in der Physik (5 Items)

Die einzelnen Items, in Form von Aussagen als Antwort auf die Fragestellung, werden nach einer fünfstufigen Skala, von „trifft völlig zu“ bis „trifft gar nicht zu“, und „weiß nicht“ bewertet.

Im Folgenden werden die Fragestellungen und beispielhaft einige Items vorgestellt. Der Themenbereich A beinhaltet u. a. die Frage: „Was ist Physik?“ Die weiteren Fragen dieses Fragenblocks sind: „Was ist eine physikalische Theorie?“, „Was sind physikalische Gesetze?“, „Welche Aspekte zeichnen eine Hypothese aus?“. Darin wird auf die Beliefs der Schüler:innen eingegangen, welche Bedeutung physikalische Begrifflichkeiten für sie haben.

Der Themenschwerpunkt B stellt die Frage nach dem Ziel der Theoretischen Physik in ihrer Verwendung: „Wozu braucht man Theoretische Physik?“

Im Themenbereich C wird die Frage nach den Wegen und Methoden gestellt, wie in Physik neue Erkenntnisse gewonnen werden. Dabei soll festgestellt werden, welche Arbeitsmethoden die Schüler:innen in der Physik kennen.

Die Frage des Schwerpunktes D lautet: „Welche Rolle spielt die Mathematik in der Theoretischen Physik?“. Ziel ist es, zu erkunden, welche Einstellungen die Lernenden zur Mathematik in der Physik besitzen und welche Beliefs über die Bedeutung der Mathematik in der Physik bestehen.

Der letzte Themenbereich E betrifft die Frage „Wie gestaltet sich die Beziehung zwischen Experimentalphysik und Theoretischer Physik?“ Dabei stehen die Arbeitsmethoden der Physik im Fokus.

3.2. Durchführung der Erhebung

Neben der Umfrage zur obengenannten Thematik wurden zunächst anonym personenbezogene Daten erhoben, wie Alter, Geschlecht, zuletzt erhaltene Bewertung in den Fächern Physik und Mathematik und Selbsteinschätzung der Schüler:innen in Physik. Zwei weitere Items betreffen das Interesse der Schüler:innen zur Experimentalphysik und zur Theoretischen Physik. Ziel der Interessensfrage ist es, einerseits herauszufinden, ob sich die Lernenden mit den Spezialgebieten auseinandergesetzt haben und wie sie ihr persönliches Interesse einschätzen. Andererseits sollen mögliche Zusammenhänge mit den Ergebnissen der fünf Themenschwerpunkte des Fragebogens erkannt werden.

Die Studie startete im Frühjahr 2017 an drei Schulen in der Stadt Salzburg. Befragt wurden Schülerinnen und Schüler der 11. und 12. Schulstufe. Insgesamt wurden 254 Fragebögen den Schulen ausgehändigt, von denen 198 beantwortet zurückgehalten wurden. Sieben Fragebögen wurden für ungültig erklärt. Die Befragung wurde von den jeweiligen Physiklehrpersonen der entsprechenden Klasse bzw. der Verfasserin der Studie (Schulz, 2017) betreut.

4. Auswertung der empirischen Erhebung

Unter Berücksichtigung individuell aufgestellter Ausschlusskriterien (Schulz, 2017) wurden insgesamt 191 gültige Fragebögen in die Statistik- und Analysesoftware SPSS zur Datenanalyse eingetragen. Die Fragebögen konnten 112 Schülerinnen und 79 Schülern zugeordnet werden, dies entspricht 58,6 % bzw. 41,4 %. Bei der Auswahl der Probanden handelte es sich um eine Gelegenheitsstichprobe.

4.1. Analyseverfahren

Bei der Studie handelt es sich um eine quantitative Datenanalyse, durchgeführt unter einer linearen Forschungsstrategie (Witt, 2001).

Um zu beurteilen, ob oder inwieweit das Erhebungsinstrument, der selbst entwickelte Fragebogen, gültige Daten liefert, wurden im Sinne der empirischen Sozialforschung Qualitäts- bzw. Gütekriterien überprüft. Zur Analyse der Datensätze sowie zur Beantwortung der Fragestellungen wurde die Häufigkeitsanalyse herangezogen. (Mayring, 2015)

4.2. Testergebnisse

Im Folgenden werden aus den Antworten der Schüler:innen einige relevante Ergebnisse vorgestellt.

Zur Frage „Was ist Physik?“ stimmten von 184 Probanden 144 der Aussage, die Aufgabe der Physik bestünde darin, nach Ursachen von Wirkungen zu suchen, völlig zu. Zehn lehnten die Aussage eher ab. Sieben Probanden konnten mit der Aussage nichts anfangen.

Die Aussage „Physikalische Gesetze kommen in der Natur vor“ (Themenbereich A), verzeichnet ein nicht unerwartetes Ergebnis. Schüler:innen sind der herkömmlichen Meinung, physikalische Gesetze lassen sich in der Natur finden. Dieser weitverbreitete Glaube an die Zuverlässigkeit der direkten Wahrnehmung ist bedenklich. Ein Ziel der Physik sollte daher darin bestehen, Abbilder der wahrnehmungs- und bewusstseinsunabhängigen Wirklichkeit zu schaffen, damit die Natur verstanden werden kann. Für die Gestaltung eines guten Physikunterrichtes kann daraus die Forderung abgeleitet werden, obengenannte Aussage über physikalische Gesetze zu relativieren, da sie der Wirklichkeit nicht entspricht.

Das Item „In der Physik werden Naturgesetze entdeckt und erklärt“ (A) beschreibt, was Physik auszeichnet und erhält eine hohe Zustimmung.

Über die Theoretische Physik und ihre Stellung kommen in den Antworten der Schüler:innen vor allem folgende Beliefs zum Ausdruck: Die Theoretische Physik wird gebraucht, um Beobachtungen und Experimente zu erklären und um zu neuen Erkenntnissen zu kommen (B). Die Schüler:innen sehen die Theoretische Physik als einen wichtigen Bestandteil für die Erkenntnisgewinnung an. Womit Theoretische Physik zu tun hat, wie und unter welchen Voraussetzungen sie arbeitet und was unter Erkenntnisgewinnung in physikalischer Hinsicht verstanden wird, kann anhand des Resultats der Fragebogenerhebung nicht entschlüsselt werden. Zu behaupten, Schüler:innen wüssten über die Theoriebildung in der Physik Bescheid, wäre in diesem Sinne unzulässig.

Allgemeine Zustimmung findet die Aussage „Zuerst werden Theorien hypothetisch aufgestellt und dann mit Experimenten schrittweise nachvollzogen“ (C). Dies stellt einen inhaltlichen Bezug zum Item „Physikalische Theorien sind nicht wahrheitsfähig, weil sie keinen direkten Bezug zum Experiment haben“ (A) dar, welches die höchste Ablehnung erfahren hat. Über die Stellung der Mathematik in der Theoretischen Physik gibt die Zustimmung zur Aussage „Mathematik braucht man, um die Ergebnisse des Experiments zu überprüfen“ (D) Aufschluss über dieses weitverbreitete Belief. Demnach bestünde die Arbeit der Theoretischen Physik darin, mithilfe von mathematischen Theorien die experimentell gewonnenen Daten zu überprüfen. Überdies wird der Mathematik eine gewisse Objektivität zugesprochen, die ihr eine überprüfende Funktion zukommen lässt (vgl. Krey, 2012). Diese Auffassung kennzeichnet eine operationalistische Denkstruktur der Schüler:innen. Sie deckt sich in gewisser Weise mit dem Ergebnis der durchgeführten Erhebung in Bezug zur Aufgabe der Mathematik in der Theoretischen Physik.

Das Ergebnis der Aussage „Physikalische Theorien gelten in ihrem Geltungsbereich“ (A) überrascht, da es die Interpretation nahelegt, dass dem Großteil der Schüler:innen durchaus bewusst ist, dass jede Theorie

in Physik einen begrenzten Bereich in der wissenschaftlichen Anwendung besitzt.

Da manche Items eine besonders hohe Zustimmung bzw. Ablehnung fanden, entwickelte sich die Idee, ein Ranking über gewisse Aussagen zu machen. Dazu wurde von jeder Variablen der Mittelwert errechnet und daraus eine Rangliste erstellt. Die Items mit höchster Zustimmung sind: an 1. Stelle „Eine physikalische Hypothese wird mit dem Ziel gebildet, neue Erkenntnis zu gewinnen“ (A), an 2. Stelle „Theoretische Physik braucht man, um Beobachtungen und Experimente zu erklären“ (B); an 3. Stelle steht die Aussage „Physik sucht nach Ursachen von Wirkungen“ (A) zur Frage „Was ist Physik?“ An 8. Stelle befindet sich erstmals eine Aussage über die Funktion der Mathematik in der Theoretischen Physik. Es handelt sich dabei um das Item „Mathematik braucht man, um die Ergebnisse des Experimentes zu überprüfen“ (D). Das Item mit der höchsten Ablehnung ist eines zur physikalischen Theorie, und zwar „Physikalische Theorien sind nicht wahrheitsfähig, weil sie keinen direkten Bezug zum Experiment haben“ (A). Dies kann in der Weise interpretiert werden, dass Schüler:innen der Meinung sind, physikalische Theorien haben einerseits sehr wohl einen direkten Bezug zum Experiment, andererseits einen Anspruch auf Wahrheit. Weitere Items, die einen hohen Ablehnungsgrad aufweisen, sind vor allem jene zur Frage „Was sind Physikalische Gesetze?“ abgesehen vom Item „Physikalische Gesetze kommen in der Natur vor“ (A). Die übrigen Items dieser Fragestellung, wie „Physikalische Gesetze fassen die Ergebnisse von Experimenten zusammen“, „müssen experimentelle Daten wiedergeben“, „werden konstruiert und nicht entdeckt“, „werden akzeptiert, wenn Physiker die gleiche Meinung darüber haben“, finden eine hohe Ablehnung und befinden sich in der Rankingskala an den letzten Stellen.

4.3. Selbsteinschätzung der Schüler:innen und ihr Interesse für Experimentalphysik und Theoretische Physik

Die Auswertung der Selbsteinschätzung anhand der Häufigkeitsanalyse, unter Verwendung einer Gruppierung in Bezug zum Geschlecht der Probanden, zeigt folgendes Bild: Schüler schätzen ihr Verständnis im Physikunterricht durchwegs als gut bis sehr gut ein. Etwa 69 % entschieden sich für die positive Seite der Selbstbeurteilungsskala. Nur drei Probanden gaben an, ihr vorhandenes Physikverständnis sei schlecht. Bei den Schülerinnen hingegen verschiebt sich die Häufigkeit stark zur Mitte hin, 50 % entschieden sich für die Option „Mittel“. Zehn von ihnen kreuzten die Aussage „Schlecht“ an, drei entschieden sich für „Sehr schlecht“. Im Hintergrund spiegelt sich ein mangelndes Selbstvertrauen der Schülerinnen in ihr physikalisches Verständnis wider, welches mit einer Unterschätzung der Leistung im Physikunterricht einhergeht. Es ist grundsätzlich anzumerken, dass sich Schülerinnen in den Fächern Physik und Mathematik in Bezug zur Leistung niedriger einschätzen als

ihre männlichen Kollegen, und das, obwohl die Schulnoten in etwa auf gleicher Höhe sind (Baumert et al., 1997). Dies lässt sich in der Studie wiedererkennen.

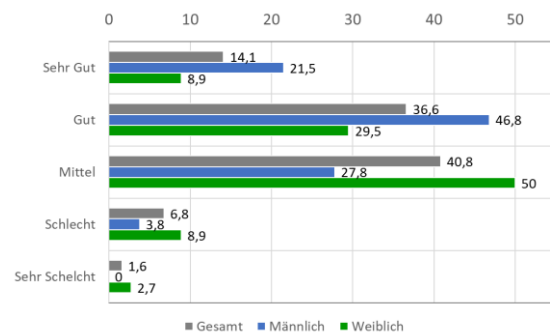


Abb.1: Selbsteinschätzung der Schülerinnen (grün) und Schüler (blau) und der gesamten Stichprobe (grau) zu ihrem Verständnis in Physik. Angabe in Prozenten.

Die Auswertung betreffend das Interesse für die Experimentalphysik und die Theoretische Physik ergab folgendes Ergebnis:

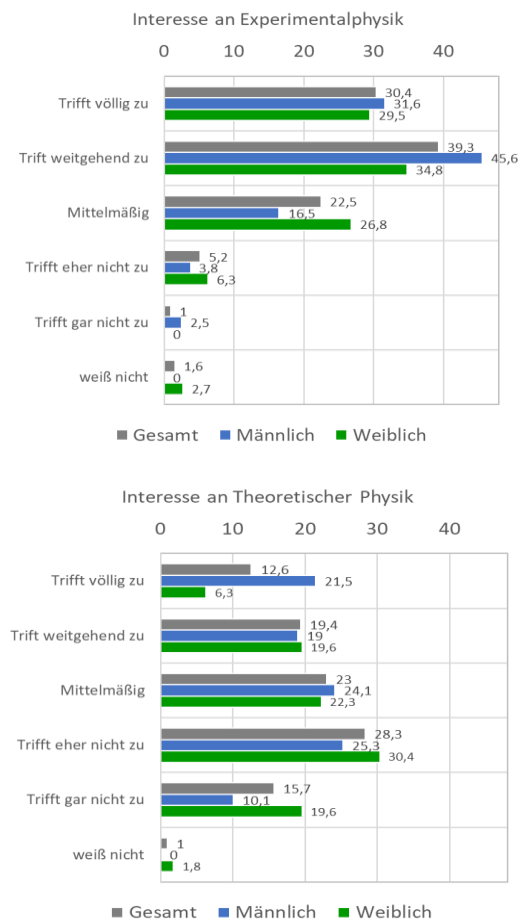


Abb.2: Interesse der Schülerinnen (grün) und Schüler (blau) und der gesamten Stichprobe (grau) an der Experimentalphysik und an der Theoretischen Physik. Angabe in Prozenten.

Annähernd 70 % der Befragten finden die Experimentalphysik, 32 % die Theoretische Physik interessant. Es wird festgestellt, dass vor allem bei den Mädchen ein geringeres Interesse für die Theoretische Physik besteht. Aus dem Gesamtergebnis kann auf eine unsichere Haltung gegenüber der Theoretischen Physik geschlossen werden, aus der sich bei angemessener Motivation Neugierde für diesen Bereich der Physik entwickeln könnte.

Zusammenfassend muss gesagt werden, dass höhere Auswertungen mit den Daten nicht erfolgreich waren. Dies kann auch ein Hinweis dafür sein, wie unsicher Schüler:innen bei dem Thema sind. Diese Annahme würde auch, die bei 7640 Angaben 435-mal gewählte Ankreuzmöglichkeit „weiß nicht“, stützen. Bei 17,6 % der Aussagen waren sich die Proband:innen unsicher.

5. Diskussion und Ausblick

Zusammengefasst können folgende Ergebnisse hervorgehoben werden.

- Es kann keine einheitliche philosophische Denkweise bei den Schüler:innen rekonstruiert werden.
- Die Interessensfrage ergibt, dass die Experimentalphysik ($2,06 \pm 0,92$) interessanter als die Theoretische Physik ($3,15 \pm 1,27$) ist. Dieses Resultat ist nicht verwunderlich in Hinblick darauf, dass die Theoretische Physik im Unterricht im Allgemeinen wenig zur Geltung kommt.
- Grundsätzlich kann Interesse an der Theoretischen Physik festgestellt werden, vorwiegend bei männlichen Probanden, aber auch bei jenen Proband:innen, die bezüglich ihres physikalischen Verständnisses eine höhere Selbsteinschätzung haben.
- Die Aussagen zum Gesetzesbegriff in der Physik lassen darauf schließen, dass Lernende eine naiv-realistische Sichtweise bezüglich dessen Bedeutung vertreten: Sie sind mehrheitlich der Meinung, dass in der Physik Naturgesetze entdeckt und erklärt werden und physikalische Gesetze in der Natur vorkommen. Dies ist eines der bedeutendsten Beliefs über die Physik.
- Bezüglich der Aufgabe der Mathematik in der Physik lassen sich Hinweise finden, die auch mit den Forschungsergebnissen von Uhden (2012) und Krey (2012) vergleichbar sind. So lässt sich bei den Lernenden die Interpretation einer technischen Funktion der Mathematik in der Physik vorfinden, wobei die Mathematik vorwiegend als Werkzeug zur Beschreibung von experimentellen Ergebnissen gesehen wird. Im Allgemeinen scheint keine negative Haltung gegenüber der Mathematik vorzuliegen.

Die Auseinandersetzung mit Beliefs der Schüler:innen über die Theoretische Physik in der Schule hat viele Fragen offengelassen und vor allem viele Fragen erst aufgeworfen. So scheint die Elementarisierung der Theoretischen Physik im Physikunterricht

für die Physikdidaktik im deutschsprachigen Raum ein neues Gebiet zu sein. Wenn das Ziel des Physikunterrichts die Vermittlung eines angemessenen und gesamtheitlichen Bildes über die Physik sein soll, so muss auch die Theoretische Physik darin Eingang finden. Nur so ist es möglich, ein Verständnis für die Theoriebildung in der Physik sowie deren Arbeitsmethoden und Ziele zu entwickeln. In dieser Arbeit wurde versucht, die Problematik im Unterricht und die Bedeutung einer diesbezüglichen Forschung aufzuzeigen. Ziel dieser explorativen Datenanalyse war die Entwicklung einer Forschungsgrundlage, welche die Untersuchung über die noch unbekanntere Thematik unterstützen soll.

6. Literaturverzeichnis

- Baumert, J., Lehman, R., Lehrke, M. et al. (1997). *TIMSS – Mathematisch-naturwissenschaftlicher Unterricht im internationalen Vergleich. Deskriptive Befunde*. Opladen: Leske und Budrich.
- Blum, W., & Leiß, D. (2005). Modellieren im Unterricht mit der “Tanken”-Aufgabe. *Mathematik lehren*, 128, S. 18-21.
- Borromeo Ferri, R. (2006). Theoretical and empirical differentiations of phases in the modelling process. *ZDM Zentralblatt für Didaktik der Mathematik*, 38(2), S. 86-95.
- Bundesministerium Bildung, Wissenschaft und Forschung (2018). *RIS - Lehrpläne – allgemeinbildende höhere Schulen - Bundesrecht konsolidiert*, Fassung vom 01.09.2018 (bka.gv.at) URL: <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10008568&FassungVom=2018-09-01> (Zugriff: 20.08.2021).
- Driver, R., Leach, J., Millar, R., & Scott, P. (1996). *Young People's Images of Science*. Buckingham, Philadelphia: Open University Press.
- Einstein, A. (1934). *Mein Weltbild*. Amsterdam: Querido Verlag.
- Fuchs, K. J., & Blum, W. (2008). Selbständiges Lernen im Mathematikunterricht mit „beziehungsreichen“ Aufgaben. Thonhauser, J. (Hrsg.): *Aufgaben als Katalysator von Lernprozessen*. Münster, Berlin, München, New York: Waxmann Verlag, S. 135-148.
- Heine, A., & Pospiech, G. (2015a). Wissenschaftstheoretische Vorstellungen über die Theoretische Physik. Expertenansichten über das Verhältnis von Experimentalphysik und Theoretischer Physik. *PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung 2015*.
- Heine, A., & Pospiech, G. (2015b). Wissenschaftstheoretische Vorstellungen Studierender über die Theoretische Physik. Bernholt, S. (Hrsg.): *Heterogenität und Diversität – Vielfalt der Voraussetzungen im naturwissenschaftlichen Unterricht*. GDCP, Jahrestagung in Bremen 2014, Kiel: IPN, S. 459-461.

- Heine, A. (2018). *Was ist Theoretische Physik? Eine wissenschaftstheoretische Betrachtung und Rekonstruktion von Vorstellungen von Studierenden und Dozenten über das Wesen der Theoretischen Physik*. Dissertation. Berlin: Logos Verlag.
- Hewitt, P. G. (2006). *Conceptual Physics*. San Francisco, CA: Pearson-Addison-Wesley.
- Hilbert, D. (1992). *Natur und mathematisches Erkennen*. Vorlesungen gehalten 1919-1920 in Göttingen. Ausarbeitung von Paul Bernays. Rowe, D. E. (Hrsg.). Basel: Birkhäuser.
- Höttecke, D. (2001). Die Vorstellungen von Schülern und Schülerinnen von der „Natur der Naturwissenschaften“. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 7, S. 7-23.
- Höttecke, D., & Rieß, F. (2007). Rekonstruktion der Vorstellungen von Physikstudierenden über die Natur der Naturwissenschaften – eine explorative Studie. *PhyDid A – Physik und Didaktik in Schule und Hochschule*, 1/6.
- Höttecke, D. & Hopf, M. (2018). Schülervorstellungen zur Natur der Naturwissenschaften. Schecker, H., Wilhelm, Th., Hopf, M., & Duit, R. (Hrsg.): *Schülervorstellungen und Physikunterricht*. Berlin: Springer.
- Hume, D. (1748). An Enquiry Concerning Human Understanding. *Create Space Independent Publishing Platform* 2011.
- Kircher, E. (2015). Warum Physikunterricht? Kircher, E., Girwidz, R., Häusler, P. (Hrsg): *Physikdidaktik. Theorie und Praxis*. Berlin: Springer, S. 15-73.
- Krause, E. (2013). Physikalisches Denken – Wege zur Vermittlung konzeptionellen Verständnisses der Physik. *PhyDid B – Didaktik der Physik – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung 2013*.
- Krey, O. (2012). *Zur Rolle der Mathematik in der Physik. Wissenschaftstheoretische Aspekte und Vorstellungen Physiklernender*. Berlin: Logos Verlag.
- Kuhn, T. S., (1976). *Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen*. Frankfurt: Suhrkamp.
- Larochelle, M., & Désautels, J. (1991). “Of course it’s just obvious”: Adolescent’s ideas of scientific knowledge. *International Journal of Science Education*, 13(4), S. 373-389.
- Litt, T. (1959). *Naturwissenschaft und Menschenbildung*. Heidelberg: Quelle & Meyer.
- Mayring, P. (2015). *Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken*. Weinheim und Basel: Beltz Verlag.
- Pauli, W. (1984): *Physik und Erkenntnistheorie*. Braunschweig: Vieweg Verlag.
- Popper, K. (1976). *Logik der Forschung*. Tübingen: J. B. C. Mohr.
- Schulz, A. (2017). *Beliefs über die theoretische Physik. Eine empirische Untersuchung über das Physikverständnis in der Schule*. Diplomarbeit. Universität Salzburg.
- Siller, H.-S. (2009). Der Begriff „Modellbilden“ in der Mathematik- bzw. Informatikdidaktik. *Beiträge zum Mathematikunterricht*. Münster: WTM-Verlag.
- Skemp, R. R. (1976). Relational understanding and instrumental understanding. *Mathematics Teaching* 77, S. 20-26.
- Solomon, J. (1996). School Science and the Future of Scientific Culture. *Public Understanding Science*, V 5, S. 157-165.
- Strahl, A. (2018). *Fachdidaktik der Naturwissenschaften unter besonderer Berücksichtigung der Physik*. 2. Auflage. Norderstedt: BoD – Books on Demand.
- Taşar, M. F. (2010). What part of the concept of acceleration is difficult to understand: the mathematics, the physics, or both? *ZDM Mathematics Education*, 42, S. 469-482.
- Uhden, O. (2012). *Mathematisches Denken im Physikunterricht. Theorieentwicklung und Problem-analyse*. Dissertation. Berlin: Logos Verlag.
- Uhden, O., Karam, R., Pietrocola, M., & Pospiech, G. (2012). Modelling mathematical reasoning in physics education. *Science & Education*, 21(4), S. 485-506.
- Uhden, O. (2016). Verständnisprobleme von Schülerinnen und Schülern beim Verbinden von Physik und Mathematik. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 22, S. 13-24.
- Witt, H. (2001). Forschungsstrategien bei quantitativer und qualitativer Sozialforschung, *FQS Forum: Qualitative Sozialforschung*, 2(1), Art. 8.

Akzeptanzbefragung zu Augmented Reality-Experimenten auf dem Spielplatz

Jelka Weber*, Albert Teichrew*

*Institut für Didaktik der Physik, Goethe-Universität Frankfurt am Main
teichrew@physik.uni-frankfurt.de

Kurzfassung

Bei der Vermittlung physikalischer Inhalte und naturwissenschaftlicher Forschungsprozesse spielt die Verknüpfung von Theorie und Experiment zur Erklärung physikalischer Phänomene eine bedeutende Rolle. Der Einsatz einer Geometrie-Software wie *GeoGebra* stellt ein einfaches Werkzeug zur Visualisierung physikalischer Modelle in Form dynamischer Konstruktionen dar. Mit dem *GeoGebra 3D Rechner* lassen sich mithilfe von Augmented Reality (AR) reale Situationen mit den Konstruktionen überlagern, sodass Konzept und Beobachtung intuitiv miteinander verglichen werden können. In dem Beitrag wird das Potential der Verknüpfung von Modell und Experiment behandelt. Dazu wurden verschiedene Modelle und zugehörige Lerneinheiten für den Einsatz von AR-Experimenten auf dem Spielplatz konzipiert. Im Rahmen einer Akzeptanzbefragung mit zwei Schüler*innengruppen wurde an diesem Beispiel untersucht, inwiefern sich die Durchführung von AR-Experimenten als lernförderliches Instrument im Physikunterricht eignet.

1. Hintergrund

Die Mechanik könnte als leichtes, da alltagsnahes Themengebiet des Physikunterrichts angesehen werden. Doch gerade die Nähe zum Alltag und die vermeintlich leichte Zugänglichkeit des Themas führen zu häufig übersehenen Lernschwierigkeiten (Schecker & Wilhelm, 2018, S. 64). In diesen Fällen könnte die Gegenüberstellung von auf physikalischen Prinzipien basierenden abstrakten Modellen, die die naturwissenschaftliche Sichtweise repräsentieren, und den mit Alltagsvorstellungen behafteten realen Situationen hilfreich sein.

Mithilfe der Dynamische-Geometrie-Software (DGS) *GeoGebra* lassen sich naturwissenschaftliche Ideen und Konzepte durch dynamische Modelle visualisieren (vgl. Erb & Teichrew, 2020). Die Augmented Reality (AR) Funktion der App *GeoGebra 3D Rechner* erlaubt es zudem die Sicht auf eine reale Umgebung auf dem Bildschirm eines Smartphones oder Tablets mit den dynamischen Modellen in Echtzeit zu überlagern. Die virtuellen 3D-Objekte können in Größe und Position an die jeweils beobachtete Situation angepasst werden und behalten diese bei. Auf diese Weise ist es möglich, sie auf dem Bildschirm von allen Seiten und aus unterschiedlicher Entfernung zu betrachten, als seien sie in der realen Umgebung vorhanden. Dadurch können reale Experimente mit nicht sichtbaren physikalischen Konzepten wie z.B. Kraftpfeilen erweitert werden, die zum Verständnis des Experiments beitragen (s. z.B. Abb.1).

Der Einsatz einer solchen Überlagerung von Modell und Versuchsaufbau während der Durchführung eines Experiments wird AR-Experiment genannt (vgl. Teichrew & Erb, 2020a, 2020b). AR-Experi-

mente bieten Lernenden gleichzeitig ein realistisches Abbild des Experiments durch die Kamera und die geometrische Repräsentation desselben durch die Modelldarstellung. Es sollte jedoch zuvor eine Auseinandersetzung mit dem dynamischen Modell ohne Überlagerung stattfinden, um im Vorfeld im Experiment überprüfbare Aussagen zu formulieren (vgl. Teichrew & Erb, 2019). In einem alternativen Setting könnte die Überlagerung allerdings auch den Aufbau und die Durchführung des Experiments erleichtern, indem bestimmte Positionen, Winkel oder Größenverhältnisse im Modell vorgegeben oder mit dem Modell gemessen werden. Während der Durchführung besteht die Möglichkeit, Ergebnisse durch Bildschirmaufnahmen zu dokumentieren, sodass sie auch im Nachhinein nachvollzogen oder diskutiert werden können.



Abb.1: Bildschirmaufnahme während des AR-Experiments an der Rutsche

Vor diesem Hintergrund wurden an unterschiedlichen Spielplatzgeräten Phänomene identifiziert, die

sich für den Einsatz eines AR-Experiments eignen, und entsprechende Lerneinheiten zur Durchführung auf dem Spielplatz entwickelt:

- Kraftersparnis an der Rutsche
- Gleichgewichtszustand an der Wippe
- Beschleunigung an der Schaukel
- Kräfte am Karussell

Grundsätzlich lassen sich AR-Experimente eher auf statische Phänomene anwenden, da AR mit *GeoGebra* nicht auf die Überlagerung von Bewegungen – etwa einer rutschenden, wippenden oder schaukelnden Person – mit zeitabhängigen Simulationen ausgelegt ist. Dennoch lassen sich AR-Experimente (und entsprechende Lerneinheiten) konzipieren, die anhand von statischen Messungen ein vertieftes Verständnis der Spielplatzgeräte und der jeweils zugrundeliegenden physikalischen Konzepte fördern und fördern. So kann die Rutsche als schiefe Ebene betrachtet werden, an der ein Objekt gehalten oder heraufgezogen wird. An der Wippe als Hebel können im AR-Experiment die Bedingungen für den Gleichgewichtszustand untersucht werden. An der Schaukel kann die für eine Pendelbewegung essenzielle rückwirkende Kraft in Abhängigkeit der Auslenkung bestimmt werden. Am Karussell wird die Kraft untersucht, die notwendig ist, um sich in verschiedenen Entfernungen von der Drehachse auf der rotierenden Scheibe zu halten. Im Zentrum jeder der im Rahmen des Projekts entwickelten Lerneinheiten steht eines dieser Phänomene, das am jeweiligen Spielplatzgerät mit dem dafür entwickelten dynamischen Modell untersucht wird (s. Tab.1).

| Gerät | Phänomen | Modell |
|-----------|---|--|
| Rutsche | Anstrengung beim Anheben eines Körpers und beim Hochziehen an der Rutsche vergleichen. | Kräfte an der schiefen Ebene |
| Wippe | Gleichgewichtszustand mit zwei Körpern unterschiedlicher Masse an der Wippe herstellen. | Kräfte und Abstände am Hebel |
| Schaukel | Startbeschleunigung bei großer und kleiner Auslenkung der Schaukel vergleichen. | Rücktreibende Kraft am Pendel |
| Karussell | Anstrengung, um sich auf dem Karussell zu halten, bei großen und kleinen Abständen zum Drehmittelpunkt vergleichen. | Zentripetalkraft bei der Kreisbewegung |

Tab.1: Übersicht über die behandelten Phänomene und Modelle an verschiedenen Spielplatzgeräten

Die entwickelten AR-Experimente stellen den Versuch dar, Theorie und Experiment, Modell und empirisch überprüfbar Realität direkt miteinander zu verknüpfen. Durch die eigenständige Durchführung der Experimente am Spielplatz soll zum einen die

mentale Aktivität der Lernenden gefordert, zum anderen eine Situation hergestellt werden, in welcher der Lerngegenstand für sie tatsächlich eine Rolle spielt.

In der vorgestellten Studie wurde untersucht, ob die Lernenden ihr Verständnis der zugrundeliegenden mechanischen Zusammenhänge durch die Verknüpfung von Modell und Experiment im Rahmen der Lerneinheiten erweitern oder festigen können (FF1). Des Weiteren ging es darum herauszufinden, inwiefern Modelle als Visualisierungen physikalischer Konzepte bzw. die Überlagerung realer Spielplatzgeräte in AR-Experimenten von den Lernenden als Lernwerkzeuge betrachtet werden (FF2).

2. Methode

Weder die Durchführung von Experimenten noch der Einsatz von dynamischen Modellen garantieren von sich aus Lernerfolg. Die erfolgreiche Verknüpfung von Modell und Realität mithilfe des Einsatzes von AR mit *GeoGebra* am außerschulischen Lernort setzt eine angemessene Unterrichtsstruktur voraus. Anhand verschiedener Ziele des Experimentierens im Physikunterricht sowie dem Modell als (mentale) Rekonstruktion der Natur schlagen wir mit dem Kreislauf der Erkenntnisgewinnung eine Strukturhilfe für geeignete Lernumgebungen vor (Teichrew & Erb, 2020c). Im Vorfeld der Durchführung eines (AR-)Experiments setzen sich die Lernenden zunächst mit dem betrachteten Phänomen, dessen physikalischen Modell, der Bildung von Hypothesen anhand dieses Modells sowie der adäquaten Konzeption des Experiments auseinander.

Die in der Studie eingesetzte Methode der Akzeptanzbefragung geht auf Jung und Wiesner zurück (vgl. Jung, 1992; Wiesner & Wodzinski, 1996). Es handelt sich um eine qualitative fachdidaktische Methode, bei der untersucht werden soll, wie gut ein Lernkonzept und die dafür entwickelten Lernmedien von den Proband*innen angenommen werden und die Erklärung, die sie für komplexe fachwissenschaftliche Phänomene bereithalten, akzeptiert wird. Durch in die Lerneinheit integrierte, methodisch vorstrukturierte Befragungsphasen wird evaluiert, ob die Lernenden das Angebot verstehen, es für eigene Erklärungen nutzen sowie auf weitere Fragestellungen anwenden können. Ist dies der Fall, kann von einer Akzeptanz des Angebots gesprochen werden. Das Setting für eine solche Akzeptanzbefragung ist klassischerweise ein sogenanntes *teaching experiment*, in dem die fachliche Instruktion und die Analyse der Schüler*innenreaktionen unmittelbar miteinander verbunden sind. Lehrer*in und Forscher*in sind im *teaching experiment* ein und dieselbe Person. Parallel zur Vermittlung des Ansatzes geht es darum herauszufinden, inwiefern das zu erprobende Konzept sich in Bezug auf das Ziel der Sitzung als lernförderlich herausstellt, bzw. welche Aspekte auf den Widerstand der Lernenden stoßen.

In der vorgestellten Studie bekamen die Schüler*innen bei der gemeinsamen Durchführung der Lerneinheit an der Rutsche zunächst die Möglichkeit, das im Modell präsentierte mechanische Konzept zur Deutung des Phänomens und den Umgang mit der AR-Funktion kennenzulernen, bevor sie das AR-Experiment an der Wippe nach demselben Schema selbst durchführten. Die Lernverläufe wurden jeweils mit zwei Gruppen à drei Schüler*innen der 10. Klasse eines Frankfurter Gymnasiums untersucht, die sowohl die schiefe Ebene als Kraftwandler als auch verschiedene Hebelsysteme einige Wochen zuvor im Physikunterricht behandelt hatten und sich zudem durch eher überdurchschnittliche Leistungen im Fach Physik auszeichnen.

Zur Beantwortung von FF1 wurden die Phänomene an Rutsche und Wippe jeweils in einer festgelegten Abfolge von Befragungs-, Modellierungs- und Experimentierphasen behandelt. Nach jedem Schritt des AR-Experiments wurden die Schüler*innen dazu aufgefordert, das Phänomen in eigenen Worten zu beschreiben und zu erklären:

- A) nach der Beobachtung des Phänomens
- B) nach der Beschäftigung mit dem Modell (ohne Überlagerung)
- C) nach dem Experimentieren (mit Überlagerung)

Teilweise wurden sie durch offene Fragen auch während des Experimentierens dazu angeregt, laut zu denken.

Im Anschluss an beide AR-Experimente folgte zur Beantwortung von FF2 eine Reflexion des Modells mit und ohne Überlagerung, die sich an den folgenden Reflexionsfragen orientierte:

- Kannst du in eigene Worte fassen, was im Experiment zu sehen ist und wie das mit dem Modell zusammenhängt?
- Welche Objekte sind nur im Modell zu sehen, nicht in der Realität? Helfen sie dir, das Phänomen besser zu verstehen?
- Was hat dir am AR-Experiment im Vergleich zu einem ähnlichen Experiment ohne AR besonders gefallen?
- Was hat dir am AR-Experiment im Vergleich zu einem ähnlichen Experiment ohne AR nicht so gut gefallen?

Bei den Daten handelt es sich um Tonaufnahmen, die „systematisch, regel- und theoriegeleitet“ mit der Methode der qualitativen Inhaltsanalyse ausgewertet wurden, um eine größtmögliche Objektivität, Reliabilität und Validität der Ergebnisse gewährleisten zu können (Krüger & Riemeier, 2014, S. 133f). Die Auswertung erfolgte schrittweise: Im Anschluss an die wortgetreue Transkription der Aufnahmen wurden die Aussagen in einer ersten sprachlichen Glättung redigiert. Daraufhin wurden die Aussagen zunächst geordnet (A, B, C bzw. Reflexion des Modells oder Reflexion der Überlagerung) und dann

paraphrasiert. Im letzten Schritt wurde einerseits das fachliche Niveau der vorhandenen Paraphrasen zum Phänomen in vier Stufen von niedrig (0) bis hoch (3) eingeschätzt. Andererseits wurden aus den Paraphrasen der Reflexion einzelner Schüler*innen generalisierte Kernaussagen als induktive Kategorien gebildet (s. z.B. Tab.2).

| | Aussage (Zeilennummern im Transkript) | Paraphrase (Niveau bzw. Kernaussage) |
|-----------------------------------|---|---|
| | A Die Tasche wird von Kräften Richtung Boden gezogen. Wenn man schräg nach oben zieht, wird die Tasche entlastet und es ist leichter, die Tasche hochzuziehen (4-11). | Die Gewichtskraft muss überwunden werden. Es kommt auf den Winkel an (1). |
| | B Die Rutsche ist eine schiefe Ebene. Das heißt, dass die Tasche von verschiedenen Kräften beeinflusst wird. Einmal wird die Tasche parallel zur Ebene nach unten gezogen. Durch die Erdanziehungskraft wird sie gerade nach unten, Richtung Boden gezogen. Dann hat die Tasche auch noch ein eigenes Gewicht (14-22). | Es gibt eine Normalkraft und die Gewichtskraft (2). |
| | C Die Abweichungen könnten von Reibungskräften kommen. Wenn Tim die Tasche hochzieht, herrscht da natürlich auch noch ein Widerstand zwischen der Tasche und der Rutsche (24-44). | In der Realität gibt es Reibungskräfte, die im Modell nicht berücksichtigt wurden (3). |
| Reflexion des Modells | Durch das Modell wird verdeutlicht, welche Kräfte zu sehen sind und wo sie hingehen, wenn der Körper an einer bestimmten Stelle ist (14-22). | Die Visualisierung der Kräfte hilft dem Verständnis über die Kräfte in der Situation (Das Modell hilft beim Verständnis des Phänomens). |
| | Wenn wir das neu lernen würden, würde das Modell helfen, eine bildliche Vorstellung zu bekommen (46-55). | Es baut sich eine bildliche Vorstellung auf (Die Darstellung baut ein mentales Modell auf). |
| | Wenn man neu anfängt, mit dem Thema, ist das im Modell viel simpler und besser dargestellt (233-265). | Bessere Darstellung des Fachinhalts im Modell (Das Modell zeigt Fachinhalte auf). |
| Reflexion der Überlagerung | Ich finde, durch das Modell wird einfach viel deutlicher, wo der Körper hinmuss und wo die Kräfte zutreffen. Und dass man dann direkt das Ergebnis hat, finde ich auch gut. [Die Kräfte] sind im Modell zu sehen, aber nicht in der Realität (24-44). | Überlagerung mit unsichtbaren Objekten macht das Phänomen verständlich (Die Überlagerung hilft beim Verständnis des Phänomens). |
| | [Die Überlagerung] würde helfen, weil man dann einfach ein alltägliches Beispiel hat (46-55). Und man hat durch die Überlagerung direkt praktische Beispiele. So kann man das Modell gleich in der Realität verwerten (233-265). | Alltagsbezug des Modells durch praktische Beispiele (Es wird ein direkter Alltagsbezug hergestellt). |

Tab.2: Redigierte Aussagen von Emil und Paraphrasen zum Phänomen an der Rutsche und aus der Reflexion

Da sich jeweils drei Schüler*innen mehrfach zu demselben Phänomen äußern konnten, wurde bei der Einschätzung des fachlichen Niveaus folgendes Vorgehen gewählt: Nach der Ersteinschätzung der Aussagen zum Phänomen (A), wurde in den nachfolgenden Phasen (B und C) geprüft, ob elaboriertere fachliche Aussagen hinzugekommen sind, was zu einer Einschätzung auf einem höheren Niveau führen würde. Wurden Aussagen auf demselben Niveau wiederholt, dann verblieb die Person bei der vorherigen Einschätzung. Hat sich die Person in einer Phase nicht mehr geäußert, da z.B. andere Schüler*innen bereits viele Gedanken geäußert haben, dann führte das nicht automatisch zu einer negativen Einschätzung, sondern wurde lediglich mit „keine Äußerung“ vermerkt. Ausdrückliche Widersprüche zu vorher getätigten Aussagen, die zu einer niedrigeren Einschätzung des fachlichen Niveaus geführt hätten, konnten nicht beobachtet werden.

3. Ergebnisse

Anhand einer summativen Evaluation der Äußerungen der sechs Schüler*innen lassen sich Ergebnisse formulieren, was die Entwicklung des Verständnisses der zugrundeliegenden mechanischen Zusammenhänge im Laufe der durchgeführten AR-Experimente angeht (FF1). Tabelle 3 zeigt die Einschätzung des fachlichen Niveaus der Äußerungen der sechs Schüler*innen zu den Phänomenen an der Rutsche und an der Wippe in den verschiedenen Phasen des AR-Experiments in Rot (0/niedrig), Gelb (1), Hellgrün (2) und Dunkelgrün (3/hoch) bzw. in Grau, wenn keine Äußerung vorlag.

| | | Emil | Jona | Tim | Lea | Martha | Sonia | Σ |
|---------|---|------|------|-----|-----|--------|-------|----|
| Rutsche | A | 1 | 0 | 0 | 2 | 2 | 1 | |
| | B | + | + | 0 | 2 | 0 | + | +3 |
| | C | + | 0 | 0 | 0 | + | 0 | +2 |
| Wippe | A | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | |
| | B | + | 0 | + | + | + | 0 | +3 |
| | C | + | 2 | 2 | + | + | 1 | +3 |
| Σ | | +4 | +1 | +1 | +1 | +3 | +1 | |

Tab.3: Darstellung der fachlichen Ergebnisse (alle Namen wurden geändert)

Eine Steigerung des Niveaus in den Phasen B und C wurde mit einem „+“ markiert. An den Enden der Tabelle befindet sich die Summe (Σ) der Steigerungen für jede Phase bzw. für jede Person. So haben die Lernenden bestehende Vorstellungen zum Phänomen (A) teilweise mithilfe der Modelle (B) und teilweise auch noch während der Überlagerung (C) ausgebaut. Insbesondere an der Wippe stellten die Schüler*innen durch die Überlagerung eine deutliche Verknüpfung zwischen Modell und Realität her, die sich vor allem darin zeigte, dass sie ein hohes Maß an Kreativität in Bezug auf die Ermittlung

möglicher Ursachen für Abweichungen zwischen Modell und Experiment an den Tag legten.

Die von den sechs Schüler*innen im Zusammenhang mit FF2 während der Reflexionsphase geäußerten Eindrücke zur Arbeit mit dem dynamischen Modell (ohne Überlagerung) beinhalten 14 Aussagen, aus denen fünf Kernaussagen (KA) induktiv gebildet wurden (s. Reflexion des Modells in Tab.4). Aus der Zuordnung der Äußerungen zu Kernaussagen geht hervor, dass die Schüler*innen nach der Beschäftigung mit den dynamischen Modellen im Rahmen der am Kreislauf der Erkenntnisgewinnung orientierten Lerneinheiten sowohl die Eigenschaften des Modells (KA1), die Beziehung des Modells zum Original (KA2) als auch die Beziehung des Modells und des Subjekts (KA3 bis KA5) reflektieren. Das entspricht der von Kircher (1995) für den Physikunterricht aufbereiteten Sichtweise auf die Erkenntnisgewinnung als Zusammenspiel von Subjekt, Original und Modell. Die Schüler*innen erkennen somit die intendierten Ziele des digitalen Mediums zur Visualisierung der Fachinhalte und sehen auch den verständnisfördernden Bezug zum realen Phänomen.

| | Kernaussage | H |
|----------------------------|---|---|
| Reflexion des Modells | 1. Das Modell zeigt Fachinhalte auf. | 5 |
| | 2. Das Modell hilft beim Verständnis des Phänomens. | 3 |
| | 3. Eine intensivere Auseinandersetzung mit dem Modell wäre hilfreich. | 3 |
| | 4. Die Darstellung baut ein mentales Modell auf. | 2 |
| | 5. Die Modelle könnten nicht für alle Lernenden geeignet sein. | 1 |
| Reflexion der Überlagerung | 1. Es ist hilfreich, virtuelle Objekte in die Realität einzublenden. | 4 |
| | 2. Die Überlagerung hilft beim Verständnis des Phänomens. | 3 |
| | 3. Das Modell kann während der Überlagerung überprüft werden. | 3 |
| | 4. Die Überlagerung kann als Messwerkzeug verwendet werden. | 3 |
| | 5. Es wird ein direkter Alltagsbezug hergestellt. | 2 |
| | 6. Der außerschulische Lernort ist motivierend. | 2 |

Tab.4: Häufigkeit (H) generalisierter Kernaussagen während der Reflexion des Modells und der Überlagerung

Der Reflexion der Schüler*innen bezüglich der Überlagerung der Realität mit dem dynamischen Modell im AR-Experiment konnten 17 Aussagen entnommen werden, die auf sechs Kernaussagen reduziert wurden (s. Reflexion der Überlagerung in Tab.4). Sie betreffen sowohl die visuelle (KA1), kognitive (KA2), experimentelle (KA3 und KA4) als auch affektive (KA5 und KA6) Unterstützung der Lernenden durch den Einsatz von AR im Rahmen der konzipierten AR-Experimente auf dem Spielplatz. Die Möglichkeit, Fachinhalte im Gegensatz

zum gewohnten Laborsetting direkt vor Ort mit Alltagserfahrungen zu verknüpfen, hatte einen positiven Einfluss nicht nur auf die Motivation, sondern auch auf das Verständnis:

Ich finde es schwer, wenn wir mithilfe von Beispielen arbeiten, das [Gelernte] auf die Realität zu übertragen. Das geht mit dem Modell [in Augmented Reality] besser (562-563, Lea).

Auch die eigenständige Durchführung wurde von den Schüler*innen als hilfreich und motivierend empfunden, die Bedienung der App verlief weitestgehend problemlos. Die Fülle an Informationen und Möglichkeiten, unterschiedliche virtuelle Objekte ein- und auszublenden stellte einige Schüler*innen jedoch vor eine Herausforderung. Entsprechend wünschten sie sich mehrheitlich mehr Zeit für die Auseinandersetzung mit dem Modell im Vorfeld des AR-Experiments, insbesondere bei der Vorstellung, sie könnten Teil des regulären Physikunterrichts im Klassenverband sein.

Zusammengefasst konnten die Schüler*innen ihre Fähigkeiten in Bezug auf die Erklärung des Phänomens mit physikalischen Modellvorstellungen ausbauen und präzisieren. Ist das Modell jedoch zu komplex oder haben die Schüler*innen im Vorfeld der Durchführung nicht ausreichend Zeit, sich mit der dynamischen Visualisierung vertraut zu machen, besteht die Gefahr, dass insbesondere die Überlagerung zu Überforderung führt. Insgesamt kann von einer hohen Akzeptanz der Schüler*innen gegenüber der Durchführung von AR-Experimenten nach dem beschriebenen Konzept gesprochen werden.

4. Diskussion

Aus den Ergebnissen ergeben sich vielversprechende Hinweise, was die Akzeptanz der entwickelten Lerneinheiten und das Potential von AR-Experimenten mit *GeoGebra* im Physikunterricht allgemein angeht. Diese verlangen jedoch nicht zuletzt angesichts der limitierenden Rahmenbedingungen der hier durchgeführten Erhebung nach weiterer empirischer Untersuchung. Während der Durchführung und der anschließenden Reflexion in Dreiergruppen entwickelte sich eine Gruppendynamik, in der die Handlungen oder das Gespräch von einzelnen Schüler*innen dominiert wurden, was sich in den Ergebnissen niederschlägt. Eine quantitative Interventionsstudie mit einer größeren Stichprobe und einer Unterrichtseinheit entlang des Kreislaufs der Erkenntnisgewinnung, in welche verschiedene aufeinander aufbauende AR-Experimente eingebettet sind, steht noch aus.

Die im Rahmen des Projekts entwickelten dynamischen Modelle wurden überarbeitet und können neben der Durchführung am Spielplatz auch im Fachraum als Visualisierungen genutzt werden (<https://www.geogebra.org/m/fwva54pz>), um die zu überprüfenden Hypothesen in einer konzentrierten Atmosphäre herauszuarbeiten. Die Reflexion der

einzelnen Schritte müsste ebenso nicht direkt auf dem Spielplatz erfolgen.

Zudem bleibt zu klären, inwiefern die Ergebnisse durch den Spielplatz als außerschulischen Lernort beeinflusst wurden. Die Lernenden legten zwar eine Akzeptanz gegenüber dem Lernen mit einer Überlagerung von Modell und Realität an den Tag, es bleibt jedoch offen, ob es nicht die Kombination des AR-Experiments mit der Realität am Spielplatz ist, welche dieses Ergebnis bedingt. Um dieser Frage nachzugehen, wären vergleichende Untersuchungen zwischen dem Lernen mit AR-Experimenten im Laborsetting und im Alltag der Schüler*innen anzustellen.

5. Literatur

- Erb, R. & Teichrew, A. (2020). Geometrische Optik mit GeoGebra. *NiU Physik*, 31(175), 24–28.
- Jung, W. (1992). Probing acceptance, a technique for investigating learning difficulties (IPN). In R. Duit, F. Goldberg & H. Niedderer (Hrsg.), *Research in physics learning: theoretical issues and empirical studies: proceedings of an international workshop held at the University of Bremen* (S. 278–295). Kiel: Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften an der Universität Kiel.
- Kircher, E. (1995). *Studien zur Physikdidaktik: Erkenntnis- und wissenschaftstheoretische Grundlagen* (IPN). Kiel: Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften.
- Krüger, D. & Riemeier, T. (2014). Die qualitative Inhaltsanalyse – eine Methode zur Auswertung von Interviews. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 133–145). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-37827-0_11
- Schecker, H. & Wilhelm, T. (2018). Schülervorstellungen in der Mechanik. In H. Schecker, T. Wilhelm, M. Hopf & R. Duit (Hrsg.), *Schülervorstellungen und Physikunterricht* (S. 63–88). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-57270-2_4
- Teichrew, A. & Erb, R. (2019). Analysis of learning with dynamic models and experiments in optics. In O. Levrini & G. Tasquier (Hrsg.), *Electronic Proceedings of the ESERA 2019 Conference. Part 3 (Co-Hrsg. Fechner, S. & Vorhoeff, R.)* (S. 330–336). Bologna. Verfügbar unter: <https://www.esera.org/publications/esera-conference-proceedings/esera-2019>
- Teichrew, A. & Erb, R. (2020a). 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. (2020b). Augmented Reality-Experimente mit GeoGebra. *PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*. Zugriff am 15.4.2021. Verfügbar unter:
<http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/1043>
- Teichrew, A. & Erb, R. (2020c). Lernen mit Modellen und Experimenten: Von der Beobachtung zur Erkenntnis am Beispiel des Regenbogens. *MNU*, 73(6), 481–486.
- Wiesner, H. & Wodzinski, R. (1996). Akzeptanzbefragung als Methode zur Untersuchung von Lernschwierigkeiten und Lernverläufen. In R. Duit & C. Rhöneck (Hrsg.), *Lernen in den Naturwissenschaften* (S. 250–274). Kiel: IPN.

„Und für wen ist dieser Kontext?“

Studien zu Kontexten und Interessen im Physikunterricht unter Beachtung von Gender und Selbstkonzept

Julia Welberg, Daniel Laumann und Susanne Heinicke

Institut für Didaktik der Physik, WWU Münster, Wilhelm-Klemm-Str. 10, 48149 Münster
julia.welberg@wwu.de, daniel.laumann@wwu.de, susanne.heinicke@wwu.de

Kurzfassung

Das Interesse der Schülerinnen und Schüler am Physikunterricht lässt im Verlauf der Sekundarstufe 1 stark nach. Schulbücher versuchen die physikalischen Themen durch geeignete Kontexte interessant zu gestalten. Es findet sich fast zu jedem physikalischen Themengebiet ein Kontext, mit dem sich Lernende im Unterricht beschäftigen sollen und der bestenfalls Mädchen und Jungen gleichsam interessiert. In verschiedenen Studien wurde bereits festgestellt, dass Mädchen mehr an Kontexten interessiert sind, die die Natur, Umwelt und den eigenen Körper betreffen, Jungen hingegen mehr an technischen Kontexten oder an allen gleichermaßen. In studentischen Forschungsarbeiten am Institut für Didaktik der Physik der WWU Münster wurde das Interesse an Kontexten und die Wahrnehmung von Mädchen und Jungen untersucht, deren Ergebnisse hier zusammengetragen werden. In einem weiteren Projekt wurden Rollenverteilungen beim Experimentieren in Bezug auf Selbstwirksamkeitserwartungen untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass insbesondere Mädchen entgegen stereotypischer Verhaltensformen agieren und sich selbst meist anders einschätzen, als sie es für ihre eigene Bezugsgruppe, demnach Mädchen allgemein, tun.

1. Einleitung

Empirische Studien belegen, dass das Interesse von Schülerinnen und Schülern im Laufe der Sekundarstufe 1 abnimmt [1] und sich insbesondere bei den Mädchen auch kaum wieder erholt. Bei den Jungen hingegen fällt das Interesse am Physikunterricht auch ab, jedoch bleibt es im Gesamten deutlich über dem Interesse der Mädchen. Darauf aufbauende Studien konnten neben dem reinen Merkmal des Interesses auch verschiedene Interessentypen klassifizieren, welche verschiedene Typen hervorbrachte. Demnach sind Mädchen mehr an Kontexten interessiert, die die Natur, Umwelt und den eigenen Körper betreffen, Jungen hingegen mehr an technischen Kontexten oder an allen Kontexten gleichermaßen [2]. Für Mädchen sei Physik ein „Horrorfach“, welches sie versuchen schnellstmöglich abzuwählen, was dazu führt, dass Mädchen in der Oberstufe gering und in den Leistungskursen meist zu unter 10% vertreten sind. Einen naturwissenschaftlichen oder technischen Beruf wählen im Anschluss an die Schullaufbahn die wenigsten Mädchen [3]. Der Physikunterricht sollte nun bestenfalls an den Interessen beider Geschlechter orientiert sein, dabei reagieren Mädchen sehr viel sensibler auf einen Kontextwechsel als Jungen. Ergänzend zu den bisherigen Erhebungen werden in neueren Untersuchungen oftmals zusätzlich zum Konstrukt „Gender“ als Clustervariable Konstrukte wie „Selbstwirksamkeitserwartungen“ herangezogen und die Gültigkeit

der Ergebnisse der bisherigen Studien auf Kontexte der modernen Physik überprüft [5].

2. Interesse im Physikunterricht

Die Grundlage einer Interessensdefinition bieten die Ausführungen von Prenzel, Krapp und Schiefele, die Interesse als eine Relation zwischen Person und Gegenstand beschreiben [6].

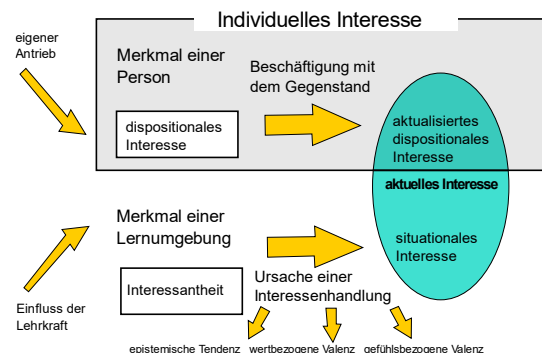


Abb.1: Interessenskonzepte nach Krapp, eigene Darstellung, angelehnt an [7].

Als Gegenstände können hierbei unterscheidbare Umweltausschnitte aufgefasst werden. Im Bereich der schulischen Lehre sind Interessensgegenstände Inhalte und Wissensgebiete, aber auch Tätigkeiten [8, 9]. Im Laufe der Entwicklung von Schülerinnen und Schülern bilden sich bestimmte Vorlieben an Themen und Wissensbereichen heraus, die daher als

„interessant“ oder „weniger interessant“ bewertet werden.

Es wird nach [10] in individuelles/persönliches Interesse und situationales Interesse/Interessantheit unterschieden, wobei diese Konzepte nicht eindeutig voneinander trennbar sind. In einer konkreten Situation bzw. in einer interessenorientierten Auseinandersetzung mit einem Gegenstand kommt es zu einer Interaktion zwischen individuellem und situationalem Interesse. In Abbildung 1 sind die Interessenskonzepte und Verbindungen grafisch dargestellt.

2.1. Interessentypen

Häußler et al. [2] beschreiben über ein Mixed-Rasch-Modell drei verschiedene Interessentypen: Typ A interessiert sich für Physik als Wissenschaft, hat Interesse an Technik/technischen Berufen und am Umgang mit und am Bau von Geräten. Dieser Gruppe gehören vorwiegend Jungen an. Lernende mit Interesse an Physik, die Erscheinungen in der Natur erklärt und dem Menschen dienlich sind bilden den Typ B, deren Geschlechteranteil in etwa ausgeglichen zwischen Mädchen und Jungen ist. Überwiegend Mädchen gehören dem Typ C an, welche Interesse an der Bedeutung von Physik für die Gesellschaft haben.

2.2. Forschungsziel

Wie erwähnt schreiben Studien [1, 4] den Schülerinnen und Schülern verschiedene Interessentypen zu. Doch ob sich Mädchen und Jungen verschiedener Jahrgangsstufen darüber bewusst sind, wofür sich Mädchen und Jungen interessieren, ist bisher noch nicht empirisch untersucht worden. Im Zuge der hier vorgestellten Studien wurden Lernende nach ihrem persönlichen Interesse an unterschiedlichen Kontexten befragt. Im Anschluss sollten sie einschätzen, wie stark diese Kontexte Mädchen und wie stark sie Jungen interessieren. Zusätzlich wurden diese Schülerinnen und Schüler befragt, wie stark sie persönlich das Fach Physik interessiere, wen es eher interessiert und wer besser in diesem Fach ist, Mädchen, Jungen oder beide gleich.

Das Prinzip der Einschätzungen von Mädchen und Jungen über ihre eigene Geschlechtergruppe wird auch in einer weiteren Forschungsarbeit zur Rollenverteilung beim Experimentieren genutzt. Hier wurde untersucht, welche Rollen beim Experimentieren die Lernenden eher Mädchen oder eher Jungen zu schreiben. Zusätzlich wurde die Selbstwirksamkeit beim Experimentieren erhoben.

3. Studiendesign

Die hier vorgestellten Studien wurden alle in einer fragebogenbasierten Umfrage im Rahmen verschiedener Praxissemesterprojekte durchgeführt. Das bedeutet, dass die Lernenden innerhalb ihres regulären Physikunterrichts in ihrer natürlichen Umgebung die Fragebögen ausfüllten. Damit die Fragebögen in allen Jahrgangsstufen genutzt werden konnten, wurde insbesondere auf eine ansprechende Darstellung

der Items geachtet und z.B. durch ergänzende Abbildungen illustriert.

3.1. Einschätzung der Interessantheit verschiedener Schulbuchkontexte

Damit die Lernenden insbesondere in den unteren Jahrgangsstufen eine konkrete Vorstellung des jeweiligen Kontextes erhielten, wurden diese mit passenden Bildern illustriert, welche den Originalabbildungen aus Schulbüchern nachempfunden sind. Die Erhebungen zu Kontexteinschätzungen fanden dabei im Frühjahr 2019, teilweise als Paper-Pencil-Fragebogen, teilweise onlinebasiert, mit etwa 200 Schülerinnen und Schülern statt. Zu Beginn des Fragebogens wurden die demographischen Angaben Geschlecht, Alter und Klassenstufe erhoben. Im Anschluss wurden folgende allgemeine Einschätzungen zur Physik abgefragt:

- Wie sehr interessierst dich das Fach Physik?
- Wen interessiert das Fach Physik – Jungen, Mädchen oder beide gleich?
- Wer ist besser im Fach Physik – Jungen, Mädchen oder beide gleich?

Danach folgen die Einschätzungen der Kontexte. Hierbei wird zunächst nach der persönlichen Einschätzung der Schulbuchkontexte gefragt. Anschließend folgen dieselben Kontexte mit dem Unterschied, dass nach Einschätzungen gefragt wird, ob diese Kontexte Mädchen oder Jungen interessieren. Die Schülerinnen und Schüler geben ihre Einschätzung dabei über eine fünfstufige Likert-Skala ab, welche mit Smileys illustriert wird, um insbesondere auch Lernenden der fünften Klasse das Ausfüllen des Fragebogens zu erleichtern. Zusätzlich soll dies das wiederholte Ausfüllen und Einschätzen der Kontexte vereinfachen.

3.2. Rollenzuteilung und Selbstwirksamkeitserwartung beim Experimentieren

In einer weiteren studentischen Forschungsarbeit wurden Schülerinnen und Schüler der Klassen 6 und 10 unterschiedlicher Schulformen nach Rollenverteilungen beim Experimentieren befragt. Dabei sollten sie zuordnen, welche Rollen in einer fiktiven Experimentiersituationen von Mädchen und welche von Jungen übernommen werden. Die folgenden Rollen standen hierbei zur Auswahl:

- Durchführung des Experiments
- Aufgabenstellung vorlesen
- Protokoll schreiben
- Zuzucken

Zusätzlich sollten sie selbst angeben, welche Rolle sie in dieser Situation übernehmen würden. Neben der Clustervariable „Geschlecht“ wurde auch das experimentelle Selbstkonzept abgefragt. Im Fragebogen wurde die Skala zur Selbstwirksamkeitserwartung beim Experimentieren von Körner und Ihringer [11] genutzt. Die Erhebungen zu dieser Forschungsarbeit fanden per papierbasiertem Fra-

genbogen im Frühjahr 2020 mit etwa 160 Lernenden statt.

4. Auswertung und Ergebnisse: Kontexteinschätzungen

Bevor persönliche Einschätzungen sowie Einschätzungen der eigenen Bezugsgruppe (Mädchen über Mädchen, Jungen über Jungen) und der fremden Bezugsgruppe (Mädchen über Jungen, Jungen über Mädchen) gegenübergestellt werden, werden zunächst die kontextunabhängigen Ergebnisse vorgestellt.

4.1. Interesse am Fach Physik

Die Einschätzungen des Interesses am Fach Physik nach Jahrgangsstufe sind in Abbildung 2 dargestellt.

Es zeigt sich, dass in den Klassen 5 und 6 kaum ein Unterschied in der Interessantheit des Faches Physik vorliegt. In Klasse 6 schreiben die Mädchen im Mittel dem Fach Physik ein größeres Interesse zu, als die Jungen es tun. Für die Klasse 7 liegen aus diesen Forschungsarbeiten keine Daten vor. Ab Klasse 8 beginnt eine Veränderung der Interessantheit und das Interesse sinkt stark ab. Dies geht in Einklang mit den Ausarbeitungen von [12], wonach das Interesse an Schule und Unterricht im Laufe der Sekundarstufe 1 allgemein abnimmt – in der Physik nur in größerem Maße als in anderen Fächern. Neben der allgemeinen Abnahme des Interesses in Jahrgangsstufe 8 fällt auf, dass die Interessensbeurteilungen von Mädchen und Jungen stark auseinanderdriften. In Klasse 9 beginnt der Interessensunterschied weiter zu wachsen, wobei sich das Interesse der Jungen am Physikunterricht erholt und wieder zunimmt. In den Klassen 10 und 11 ist der Unterschied in der Interessantheit des Faches Physik (hoch) signifikant; die Angaben von Mädchen und Jungen weichen sehr stark voneinander ab.

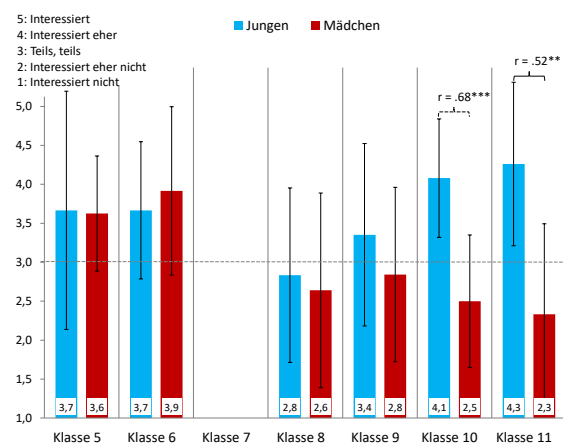


Abb.2: Beliebtheit des Faches Physik in unterschiedlichen Jahrgangsstufen (n = 204, Fehlerbalken entsprechen einfacher Standardabweichung, Signifikanzniveau: *p ≤ .05, **p ≤ .01, ***p ≤ .001).

4.2. Beliebtheits- und Performanzbeurteilungen des Faches Physik

Die Beliebtheit des Faches Physik, unterteilt nach Jahrgangsstufen, ist bereits in Abbildung 2 dargestellt. Es zeigt sich ein signifikanter Unterschied in den Interessen ab Klasse 10. Ein signifikanter Unterschied in der Interessensbeurteilung ist auch zu bemerken, wenn man die Gesamtstichprobe betrachtet (vgl. Abb. 3). Demnach interessiert das Fach Physik die Jungen insgesamt signifikant stärker als die Mädchen.

Ein höheres Interesse schreiben zudem auch subjektiv beide Geschlechter den Jungen zu: So geben sowohl Mädchen als auch Jungen auf die Frage „Wen interessiert das Fach Physik?“ eine Tendenz in Richtung Jungen an. Für eine bessere Arbeit mit diesem Item wurden die Tendenzen in Zahlen umgewandelt (Interessiert Jungen: 5, Int. eher Jungen: 4, Int. beide gleich: 3, Int. eher Mädchen: 2, Int. Mädchen: 1). Mit dieser Kodierung lassen sich die Mittelwerte der Mädchen und Jungen einfacher vergleichen: Mit einem Mittelwert von 3,9 (SD: 0,8) zeigt sich eine deutliche Einstellung der Jungen dazu, dass das Fach Physik eher Jungen interessiert. Diese Aussage ist bei den Mädchen leicht schwächer ausgeprägt (MW: 3,6, SD: 0,8). Die Tendenzen gehen allerdings in dieselbe Richtung. Insgesamt schreiben demnach beide Gruppen den Jungen ein höheres Interesse am Fach Physik zu, dabei ist jedoch die Zuschreibung der Jungen signifikant höher als die der Mädchen.

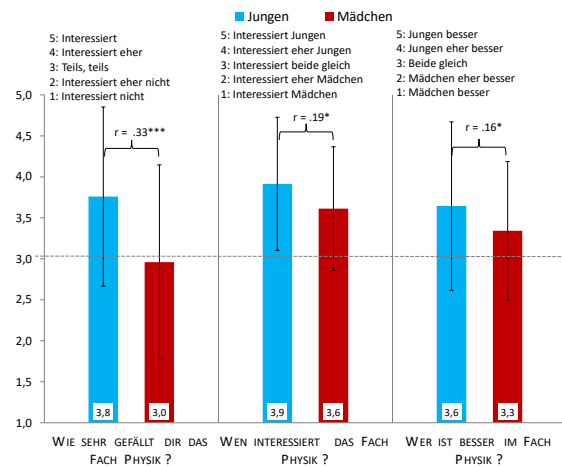


Abb.3: Beliebtheit insgesamt, Einschätzung des Interesses von Mädchen und Jungen und Performanzbeurteilung im Fach Physik (n = 204, Fehlerbalken entsprechen einfacher Standardabweichung, Signifikanzniveau: *p ≤ .05, **p ≤ .01, ***p ≤ .001).

Eine Tendenz in Richtung der Jungen lässt sich auch feststellen, wenn danach gefragt wird, wer besser im Fach Physik ist. Diese Tendenz ist jedoch weniger ausgeprägt als bei der vorherigen Frage (vgl. Abb. 3). So geben die Jungen an, dass tendenziell eher Jungen besser im Fach Physik seien.

Bei den Mädchen ist diese Tendenz auch vorhanden, jedoch sehr viel weniger stark ausgeprägt. Daraus folgt, dass sowohl Mädchen als auch Jungen die Jungen als leistungstechnisch besser im Fach Physik einschätzen. Jungen schätzen ihr eigenes Geschlecht selbst nochmals signifikant besser ein als die Mädchen.

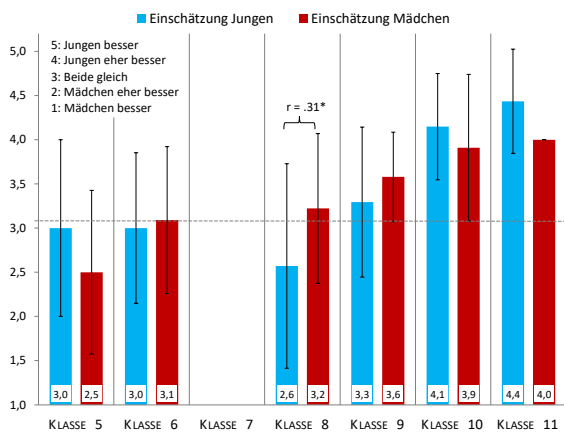


Abb.4: Performanzeinschätzungen im Fach Physik in unterschiedlichen Jahrgangsstufen (n = 204, Fehlerbalken entsprechen einfacher Standardabweichung, Signifikanzniveau: *p < .05, **p < .01, ***p < .001).

Für eine detailliertere Betrachtungsweise ist in Abbildung 4 die Frage nach der Performanz im Physikunterricht nach Jahrgangsstufe aufgeteilt. Die Daten zeigen, dass sich in Klasse 5 die Mädchen selbst als besser in Physik einordnen, die Jungen hingegen geben im Mittel an, dass beide gleich stark sind. In Klasse 8 zeigt sich eine deutlich andere Datenlage als zuvor beschrieben: Die Jungen geben mehrheitlich an, dass eher Mädchen besser im Physikunterricht sind, wobei diese eher zur Jungenseite tendieren. Der Unterschied zwischen den Mädchen und Jungen ist hierbei signifikant. Ab der neunten Klasse stellt sich das aus der Gesamtstichprobe bekannte

Bild ein und beide Geschlechter schätzen tendenziell die Jungen als leistungsstärker im Physikunterricht ein.

Zusammenfassend lässt sich in Klasse 8 ein Umbruch detektieren, sowohl in der Interessantheit bzw. Beliebtheit des Faches Physik und der Performanzbeurteilung.

4.3. Kontexteinschätzungen

Insgesamt wurden 26 Kontexte im Fragebogen abgefragt, welche allesamt Schulbüchern entstammen und verschiedenste physikalische Themen abdecken. Die komplette Liste aller befragten Kontexte ist im Anhang zu finden. Bei der Wahl der Kontexte wurde zudem darauf Wert gelegt, dass sie verschiedene Bereiche (Alltag, Technik, Natur, Physikunterricht) abdecken. In Abbildung 5 sind die Kontexte dargestellt, bei denen es signifikante Unterschiede zwischen persönlicher Einschätzung und eigener bzw. fremder Bezugsgruppe gibt.

Es fällt auf, dass es vorwiegend Abweichungen bei Einschätzungen der Mädchen gibt und hier insbesondere zwischen persönlicher Einschätzung der Mädchen und der Einschätzung durch die Jungen, also der fremden Bezugsgruppe. Zusätzlich bewerten Mädchen ihr eigenes Interesse an Kontexten in den meisten Fällen höher, als sie es aus ihrer Sicht für Mädchen und damit für ihre eigene Bezugsgruppe tun. Sie scheinen demnach zwischen den eigenen Interessen und den Interessen von Mädchen zu unterscheiden. Jungen schreiben den Mädchen in fast allen Fällen ein noch geringeres Interesse an den Kontexten zu, als die Mädchen es selbst für ihre Bezugsgruppe tun. Umgekehrt schätzen die Mädchen das Interesse der Jungen an diesen Kontexten in über der Hälfte der Fälle höher ein, als es die Jungen für ihre Bezugsgruppe tun. Auffällig ist, dass bei den Mädchen die Kontexte, die sie selbst am interessantesten bewerten, die größten Abweichun-

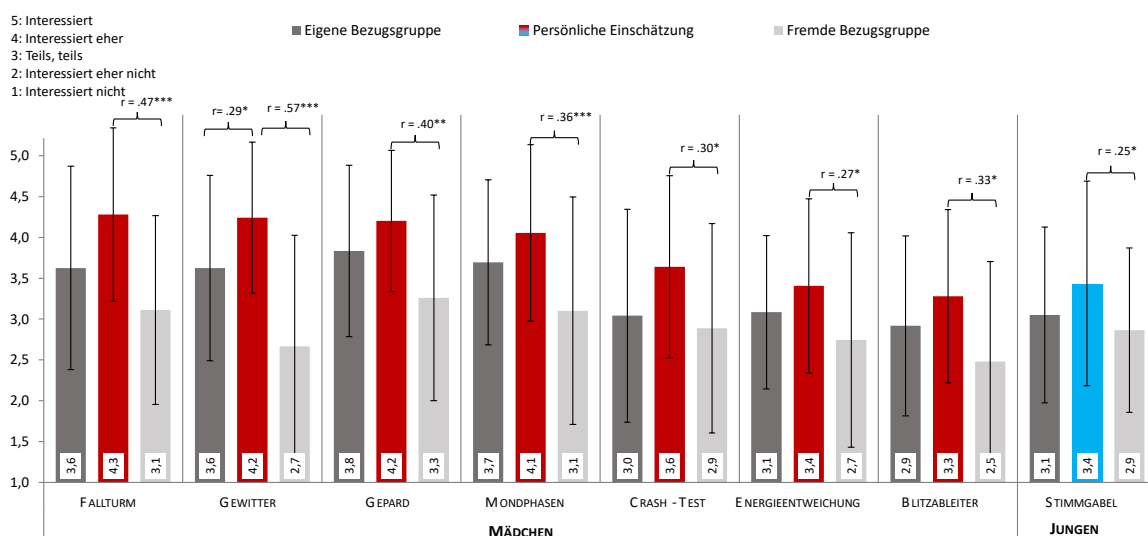


Abb.5: Einschätzungen von Kontexten aus Physikschulbüchern (n = 204, Fehlerbalken entsprechen einfacher Standardabweichung, Signifikanzniveau: *p < .05, **p < .01, ***p < .001).

gen zwischen den Einschätzungen durch eigener und fremder Bezugsgruppe hervorbringen.

5. Auswertung und Ergebnisse: Selbstwirksamkeitserwartung beim Experimentieren

In einer weiteren Forschungsarbeit wurden Schülerinnen und Schüler der sechsten und zehnten Klasse verschiedener Schulformen um eine Selbsteinschätzung beim Experimentieren im Physikunterricht gebeten. Hierzu wurde, wie bereits erwähnt, die Skala von Körner und Ihringer [11] verwendet. Nach dem Ausfüllen dieser Items sollten die Lernenden klassische Aufgaben in einer Experimentiergruppe an vier fiktive Lernende, zwei Mädchen und zwei Jungen verteilen. Abschließend sollten sie sich selbst einer Aufgabe zuordnen.

5.1. Rollenverteilung beim Experimentieren

Insbesondere bei der eigenen Zuordnung zeigten sich starke Abweichungen zwischen den Lernenden, je nach Schulform. Bei den Jungen zeichnete sich hierbei ein weniger starker Unterschied als bei den Mädchen ab.

In Abbildung 6 sind die eigenen Rollenzuteilungen beim Experimentieren von Jungen unterschiedlicher Schulformen dargestellt. Jungen jeder Schulform und sowohl aus der sechsten und zehnten Klasse teilen sich selbst meist die Rolle des Experimentators beim Experimentieren in einer Gruppe zu. Der Anteil der Jungen, die sich selbst die Rolle des Experimentators zuschreiben wächst von der Klasse 6 auf die Klasse 10 in der Hauptschule (42% → 62%) stark an. Ebenso nimmt der Anteil derer, die sich der passiven Rolle des Zuschauers zuordnen an der Hauptschule zu (17% → 33%). An der Realschule sind nur geringfügige Änderungen der eigenen Rollenzuschreibungen zwischen der sechsten und der zehnten Jahrgangsstufe zu verzeichnen. Am Gymnasium ist der Anteil der Jungen, welche sich die Rolle des Experimentdurchführenden zuschreiben von der sechsten auf die zehnte Klasse rückläufig (67% → 50%). Geben in der sechsten Klasse noch keine Jungen an, dass sie das Protokoll schreiben, so ist es in der zehnten Klasse jeder vierte. Insgesamt ist in allen Schulformen und Klassenstufen jedoch festzuhalten, dass sich die Jungen vorwiegend die Aufgabe des aktiven Experimentierens zuteilen.

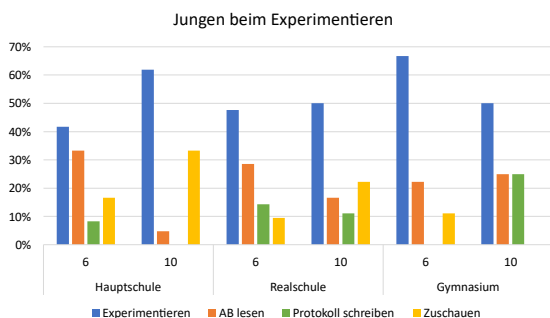


Abb.6: Relative Anteile unterschiedlicher Aufgabenzuschreibungen von Jungen beim Experimentieren (n = 93).

In Abbildung 7 sind die Aufgabenzuschreibungen beim Experimentieren von Mädchen der Klassen 6 und 10 unterschiedlicher Schulformen dargestellt. Es zeigt sich hier ein weniger eindeutiges Bild als bei den Jungen, da sich keine Aufgabe als Favorit durch die Jahrgangsstufen zieht.

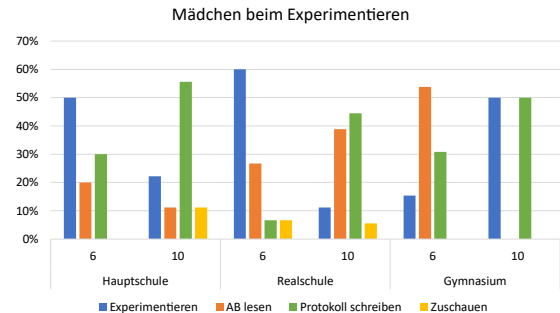


Abb.7: Relative Anteile unterschiedlicher Aufgabenzuschreibungen von Mädchen beim Experimentieren (n = 71).

Bei den Mädchen der Haupt- und Realschule ordnet sich der Großteil aus der sechsten Klasse der Aufgabe des Experimentierens zu. Diese Zuordnung ist an diesen Schulformen nur in der sechsten Klasse erkennbar, in der zehnten Klasse ist das Protokollieren an der Hauptschule der Favorit der Mädchen. Das Protokollieren oder das Lesen des Arbeitsblatts ist an der Realschule die meistgewählte Aufgabe der Mädchen. Der Anteil derer, die sich dem Experimentieren zuordnen geht an beiden Schulformen stark zurück (Hauptschule: 50% → 22%; Realschule: 60% → 11%). Bei den Schülerinnen des Gymnasiums lässt sich eine andere Beobachtung machen: Hier ordnet sich über die Hälfte (54%) dem Arbeitsblatt lesen zu. Protokollieren würden kurz Mädchen des Gymnasiums in der sechsten Klasse. In der sechsten Klasse geben 15% an Experimentieren zu wollen, im Gegensatz zur Haupt- und Realschule steigt dieser Anteil bei den Schülerinnen der zehnten Klasse des Gymnasiums auf 50%.

5.2. Selbstwirksamkeitseinschätzungen beim Experimentieren

Neben den Rollenverteilungen beim Experimentieren wurde auch das Konzept „experimentelle Selbstwirksamkeitserwartung“ (kurz: SWE) erhoben. In diesem Abschnitt werden kurz Ergebnisse unterteilt nach Schulform und Geschlecht vorgestellt.

Abbildung 8 zeigt die Mittelwerte der Selbstwirksamkeit der Jungen im Vergleich von sechster und zehnter Jahrgangsstufe. Es fällt auf, dass in der sechsten Klasse nur geringe Abweichungen vorliegen, insbesondere zwischen Haupt- und Realschule. Die nahezu identischen Werte von Haupt- und Realschule lassen sich auch in Klasse 10 detektieren. Schüler vom Gymnasium schreiben sich eine deutlich höhere experimentelle Kompetenz zu. Demnach ist bei den Jungen verschiedener Schulformen ein gleichbleibender oder steigender Trend in Bezug auf

die Selbstwirksamkeitserwartung beim Experimentieren festzumachen.

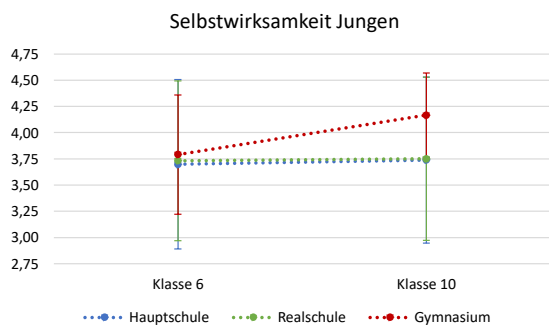


Abb.8: Selbstwirksamkeitseinschätzung beim Experimentieren von Jungen (n = 93, Fehlerbalken entsprechen einfacher Standardabweichung, 1: geringe SWE, 5: hohe SWE).

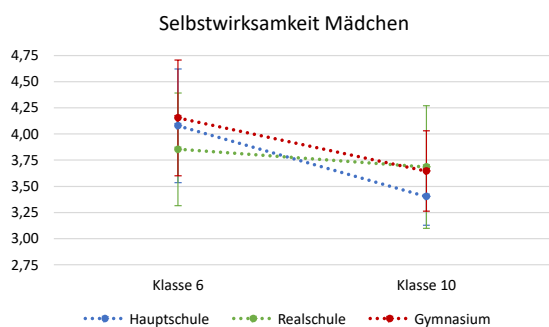


Abb.9: Selbstwirksamkeitseinschätzung beim Experimentieren von Mädchen (n = 71, Fehlerbalken entsprechen einfacher Standardabweichung, 1: geringe SWE, 5: hohe SWE).

Bei den Mädchen ergibt sich allerdings ein anderes Bild, wie auch in Abbildung 9 zu erkennen ist: Hier ist die persönliche Einschätzung der experimentellen

Selbstwirksamkeit in der zehnten Klasse in allen drei Schulformen deutlich geringer als in der sechsten Klasse, wobei der Abfall bei Schülerinnen der Hauptschule und des Gymnasiums am größten ist. Bei Mädchen der Realschule ist lediglich ein leicht abfallender Trend festzustellen.

5.3. Stereotype beim Experimentieren

Neben der Zuschreibung der eigenen Rolle beim Experimentieren sollten Mädchen und Jungen fiktiven Lernenden eine Rolle zuschreiben. Dabei wurden bewusst stereotypische Aufgaben gewählt, die eher einer bestimmten Geschlechtergruppe (Experimentieren, Zuschauen: Jungen; Lesen, Protokollieren: Mädchen). In Abbildung 10 sind explizit die Rollenzuschreibungen der Mädchen dargestellt. Da insbesondere bei Lernenden der sechsten Klasse Abweichungen zwischen geschlechterstereotypischer Erwartung und tatsächlicher Zuschreibung vorlagen, werden diese abschließend genauer betrachtet.

Es fällt auf, dass bei Mädchen der Hauptschule in der sechsten Klasse noch keine eindeutige stereotypische Rollenverteilung vorliegt, lediglich das Lesen des Arbeitsblattes wird deutlich den Mädchen zugeordnet. Am meisten teilten sich Mädchen selbst die Aufgabe des aktiven Experimentierens zu, welche sie in der Tendenz eher als Jungenaufgabe sehen würden. Hier ist eine leichte Diskrepanz zwischen Rollenzuschreibung an fiktive Lernende und eigener Rollenzuschreibung festzustellen. Bei den Mädchen der sechsten Klasse der Realschule ist eine geschlechterstereotype Verteilung der Experimentieraufgaben deutlich zu erkennen: So teilen sie am häufigsten den Jungen die Aufgaben des Experimentierens und Zuschauens und den Mädchen die Lese-

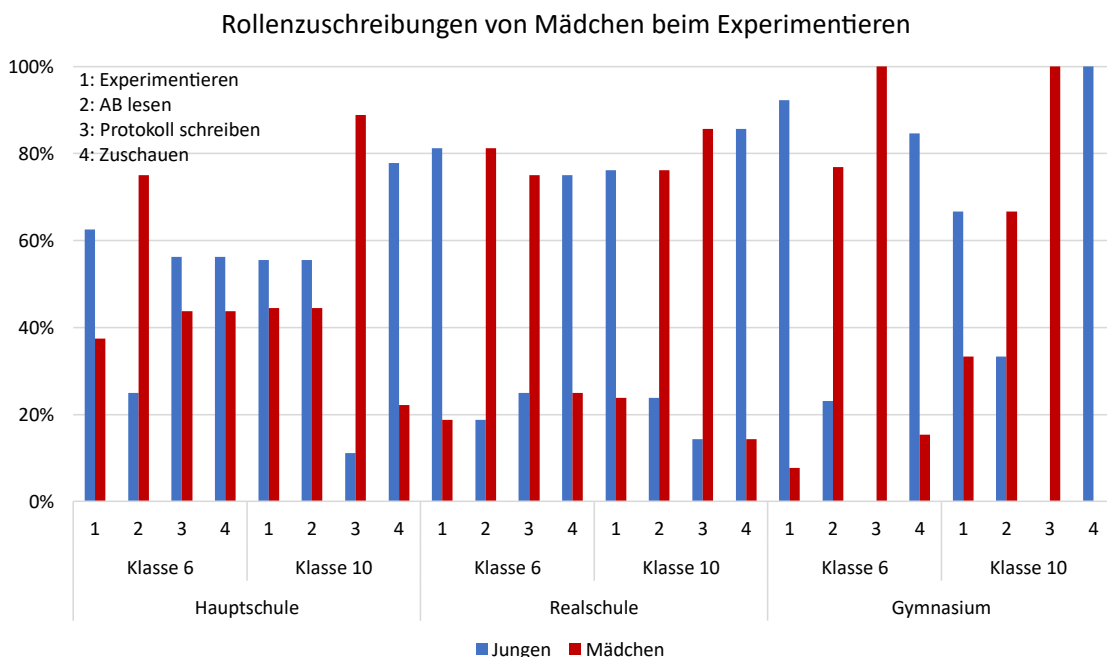


Abb.10: Zuschreibungen von Aufgaben für Mädchen und Jungen beim Experimentieren, Zuordnung von Schülerinnen unterschiedlicher Schulformen der sechsten und zehnten Klasse (n = 71).

und Protokollieraufgabe zu. Dies steht im Widerspruch zur eigenen Wunschaufgabe im Experiment. Mädchen vom Gymnasium teilten sich selbst meist die Aufgabe des Lesens des Arbeitsblattes oder Protokollieren zu, dies geht d'accord mit den geschlechterstereotypischen Zuschreibungen an fiktive Lernende in einer Experimentiersituation.

6. Diskussion und Ausblick

Insgesamt zeigen die Daten zu Kontexteinschätzungen und Rollenzuweisungen beim Experimentieren interessante Ansätze von nicht-stereotypischem Verhalten, insbesondere von Mädchen. Viele der hier gezeigten Daten können aufgrund der bisher geringen Datenmenge vorerst nur Tendenzen aufzeigen, welche in weiteren Studien bestätigt oder widerlegt werden sollen. Da die Erhebungen zu Kontexteinschätzungen bisher nur an Gymnasien stattfanden, lohnt es sich, in Anbetracht der Tatsache, dass bei der Rollenzuweisung beim Experimentieren große schulformabhängige Unterschiede festgestellt werden konnten, vermutlich ebenfalls ein Blick auf andere Schulformen. Hier sollen ebenfalls Lehrkräfte um ihre Einschätzungen gebeten werden.

Dennoch lassen sich aus den hier vorgestellten Ergebnissen erste Tendenzen erkennen, welche im Folgenden kurz zusammengefasst werden sollen.

Es konnte bei den Fragen zum Interesse im Physikunterricht eine Abnahme des Interesses im Verlauf der Sekundarstufe 1, wobei sich das Interesse der Jungen wieder erholt, wie in [1] auch in diesen Arbeiten festgestellt werden. Neu hinzugekommen sind Aussagen über subjektive Zuschreibungen der Schülerinnen und Schüler des Interesses und der Performanz im Fach Physik. In Übereinstimmung mit den persönlichen Einschätzungen schreiben sowohl Mädchen als auch Jungen den Jungen ein höheres Interesse am Physikunterricht zu, wobei die Zuschreibung der Jungen für ihre eigene Bezugsgruppe signifikant höher ist als die der Mädchen. Ein ähnliches Bild zeigt sich bei der Performanzeinschätzung, auch hier geben beide Geschlechter an, dass Jungen im Fach Physik besser seien, wobei die Jungen ihre Gruppe signifikant besser einschätzen als die Mädchen.

Bei der Einschätzung von Kontexten für die verschiedenen Gruppen ergaben sich speziell bei den Mädchen starke Unterschiede zwischen Einschätzungen von den Mädchen selbst und ihrer eigenen Bezugsgruppe bzw. der fremden Bezugsgruppe, also der Jungen. Besonders diese schätzen das Interesse der Mädchen an diversen Kontexten teils hoch signifikant geringer ein, als die Mädchen es für sich selbst tun.

In Experimentiersituationen konnte speziell bei Mädchen der sechsten Klasse von Haupt- und Realschulen eine Rollenzuschreibung entgegen der zuvor abgefragten eher stereotypischen Rollenverteilung beim Experimentieren festgestellt werden. Mädchen von Gymnasien der Klasse 10 teilten sich ebenfalls

entgegen ihren zuvor angegebenen stereotypischen Rollenzuschreibungen anderen Rollen zu.

Es konnten demnach insbesondere bei Mädchen sowohl bei Kontexteinschätzungen als auch bei Rollenzuschreibungen in Experimentiersituationen Diskrepanzen zwischen der „Rolle als Mädchen“ und persönlicher Einschätzung festgestellt werden. Diese Tendenzen sind nun in weiteren Forschungsarbeiten genauer zu untersuchen.

7. Literatur

- [1] HOFFMANN, Lore ; HÄUBLER, Peter ; LEHRKE, Manfred: *Die IPN-Interessenstudie Physik*. Kiel : IPN, 1998 (IPN 158)
- [2] HÄUBLER, Peter ; HOFFMANN, Lore ; LANGEHEINE, Rolf ; ROST, Jürgen ; SIEVERS, Knud: *Qualitative Unterschiede im Interesse an Physik und Konsequenzen für den Unterricht*. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 2 (1996), Nr. 3, S. 57–69
- [3] WODZINSKI, Rita: Mädchen im Physikunterricht. In: KIRCHER, Ernst (Hrsg.): *Physikdidaktik : Theorie und Praxis ; mit 16 Tabellen*. Berlin, Heidelberg, New York : Springer, 2007 (Springer-Lehrbuch), S. 559–580
- [4] HÄUBLER, Peter ; HOFFMANN, Lore: *Physikunterricht - an den Interessen von Mädchen und Jungen orientiert*. In: *Unterrichtswissenschaft* 23 (1995), Nr. 2, S. 107–126. URL <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0111-opus-81243>
- [5] ZÖCHLING, Sarah Maria ; HOPF, Martin ; WOITHE, Julia ; SCHMELING, Sascha: Spreading interest in particle physics among high-school students – What matters? In: LEITNER, Rupert; BIELCIKOVA, Jana et al. (Hrsg.): *Proceedings of 40th International Conference on High Energy physics – PoS(ICHEP2020)*. Trieste, Italy : Sissa Medialab, 2020, S. 964
- [6] PRENZEL, Manfred ; KRAPP, Andreas ; SCHIEFELE, Hans: *Grundzüge einer pädagogischen Interessentheorie*. In: *Zeitschrift für Pädagogik* 32 (1986), Nr. 2, S. 163–173. URL https://www.pedocs.de/frontdoor.php?source_opus=14383
- [7] ENGELN, Katrin: *Schülerlabors : authentische, aktivierende Lernumgebungen als Möglichkeit, Interesse an Naturwissenschaften und Technik zu wecken*. Dissertation. 2004
- [8] ANDREAS KRAPP: *Entwicklung und Förderung von Interessen im Unterricht*. In: *Psychologie in Erziehung und Unterricht* 44 (1998), S. 185–201. URL https://www.unibw.de/sowi/institute/krapp/publikationen/117-98-2_krapp_peu-entw-und-foerderung.pdf
- [9] ANDREAS KRAPP: Das Interessenkonstrukt Bestimmungsmerkmale der Interessenhandlung und des individuellen Interesses aus der

Sicht einer Person-Gegenstands-Konzeption.
In: Andreas Krapp; Manfred Prenzel (Hrsg.):
*Interesse, Lernen, Leistung. : Neuere Ansätze
der pädagogisch-psychologischen Interessen-
forschung.* Münster : Aschendorff, 1992, S.
297–329

- [10] KRAPP, Andreas: *Interesse, Lernen und Leistung. Neue Forschungsansätze in der Pädagogischen Psychologie.* In: *Zeitschrift für Pädagogik* 38 (1992), Nr. 5, S. 747–770. URL https://www.pedocs.de/frontdoor.php?source_opus=13977&nr=4&prev=13976%2C13975%2C13974&next=13978&anker=start&&zeitschriftenti-tel=Zeitschrift+f%C3%BCr+P%C3%A4dagogik&zeitschriftenjahr=1992&zeitschriftenband=38&zeitschriftenheft=5#start
- [11] KÖRNER, Hans-Dieter ; IHRINGER, Susanne:
Selbstwirksamkeit beim Experimentieren –
Mädchen und Jungen in den Naturwissenschaften.
In: KAMPSHOFF, Marita; WIEPCKE, Claudia (Hrsg.):
Vielfalt geschlechtergerechten Unterrichts. Ideen und konkrete Umsetzungsbeispiele für die Sekundarstufen. Berlin : epubli GmbH, 2016, S. 106–140
- [12] MERZYN, Gottfried: *Naturwissenschaften, Mathematik, Technik - immer unbeliebter? : Die Konkurrenz von Schulfächern um das Interesse der Jugend im Spiegel vielfältiger Untersuchungen.* 2. unveränderte Aufl. Baltmannsweiler : Schneider Verlag Hohengehren, 2013

Anhang

Kontexte: Zugvögel, elektrische Klingel, Gitarre, Lichtspot im Schattentheater, Linsen im Auge, Tierfell, Radarfalle, Kompass, Magnetnadel, Schattentheater, Klänge erzeugen, Arm als Hebel, Linsen im Fernrohr, Thermobecher, Fall eines Magneten, Zweiarziger Hebel, Modellauto, Fahrrad, Fallturm, Gewitter, Gepard, Mondphasen, Crash-Test, Energieentweichung, Blitzableiter, Stimmgabel

Der Energie-Feld-Ansatz: Design-Forschung zur Entwicklung und Evaluation eines Unterrichtskonzeptes für den Energieunterricht der Oberstufe

Manuel Becker*, Martin Hopf*

*Universität Wien, Didaktik der Physik, Porzellangasse 4, 1090 Wien
manuel.becker@univie.ac.at, martin.hopf@univie.ac.at

Kurzfassung

Trotz seiner zentralen Bedeutung für das Beschreiben und Erklären von Phänomenen wird das abstrakte Konzept der Energie und insbesondere das Prinzip der Energieerhaltung nach dem traditionellen Unterricht von vielen Schüler*innen nur unzureichend verstanden [1]. Als Lösung schlagen mehrere Quellen vor, dass ein Verknüpfen von Energie mit Feldern oder Systemen das Verständnis für Energie erleichtern könnte (u. a. [1,2]). Ziel des Energie-Feld-Ansatzes (EFA) ist es, die Vorteile bereits existierender Vorschläge aufzugreifen und ein Unterrichtskonzept für die Sekundarstufe II zu entwickeln, in welchem die traditionellen Energieformen retrospektiv zu nur zwei Formen zusammengeführt werden: Bewegungsenergie und Feldenergie. Mit dem EFA werden Schüler*innen somit auch Aspekte modernster Physik (z.B. Teilchenphysik, Higgsfeld) nähergebracht. Nach dem Modell der didaktischen Rekonstruktion [3] wird aktuell mit Hilfe der Methode der Akzeptanzbefragungen [4] und qualitativer Textanalyse [5] die Lernwirksamkeit des Unterrichtskonzeptes evaluiert und dieses weiterentwickelt. Der Artikel gibt Einblick in die wesentlichen Merkmale und ersten Ergebnisse des EFA.

1. Hintergrund

Das Konzept Energie dient in vielen Curricula als Basiskonzept, das nicht nur als eigenständiges Thema, sondern auch international jahrgangsübergreifend immer wieder Anwendung findet (siehe z.B. crosscutting concepts der NGSS nach [6]). Ein Grund dafür ist die weitreichende Bedeutung dieses physikalischen Konzeptes als Erhaltungsgröße. Ebenso wie andere Erhaltungssätze wie der Impuls- oder Drehimpulserhaltungssatz bestimmt auch der Energieerhaltungssatz den Rahmen, in dessen Grenzen physikalische Prozesse ablaufen können. Zusätzlich spielt die Energie nicht nur in der Physik, sondern interdisziplinär und kontextunabhängig auch in anderen Bereichen der Naturwissenschaften eine tragende Rolle. Denn die Kenntnis über die Energie eines bestimmten Systems und deren zeitliche Entwicklung besitzt nicht nur abstrakt mathematische (z.B. über den Lagrange- oder Hamilton-Formalismus), sondern auch phänomenologische Aussagekraft für die Beschreibung von Phänomenen. So bietet die Kenntnis über die Energie eines Systems auch Informationen über die Grenzen des systemischen Verhaltens. Betrachtet man außerdem die zu Grunde liegenden Wechselwirkungen, kann man auch Aussagen bzw. Vorhersagen über das Verhalten eines Systems machen. Letztlich stellt die Energie also eine für Beschreibungen und Erklärungen nützliche Größe dar, deren grundlegende Bedeutung und Relevanz jedem*r Naturwissenschaftler*in bewusst ist.

Dieses Verständnis über die Bedeutung der Energie auch Schüler*innen zu vermitteln, scheint angesichts

der Vorteile also sinnvoll und ist schon lange ein Ziel des Physikunterrichts. Dennoch gelingt es vielen Lernenden bis zum Ende ihrer Schulzeit nicht, ein angemessenes Verständnis von Energie zu erlangen [1]. Die folgenden Abschnitte skizzieren einen knappen Ausschnitt der in der fachdidaktischen Forschungslandschaft bereits vertretenen Probleme und entsprechenden Lösungsansätze. Ein thematisch passender Überblick über die Problematik wird auch in [1] gegeben.

1.1. Problematik des Energieunterrichts

Der traditionelle Energieunterricht fokussiert meist auf die Einführung unterschiedlicher Energieformen wie z.B. kinetische, potenzielle, elektrische, chemische, Solar- oder Kernenergie. Die Unterscheidung und Verwendung dieser Formen begründet sich hauptsächlich durch ihre Bedeutung und ihr Anwendungsfeld. So wirkt die Untergliederung der eigentlich unitären Größe *Energie* in verschiedene Formen von Energie oft auch aus praktischen Gründen vorteilhaft [1]. Um die aufgegliederten Formen wieder mit der Energieerhaltung in Verbindung zu bringen, muss dann über die Übertragung bzw. Umwandlung von Energie gesprochen werden. Daraus resultiert allerdings die Gefahr, dass Begriffe wie innere, chemische oder Kernenergie zu Blackboxen werden und Schüler*innen zu dem Schluss kommen, die einzelnen Formen seien möglicherweise auch einzeln erhalten [7]. So wird von einigen Autor*innen kritisiert, dass es sich bei der Einführung der Energieformen eher um eine bloße Umbenennung handelt, die nicht zu einem tieferen Verständnis führt [8]. Die umfangreiche Terminologie für eine

physikalische Größe mache es schwierig, ein kohärentes Verständnis von Energie zu entwickeln, zumal sich die Bedeutung der einzelnen Formen auch teilweise überlappen und nicht wohldefiniert sind [2]. So wird die potenzielle Energie beispielsweise auch teilweise als Eigenschaft eines Objektes anstelle eines Systems verstanden [9,10]. Darüber hinaus nehmen Schüler*innen manchmal an, dass Energie eher eine Art Treibstoff sei, der auch verbraucht werden kann [1]. Diese Schwierigkeiten führen dazu, dass das Konzept der Energie ungerne für die Beschreibung und Erklärung von Phänomenen herangezogen wird [11]. Insgesamt erreichen Schüler*innen also nicht das erwünschte Niveau an Verständnis über Energie, das man sich erhofft [1,12]. Weiters muss festgehalten werden, dass der traditionelle Weg zur Einführung der Energie (Kraft, Arbeit, goldene Regel) oft erhebliche Probleme beim Lernen mit sich bringt.

1.2. Lösungsansätze

Der Grundgedanke der hier angerissenen Ansätze ist der gleiche: Für ein Verständnis der Energie muss man verstehen, dass diese abstrakte Größe keine Eigenschaft einzelner Objekte ist, sondern eine Eigenschaft von Systemen. Denn aus fachlicher Sicht existiert Energie nur in zwei Formen, nämlich in Bewegungsenergie und Feldenergie. Dabei ist es wichtig, dass man stets die Rolle des Bezugssystems einer Wechselwirkung betrachtet [2]. So ergibt der Ausdruck „potenzielle Energie eines Balles“ keinen Sinn, da erst mit dem Referenzpunkt „Erde“ dem Gesamtsystem eine Energie zugeordnet werden kann. Die Idee, dass Energie stets zwischen Systemen übertragen wird und dazu nicht nur sich bewegende Objekte, sondern auch Felder relevant sind, ist bereits Teil des System-Transfer-Ansatzes nach Nordine et al. [1]. Dieser Ansatz, über den Energietransfer zwischen Systemen (z. B. Feldern) zu sprechen, scheint auch in der Praxis für das Lernen über Energie von Vorteil zu sein [13]. Bereits Rückl [14] führt die Energieformen auf Bewegungs- und Feldenergie zurück und konzipiert damit ein Unterrichtskonzept, welches das Feld und seine Energie als zentrale Entität kontextübergreifend verwendet. Der Ausgangspunkt, dass Energie in Feldern und Bewegungen gespeichert ist und zwischen diesen übertragen werden kann, existiert also bereits als didaktisches Modell; die weitere Entwicklung und Evaluation eines lernwirksamen und effektiven Unterrichtskonzeptes auf dieser Grundlage bleibt allerdings noch aus [1]. Diese Lücke zu schließen hat auch der Energie Feld Ansatz (EFA) zum Ziel, welcher im Folgenden detaillierter erläutert wird.

2. Der Energie Feld Ansatz: Methodik

Der EFA ordnet sich als Projekt der physikdidaktischen Designforschung zu und kann als Teil der nutzenorientierten Grundlagenforschung [15] verstanden werden. Dabei wird im Rahmen des Modells der didaktischen Rekonstruktion (MDR) nach Katt-

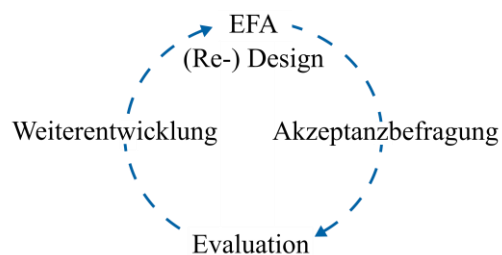


Abb.1: Design, Evaluation und Re-Design des EFA

mann [3] ein Unterrichtskonzept zur Energie entwickelt. Das Konzept setzt sich aus Konzeptideen (auch: *core ideas* oder *key ideas*, vgl. z.B. [6]) sowie Kontexten und Erklärungen zusammen, die eine Lehr-Lern-Einheit (LLE) bildet. Die Entwicklung der LLE wird von Theoriebildung begleitet, sodass dabei auch Erkenntnisse über die Lernendenvorstellungen von Schüler*innen beim Lernen über Energie gemäß dem EFA gewonnen werden. Die Evaluation der LLE und damit des Konzeptes erfolgt im aktuellen Stadium des Forschungsprojektes mittels Akzeptanzbefragungen nach Jung [4]. Dabei werden face-to-face Interviews mit Schüler*innen der Oberstufe geführt, bei denen vorgestellte Erklärungen des EFA bewertet, paraphrasiert und angewendet werden sollen. Die Interviewdaten werden kodiert und inhaltsanalytisch ausgewertet [5], sodass daraus Rückschlüsse auf die Lernwirksamkeit der LLE gezogen werden können. Die Erkenntnis über problematische und förderliche Aspekte des Konzeptes führen dann zu einer Weiterentwicklung (Re-Design) des Konzeptes und der LLE, welche dann erneut evaluiert werden kann. Dieses Vorgehen erfolgt also zyklisch in mindestens drei Runden, bis ein zufriedenstellendes Ergebnis erreicht ist (s. Abb. 1). Am Ende steht ein entwickeltes Konzept mit LLE und Informationen über die Schwierigkeiten und Benefits beim Lernen nach dem EFA.

Die Konzeption basiert gemäß dem MDR auf einer fachlichen und didaktischen Klärung, bei der nicht nur fachliche Inhalte, sondern auch fachdidaktische Erkenntnisse über Lernendenvorstellungen zu Energie und Feldern in Betracht gezogen werden. Aus beiden Perspektiven wird dann insgesamt ein Konzept (Design) für den Ansatz formuliert. Dieser hat dann zum Ziel, für das Verständnis problematische Aspekte zu minimieren und die fachliche Adäquatheit gleichzeitig zu maximieren. Fachdidaktische Forschung und Entwicklung hat gezeigt, dass ein Konzept in der Regel nicht beides sein kann, also fachlich vollständig und angemessen sowie didaktisch einfach, übersichtlich und verständlich. Deshalb müssen auf beiden Seiten Kompromisse eingegangen werden. Aus diesem Grund besitzt auch der EFA Stellen, an denen gewisse fachliche Grenzen erreicht werden. An diesen Stellen müssen dann angemessene didaktische Rekonstruktionen verwendet werden. Das Konzept und die Schwerpunkte der didaktischen Rekonstruktionen werden im Folgenden skizziert.

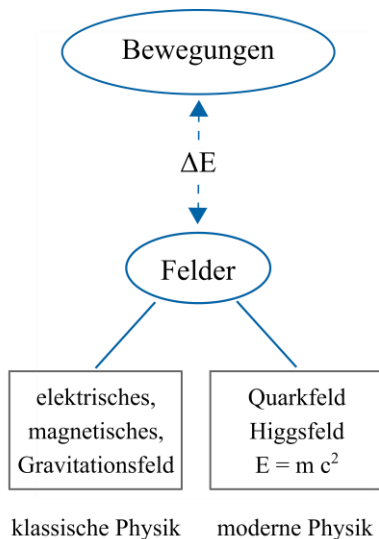


Abb.2: Grundidee des EFA. Es gibt nur Bewegungs- und Feldenergie. Die Energie kann also zwischen Bewegungen und Feldern übertragen werden.

3. Der Energie Feld Ansatz: Konzept

3.1. Grundidee

3.1.1. Bewegung und Feld

Der Energie Feld Ansatz (EFA) greift die aus den vorgestellten Vorschlägen die Herangehensweise auf, die traditionellen Energieformen auf einen „gemeinsamen Nenner“ zu bringen und sie mit dem Konzept des Feldes zu verknüpfen. In Anlehnung an [2] und [14] wird Energie nur auf zwei Arten unterschieden: Feldenergie und Bewegungsenergie (s. Abb. 2). Dabei entspricht die Bewegungsenergie der kinetischen Energie, die bereits aus dem traditionellen Schulunterricht bekannt ist und wird allen sich bewegenden Objekten mit Masse zugeschrieben. Das bedeutet, wenn sich Körper bzw. Teilchen mit (Ruhe-) Masse bewegen, so besitzen diese Bewegungsenergie; man sagt auch: sie haben Energie in ihrer Bewegung.

Auf der anderen Seite wird allen Konstellationen von Objekten, die aufgrund ihrer physikalischen Eigenschaft als Quelle ein Feld besitzen (wie z.B. Magnete oder Ladungen), ein *Gesamtfeld* zugeordnet, welches Feldenergie besitzt; man sagt auch: das Gesamtfeld hat bzw. speichert Energie. Der EFA unterscheidet also nur zwei Arten von Energie (Bewegungsenergie und Feldenergie), wodurch die Unterscheidung in mehrere Energieformen obsolet wird. Dadurch braucht man auch nicht mehr über die Umwandlung von Energie zu sprechen, sondern es genügt die Übertragung. So wird Energie also zwischen Feldern und Bewegungen übertragen; man sagt beispielsweise „in bzw. aus einem Feld“ und „in bzw. aus“ einer Bewegung.

3.1.2. Energie im Gesamtfeld

Wesentlich hierbei ist, dass es sich um das Gesamtfeld handelt, das die Konstellation von zwei oder mehr miteinander wechselwirkenden Quellen zu-

sammenfasst (s. Abb. 3). Denn, wie bereits von [1] und [2] herausgestellt, macht es erst bei einer Wechselwirkung zwischen Objekten Sinn, über die im Feld gespeicherte Energie zu sprechen. Auch wenn einzelne Quellen über ein eigenes Feld verfügen, so lässt sich diesem jedoch noch keine eindeutig sinnvolle Energie zuschreiben. Erst wenn man das Gesamtfeld (i.e. die Wechselwirkung zweier Quellen über deren Felder) betrachtet und also die wirkende Kraft kennt, kann man für einige Fälle eine Energie berechnen.¹ Ab diesem Punkt macht es also nur Sinn, das Gesamtfeld zu betrachten, weswegen ab hier auch die sprachliche Vereinfachung *Feld* zulässig ist. Dabei ist zu beachten, dass es sich stets um die Konstellation zweier oder mehr Felder von Quellen handelt, also um die *Überlagerung* von Einzelfeldern zu einem (Gesamt-) Feld. Die Energie, die dann in ein Feld oder aus einem Feld übertragen wird, ergibt sich abhängig von den einzelnen Parametern der Wechselwirkung (Abstand, Eigenschaften der Quellen) durch das Integral über die Kraft nach dem Weg:

$$\Delta E = \int \vec{F} d\vec{s} \quad \{1\}$$

Wie bereits von Quinn [2] erläutert, macht die Bestimmung einer absoluten Feldenergie ohnehin wenig Sinn, da wir uns in Prozessen meist für die übertragene Energie ΔE interessieren. Die Energiedifferenz, die bei der Veränderung eines Feldes übertragen wird — sagen wir in diesem Fall sie wird abgegeben — kann dann in ein anderes Feld oder eine Bewegung übertragen werden.

In den meisten schulrelevanten Beispielen ändert sich in solchen Prozessen eine Bewegung, d.h. ein Objekt wird schneller oder langsamer, und ein Vorgang ist von außen beobachtbar. Der Rahmen dieses Prozesses wird dann durch den Energieerhaltungssatz und entsprechend die Energie im Feld beschränkt und kann prinzipiell bestimmt werden. So kann durch quantitative Betrachtungen beispielsweise berechnet werden, wie schnell sich zwei absto-

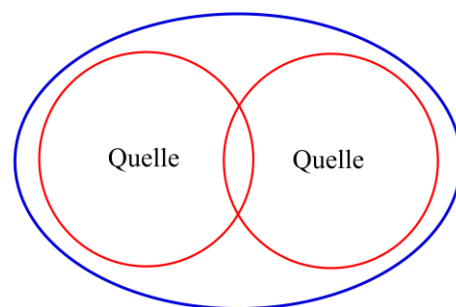


Abb.3: Das Gesamtfeld (blau) als Überlagerung zweier Einzelfelder von Quellen (rot)

¹ Dies gilt nicht für alle Fälle, wie z.B. zwei anziehende Ladungen in einem Abstand d . Denn da die Stärke der anziehenden Wechselwirkung mit $1/d^2$ skaliert, lässt sich der Ausdruck {1} nicht einfach berechnen.

Bende Magnetwägen oder Ladungen bewegen können, die man in einem Abstand d loslässt. Auch die Geschwindigkeit, die ein in einem Plattenkondensator beschleunigtes Elektron besitzt, lässt sich mit dieser Überlegung bestimmen. Für die Berechnung braucht man allerdings nach dem traditionellen Ansatz die typischen Formeln für die Energieumwandlungen bzw. -übertragungen, deren Verständnis einigen Schüler*innen bislang Schwierigkeiten bereitet [16]. Die Hauptaufgabe des EFA ist es folglich, die traditionellen Energieformen auf Feldenergie und Bewegungsenergie zurückzuführen, also die klassischen Formen durch eine gleichbedeutende aber inhaltlich tiefere Verknüpfung mit entweder Feldern oder Bewegungen zu ersetzen.

3.1.3. Aktive Rolle und Minimierung der Energie

Ein Vorteil dabei, über das Gesamtfeld anstelle der Wechselwirkung zu sprechen, ist der eher abstrakte Charakter. Denn wie bereits ausreichend belegt, haben viele Schüler*innen Probleme mit dem Newton'schen Kraftkonzept [12], weswegen hier eine starke Verknüpfung damit umgangen werden soll. Die Natur des Feldes als physikalische Entität, die zwar etwas abstrakt ist, aber dennoch bestimmte Eigenschaften besitzt, macht es zu einem Akteur in physikalischen Prozessen. Dadurch, dass ein Feld Energie trägt bzw. speichert und Energie aufnehmen oder abgeben kann, wird ihm eine „quasi-aktive Rolle“ zuteil, die eine Argumentation mit und den Rückgriff auf das Feldkonzept erleichtern und attraktiver gestalten soll. So wird den Schüler*innen im Rahmen des EFA das Gesamtfeld wie bereits beschrieben als Überlagerung von Einzelfeldern und Energieträger vorgestellt, das entsprechend seiner Wechselwirkung dazu tendiert, seine Energie zu minimieren, sofern es die Möglichkeit dazu besitzt und nicht anderweitig von außen gezwungen wird. Auf diese Weise wird die *Tendenz* von Feldern implementiert, sich in Richtung eines energetisch günstigeren Zustandes zu verändern. Aus dieser Konzeption ergeben sich also zwei Benefits: Zum einen wird Schüler*innen mit dem Feld eine Entität zur Hand gegeben, die mit festgelegten Regeln eine aktive Rolle in Prozessen mit Energieübertragung spielt und mit der sie Phänomene aus der Energieperspektive beschreiben oder sogar erklären können. Zum anderen bietet das Feld mit seiner Tendenz zur Energieminimierung die Grundlage dafür, auch Bindungen von Atomen, Molekülen oder Kernen und damit die Stabilität unserer Materie zu beschreiben. Die Einsicht, dass man einem stabilen gebundenen System Energie zuführen muss, um es zu verändern, wird somit eine logische Konsequenz einfacher Konzeptideen. Eine Auswahl der wichtigsten Konzeptideen seien hier kurz aufgelistet:

- Jede Quelle hat ein Feld. (Bewegte) Ladungen, Magnete, Massen, und Quarks sind Quellen eines Feldes.

- Zwei (oder mehr) Quellen wechselwirken miteinander über ihre Felder. Die Felder überlagern sich dabei zu einem Gesamtfeld.
- Jedes Gesamtfeld trägt Energie. Energie kann zwischen Feldern und Bewegungen übertragen werden.
- Es gibt nur Bewegungs- und Feldenergie.
- Ein Feld strebt (gemäß seiner Wechselwirkung) stets zu einem Zustand minimaler Energie; das ist die Tendenz des Feldes.
- Die Bindung von Atomen und Kernen entsteht durch diese Tendenz des Feldes.

3.2. Zusammenführung der Energieformen

3.2.1. Bewegungsenergie

Dadurch, dass nur bewegten massiven Objekten Bewegungsenergie zugeordnet werden kann, müssen bis auf zwei Ausnahmen alle anderen Energieformen auf Feldenergie zurückgeführt werden. Die entsprechende Logik sei hier kurz dargelegt: Neben sich bewegenden makroskopischen Objekten tragen auch mikroskopische Objekte wie zum Beispiel sich bewegende bzw. schwingende oder rotierende Atome oder Moleküle Bewegungsenergie. Diese Bewegungsenergie wird im Schulunterricht traditionell als thermische Energie (bzw. deren Übertragung als Wärme) bezeichnet. Kombiniert man diese weiter mit Wechselwirkungen auf der atomaren Ebene, so spricht man oft über innere Energie. Im Rahmen des EFA werden hauptsächlich die ersten beiden Begriffe auf die mikroskopische Bewegungsenergie von Atomen zurückgeführt. Auf diese Weise wird dem von Schüler*innen teilweise als Blackbox empfundene Begriff *thermische Energie* als Bewegungsenergie verstanden und somit inhaltlich greifbar. Wärme hingegen wird als die übertragene thermische, also die in eine mikroskopische Bewegung übertragene Energie, verstanden, sodass der Unterschied in der Bewegung mikroskopischer Teilchen der Prozess ist, der uns ein Objekt als *warm* empfinden lässt.

3.2.2. Feldenergie

Neben allen Arten von makro- und mikroskopischer Bewegung müssen die restlichen Energieformen auf Feldenergie zurückgeführt werden. Dazu wird jede Art von Wechselwirkung mit einem Feld in Verbindung gebracht (vgl. Abb. 2). Dabei stellen (bewegte) Ladungen, Magnete, Massen und Quarks Quellen dar, das Higgsfeld existiert ohne Quelle omnipräsent. Das magnetische, elektrische und das elektromagnetische Gesamtfeld sind bereits von der Grundidee Teil der Arbeit von Rückl [14]. Das Quarkfeld wird hier neu als gemeinsames Kernfeld bezeichnet und das Higgsfeld spielte bislang noch in keinem der dargestellten Ansätze eine Rolle.

Im Folgenden werden nun Beispiele für die Rückführung der traditionellen Energieformen auf die Felder des EFA gegeben.

3.3. Beispiele

3.3.1. Gravitationsfeld

Die potenzielle Energie eines Balles im Gravitationsfeld der Erde ist beispielsweise auf die Energie im Gesamtfeld (also das gesamte Gravitationsfeld) von Ball und Erde zurückzuführen. Denn auch hier gilt, dass das Zuschreiben einer Energie erst durch den Referenzkörper (Ball bzw. Erde) Sinn ergibt. Wenn man den Ball loslässt, wird ein Teil der Feldenergie in die Bewegung des Balles übertragen [1]. Im Rahmen des EFA wird dem Gravitationsfeld durch das Loslassen die Möglichkeit (der *Auslöser*) gegeben, sich entsprechend seiner Wechselwirkung (Tendenz) zu verändern und es zieht sich zusammen. So wird Energie an die Bewegung des Balles abgegeben; der Ball wird schneller und der Abstand der Quellen reduziert sich. Das gleiche Prinzip lässt sich auch auf die elliptische Bewegung eines Satelliten übertragen und dessen Schwankungen in der Schnelligkeit erklären.

3.3.2. Atomare Felder

Feldenergien, die mit der Bindung zu Festkörpern aufgrund der Wechselwirkung von Atomen verknüpft sind, lassen sich didaktisch auf das elektrische Feld der beteiligten Atome reduzieren.² Hier wissen Schüler*innen, dass Atome sich zu Festkörpern zusammenschließen und dafür (u. a.) die elektrischen Kräfte zwischen ihnen verantwortlich sind. So kann das Ausbilden von gebundenen Zuständen mit der Minimierung der Energie des atomaren Feldes plausibilisiert werden. Ein Anwendungsbeispiel ist das Spannen einer elastischen Schleuder (s. Abb. 4). Nach dem traditionellen Unterricht spricht man hier über die Energieübertragung oder -umwandlung von Spannenergie zu Bewegungsenergie, wenn ein mit der Schleuder beschleunigter Ball davonfliegt. Im Rahmen des EFA würde man die Blackbox *Spannenergie* durch Feldenergie des atomaren Feldes erklären. Die Minimierung dieser Energie sorgt dafür, dass die Schleuder im Ruhezustand ebenso wie alle stabilen Körper nicht auseinanderfällt. Um diesen Zustand zu verändern, also die Schleuder zu spannen, muss man dem Feld Energie zuführen. Das Gesamtfeld der Atome muss Energie aufnehmen, da es entgegen seiner Tendenz verändert („gezwungen“) wird. Das Loslassen der Schleuder ist dann der Auslöser, der dem Feld die Möglichkeit gibt, sich entsprechend seiner Wechselwirkung (Tendenz) zusammenzuziehen und dabei

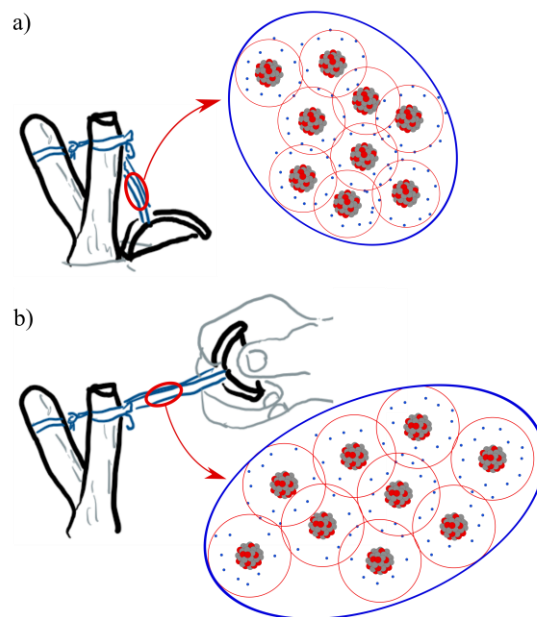


Abb.4: Das Gesamtfeld der Atome einer Schleuder vergrößert sich vom entspannten (a) zum gespannten Zustand (b). Dazu muss Energie in die attraktive Wechselwirkung der Atome und damit in das Gesamtfeld übertragen werden, sodass sich der mittlere Abstand der Atome vergrößert; die Schleuder wird gedehnt.

die ihm zugeführte Energie wieder abzugeben. Diese wird an die Bewegung des Balles übertragen, der davonfliegt. Auf diese Weise können die Konzepte makroskopischer Gesamtfelder (Magnetfelder, elektrische Felder, Gravitationsfelder) mit dem gleichen Prinzip auf die mikroskopische Ebene erweitert werden.

Ebenso kann der Begriff *chemische Energie* mit Inhalt gefüllt werden, wenn man annimmt, dass die gemeinte Energie diejenige ist, welche bei einer chemischen Reaktion frei werden kann. Die Energiedifferenz entstammt in diesem Fall dann dem elektrischen Gesamtfeld aufgrund der Wechselwirkung der Atome. Wenn sich die chemische Bindung in einem Prozess in der Form ändert, dass der Bindungszustand danach weniger Energie benötigt, so wird die Energie durch die Änderung der Wechselwirkung und damit durch die Veränderung des Gesamtfeldes frei. Die chemische Energie im traditionellen Unterricht wird im EFA also als Energie eines atomaren (mikroskopischen) Feldes aufgefasst, die bei Prozessen durch eine Feldveränderung frei wird. So kann auch dieser Begriff für Schüler*innen inhaltlich angereichert und verständlicher gefasst werden.

3.3.3. Elektromagnetisches Feld

Ähnlich verhält es sich mit der Solarenergie, welche im Wesentlichen Energie im elektromagnetischen Feld ist. Die Besonderheit ist hier nur, dass sich das Feld von den entsprechenden Quellen räumlich gelöst hat und somit ausbreitet. Im Fall eines Lichtstrahls kann man also von einem gebündelten Feld

² Hier wird das elektromagnetische Feld zwecks Vermeidung von Verwechslung mit der elektromagnetischen Strahlung auf das elektrische Feld reduziert, da die Bindung von Elektronen und Kernen aufgrund ihrer unterschiedlichen Ladung für Schüler*innen eine plausible Vorstellung darstellt.

oder im Fall eines einzelnen Photons von einer kleinsten sich ausbreitenden Einheit Feldenergie sprechen.

3.3.4. Nukleares Feld

Analog zu den klassischen Feldern kann man auch ein Feld für Nukleonen definieren. Um hier aber Energieübertragung durch Prozesse der starken und elektromagnetischen Wechselwirkung gemeinsam betrachten zu können, wird das sogenannte *Quarkfeld* eingeführt. Dieses entspricht im Wesentlichen dem Gluonfeld, ergänzt um die elektromagnetische Komponente. Auf diese Weise muss keine strikte Unterscheidung vorgenommen werden, wenn es darum geht, die Energieübertragung aus dem Gluonfeld oder dem elektromagnetischen Feld der Quarks zu erklären. Für Schüler*innen kann dies insbesondere am Beispiel des Alpha-Zerfalls die Erklärung erheblich vereinfachen, ohne dabei zu viel Einbuße beim fachlichen Verständnis zu riskieren. Das bedeutet, dass jedem Quark als Quelle ein Feld zugeordnet wird, das sogenannte Quarkfeld (s. Abb. 5). Die Energie dieses Feldes stellt dann aufgrund der Energie-Masse-Äquivalenz auch zum Großteil die Masse eines Nukleons und damit eines Kerns und unserer Materie dar. Ändert sich also ein Kern, z. B. bei der Kernspaltung oder -fusion, so kann der damit verbundene Massendefekt im Zusammenhang mit der Bindungsenergie als die vom Kern abgegebene Energie des Quarkfeldes beschrieben werden. Zerfällt ein Kern, sodass die Massen der Tochterkerne in Summe die Masse des Mutterkerns unterschreiten, so kann die Massendifferenz als vorher im Quarkfeld des Mutterkerns gespeicherte Energie in die Bewegung der Zerfallsprodukte übertragen werden. Schüler*innen kann so der traditionelle Begriff der (nuklearen) Bindungsenergie tiefer erläutert werden, denn die Bindung der Kerne ebenso wie deren Masse lassen sich zum Großteil durch die Energie im Quarkfeld beschreiben [17]. Weiters wird dadurch eine Verbindung zwischen Masse und Energie geschaffen. Zwar ist die Gleichung

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

bereits aus dem traditionellen Unterricht bekannt, aber selten wird sie auch mit der Ursache der Masse von Materie oder gar der Feldenergie in Verbindung gebracht.³

3.3.5. Higgsfeld

Ein geringer Teil der Kern- und Atommasse kann nicht durch das Quarkfeld erklärt werden. Dieser Teil ist die Ruhemasse der Elementarteilchen, also der Elektronen und Quarks selbst. Um den Ursprung dieser Masse und folglich auch der Energie dieser „kleinsten Teilchen“ im Rahmen des EFA einer Bewegungs- oder Feldenergie zuzuordnen, wird das

³ In einem weiteren Schritt könnte man auch die Bewegungsenergie mit der Masse verknüpfen, hier wird aber auf die Energie der Nukleonen und die Ruheenergie der Elementarteilchen fokussiert.

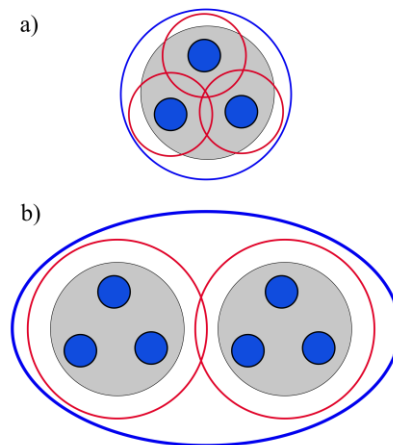


Abb.5: Quarkfeld als Überlagerung einzelner Quarkfelder zum Gesamtfeld (a) und Überlagerung der Quarkfelder einzelner Nukleonen zu einem gesamten Quarkfeld eines Kerns (b)

Higgsfeld eingeführt. Dieses wird als omnipräsent im Universum beschrieben und — im Gegensatz zu den anderen Feldern — braucht dies keine Quelle. Seine Rolle ist, dass es den Elementarteilchen durch die Wechselwirkung mit ihnen eine Energie verleiht, die sich dann als ihre Masse äußert. Anwendungsbeispiele dafür sind Annihilationsprozesse, Paarerzeugung oder auch Kollisionen am LHC. Bei ersterem kann beispielsweise die Positronen-Emissions-Tomographie (PET) erläutert werden, bei der Positron und Elektron annihilieren und deren Energie (aus der Ruhemasse durch das Higgsfeld) in das elektromagnetische Feld der entstehenden Strahlung übertragen wird. Für den Kontext des LHC können Proton-Proton Kollisionen und die Energien der dabei entstehenden Teilchen besprochen werden.

Insgesamt bietet der EFA ein Konzept, bei dem mit den dargestellten Konzeptideen sowohl makro- als auch mikroskopische Prozesse fächerübergreifend beschrieben werden können. Die Konzeptideen stellen also für Schüler*innen ein Werkzeug dar, auf das sie bei Erklärungen zurückgreifen können.

3.4. Spezifika des EFA

In Abgrenzung zu Nordine et al. [1] geht der EFA nicht explizit auf den Systemcharakter von Feldern ein. Im EFA wird die aktive Rolle des Feldes als Akteur in physikalischen Prozessen hervorgehoben und für den Energietransfer genutzt. Diese Ausrichtung unterscheidet den EFA neben anderen sprachlichen sowie inhaltlichen Unterschieden auch von den Arbeiten von Rückl [14]. Dazu zählen u. a. (hier seien nur einige Abgrenzungen genannt) auch die konsistente Modellierung des Gesamtfeldes als Überlagerung von Einzelfeldern, die Tendenz des Feldes im Zusammenhang mit der Energieminimierung (auch für Bindungszustände) sowie die Einführung und Verknüpfung von Quark- und Higgsfeld zur Erklärung der Masse von Materie sowie von nuklearen und subnuklearen Prozessen.

4. Bisherige Ergebnisse

Die bisherigen Ergebnisse der Evaluation von zwei Zyklen von Akzeptanzbefragungen zeigen, dass Schüler*innen die Grundidee des Konzeptes annehmen und auch als sehr hilfreich und sinnvoll einschätzen. Es wurden dreizehn Schüler*innen der elften und zwölften Schulstufe mittels Akzeptanzbefragungen interviewt. Alle befragten geben an, dass der Ansatz im Vergleich zum traditionellen Schulunterricht „verständlicher“ oder „logischer“ sei und man so verstehe, wie die Energieformen zusammenhängen. Die Auswertung der Daten zeigt, dass sowohl die Grundidee als auch die Idee des Gesamtfeldes verstanden wird und von den Schüler*innen auf Anwendungsbeispiele übertragen werden kann.

5. Fazit

Nach dem EFA lassen sich die traditionellen Energieformen auf Bewegungsenergie und Feldenergie reduzieren. Auf diese Weise kann Energie als Gesamtkonzept verständlicher und gleichzeitig inhaltlich konsistenter vermittelt werden.

Schüler*innen gelingt es, die Konzeptideen des EFA zu verstehen und verwenden diese sowohl für makro- als auch mikroskopische Prozesse für ihre Erklärungen. Das Konzept wird in den nächsten Monaten weiter evaluiert und weiterentwickelt, um diese ersten Befunde zu erweitern und die damit zusammenhängenden Lernendenvorstellungen zu identifizieren.

6. Literatur

- [1] Nordine, J. C., Fortus, D., Krajcik, J. S., Neumann, K., & Lehavi, Y. (2019): Modelling energy transfers between systems to support energy knowledge in use. In: *Studies in Science Education*, 54(2), S. 177–206
- [2] Quinn, H. (2014). A physicist's musings on teaching about energy. In: R.F. Chen, A. Eisenkraft, D. Fortus, J. Krajcik, K. Neumann, J. Nordine, & A. Scheff (Hrsg.): *Teaching and learning of energy in K-12 education*, New York, NY: Springer, S. 15–36
- [3] Kattmann, U., Duit, R., Gropengießer, H., Komorek, M. (1997): Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion - Ein Rahmen für naturwissenschaftsdidaktische Forschung und Entwicklung. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 3 (3), S. 3–18
- [4] Jung, W. (1992): Probing acceptance, a technique for investigating learning difficulties. In: *Research in physics learning: Theoretical issues and empirical studies*. Kiel: IPN, S. 278-295.
- [5] Kuckartz, U. (2014): *Qualitative text analysis. A guide to methods, practice & using software*. Los Angeles: SAGE
- [6] National Research Council. (2012): *A framework for K-12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas*. National Academies Press
- [7] Nordine, J. C., Krajcik, J. S., & Fortus, D. (2011): Transforming energy instruction in middle school to support integrated understanding and future learning. In: *Science Education*, 95(4), S. 670–699
- [8] Swackhamer, G. (2005): Cognitive resources for understanding energy. Url: <http://modeling.asu.edu/modeling/CognitiveResources-Energy.pdf>, Stand: 06/2021
- [9] Doménech, J. L., Gil-Pérez, D., Gras-Martí, A., Guisasola, J., Martínez-Torregrosa, J., Salinas, J., ... Vilches, A. (2007): Teaching of energy issues: A debate proposal for a global reorientation. In: *Science & Education*, 16(1), S. 43–64
- [10] Hecht, E. (2003): An historico-critical account of potential energy: Is PE really real? In: *The Physics Teacher*, 41(8), S. 486–493.
- [11] Driver, R., & Warrington, L. (1985): Students' use of the principle of energy conservation in problem situations. In: *Physics Education*, 20, S. 171–176.
- [12] Neumann, K., Viering, T., Boone, W. J., & Fischer, H. E. (2013): Towards a learning progression of energy. In: *Journal of Research in Science Teaching*, 50(2), S. 162–188
- [13] Fortus, D., Kubsch, M., Bielik, T., Krajcik, J., Lehavi, Y., Neumann, K., ... & Touitou, I. (2019): Systems, transfer, and fields: Evaluating a new approach to energy instruction. In: *Journal of research in science teaching*, 56(10), S. 1341-1361
- [14] Rückl, E. (1991): *Feldenergie: ein neues didaktisches Konzept*. BI-Wiss.-Verlag.
- [15] Hopf, M. (2009): Physikdidaktik als nutzerorientierte Grundlagenforschung. In: *PLUS LUCIS*, 1-2, S.3-8
- [16] Uhden, O. (2016): Verständnisprobleme von Schülerinnen und Schülern beim Verbinden von Physik und Mathematik. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 22(1), S. 13-24
- [17] Yang, Y. B., Liang, J., Bi, Y. J., Chen, Y., Draper, T., Liu, K. F., & Liu, Z. (2018): Proton mass decomposition from the QCD energy momentum tensor. In: *Physical review letters*, 121(21), 212001.

Die Kontextorientierung im EPo-EKo-Konzept aus Sicht der Lehrkräfte

Jan-Philipp Burde*, **Fabian Häßner***, **Liza Dopatka^x**, **Verena Spatz^x**, **Thomas Wilhelm⁺**, **Martin Hopf^o**, **Thomas Schubatzky⁼**, **Claudia Haagen-Schützenhöfer⁼**, **Lana Ivanjek[#]**

*Eberhard Karls Universität Tübingen, AG Didaktik der Physik, Auf der Morgenstelle 14, 72076 Tübingen;

^xTechnische Universität Darmstadt, Fachbereich Physik, Physikdidaktik, Hochschulstraße 12, 64289 Darmstadt;

⁺Goethe-Universität Frankfurt, Institut für Didaktik der Physik, Max-von-Laue-Str. 1, 60438 Frankfurt;

^oUniversität Wien, Didaktik der Physik, Porzellangasse 4, 1090 Wien;

⁼Karl-Franzens-Universität Graz, Institut für Physik, Physikdidaktik, Universitätsplatz 5, 8010 Graz;

[#]TU Dresden, Didaktik der Physik, Helmholtzstraße 10, 01069 Dresden;

jan-philipp.burde@uni-tuebingen.de, liza.dopatka@tu-darmstadt.de, verena.spatz@tu-darmstadt.de,

wilhelm@physik.uni-frankfurt.de, martin.hopf@univie.ac.at, thomas.schubatzky@uni-graz.at,

claudia.haagen@uni-graz.at, lana.ivanjek@tu-dresden.de

Kurzfassung

Ein Ziel des binationalen Projektes „Elektrizitätslehre mit Potenzial - Elektrizitätslehre mit Kontexten“ (EPo-EKo) besteht darin, den Elektrizitätslehreunterricht lernwirksamer und gleichzeitig interessanter zu gestalten. Bisherige Forschungsergebnisse zeigen, dass eine gelungene Kontextorientierung zu einer Steigerung des Interesses an den physikalischen Inhalten beitragen kann. Vor dem Hintergrund, dass bisher jedoch kein kontextstrukturiertes und empirisch evaluiertes Unterrichtskonzept zu einfachen Stromkreisen vorliegt, wird im Rahmen des EPo-EKo-Projektes ein solches kontextstrukturiertes Unterrichtskonzept entwickelt. Dieses zeichnet sich dadurch aus, dass fachliche Inhalte an für die Lernenden möglichst interessanten und authentischen Fragestellungen erarbeitet werden, dabei aber auf die bewährte Sachstruktur des Frankfurter Unterrichtskonzepts, dem ein Potenzialansatz zugrunde liegt, zurückgegriffen wird. Zur qualitativen Evaluation der vorgenommenen Kontextstrukturierung im Unterrichtskonzept wurden zwölf Lehrkräfte mittels Online-Fragebogen sowie fünf davon zusätzlich mittels eines leitfadengestützten Interviews befragt. Die Lehrkräfte waren mit dem kontextstrukturierten Unterrichtskonzept vertraut, konnten aufgrund der Covid-19-Pandemie aber nur teilweise Unterrichtserfahrung mit diesem sammeln. Insgesamt wurde das kontextstrukturierte Unterrichtskonzept im Vergleich zum rein fachsystematischen Frankfurter Unterrichtskonzept als merkliche Verbesserung wahrgenommen. Die Befragung zeigte aber auch, dass einzelne Kontexte und deren Umsetzung durchaus kritisch gesehen wurden. Entsprechend des zyklischen Charakters von Design-Based Research ist als nächstes geplant, die Perspektive der Lernenden auf verschiedene Kontexte anhand von Akzeptanzbefragungen zu erheben, um das Unterrichtskonzept vor einer empirisch-quantitativen Evaluation in einem weiteren Design-Zyklus ggf. weiterzuentwickeln.

1. Das EPo-EKo-Projekt

Die unterrichtliche Auseinandersetzung mit einfachen Stromkreisen führt bei den Lernenden in der Sekundarstufe I oftmals nicht zu einem angemessenen konzeptionellen Verständnis. Trotz des Engagements vieler Lehrkräfte vertreten viele Schülerinnen und Schüler auch nach dem Unterricht nur zu oft Vorstellungen, die aus fachlicher Sicht problematisch sind [1]. Schon Rhöneck und Maichle haben in diesem Zusammenhang darauf hingewiesen, dass insbesondere der Spannungsbegriff mit erheblichen Verständnisschwierigkeiten behaftet ist [2, 3]. Dies äußert sich unter anderem darin, dass die elektrische Spannung von vielen Lernenden nicht als eigenständige Größe, sondern lediglich als Eigenschaft oder Bestandteil des elektrischen Stroms wahrgenommen wird. Aus fach-

didaktischer Sicht ist dies problematisch, da die Lernenden weder ein Verständnis für den Differenzcharakter der elektrischen Spannung noch für deren Bedeutung in elektrischen Stromkreisen entwickeln [4]. Zur Adressierung dieses Problems entwickelten Burde und Wilhelm ein Unterrichtskonzept auf Basis des Elektronengasmodells, dem ein Potenzialansatz zugrunde liegt [5]. Die Grundidee dieses „Frankfurter Unterrichtskonzepts“ besteht darin, die elektrische Spannung in Analogie zu Luftdruckunterschieden als elektrischen Druckunterschied noch vor dem Begriff des elektrischen Stroms an offenen Stromkreisen einzuführen. Indem das elektrische Potenzial in Schaltplänen zusätzlich farblich markiert dargestellt wird, soll den Lernenden erleichtert werden, Potenzialunterschiede in elektrischen Stromkreisen zu erkennen und diese ausgehend von Potentialdifferenzen zu

analysieren. Die in dem Unterrichtskonzept verfolgte Anknüpfungsstrategie an das Luftdruckverständnis der Lernenden hat sich in einer empirischen Evaluation als lernwirksam erwiesen. Konkret führte der verfolgte Ansatz im Vergleich zum traditionellen Unterricht zu einem signifikant besseren Verständnis elektrischer Stromkreise ($d = .94$) [5].

Im Rahmen der empirischen Evaluation zeigte sich jedoch auch, dass Mädchen trotz gleichen Vorwissens einen signifikant geringeren Lernzuwachs erzielten als die Jungen ($d = .31$) [5]. Vor diesem Hintergrund konstituierte sich das binationale Design-Based Research Projekt „Elektrizitätslehre mit Potenzial – Elektrizitätslehre mit Kontexten“ (im Folgenden kurz „EPo-EKo“), mit dem Ziel, den Elektrizitätslehreunterricht nicht nur lernwirksamer, sondern durch eine Einbettung der physikalischen Inhalte in attraktive Kontexte für die Schülerinnen und Schüler auch interessanter zu gestalten [6]. Zu diesem Zweck werden im Rahmen des Kooperationsprojekts der Universitäten Dresden, Darmstadt, Frankfurt, Tübingen, Graz und Wien die folgenden drei Unterrichtskonzepte entwickelt und empirisch evaluiert:

- Eine Einführung in die Elektrizitätslehre mit Potenzial („EPo-Konzept“)
- Eine Einführung in die Elektrizitätslehre mit Kontexten („EKo-Konzept“)
- Eine Einführung in die Elektrizitätslehre mit Potenzial und Kontexten („EPo-EKo-Konzept“)

Das EPo-Konzept stellt dabei ein forschungs- und erfahrungsbasiertes Re-Design des Frankfurter Unterrichtskonzepts dar und ist rein fachsystematisch ausgerichtet. Es unterscheidet sich vom klassischen Unterricht vor allem durch die zugrundeliegende Sachstruktur [7]. Das Unterrichtskonzept kann kostenfrei von der Internetseite www.einfache-elehre.de heruntergeladen werden.

Dem EKo-Konzept liegt hingegen eine traditionelle Sachstruktur zugrunde [8], jedoch wird das Ziel verfolgt, die Inhalte der Elektrizitätslehre an interessanten (Mikro-)Kontexten zu erarbeiten. Da die Kontexte den „roten Faden“ der Unterrichtsgestaltung darstellen, kann von einem kontextstrukturierten Vorgehen gesprochen werden [9]. Die Auswahl der Kontexte basiert auf den Ergebnissen der Interessensforschung sowie projektinternen Vorstudien und Überlegungen [10].

Wie der Name bereits andeutet, stellt das EPo-EKo-Konzept eine Kombination der beiden zuvor beschriebenen Ansätze dar. Einerseits liegt dem Unterrichtskonzept die Sachstruktur des EPo-Konzepts zugrunde, andererseits werden die physikalischen Inhalte mittels Kontextstrukturierung an den gleichen Kontexten erarbeitet wie im EKo-Konzept [11].

2. Didaktischer Hintergrund

Das EPo-EKo-Konzept stellt das Ergebnis langjähriger fachdidaktischer Entwicklungsforschung dar.

Wie beschrieben, basiert es einerseits auf einer Sachstruktur, die sich in empirischen Studien als lernwirksam erwiesen hat. So wird auch im EPo-EKo-Konzept ein Potenzialansatz basierend auf dem Elektromodell verfolgt, die elektrische Spannung als „elektrischer Druckunterschied“ noch vor der Stromstärke eingeführt, die Potenziale in Schaltplänen farblich eingefärbt und die gleiche Kapitelstruktur wie im EPo-Konzept verwendet (vgl. Abb. 1).

| Die Struktur des Unterrichtskonzepts | |
|--------------------------------------|--|
| 1. | Energieübertragung mit Hilfe von Stromkreisen |
| 2. | Luftströmungen in Folge von Druckunterschieden |
| 3. | Der elektrische Druck |
| 4. | Der elektrische Druckunterschied |
| 5. | Der elektrische Stromkreis |
| 6. | Der elektrische Widerstand |
| 7. | Die Parallelschaltung |
| 8. | Die Reihenschaltung |
| 9. | Das Ohm'sche Gesetz |
| 10. | Übungen zur Wiederholung und Vertiefung |

Abb. 1: Die Kapitelstruktur des EPo-EKo-Konzepts ist identisch mit der des EPo-Konzepts

Andererseits basiert es ebenfalls auf empirischen Erkenntnissen der Interessensforschung. Zu nennen sind hier zunächst einmal die IPN- und ROSE-Studie, die zeigen konnten, dass das Sachinteresse der Lernenden weniger vom jeweiligen physikalischen Inhalt als vielmehr von der kontextuellen Einbettung dieser Inhalte abhängt [12, 13]. Als besonders interessiefördernd haben sich hier weniger technische Fragestellungen als vielmehr biologische, medizinische und alltägliche Kontexte erwiesen. Vor dem Hintergrund, dass sich die Interessenserhebung der IPN- und ROSE-Studie jedoch auf die gesamte Physik bezog, fand im Rahmen des EPo-EKo-Projektes mit der IDa-Studie eine weitere empirische Untersuchung statt, um konkrete Kontexte in der Elektrizitätslehre zu identifizieren, die die Schülerinnen und Schüler der Sekundarstufe I besonders interessieren [10]. Auf Basis der so gewonnenen Erkenntnisse wurden Kontexte ausgewählt, die sich in besonderer Weise zur Förderung des Interesses der Schülerinnen und Schüler in der Elektrizitätslehre eignen. Wichtig ist in diesem Zusammenhang noch einmal hervorzuheben, dass im EPo-EKo-Konzept die Kontexte nicht der Veranschaulichung von zuvor rein fachlich erarbeiteten Inhalten dienen, sondern strukturbildend sind, indem an ihnen die fachlichen Inhalte erarbeitet werden [9]. Das Ziel besteht darin, dass die Schülerinnen und Schüler die Auseinandersetzung mit elektrischen Stromkreisen als subjektiv sinnvoll wahrnehmen und sich darüber bewusstwerden, welche große Bedeutung der Elektrizität in Natur, Medizin und Gesellschaft

zukommt. Die Umsetzung im Unterrichtskonzept erfolgt anhand von Mikrokontexten, da die Interessen der Schülerinnen und Schüler breit gestreut sind und sich diese Form der Kontextorientierung im Gegensatz zu Makrokontexten leichter in den Physikunterricht integrieren lässt [14]. Zu bedenken ist bei allen Kontexten jedoch, dass diese aufgrund des eher niedrigen fachlichen Niveaus der Schülerinnen und Schüler zu Beginn der Sekundarstufe I stark elementarisiert werden mussten.

3. Die Lehrkräftebefragung

Dem Forschungsansatz von Design-Based Research (DBR) [15] folgend besteht das Forschungsinteresse jedoch nicht nur darin, inwiefern das Konzept bei den Lernenden zu einem besseren Verständnis und zu einem höheren Interesse beiträgt. Zur Evaluation des Unterrichtskonzepts wird vielmehr ein multiperspektivischer Ansatz verfolgt, in dessen Rahmen auch untersucht wird, wie das Unterrichtskonzept von den an der Studie beteiligten Lehrkräften beurteilt wird. Die Perspektive der Lehrkräfte ist hier vor allem deswegen wichtig, weil DBR den Anspruch hat, Forschung zum „Zwecke der Innovation“ zu betreiben [16]. Eine solche nachhaltige Innovation der Schulpraxis und damit einhergehend auch eine Überwindung des oftmals beklagten Research-Practice-Gaps ist jedoch nur dann zu erwarten, wenn das Unterrichtskonzept auch von den Lehrkräften akzeptiert und als Verbesserung ihres Unterrichts wahrgenommen wird. Entsprechend des DBR-typischen zyklischen Vorgehens von Design, Evaluation und Re-Design bildet die Lehrkräftebefragung auch die Grundlage für eine evidenzbasierte Weiterentwicklung des Unterrichtskonzepts.

Die befragten Physiklehrkräfte waren aus Deutschland und Österreich und ihnen lag das Unterrichtskonzept „Elektrizitätslehre mit Potenzial und Kontexten“ vor. Aufgrund der COVID-19-Pandemie hatten jedoch noch nicht alle Lehrkräfte die Gelegenheit, praktische Unterrichtserfahrungen mit dem Konzept zu sammeln. Die berufliche Erfahrung der Lehrkräfte war dabei weit gestreut. Sie reichte von der kürzlichen Absolvierung des Vorbereitungsdiensts bis hin zu einer über 30-jährigen Berufserfahrung als Physiklehrkraft.

Die Lehrkräftebefragung fand in zwei Schritten statt. In einem ersten Schritt wurden $N = 12$ Lehrkräfte mittels eines ca. 30-minütigen Online-Fragebogens u.a. zu ihren Vorerfahrungen mit kontextbasiertem Unterricht, zu ihren Einschätzungen der vorgenommenen kontextstrukturierten Unterrichtseinheiten und ihrer Gesamteinschätzung des Konzepts befragt. Hierzu wurde neben Likert-Skalen auch auf offene Antwortformate zurückgegriffen. Diese Form der Befragung wurde gewählt, um eine möglichst große Vergleichbarkeit der Antworten zu gewährleisten und den zeitlichen Aufwand für die beteiligten Lehrkräfte möglichst gering zu halten.

Im zweiten Erhebungsschritt wurden mithilfe des Videokonferenztools Zoom leitfadengestützte Interviews mit einer Untermenge von $N = 5$ Lehrkräften durchgeführt. Die Auswahl der Lehrkräfte hing u.a. davon ab, wie viel praktische Unterrichtserfahrung diese mit dem Unterrichtskonzept sammeln konnten. Zusätzlich lag ein besonderes Augenmerk auf Lehrkräften, die bei ihren Antworten in der Online-Befragung Extrempositionen einnahmen. Die einzelnen Befragungen der Lehrkräfte wurden über einen Zeitraum von drei Wochen durchgeführt und bewegten sich zeitlich zwischen 45 und 60 Minuten. Das übergeordnete Ziel der leitfadengestützten Interviews bestand darin, eine differenziertere Einschätzung der Lehrkräfte zu den Stärken und Schwächen der verschiedenen Kontexte zu bekommen. Die Auswertung der Interviews erfolgt durch eine qualitative Inhaltsanalyse nach Mayring [17].

4. Ergebnisse der Lehrkräftebefragung

Im Rahmen der Online-Befragung zeigte sich zunächst einmal, dass auf Seiten der Lehrkräfte ein klarer Bedarf an einem kontextbasierten Unterrichtskonzept zu einfachen Stromkreisen besteht. So geben acht der zwölf befragten Lehrkräfte an, sie hätten in ihrem bisherigen Elektrizitätslehreunterricht gerne mehr Kontexte eingesetzt, während drei Lehrkräfte dieser Aussage eher widersprechen und eine weitere Lehrkraft hier „teils-teils“ angibt (vgl. Abb. 2). Weitere sieben Lehrkräfte geben zudem an, es als schwer empfunden zu haben, geeignete Kontexte in der Elektrizitätslehre zu finden, während zwei Lehrkräfte dieser Aussage nicht zustimmen und drei weitere Lehrkräfte hier „teils-teils“ angeben (vgl. Abb. 2). Vor diesem Hintergrund und der Tatsache, dass seit den KMK-Beschlüssen eine stärkere Kontextorientierung im Physikunterricht gefordert wird [18], stellt die Entwicklung eines kontextstrukturierten und empirisch evaluierten Unterrichtskonzepts zu einfachen Stromkreisen eine wichtige fachdidaktische Aufgabe dar.

In meinem bisherigen E-Lehre Unterricht...

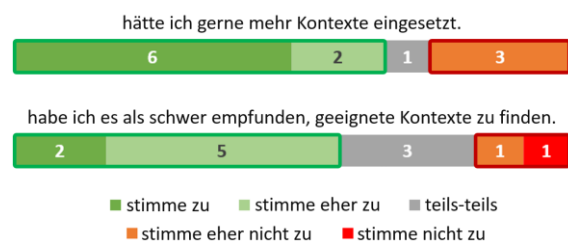


Abb. 2: Antworten der befragten 12 Lehrkräfte

Insgesamt wurde das kontextstrukturierte Konzept im Vergleich zum rein fachsystematischen Konzept als merkliche Verbesserung wahrgenommen. So geben fünf Lehrkräfte an, das kontextstrukturierte Unterrichtskonzept dem fachsystematischen EPo-Konzept vorzuziehen, während zwei Lehrkräfte dieser Aussage eher nicht zustimmen und fünf Lehrkräfte hier „teils-teils“ angeben (vgl. Abb. 3). Die Hälfte der

Lehrkräfte erwartet zudem ein im Vergleich zum EPO-Konzept gesteigertes Interesse bei den Lernenden, während drei Lehrkräfte dies nicht bzw. eher nicht erwarten und weitere drei Lehrkräfte hier mit „teils-teils“ antworten (vgl. Abb. 3).

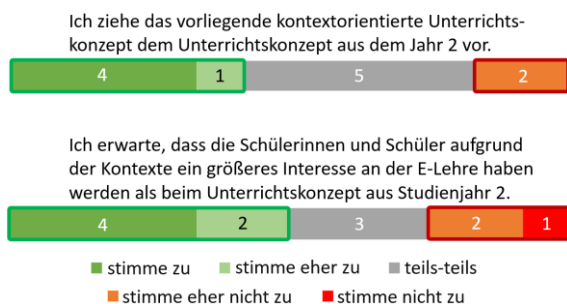


Abb. 3: Antworten der befragten 12 Lehrkräfte

Ferner stimmen nur zwei Lehrkräfte der Aussage zu, dass das Unterrichtskonzept aufgrund der Kontextstrukturierung einen zu geringen fachlichen Anspruch hätte, während neun Lehrkräfte dieser Aussage „eher nicht“ bzw. „nicht“ zustimmen (vgl. Abb. 4). Zudem wurde insgesamt auch das Vorgehen begrüßt, in dem Unterrichtskonzept auf viele verschiedene Mikrokontexte zurückzugreifen. So sagen nur drei Lehrkräfte, dass das Einarbeiten in die unterschiedlichen Kontexte zu viel Unterrichtszeit in Anspruch nähme, während sechs Lehrkräfte dieser Aussage „nicht“ oder „eher nicht“ zustimmen und drei Lehrkräfte hier mit „teils-teils“ antworten (vgl. Abb. 4).

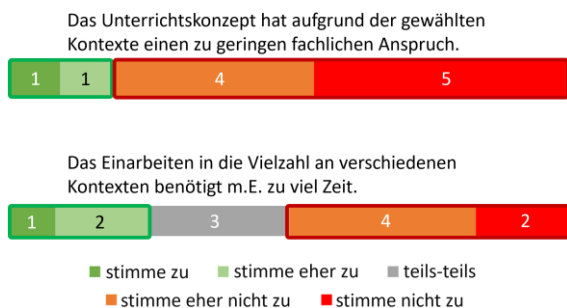


Abb. 4: Antworten der befragten 12 Lehrkräfte

5. Bewertung ausgewählter Einzelkontexte

Im Folgenden soll auf die Bewertung einzelner Kontexte durch die Lehrkräfte eingegangen werden. Die elektrische Spannung wird in dem Unterrichtskonzept am Beispiel eines Zitteraals eingeführt, wobei u.a. der Frage nachgegangen wird, ob der Zitteraal auch für Menschen gefährlich ist. Dieser Kontext wurde von den Lehrkräften im Rahmen der Online-Befragung mit der Schulnote 2,1 bewertet. Im Rahmen des leitfadengestützten Interviews äußerten sich die Lehrkräfte zu dem Kontext sehr positiv, wie aus den beiden folgenden Zitaten deutlich wird: „Ja der [Zitteraal] war sehr interessant für alle Schülerinnen und Schüler. Jeder wollte mehr über den Aal herausfinden und wie er funktioniert“ sowie „Dinge, die sie [die Lernenden] faszinieren und eben nicht im Phy-

sikunterricht erwarten, wie den Zitteraal zum Beispiel, da waren alle dabei und das Wissen die [die Lernenden] auch jetzt noch, was wir da besprochen haben.“

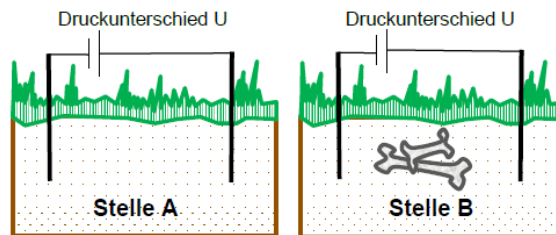


Abb. 5: Das Auffinden von Dinosaurierknochen im Kontext „Goelektrik“ zur Einführung des elektrischen Widerstands

Der elektrische Widerstand wird im Unterrichtskonzept am Beispiel der Goelektrik eingeführt und durch die Frage motiviert, wie Archäologinnen und Archäologen eigentlich Dinosaurierknochen im Boden finden können (vgl. Abb. 5). Auch dieser Kontext mit der Schulnote 2,0 stieß bei den Lehrkräften auf große Resonanz, wie auch die beiden folgenden Zitate aus den leitfadengestützten Interviews verdeutlichen: „Die Schüleraktivität war bei diesem Kontext am höchsten, zudem gab es auffallend kreative Lösungsansätze für die physikalischen Problemstellungen.“ sowie „Die Schüler waren unheimlich kreativ und haben mich gefragt, ob wir das Ganze [Aufbau einer Messung des elektrischen Widerstands in der Erde] nicht einmal selbst testen könnten.“

Der elektrische Stromkreis selbst wird im Unterrichtskonzept über das Thema „Sicherheit im Straßenverkehr“ motiviert und am Kontext der Nebelschlussleuchte erarbeitet. Nach Einschätzung der Lehrkräfte trifft dieser Kontext jedoch nicht das Interessenfeld von Schülerinnen und Schülern der Jahrgangsstufen 7 und 8, weshalb der Kontext mit der Schulnote 2,5 vergleichsweise schlecht bewertet wurde. Inhaltlich wurde in den leitfadengestützten Interviews vor allem die mangelnde Alltagsrelevanz des Kontextes „Nebelschlussleuchte“ für die Lernenden bemängelt.

Ähnlich kritisch äußerten sich die Lehrkräfte zum Kontext „Reizstrombehandlung“, der im Unterrichtskonzept zur Erarbeitung von Reihenschaltungen genutzt wird (vgl. Abb. 6). Dieser wurde von den Lehrkräften mit der Schulnote 2,9 bewertet und in den Interviews vor allem dafür kritisiert, dass er das ohnehin schon komplexe physikalische Thema der Reihenschaltung weiter verkomplizieren würde. Eine Lehrkraft äußerte ihren Unmut über die beiden Kontexte beispielsweise wie folgt: „Das mit der Strombehandlung und die Nebelschlussleuchte, da hatten die Schüler große Probleme; die kamen überhaupt nicht an.“

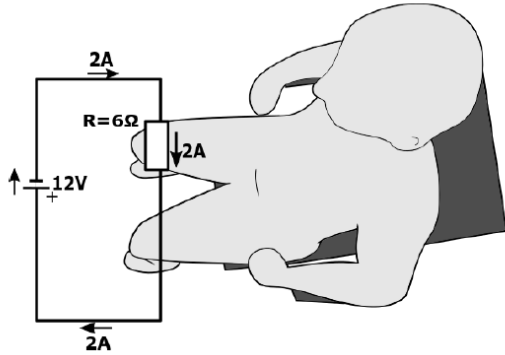
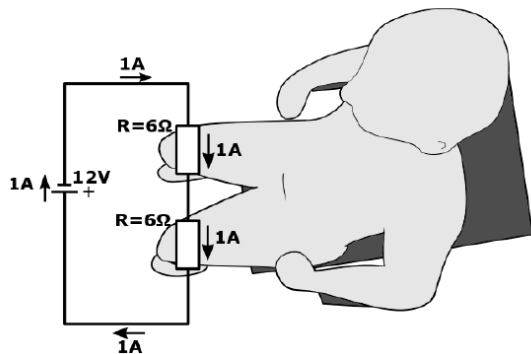
Einfache Schaltung mit einem Widerstand (Schaltung 1)**Reihenschaltung von zwei Widerständen (Schaltung 2)**

Abb. 6: Der Kontext „Reizstrombehandlung“ zur Erarbeitung von Reihenschaltungen

6. Fazit

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass es bei den Lehrkräften einen klaren Bedarf an einem kontextstrukturierten Unterrichtskonzept zu einfachen Stromkreisen gibt, u. a. da eine Mehrheit an Lehrkräften gerne mehr Kontexte im Unterricht einsetzen würde, gleichzeitig jedoch angibt, Schwierigkeiten zu haben, geeignete Unterrichtsmaterialien zu finden. Auch wenn einzelne Kontexte wie die „Nebelschlussleuchte“ oder die „Reizstromtherapie“ bzw. deren Umsetzung im EPo-EKo-Konzept von den Lehrkräften kritisch gesehen werden, wird das kontextstrukturierte Unterrichtskonzept insgesamt als Verbesserung im Vergleich zum rein fachsystematisch ausgerichteten EPo-Konzept gesehen. Die Hälfte der Lehrkräfte erwartet zudem ein im Vergleich zum EPo-Konzept gesteigertes Interesse der Schülerinnen und Schüler am Themenkomplex „elektrische Stromkreise“.

Die leitfadengestützten Interviews zeigen zudem, dass insbesondere die große Vielfalt an Kontexten, die Mädchen und Jungen gleichermaßen ansprechen und die den unterschiedlichen Interessen auf Seiten der Lernenden gerecht werden, bei den Lehrkräften sehr gut ankommen. So wurde immer wieder angegeben, dass das Material auch Lernende zur Auseinandersetzung mit der Physik anregt, die sich im Fach sonst eher zurückhalten oder sogar Desinteresse zeigen. Dementsprechend vermuten die Lehrkräfte, dass das kontextstrukturierte EPo-EKo-Konzept aufgrund seiner motivierenden Wirkung auf die Schülerinnen

und Schüler auch zu einem besseren fachlichen Verständnis führen sollte.

Gleichzeitig wurde von einzelnen Lehrkräften jedoch auch die Kritik geäußert, dass das Einführen immer neuer Kontexte mit aufwendigen Hintergrundinformationen „zeitlich kaum leistbar“ sei und zu Lasten einer tieferen Auseinandersetzung mit den fachlichen Inhalten ginge. Auch wurde von Seiten der Lehrkräfte der Wunsch geäußert, dass die Materialien Tipps zu Experimenten enthalten sollten, die passend zu den Kontexten im Unterricht umgesetzt werden können.

7. Ausblick

Nachdem die Lehrkräfte zu dem kontextstrukturierten Unterrichtskonzept befragt wurden, ist in einem nächsten Schritt geplant, die Perspektive der Schülerinnen und Schüler zu erheben. Von besonderem Interesse in diesem Zusammenhang ist einerseits die Frage, inwiefern sich die Bewertungen der konkreten kontextstrukturierten Materialien durch die Schülerinnen und Schüler mit denen der Lehrkräfte decken. Andererseits ist es für eine mögliche Weiterentwicklung des EPo-EKo-Konzepts entscheidend zu erfahren, warum bestimmte Kontexte bzw. Kapitel des Unterrichtskonzepts von den Lernenden für interessant bzw. weniger interessant befunden werden. Zur Klärung dieser Fragen sind leitfadengestützte Akzeptanzbefragungen mit Schülerinnen und Schülern geplant, die bereits auf Basis des EPo-EKo-Konzepts in seiner aktuellen Fassung unterrichtet wurden. In Abhängigkeit von den Ergebnissen dieser Akzeptanzbefragungen ist angedacht, das Unterrichtskonzept einem weiteren evidenzbasierten Re-Design entsprechend des iterativen Charakters von DBR zu unterziehen.

Während in der fachdidaktischen Forschung ein breiter Konsens dahingehend besteht, dass eine gelungene Kontextorientierung zu einem höheren Sachinteresse bei den Schülerinnen und Schülern beiträgt, ist die Befundlage in Hinblick auf das konzeptionelle Verständnis weniger eindeutig, was Taasoobshirazi und Carr dazu veranlasst, die Grundsatzfrage zu stellen: „Is context-based physics instruction better than what we are doing now?“ [19]. Vor diesem Hintergrund besteht ein Forschungsinteresse des EPo-EKo-Projekts u. a. darin, durch die systematische Untersuchung der Effekte der beschriebenen drei Unterrichtskonzepte auf Interesse und fachliches Verständnis einen Beitrag zur Beantwortung dieser Frage zu leisten.

Nach der Fertigstellung des EPo-EKo-Konzepts soll deshalb im Rahmen einer quantitativen Erhebung der Frage nachgegangen werden, wie sich das kontextstrukturierte EPo-EKo-Konzept auf Basis der lernwirksamen Sachstruktur des EPo-Konzepts auf das konzeptionelle Verständnis und das Sach- und Fachinteresse sowie das physikbezogene Selbstkonzept der Schülerinnen und Schüler im realen Unterricht auswirkt. In diesem Zusammenhang ist neben dem Vergleich mit dem traditionellen Unterricht vor allem ein Vergleich mit dem rein fachsystematisch

ausgerichteten EPO-Konzept sowie dem rein kontextstrukturierten EKO-Konzept von Interesse [6]. Hierzu wird das in Abb. 7 dargestellte Studiendesign mit den beiden Strängen „EPO“ und „EKO“ verfolgt, wobei in beiden Strängen die jeweils gleichen Lehrkräfte ihre Klassen zunächst traditionell unterrichten und in den Folgejahren entsprechend eines der drei hier beschriebenen Unterrichtskonzepte.

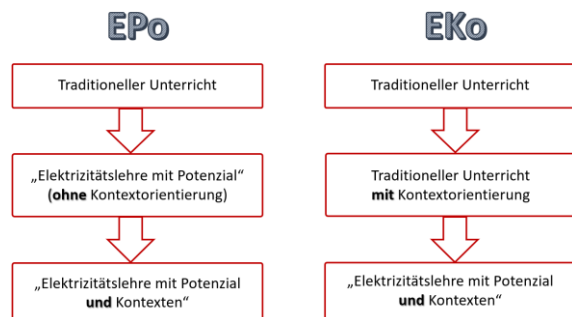


Abb. 7: Das Studiendesign des EPO-EKO-Projektes

Nach der Fertigstellung des hier diskutierten kontextstrukturierten Unterrichtskonzepts zu einfachen Stromkreisen soll dieses online unter dem Titel „Eine Einführung in die Elektrizitätslehre mit Potenzial und Kontexten“ auf www.einfache-elehre.de veröffentlicht werden. Damit soll interessierten Lehrkräften eine möglichst einfache Umsetzung des Konzepts im Regelunterricht ermöglicht und ein Beitrag zur Überwindung des oft beklagten Research-Practice-Gaps geleistet werden.

8. Literatur

- [1] Schecker H, Wilhelm T, Hopf M, Duit R (Hrsg) (2018). Schülervorstellungen und Physikunterricht. Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis. Springer-Spektrum, Berlin
- [2] Maichle U (1982). Schülervorstellungen zu Stromstärke und Spannung. *Naturwissenschaften im Unterricht. Physik/Chemie* 30(11):383–387
- [3] Rhöneck Cv (1986). Vorstellungen vom elektrischen Stromkreis und zu den Begriffen Strom, Spannung und Widerstand. *Naturwissenschaften im Unterricht - Physik* 34(13):10–14
- [4] Cohen R, Eylon B, Ganiel U (1983). Potential difference and current in simple electric circuits: A study of students' concepts. *Am. J. Phys.* 51(5):407–412
- [5] Burde J-P (2018). Konzeption und Evaluation eines Unterrichtskonzepts zu einfachen Stromkreisen auf Basis des Elektronengasmodells, Bd 259. Logos-Verlag, Berlin
- [6] Haagen-Schützenhöfer C, Burde J-P, Hopf M, Spatz V, Wilhelm T (2019). Using the electron-gas model in lower secondary schools - a bi-national design-based research project. In: McLoughlin E (Hrsg) GIREP 2017 Selected Papers
- [7] Burde J-P, Wilhelm T, Schubatzky T, Haagen-Schützenhöfer C, Ivanjek L, Hopf M, Dopatka L, Spatz V (2019). Re-Design des Frankfurter Unterrichtskonzepts im Rahmen von EPO-EKO. *Didaktik der Physik – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung 2019. PhyDid-B:253–260*
- [8] Schubatzky T (2020). Das Amalgam Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht. Eine multiperspektivische Betrachtung in Deutschland und Österreich. Logos Verlag, Berlin
- [9] Nawrath D, Komorek M (2013). Kontextorientierung aus Sicht von Physiklehrkräften. *ZfDN* 19:233–257
- [10] Dopatka L, Spatz V, Burde J-P, Wilhelm T, Ivanjek L, Hopf M, Haagen-Schützenhöfer C, Schubatzky T (2019). Kontexte in der Elektrizitätslehre im Rahmen des Projekts EPO-EKO. In: Maurer C (Hrsg) GDCP-Jahrestagung in Kiel 2018, Bd 39, S 217–220
- [11] Burde J-P, Dopatka L, Spatz V, Hopf M, Wilhelm T, Schubatzky T, Haagen-Schützenhöfer C, Ivanjek L (2020). Ein kontextstrukturiertes Unterrichtskonzept mit Potenzial. *PhyDid-B:227 – 233*
- [12] Hoffmann L, Häußler P, Lehrke M (1998). Die IPN-Interessenstudie Physik. IPN, Kiel
- [13] Schreiner C, Sjøberg S (2004). The relevance of science education. *Sowing the Seed of ROSE. Acta Didactica*, Oslo
- [14] Kuhn J (2010). Authentische Aufgaben im theoretischen Rahmen von Instruktionen- und Lehr-Lern-Forschung: Effektivität und Optimierung von Ankermedien für eine neue Aufgabenkultur im Physikunterricht. Vieweg, Wiesbaden
- [15] Design-Based Research Collective (2003). Design-Based Research: An Emerging Paradigm for Educational Inquiry. *Educational Researcher* 32(1):5–8
- [16] Reinmann G (2005). Innovation ohne Forschung? Ein Plädoyer für den Design-Based Research Ansatz. *Unterrichtswissenschaft* 33(1):52–69
- [17] Mayring P (2010). *Qualitative Inhaltsanalyse: Grundlagen und Techniken*, 11. Aufl. Beltz, Weinheim und Basel
- [18] Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (2004). *Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss (Jahrgangsstufe 10)*. Wolters Kluwer Deutschland, München, Neuwied
- [19] Taasooobshirazi G, Carr M (2008). A review and critique of context-based physics instruction and assessment. *Educational Research Review* 3(3):155–167

Danksagung

Die hier beschriebene fachdidaktische Entwicklungsforschung wurde durch eine Förderung der Deutsche Telekom Stiftung und der Vector Stiftung ermöglicht.

Formgedächtnispolymere – vom 3D-Druck zur Polymerchemie

Guido Ehrmann*, Andrea Ehrmann⁺

* Virtual Institute of Applied Research on Advanced Materials (VIARAM), ⁺ Fachhochschule Bielefeld, Fachbereich Ingenieurwissenschaften und Mathematik, 33619 Bielefeld, Deutschland
andrea.ehrmann@fh-bielefeld.de

Kurzfassung

Der 3D-Druck bietet heutzutage ganz neue Möglichkeiten, Schüler(innen) und Student(inn)en an verschiedenste Wissensgebiete heranzuführen. Neben der Konstruktion, die mit einfachen Online-Programmen begonnen und zu komplizierten Formen fortgeführt werden kann, spielt hier vor allem die Materialwissenschaft eine wichtige Rolle. Die meisten preiswerten 3D-Drucker arbeiten nach dem Fused-Deposition-Modeling(FDM)-Verfahren, bei dem ein geschmolzenes Polymer-Filament durch eine Düse gepresst und lagenweise auf dem Druckbett abgelegt wird, bis die gewünschte dreidimensionale Form entsteht. Die Vielzahl hierfür erhältlicher Filamente ermöglicht es heutzutage, unterschiedlichste Materialeigenschaften auszuwählen, von herkömmlichen Polymeren wie Polylactid (PLA) bis zu faserverstärkten, mit Metallpartikeln gefüllten oder auch flexiblen Filamenten. Ein besonders interessantes Material ist PLA, das nicht nur einfach zu drucken ist, sondern auch Formgedächtniseigenschaften aufweist. Dies bedeutet, dass es sich stark verformen und anschließend durch Wärmezufuhr wieder in die ursprüngliche Form zurückbringen lässt – solange keine Teile des Objekts brechen. Solche Formgedächtnis-Objekte können durch eine angepasste Konstruktion optimiert werden, die Schwachstellen weitestgehend verhindert und auf diese Weise möglichst viele Regenerationszyklen ermöglicht. Je nach Kenntnisstand der Beteiligten können dabei vorhandene Füllstrukturen ausgewählt oder auch eigene Strukturen konstruiert werden. Auf diese Weise können Schüler(innen) und Student(inn)en spielerisch das Zusammenspiel aus Konstruktion und Material erfahren.

1. Einleitung

Die Physik gehört in der Schule zu den Fächern, zu denen manche Schüler keinen wirklichen Zugang finden – zum Teil aufgrund der Erwartungshaltung, das Fach sei zu schwer und zu theoretisch, zum Teil aus mangelndem Interesse am durchgenommenen Stoff. Die Verbindung dieses Faches mit aktuellen Technologien bietet die Möglichkeit, Schüler(innen) zu motivieren, über physikalische Zusammenhänge in einer oft interdisziplinären Umgebung nachzudenken und so ein intuitives Verständnis für diese Prozesse zu entwickeln, das oft länger erhalten bleibt als auswendig gelernte Formeln und Theorien.

Eine der relativ neuen Technologien, für die viele Schüler und Studierende zu begeistern sind, ist der 3D-Druck. Insbesondere die FDM-Technologie (Fused Deposition Modelling, Strangablageverfahren) bietet die Möglichkeit, mit preiswerten Druckern und ebenfalls preiswerten sowie relativ unschädlichen Materialien zu arbeiten [1-3]. Diese Drucker wurden in den letzten Jahren nicht nur erschwinglicher, sondern auch technisch immer ausgereifter, sodass heutzutage gute FDM-Drucker für niedrige dreistellige Summen von verschiedensten Herstellern verfügbar sind. Diese Entwicklung legt nahe, den 3D-Druck insbesondere mittels der FDM-Technologie auch in Schulen und Hochschulen zu nutzen, nicht nur um die Schüler(innen) und Studierenden mit dieser Technologie vertraut zu machen,

sondern auch, um physikalische Effekte, chemische und messtechnische Grundlagen mit ihnen zu besprechen. Hier sollen einige Beispiele gegeben werden, welche einfachen physikalischen und interdisziplinären Fragestellungen der 3D-Druck im Unterricht ermöglicht.

2. Material und Methoden

Die hier dargestellten Beispiele wurden mit einem I3 MK3 (Prusa Research A. S., Prag, Tschechien), einem Raise 3D Pro2 Plus (Raise3D, Shanghai, China) sowie einem MEGA-S FDM 3D printer (ANYCUBIC; Shenzhen Anycubic Technology Co., Ltd., Shenzhen, China). Alle dargestellten Versuche wurden mit Polymilchsäure-Filament (PLA) durchgeführt. Die Druck-Einstellungen wurden zum Teil entsprechend den gewünschten mechanischen Eigenschaften der Proben variiert; in allen Fällen wurde mit einer Düsentemperatur von 200-210 °C und einem beheizten Druckbett von 60 °C gearbeitet. Der Düsendurchmesser beträgt jeweils 0.4 mm, der Filamentdurchmesser 1.75 mm.

Um die Proben zu konstruieren, wurden verschiedene CAD-Programme genutzt. Empfehlenswert ist u. a. das kostenlos online nutzbare Programm Tinkercad (www.tinkercad.com), das einen intuitiven Zugang zur Konstruktion einfacher 3D-Formen bietet. Hier können verschiedene Grundkörper additiv und subtraktiv kombiniert werden, um gewünsch-

te Formen zu erzeugen. Neben dem „Trial-and-Error“-Zugang, der erfahrungsgemäß meist schnell zu guten Resultaten führt, sind auch Tutorials verfügbar, die das Kennenlernen weiterer Funktionen ermöglichen.

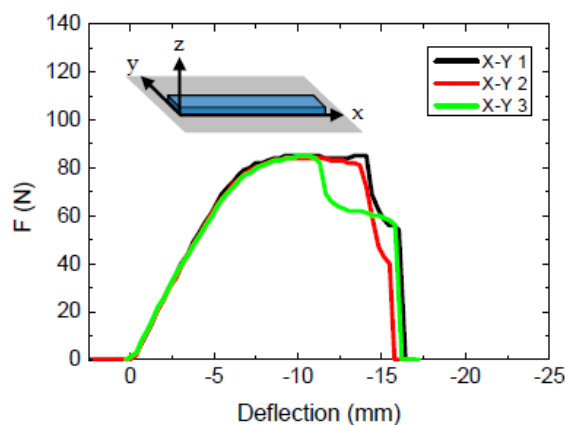
Um ein dreidimensionales Modell zu drucken, muss dieses typischerweise als stl-Datei exportiert und in einen sogenannten Slicer importiert werden. Dieser bereitet den Druck vor, indem das 3D-Modell in dünne Lagen geschnitten wird, die eine auf der anderen gedruckt werden. Hier können verschiedenste Parameter definiert werden – neben den o. g. Temperaturen beispielsweise auch die Anzahl der geschlossenen Lagen oben und unten sowie der Rahmenlinien. Zwischen diesen Rahmenlinien wird das zu druckende Objekt mit einem sogenannten Füllmuster (Infill pattern) gefüllt, das insbesondere zur Untersuchung mechanischer Eigenschaften sehr interessante Möglichkeiten bietet. Neben dem Muster kann im Slicer auch der Füllgrad ausgewählt werden, der zwischen 0% (Hohlkörper) und 100% (vollständig gefüllt, bis auf die in FDM-gedruckten Bauteilen typischen Freiräume zwischen den abgelegten Strängen) variiert werden kann und ebenfalls deutliche Auswirkungen auf die mechanischen Eigenschaften des Bauteils hat.

Für die hier dargestellten Mikroskopaufnahmen wurde ein preiswertes Mikroskop Camcolms2 (Velleman, Gavere, Belgien) genutzt. Die mechanischen Untersuchungen wurden mit einer Universaltestmaschine (Kern & Sohn, Balingen-Frommern, Deutschland) durchgeführt; Vorschläge zur Nutzung einfacherer Testinstrumente sind im Text zu finden.

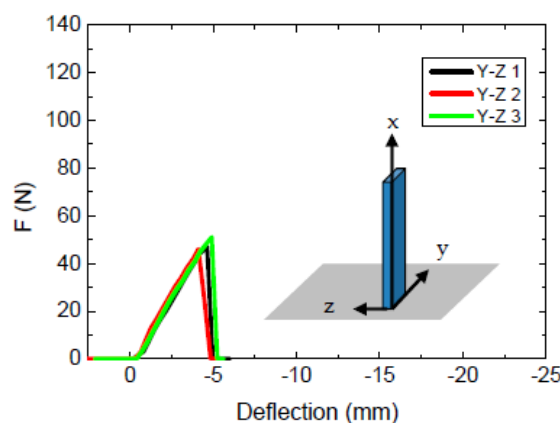
3. Beispielprojekt 1 – mechanische Eigenschaften

Ein großer Teil der Fragestellungen, die sich mit 3D-gedruckten Objekten untersuchen lassen, beschäftigt sich mit mechanischen Eigenschaften der Bauteile. Eine der einfachsten Möglichkeiten, beispielsweise die Festigkeit und Elastizität von Objekten zu vergleichen, besteht darin, sie in verschiedenen Orientierungen zu drucken, wie in Abb. 1 dargestellt.

In den hier dargestellten Kraft-Biegungs-Diagrammen sieht man, dass das liegend gedruckte Bauteil (Abb. 1a) deutlich höhere Kräfte F und eine deutlich größere Durchbiegung (Deflection) ertragen können, bis sie in Biegeversuchen brechen [4]. Dieses Erkenntnis lässt sich auf den schichtweisen Aufbau der 3D-gedruckten Objekte zurückführen – die Adhäsion zwischen aufeinanderfolgenden Schichten ist bei den meisten Materialien niedriger als die innerhalb einer Schicht. Im Bereich der Mechanik lässt sich hier gemeinsam mit den Schüler(innen) bzw. Studierenden überlegen, welche Kräfte bei dem Versuch in welchen Richtungen wirken und welche Auswirkungen dies auf die Stabilität der Proben haben wird. Je nach Wissensstand kann man sich dabei auf eine intuitive Betrachtung beschränken, Kraftdiagramme aufstellen oder Kräfte mathematisch betrachten.



(a)



(b)

Abb. 1: Kraft-Biegungs-Diagramme, gemessen an einigen in unterschiedlichen Orientierungen gedruckten PLA-Proben. Aus Chalgham, A.; Ehrmann, A.; Wickenkamp, I. (2021) Mechanical properties of FDM printed PLA parts before and after thermal treatment. In: *Polymers* 13, 1239. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym13081239>, im Original veröffentlicht unter einer CC-BY-Lizenz <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

Die in Abb. 1 zu sehenden Graphen wurden mit einer Universalprüfmaschine aufgenommen, wie sie sicherlich nur wenigen Schulen zur Verfügung steht. Es ist jedoch relativ einfach möglich, die Grenzwerte von Kraft und Dehnung ohne solche Hilfsmittel zu bestimmen, indem eine Kamera so aufgebaut wird, dass sie ohne Parallaxe ein Bild der Probe vor einer in geringem Abstand dahinter stehenden karierten Pappe o. ä. zur Biegemessung aufnimmt, und die Probe mit einer zunehmenden Kraft (z. B. in Form von Gewichten) belastet wird (Abb. 2). Hierbei muss bei PLA und anderen spröde brechenden Materialien unbedingt darauf geachtet werden, dass niemand ohne Schutzbrille an dem Versuch arbeitet.

Interessanter werden diese Versuche, wenn man entweder verschiedene Füllmuster vergleicht oder sogar gruppenweise eigene Füllmuster so entwirft, dass sie möglichst gute mechanische Eigenschaften aufweisen.

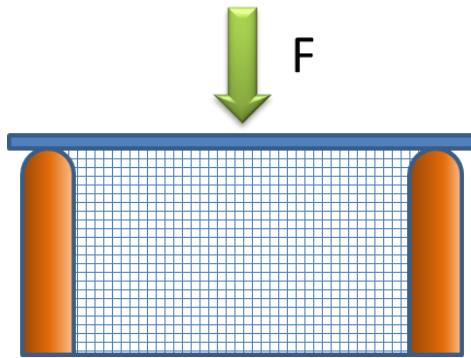


Abb. 2: Prinzip einer Kraft-Biegungs-Messung.

Neben den o. g. Dreipunkt-Biegeversuchen lassen sich dazu beispielsweise auch Versuche mit einem eingespannten Ende und einer Federwaage am anderen Ende der Probe durchführen. Bei der Auswahl vorgegebener Füllmuster im Slicer, insbesondere aber bei selbst entworfenen Füllmustern lässt sich sehr gut eine intuitive Vorstellung davon trainieren, welche Muster sich gut eignen und welche weniger gut. Selbst ohne explizit über Kraftvektoren zu sprechen, können die Schüler(innen) und Student(innen) so ein Gefühl dafür entwickeln, in welchen Richtungen Kräfte abgeleitet werden. Abb. 3 zeigt beispielhaft zwei selbst entworfene Füllmuster, die sich in ihrer Funktion an Blattfedern anlehnen [5].

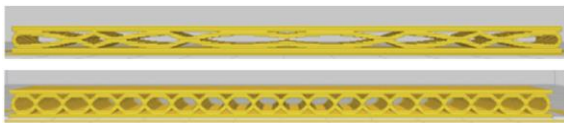


Abb. 3: Beispiele selbst entworfener Füllmuster für Biege-Proben. Aus Koske, D.; Ehrmann, A. (2021) Infill designs for 3D-printed shape-memory objects. In: Technologies 9, 29. DOI: <https://doi.org/10.3390/technologies9020029>, im Original veröffentlicht unter einer CC-BY-Lizenz <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

Die Art des Versagens lässt sich meist im Mikroskop abbilden, wie z. B. in Abb. 4 zu sehen. Hierbei muss beachtet werden, dass die Probe nicht notwendigerweise dort bricht, wo die größte Kraft eingeleitet wird, sondern dort, wo die Kraft zuerst die lokale Festigkeit übersteigt. Eine solche Diskussion geht also über reine Kräftebetrachtungen hinaus in die Werkstoffkunde und vermittelt den Schüler(inne)n und Studierenden ein Gefühl dafür, nicht nur eine Größe zu betrachten, sondern das vollständige System, wie es auch später im Beruf notwendig ist.

4. Beispielprojekt 2 – Formgedächtnismaterialien

Eine ganz andere Diskussion wird über die Nutzung von Formgedächtnispolymeren (Shape Memory Polymers, SMPs) ermöglicht. Während Formgedächtnismetalle (Shape Memory Alloys, SMAs) häufig bekannt sind, ist vielen Schüler(inne)n und

Studierenden nicht bekannt, dass auch Polymere Formgedächtniseigenschaften aufweisen können.

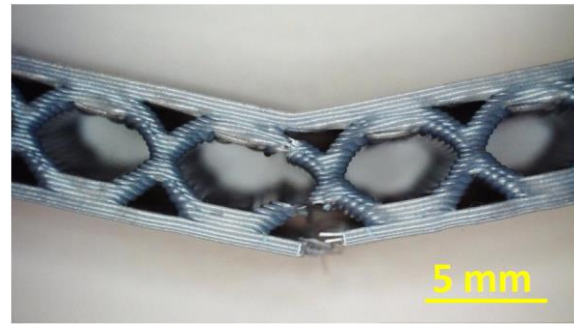


Abb. 4: 3D-gedruckte Probe nach dem 3-Punkt-Biegetest. Aus Koske, D.; Ehrmann, A. (2021) Infill designs for 3D-printed shape-memory objects. In: Technologies 9, 29. DOI: <https://doi.org/10.3390/technologies9020029>, im Original veröffentlicht unter einer CC-BY-Lizenz <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

Formgedächtnismaterialien können nach einer Deformation in ihre ursprüngliche Form zurückkehren, wenn sie durch einen äußeren Reiz – z. B. Temperatur, Licht, ein Magnetfeld etc. – dazu angeregt werden [6]. Interessanterweise tritt dieser Effekt in einigen 3D-Druck-Materialien auf, unter anderem in PLA, dem am häufigsten genutzten FDM-Material [7]. Technisch kann er u. a. im Bereich Soft Robotics genutzt werden [8], zur Herstellung selbst-expandierender Stents [9], für ausschwenkbare Antennen [10] oder intelligente Textilien [11,12]. Dieser Effekt ist daher technologisch relevant und nicht nur spannend zu beobachten.

PLA-Objekte können entweder bei Raumtemperatur deformiert werden, wie es z. B. bei Schutzbekleidung oder der Nutzung des Materials in der Stoßstange eines PKW bei Unfällen passieren würde, oder oberhalb der Glasübergangstemperatur, um eine absichtliche Formänderung hervorzurufen, die typischerweise keine Brüche bewirkt. Beide Varianten sind technisch sinnvoll. Erwärmt man das Bauteil erneut über die Glasübergangstemperatur, wird die ursprüngliche Form wieder eingenommen.

Praktischerweise liegt die Glasübergangstemperatur von PLA, je nach genauer Materialzusammensetzung, knapp unter 60 °C und damit in einem Bereich, der im Wasserbad oder in einem Ofen zugänglich ist, ohne die Experimentatoren zu gefährden.

Abb. 5 zeigt beispielhaft die Verformung eines PLA-Würfels mit dem Füllmuster „Gyroid“ (15 % Füllung) unter Druck bis zu einer Eindringtiefe von 50 % der ursprünglichen Höhe und die darauffolgende Wiederherstellung im Wasserbad bei einer Temperatur von 60 °C [13].

Hier bietet sich eine interdisziplinäre Lehreinheit mit der (Polymer-)Chemie an, um diesen Effekt für amorphe Polymere, amorph-kristalline Homopolymere und Copolymere auf molekularer Ebene zu erklären. Da bei der Regeneration von PLA-Objekten die Temperatur eine Rolle spielt, kann diese

gleichzeitig in Hinblick auf verschiedene Temperaturskalen, Messmethoden etc. diskutiert werden.

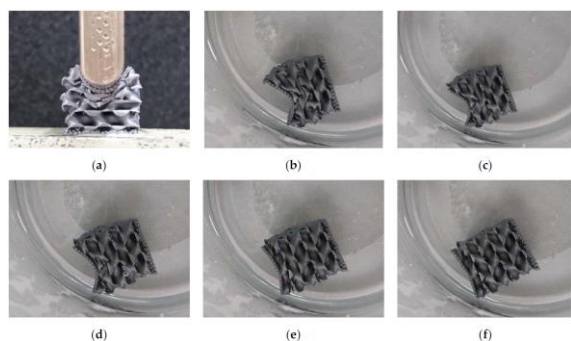


Abb. 5: Formgedächtnisprobe (a) während der Deformation und (b-f) bei der Wiederherstellung im Wasserbad. Aus Ehrmann, G.; Ehrmann, A. (2021) Investigation of the shape-memory properties of 3D printed PLA structures with different infills. In: *Polymers* 13, 164. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym13010164>, im Original veröffentlicht unter einer CC-BY-Lizenz <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

Andererseits kann auch hier wieder der Focus auf die mechanischen Eigenschaften gelegt werden, beispielsweise indem die untersuchten Proben von mehreren Seiten belastet werden und wie oben beschrieben untersucht wird, welche Bereiche am anfälligsten für Brüche sind. Je nach Art und Richtung der Belastung findet man hier sehr verschiedene Versagensarten, häufig in Form von Brüchen zwischen den gedruckten Ebenen, aber auch mittels Weißbrüchen oder vollständigen Brüchen der abgelegten Polymerstränge. Ein Beispiel für einen zusammengedrückten und wieder regenerierten Würfel nach 10 Testzyklen ist in Abb. 6 zu sehen [14].

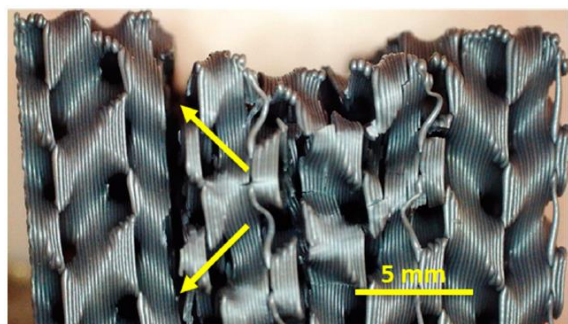


Abb. 6: Formgedächtnisprobe nach zehn Deformationen und Wiederherstellungen im Wasserbad. Aus Ehrmann, G.; Ehrmann, A. (2021) Pressure orientation-dependent recovery of 3D-printed PLA objects with varying infill degree. In: *Polymers* 13, 1275. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym13081275>, im Original veröffentlicht unter einer CC-BY-Lizenz <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

5. Zusammenfassung

Der 3D-Druck bietet heutzutage ganz neue Möglichkeiten, Schüler(innen) und Student(inn)en an

verschiedenste Wissensgebiete heranzuführen, unter anderem auch an die oft ungeliebte Physik. Daneben können auch Konstruktion, Materialwissenschaften und Polymerchemie in interdisziplinäre Unterrichtseinheiten integriert werden.

Insbesondere PLA als leicht zu verdrückendes Formgedächtnismaterial erlaubt es, diese Wissensbereiche zu verbinden und spielerisch die durch Form und Material definierten Eigenschaften von Körpern zu erkunden und optimieren. Gleichzeitig können die Schüler(innen) und Student(inn)en über reine Kraftberechnungen hinaus ein Gefühl dafür entwickeln, wie sich Objekte mit bekannten inneren Strukturen unter einer Krafteinwirkung verhalten.

6. Literatur

- [1] Szykiedan, K.; Credo, W. (2016): Mechanical properties of FDM and SLA low-cost 3-D prints. In: *Proc. Eng.* 136, 257-262. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.01.207>
- [2] Wan, M. L.; Liu, S. F.; Huang, D.; Qu, Y.; Hu, Y.; Su, Q. S.; Zheng, W. X.; Dong, X. M.; Zhang, H. W.; Wei, Y.; et al. (2020) Biocompatible heterogeneous bone incorporated with polymeric biocomposites for human bone repair by 3D printing technology. In: *J. Appl. Polym. Sci.* 138, 50114. DOI: <https://doi.org/10.1002/app.50114>
- [3] Sölmann, S.; Rattenholl, A.; Blattner, H.; Ehrmann, G.; Gudermann, F.; Lütkemeyer, D.; Ehrmann, A. (2021) Mammalian cell adhesion on different 3D printed polymers with varying sterilization methods and acidic treatment. In: *AIMS Bioeng.* 8, 25–35. <https://www.aimspress.com/article/doi/10.3934/bioeng.2021004>
- [4] Chalgham, A.; Ehrmann, A.; Wickenkamp, I. (2021) Mechanical properties of FDM printed PLA parts before and after thermal treatment. In: *Polymers* 13, 1239. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym13081239>
- [5] Koske, D.; Ehrmann, A. (2021) Infill designs for 3D-printed shape-memory objects. In: *Technologies* 9, 29. DOI: <https://doi.org/10.3390/technologies9020029>
- [6] Meng, Q. H.; Hu, J. L. (2009) In: *Comp. A Appl. Sci. Manufact.* 40, 1661-1672. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2009.08.011>
- [7] Ehrmann, G.; Ehrmann, A. (2021) 3D printing of shape memory polymers. In: *J. Appl. Polym. Sci.* 138, 50847. DOI: <https://doi.org/10.1002/app.50847>
- [8] Mehrpouya, M.; Azizi, A.; Janbaz, S.; Gisario, A. (2020) Investigation on the functionality of thermoresponsive origami structures. In: *Adv. Eng. Mater.* 22, 2000296. DOI: <https://doi.org/10.1002/adem.202000296>

- [9] Jia, H.; Gu, S.-Y.; Chang, K. (2018) In: *Adv. Polym. Technol.* 37, 3222-3228. DOI: <https://doi.org/10.1002/adv.22091>
- [10] Bahr, R.; Nauroze, A.; Su, W. J.; Tentzeris, M. M. (2017) In: *IEEE 67th Electronic Components and Technology Conf. ECTC 2017*, United States, Orlando, May 2017
- [11] Leist, S. K.; Gao, D. J.; Chiou, R.; Zhou, J. (2017) Investigating the shape memory properties of 4D printed polylactic acid (PLA) and the concept of 4D printing onto nylon fabrics for the creation of smart textiles. In: *Virtual Phys. Prototyp.* 12, 290-300. DOI: <https://doi.org/10.1080/17452759.2017.1341815>
- [12] Ehrmann, G.; Ehrmann, A. (2021) Electronic textiles. In: *Encyclopedia* 1, 115-130. DOI: <https://doi.org/10.3390/encyclopedia1010013>
- [13] Ehrmann, G.; Ehrmann, A. (2021) Investigation of the shape-memory properties of 3D printed PLA structures with different infills. In: *Polymers* 13, 164. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym13010164>
- [14] Ehrmann, G.; Ehrmann, A. (2021) Pressure orientation-dependent recovery of 3D-printed PLA objects with varying infill degree. In: *Polymers* 13, 1275. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym13081275>

Konzeption eines Forschungsprojekts zu kontextbasiertem traditionellen Unterricht zu einfachen Stromkreisen

Benedikt Gottschlich*, **Jan-Philipp Burde***, **Liza Dopatka⁺**, **Verena Spatz⁺**, **Thomas Schubatzky[°]**, **Claudia Haagen-Schützenhöfer[°]**, **Lana Ivanjek^x**, **Thomas Wilhelm[#]**, **Martin Hopf[^]**

*Eberhard Karls Universität Tübingen, AG Didaktik der Physik, Auf der Morgenstelle 14, 72076 Tübingen;

⁺Physikdidaktik, TU Darmstadt, Institut für Physik, Hochschulstraße 12, 64289 Darmstadt;

[°]Karl-Franzens-Universität Graz, Institut für Physik, Physikdidaktik, Universitätsplatz 5, 8010 Graz;

^xTU Dresden, Fakultät Physik, Professur Didaktik der Physik, Helmholtzstraße 10, 01069 Dresden;

[#]Goethe-Universität Frankfurt, Institut für Didaktik der Physik, Max-von-Laue-Straße 1, 60438 Frankfurt;

[^]Universität Wien, Österreichisches Kompetenzzentrum für Didaktik der Physik, Porzellangasse 4, 1090 Wien;

benedikt.gottschlich@uni-tuebingen.de, jan-philipp-burde@uni-tuebingen.de,

liza.dopatka@physik.tu-darmstadt.de, verena.spatz@physik.tu-darmstadt.de, thomas.schubatzky@uni-graz.at,

claudia.haagen@uni-graz.at, lana.ivanjek@tu-dresden.de, wilhelm@physik.uni-frankfurt.de,

martin.hopf@univie.ac.at

Kurzfassung

Trotz der enormen Bedeutung der Elektrizität für unser heutiges Leben wird der Unterricht zur elementaren Elektrizitätslehre von den Lernenden häufig als abstrakt und wenig interessant wahrgenommen, inhaltliche Lernziele werden zudem vielfach nicht erreicht. Vor diesem Hintergrund wird im Rahmen des Gesamtprojekts EPo-EKo ein kontextbasiertes Unterrichtskonzept zu einfachen Stromkreisen entwickelt („EKo-Konzept“). Anknüpfend an Vorarbeiten im Projekt werden in dem erstellten Schulbuch Kontexte wie „elektrische Fische“ oder „Geelektrik“ behandelt, um das Interesse von Mädchen und Jungen gleichermaßen zu fördern. Im Gegensatz zu anderen Teilstudien des Gesamtprojekts EPo-EKo orientieren sich die in der EKo-Teilstudie entwickelten Materialien an der Sachstruktur des traditionellen Elektrizitätslehreunterrichts. Im Rahmen des Forschungsprojekts soll die Frage beantwortet werden, inwiefern Unterricht auf Basis des kontextstrukturierten Unterrichtskonzepts bei den Lernenden mit einem höheren Interesse und einem besseren konzeptionellen Verständnis einhergeht. Der Artikel stellt neben der Einbettung in das Gesamtprojekt EPo-EKo und in den aktuellen Stand der Forschung hierzu das Forschungsdesign und konkrete Beispiele für verwendete Kontexte vor.

1. Hintergrund

Das Leben in unserer Industriegesellschaft ist geprägt von Elektrizität; für nicht wenige Alltagssituationen und in einer Vielzahl beruflicher Umgebungen ist ein grundlegendes Verständnis der Zusammenhänge im elektrischen Stromkreis unabdingbar. Dies lässt dem Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht, der in den gymnasialen Curricula in Deutschland und Österreich in der Regel in der 7. oder 8. Jahrgangsstufe verortet ist, eine große Bedeutung zukommen. Trotz zahlreicher wissenschaftlicher Erkenntnisse aus den letzten Jahrzehnten und der Anstrengung von Lehrenden gelingt es Schülerinnen und Schülern allerdings vielfach nicht, ein angemessenes Verständnis einfacher elektrischer Stromkreise zu erzielen (Burde, 2018). Vielmehr zeigt die fachdidaktische Forschung, dass Schülerinnen und Schüler auch nach dem Unterricht zum einfachen Stromkreis häufig noch Vorstellungen vertreten, die fachlich problematisch sind (z.B. Shaffer & McDermott, 1992; Engelhardt & Beichner, 2004; Burde, 2018).

Die Motivation für ein kontextbasiertes Vorgehen im Elektrizitätslehreunterricht basiert auf der Erkenntnis, dass Schülerinnen und Schüler zwar allgemein ein vergleichsweise geringes Interesse am Physikunterricht haben, physikalische Inhalte jedoch für interessant erachten, sofern diese in entsprechende Kontexte eingebettet sind (Hoffmann et al., 1998). Die Forschung ist sich weitgehend einig, dass kontextbasierter Unterricht einen positiven Einfluss auf das Interesse von Schülerinnen und Schülern hat (Bennett et al., 2003). Der Einfluss auf das konzeptionelle Verständnis ist jedoch bislang nicht eindeutig geklärt (Taasobshirazi & Carr, 2008).

Die Integration von Kontexten in den Physikunterricht wird schon seit längerer Zeit für wichtig erachtet und seit 2004 auch in den Richtlinien der Kultusministerkonferenz gefordert (KMK, 2005). Allerdings stehen Lehrkräfte vor der Herausforderung, dass zur Elektrizitätslehre der Sekundarstufe I kaum ausgearbeitete kontextbasierte und insbesondere keine kontextstrukturierten Unterrichtsmaterialien zur Verfü-

gung stehen, auf die sie für ihren Unterricht zurückgreifen können (Dopatka et al., 2019). Dies steht im Gegensatz zu den empirischen Erkenntnissen aus fachdidaktischen Studien, die bereits seit längerer Zeit ein differenziertes Fundament für die Entwicklung von kontextbasierten Unterrichtsmaterialien darstellen (Hofmann et al., 1998; Schreiner & Sjøberg, 2004). Leicht zu findende Anwendungen und Kontexte für die Elektrizitätslehre stammen zudem überwiegend aus der Technik (Dopatka et al., 2019); dieser Bereich ist allerdings nur für etwa ein Fünftel der Lernenden, darunter überwiegend Jungen, von Interesse (Hoffmann et al., 1998; Herbst et al., 2016). Diese Ausführungen zeigen, dass thematisch vielseitige, für Mädchen und Junge interessante, kontextbasierte Materialien eine wichtige Ergänzung für den Elektrizitätslehreunterricht darstellen können. Diesem Ansatz folgt auch die in diesem Beitrag vorgestellte EKO-Teilstudie.

2. Das Gesamtprojekt EPo-EKo

Die Implementierung und Evaluation der EKO-Teilstudie ist eingebettet in das deutsch-österreichische Projekt „Elektrizitätslehre mit Potenzial – Elektrizitätslehre mit Kontexten“ (EPo-EKo) der sechs Universitäten Darmstadt, Dresden, Frankfurt, Graz, Tübingen und Wien. Wie Abb. 1 zeigt, untergliedert sich das Forschungsdesign des Gesamtprojekts, das an Vorarbeiten von Burde und Wilhelm (2015) anknüpft, in die beiden Teilstudien EPo und EKO (siehe Abb. 1).

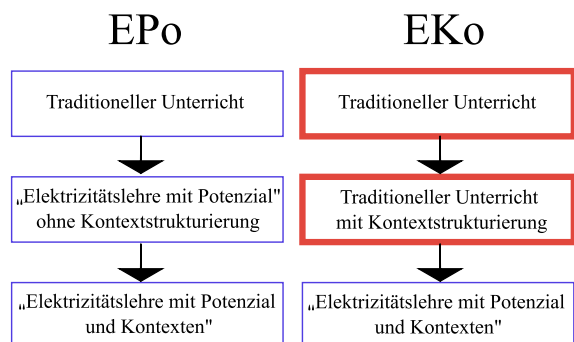


Abb. 1: Das Studiendesign des Gesamtprojekts EPo-EKo (das in diesem Artikel vorgestellte Teilprojekt ist rot umrandet dargestellt)

Das Kooperationsprojekt EPo-EKo verfolgt zwei zentrale Ziele (Haagen et al., 2019): Einerseits sollen unterschiedliche Zugänge zur Elektrizitätslehre in Bezug auf deren Erfolgsbedingungen empirisch evaluiert werden; andererseits soll durch die Entwicklung von insgesamt drei Unterrichtskonzepten und deren Implementierung im Schulbuchformat auch ein unmittelbarer praktischer Nutzen für die schulische Praxis erzielt werden. Die Überwindung der oft beklagten Research-Practice-Gap (Reinmann, 2005) zwischen fachdidaktischer Forschung und Unterrichtspraxis ist somit für das Projekt von integraler Bedeutung. Das Projekt folgt hierbei dem Ansatz des Design-Based Research, indem es Lösungen für

Probleme aus der unterrichtlichen Praxis im Rahmen eines theoriegeleiteten Prozesses anstrebt, um anschließend in einem Re-Design die gefundene Lösung weiter zu verbessern (Wilhelm & Hopf, 2014). Vor diesem Hintergrund basiert das EKO-Konzept an vielen Stellen auf Vorarbeiten und Forschungsergebnissen aus dem bisherigen Verlauf des EPo-EKo-Gesamtprojektes.

An der EPo-Teilstudie beteiligte Lehrkräfte aus Deutschland und Österreich unterrichteten im ersten Jahr die elementare Elektrizitätslehre in ihrer gewohnten Art und Weise. Im zweiten Jahr erfolgte der Unterricht unter Verwendung des Unterrichtskonzepts auf Basis des Elektronengasmodells (Burde et al., 2019). In diesem Konzept („EPo-Konzept“) wird die Spannung in Anlehnung an Luftdruckunterschiede explizit als elektrischer Druckunterschied eingeführt. Damit soll der Problematik begegnet werden, dass viele Lernende über kein eigenständiges Spannungskonzept verfügen, sondern die Spannung als Eigenschaft bzw. Bestandteil des elektrischen Stroms betrachten (Rhöneck, 1986). Der Unterricht im dritten Jahr soll von den Lehrkräften auf Basis eines Unterrichtskonzepts durchgeführt werden, welches weiterhin auf einer Sachstrukturebene die Idee des Elektronengasmodells verfolgt, aber gleichzeitig durchgängig kontextstrukturiert vorgeht (Burde et al., 2020). Die Datenerhebung im dritten Jahr zum Unterrichtskonzept „Eine Einführung in die Elektrizitätslehre mit Potenzial und Kontexten“ konnte jedoch pandemiebedingt noch nicht stattfinden.

Die Erhebungen der EKO-Teilstudie, die von der Universität Tübingen aus koordiniert werden, sollen ab dem Schuljahr 2021/22 in Baden-Württemberg stattfinden (siehe 4.2.). Auch in dieser Studie unterrichten Lehrkräfte zunächst in ihrer gewohnten Art und Weise, bevor die gleichen Lehrkräfte im zweiten Durchgang mit dem zur Verfügung gestellten Schulbuch kontextstrukturiert auf Basis einer an den traditionellen Unterricht angelehnten Sachstruktur unterrichten. Es ist intendiert, dass auch diese Lehrkräfte in einem dritten Durchgang mit dem kontextstrukturierten Unterrichtskonzept auf Basis des Elektronengasmodells unterrichten, das auch im dritten Jahr der EPo-Teilstudie genutzt wird.

3. Das EKO-Konzept

Mit der EKO-Teilstudie ist die Erstellung eines Schulbuchs „Eine Einführung in die Elektrizitätslehre mit Kontexten“ verbunden, welches sich in Format und Design an den bereits bestehenden Schulbüchern aus der EPo-Teilstudie orientiert und im „Traditionellen Unterricht mit Kontextstrukturierung“ (vgl. Abb. 1) eingesetzt wird. Die Sachstruktur des EKO-Konzepts ist an den traditionellen Elektrizitätslehreunterricht angelehnt, was Lehrkräften die Einbindung in ihren Unterricht vereinfachen soll. Im Folgenden wird dargestellt, welche Einflüsse die inhaltliche Grundlage für das EKO-Konzept bilden.

3.1 Kontexte und Kontextstrukturierung

Im Rahmen dieses Artikels und des Forschungsprojektes bezeichnet ein Kontext einen „konkreten physikalischen Anwendungsbezug, der aus dem Alltag der Schülerinnen oder Schüler kommt, gesellschaftliche Relevanz oder Bedeutung für Technik und Wissenschaft hat“ (Nawrath, 2010, S. 21). In dem entwickelten Unterrichtskonzept wird mit Mikrokontexten (Kuhn et al., 2010) gearbeitet, wobei jeweils ein Kontext einem Kapitel zugeordnet ist. Der Vorteil dieses Ansatzes ist sowohl die erhöhte Flexibilität in der schulpraktischen Anwendung als auch die Tatsache, dass für jedes Kapitel ein passender Kontext ausgewählt werden kann. Der Kontext wird hierbei nicht nur als Anwendungsbeispiel am Rande vorgestellt, sondern gibt den „roten Faden“ eines Kapitels vor; die fachlichen Inhalte werden entlang des Kontextes erlernt. Dieser Ansatz entspricht nach Nawrath (2010, S. 21) der Definition eines kontextstrukturierten Vorgehens, bei dem „Kontexte Ausgangspunkt und Zielpunkt physikalischen Lernens im Unterricht sind“.

3.2. Traditioneller Elektrizitätslehreunterricht

Die Sachstruktur des EKo-Konzepts, welche dem traditionellen Unterricht zum einfachen Stromkreis folgen soll, basiert im Wesentlichen auf den Erkenntnissen der Dissertation von Schubatzky (2020), der die Sachstruktur zum Anfangs-Elektrizitätsunterricht von 32 Lehrkräften in Deutschland und Österreich erhob und systematisierte. Wie erwartet zeigten sich hierbei Unterschiede in Bezug auf die behandelten Themen und deren Abfolge; gewisse Muster erwiesen sich jedoch trotzdem als unter Lehrkräften verbreitet (Schubatzky, 2020, S. 221). Neben der Passung zu dieser Erhebung war die Parallelität zum Unterrichtskonzept „Eine Einführung in die Elektrizitätslehre mit Potenzial und Kontexten“ und den dort behandelten Themengebieten ein wichtiges Kriterium in der Entwicklung des EKo-Konzepts. Tab. 1 zeigt dessen Kapitelstruktur:

| | Themenabfolge |
|---|---------------------------|
| 1 | Elektrischer Stromkreis |
| 2 | Elektrische Leitfähigkeit |
| 3 | Elektrische Stromstärke |
| 4 | Elektrische Spannung |
| 5 | Elektrischer Widerstand |
| 6 | Parallelschaltungen |
| 7 | Reihenschaltungen |
| 8 | Ohm'sches Gesetz |

Tab. 1: Kapitelstruktur des EKo-Unterrichtskonzepts

Mit Blick auf die potenziell im Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht zu behandelnden Themen (Schubatzky, 2020, S. 212) wird deutlich, dass obige Themenabfolge die elementare Elektrizitätslehre nicht bis in alle Details abdeckt. Dies ist aber keineswegs das Ziel: Vielmehr soll ein Schulbuch entstehen, welches Physiklehrkräfte in verschiedenen (Bundes-)Ländern

einsetzen und zur Erfüllung des jeweiligen Bildungs- bzw. Lehrplans flexibel durch eigene Materialien – z.B. zum nicht abgedeckten Bereich der Elektrostatik – ergänzen können. Da das EKo-Konzept empirisch mit Lehrkräften in Baden-Württemberg evaluiert wird, wurde in der Erarbeitungsphase allerdings ein besonderes Augenmerk auf die Erfüllung des dortigen Bildungsplans gelegt, was eine relevante Grundlage für die Genehmigung des Forschungsprojekts durch die Kultusadministration darstellte.

3.3. Auswahl der Kontexte

Grundlage für die Auswahl von Kontexten im Rahmen des EPo-EKo-Gesamtprojekts waren bisherige Ergebnisse der Forschung zu Interessen im naturwissenschaftlichen Unterricht, wie der IPN-Studie (Hoffmann et al., 1998) oder der ROSE-Studie (Schreiner & Sjöberg, 2004). Entsprechend der Ergebnisse der Interessensforschung wurden gezielt gesellschaftsrelevante, alltägliche sowie den Menschen und die Natur betreffende Kontexte erarbeitet – auf diese Weise wurde sichergestellt, dass technische Kontexte keine dominierende Stellung einnehmen. Hierbei wurde auf die Ergebnisse der im Rahmen des Gesamtprojekts in Darmstadt durchgeführten IDa-Studie (Dopatka et al., 2019) sowie entsprechende Unterrichtsmaterialien (Dopatka et al., 2020) zurückgegriffen. Nachdem für das Unterrichtskonzept „Eine Einführung in die Elektrizitätslehre mit Potenzial und Kontexten“ bereits eine Umsetzung der ausgewählten Kontexte in ein Schulbuchformat stattfand, wurde bei der Erarbeitung des EKo-Konzepts aus Gründen der Vergleichbarkeit darauf Wert gelegt, dass dieses die gleichen Kontexte nutzt. Ausnahmen bilden die Kontexte „Türklinke“ und „Fußball“, weil diese nur im Zusammenhang mit dem Elektronengasmodell sinnvoll eingebunden werden konnten. Im Folgenden werden beispielhaft zwei der verwendeten Kontexte vorgestellt:

Anhand der Geoelektrik (Abb. 2), die als einziger Kontext in zwei Kapiteln verwendet wird, werden die Themen Leitfähigkeit und elektrischer Widerstand vermittelt: Die gemessene Stromstärke hängt von der Beschaffenheit des Erdreichs ab bzw. davon, welche Objekte sich darin befinden. Dabei gilt, dass die Erklärungen des Kontexts allgemein und auch die Grafik eine starke Elementarisierung gegenüber einer realistischen geoelektrischen Anwendung darstellen, um einen ausreichend einfachen Zugang für Schülerinnen und Schüler der 7. und 8. Jahrgangsstufe zu gewährleisten (Kunert et al., 2017).

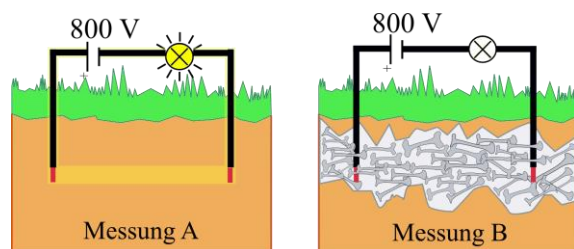


Abb. 2: Der Kontext „Geoelektrik“

Mittels des elektrischen Weidezauns (Abb. 3) werden Parallelschaltungen diskutiert. Zentrale Frage dieses Kapitels ist, wie sich die Elektronenströmungen durch die Wölfe verhalten, wenn zwei oder mehr Wölfe gleichzeitig einen elektrischen Zaun berühren. Die – in Bezug auf den Kontext stark elementarisierte – Erkenntnis ist hierbei, dass die Elektronenströmung durch einen einzelnen Wolf nicht davon abhängt, ob noch andere Wölfe gleichzeitig den Zaun berühren.

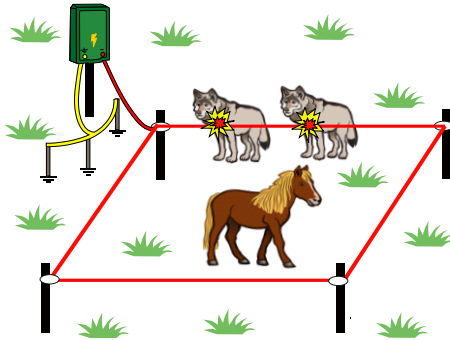


Abb. 3: Der Kontext „Elektrischer Weidezaun“

Weitere nach aktuellem Stand der Planung verwendete Kontexte sind der Autoscooter (elektrischer Stromkreis), der Zitteraal (elektrische Spannung) und der Reiseföhn (ohmsches Gesetz).

Im Rahmen der Entwicklung des EKo-Unterrichtskonzepts wurden, konform zum Ansatz des Design-Based Research, auch die Rückmeldungen von Lehrkräften aus der EPO-Teilstudie zu Kontexten im Konzept „Eine Einführung in die Elektrizitätslehre mit Potenzial und Kontexten“ berücksichtigt. Nachdem die Kontexte Nebenschlussleuchte und Reizstrombehandlung als vergleichsweise ungeeignet für die Unterrichtspraxis aufgefasst wurden, finden aktuell leitfadengestützte Befragungen mit unterrichteten Schülerinnen und Schülern statt, um zusätzlich einen Zugang zur Schülerperspektive zu haben. Sollten sich die von den Lehrkräften geäußerten Vorbehalte gegen die zwei Kontexte Nebenschlussleuchte und Reizstrombehandlung manifestieren, wird dies im Rahmen eines entsprechenden Re-Designs auch für das Konzept „Eine Einführung in die Elektrizitätslehre mit Potenzial und Kontexten“ berücksichtigt.

4. Durchführung des Forschungsprojekts

Im Folgenden sollen die für die hier vorgestellte EKo-Teilstudie zugrunde liegenden Fragestellungen sowie die zeitliche und inhaltliche Struktur der Erhebungen vorgestellt werden.

4.1. Zentrale Fragestellungen

Der Fokus des Forschungsprojekts liegt auf der Beantwortung der Fragen, wie der Unterricht zum einfachen Stromkreis auf Basis eines kontextstrukturierten Unterrichtskonzepts ...

- das konzeptionelle Verständnis der Schülerinnen und Schüler;
- das Interesse der Schülerinnen und Schüler;

- das physikbezogene Selbstkonzept der Schülerinnen und Schüler

im Vergleich zum traditionellen Unterricht beeinflusst.

Um diese Fragen zu beantworten, wird die Entwicklung von konzeptionellem Verständnis, Interesse und Selbstkonzept mithilfe von standardisierten Testinstrumenten sowohl im Rahmen vom traditionellen als auch begleitend zum kontextstrukturierten Unterricht erhoben. Aus den Ergebnissen vorheriger Studien (Taasobshirazi & Carr, 2008) und da die verwendeten Kontexte überwiegend auf Basis der Ergebnisse von Interessensstudien entwickelt wurden (Hoffmann et al., 1998; Schreiner & Sjöberg, 2004; Dopatka et al., 2019), ist ein positiver Einfluss der Kontextstrukturierung auf Interesse und Selbstkonzept zu erwarten. Unklar nach bisherigem Forschungsstand ist jedoch die Frage, inwiefern durch die Kontextstrukturierung nicht nur das Interesse, sondern auch das konzeptionelle Verständnis gefördert werden kann (Taasobshirazi & Carr, 2008).

4.2. Zeitplan

Obwohl auf Vorarbeiten im Rahmen des EPO-EKo-Gesamtprojektes und auf die Expertise der sechs an der Studie beteiligten Standorte zurückgegriffen wird, ist ein Überarbeitungszyklus für die Entwicklung von hochwertigen Unterrichtsmaterialien notwendig. Wie Abb. 4 darstellt, werden hierfür nicht nur Akzeptanzbefragungen mit einzelnen Schülerinnen und Schülern durchgeführt, sondern es wird zusätzlich das EKo-Konzept auch in einzelnen Pilotklassen eingesetzt, um Rückmeldungen von Lehrkräften zum Einsatz des Konzepts in der Unterrichtspraxis zu erhalten. Sowohl die Schüler- als auch die Lehrerückmeldungen sollen im Rahmen eines Re-Designs in der im Anschluss zu erstellenden finalen Version des EKo-Schulbuchs berücksichtigt werden.

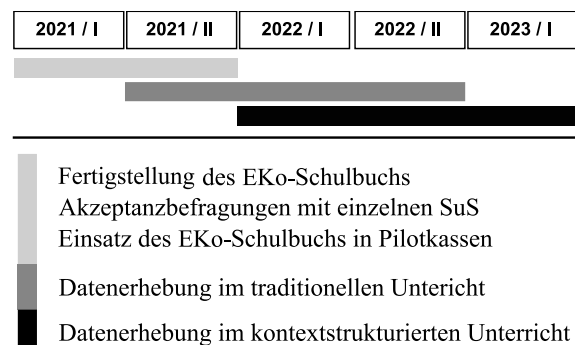


Abb. 4: Zeitplan des EKo-Projekts (Zeitangaben beziehen sich auf Kalenderhalbjahre)

Im eigentlichen Datenerhebungsprozess der Studie nimmt jede beteiligte Lehrkraft mit ihren Klassen in einem quasi-experimentellen Format an zwei Erhebungsdurchgängen teil: In einem ersten Durchgang unterrichtet sie auf ihre gewohnte Art und Weise; im zweiten Durchgang gestaltet sie ihren Unterricht auf Basis des zur Verfügung gestellten kontextstrukturierten Unterrichtskonzepts. Es ist zentral, dass eine

teilnehmende Lehrkraft aufeinanderfolgend in beiden Konfigurationen unterrichtet, um mögliche Selektionseffekte auf Lehrkraftseite auszuschließen. Die entsprechende Unterrichtseinheit „Grundgrößen der Elektrizitätslehre“ aus dem Bildungsplan des Landes Baden-Württemberg wird üblicherweise in der 8. Jahrgangsstufe unterrichtet. Der Unterricht der teilnehmenden Lehrkräfte zum einfachen Stromkreis wird in beiden Durchgängen jeweils ergänzt durch drei Erhebungen: einen Vortest vor der Einheit, einen Nachtest unmittelbar danach und einen Follow-Up-Test etwa 10 Wochen nach Abschluss der Unterrichtseinheit. Diese Tests führen die Lehrkräfte im Unterricht mit den Schülerinnen und Schülern durch. Die Lehrkräfte werden außerdem gebeten, in beiden Durchgängen ein Tagebuch über die unterrichteten Inhalte zu führen. In Bezug auf den traditionellen Unterricht zum einfachen Stromkreis kann somit die Frage geklärt werden, ob sich dieser in Baden-Württemberg strukturell von den in Schubatzky (2020) betrachteten anderen deutschen und österreichischen Ländern unterscheidet. Bezüglich des kontextstrukturierten Unterrichts erlaubt das Tagebuch, einen Einblick in die Art und Weise zu erhalten, wie Lehrkräfte das EKo-Konzept im Unterricht einsetzen. Da das Forschungsprojekt intendiert, einen Beitrag zur unterrichtlichen Praxis zu leisten, ist zudem auch die Frage der Akzeptanz des Konzepts durch die Lehrkräfte von großer Relevanz. Deswegen sind Lehrkräfte nicht nur im Re-Design des Unterrichtskonzepts involviert, sondern werden auch nach der eigentlichen Datenerhebung systematisch nach ihrer Einschätzung gefragt.

4.3. Erhebungsmethodik und -instrumente

Die Erhebung des konzeptionellen Verständnisses der Schülerinnen und Schüler, die zu allen drei Testzeitpunkten den größten Umfang im Testheft einnimmt, wird mithilfe eines im Rahmen der EPo-EKo-Studie entwickelten Testinstruments durchgeführt (Ivanjek et al., eingereicht). Die Erstellung eines neuen Testinstruments war nötig, weil bereits existierende Testinstrumente das Thema Spannung nur unzureichend abdecken (Urban-Woldron & Hopf, 2012). Das verwendete Testinstrument arbeitet ausschließlich mit zweistufigen Items. Das bedeutet, dass die Schülerinnen und Schüler zusätzlich zu ihrer Antwort auf die gestellte Frage auf der zweiten Stufe auch eine Begründung auswählen müssen. Dieser Ansatz erlaubt es, neben der Anzahl korrekter Items auch einen Einblick in die existierenden Schülervorstellungen zu erhalten. Da vor der Unterrichtseinheit von keinem substantiellen Vorwissen zu Stromkreisen ausgegangen wird, sind im Vortest nur 11 Items zum Konzeptverständnis zu bearbeiten im Vergleich zu 18 Items im Nach- und Follow-Up-Test. Wie Tab. 2 darstellt, werden neben dem Konzeptverständnis noch weitere Konstrukte erhoben. Das verbale und figurale Denkvermögen, die wegen der angenommenen Konstanz während der Studie nur im Vortest getestet werden, wird mit Items aus dem

Berliner Intelligenzstrukturtest für Jugendliche erhoben (Jäger et al., 2006). Die Skalen für das Sach- und Fachinteresse an der Physik sind der PISA-Studie entnommen (Frey et al., 2009), während für die Erhebung des physikbezogenen Selbstkonzepts auf Skalen der IPN-Studie (Hoffmann et al., 1998) zurückgegriffen wird. In der EKo-Teilstudie werden somit aus Gründen der Vergleichbarkeit die gleichen Testinstrumente benutzt, die auch schon in der EPo-Teilstudie verwendet wurden. Pro Testzeitpunkt wird eine Bearbeitungszeit von 30–45 Minuten erwartet.

| Vortest | Nach- & Follow-Up-Test |
|--|--|
| Verbales und figurales Denkvermögen | |
| Interesse | |
| Physikbezogenes Selbstkonzept | |
| 11 grundlegende zweistufige Items zum Konzeptverständnis | |
| | 7 weitere zweistufige Items zum Konzeptverständnis |

Tab. 2: Inhalte des auszufüllenden Testhefts zu den drei Erhebungszeitpunkten

5. Nächste Schritte und Ausblick

Die EKo-Teilstudie, welche in diesem Artikel vorgestellt wird, bildet den zweiten Strang des Gesamtprojekts EPo-EKo. Entsprechend dem Zeitplan (siehe 4.2.) sind die nächsten Schritte des hier vorgestellten EKo-Projektes nach der Fertigstellung des EKo-Unterrichtskonzepts die Durchführung von Akzeptanzbefragungen mit einzelnen Schülerinnen und Schülern sowie der Einsatz des EKo-Konzepts in Pilotklassen. Daran anschließend soll das im Rahmen der EKo-Teilstudie entwickelte, kontextstrukturierte Unterrichtskonzept wie oben beschrieben im Hinblick auf seine Verständnis- und Interessenförderlichkeit quantitativ-empirisch evaluiert werden. Ferner ist geplant, auch das Unterrichtskonzept „Eine Einführung in die Elektrizitätslehre mit Potenzial und Kontexten“ mit den an der EKo-Teilstudie beteiligten Lehrkräften quantitativ-empirisch zu evaluieren. Nach Beendigung der Erhebungen innerhalb dieses Strangs wird das EPo-EKo-Gesamtprojekt mit seinem 2x2-Design, wobei Lehrkräfte mit/ohne Elektronengasmodell bzw. mit/ohne Kontextstrukturierung unterrichten, abgeschlossen sein.

6. Literatur

- Bennett, J., Hogarth, S. & Lubben, F. (2003). A systematic review of the effects of context-based and Science-Technology-Society (STS) approaches in the teaching of secondary science. University of York.
- Burde, J.-P. & Wilhelm, T. (2015). Mit elektrischem Druck die Spannung verstehen lernen. Plus Lucis, 1-2, 28-33.
- Burde, J.-P. (2018). Konzeption und Evaluation eines Unterrichtskonzepts zu einfachen

- Stromkreisen auf Basis des Elektronengasmodells. Berlin: Logos.
- Burde, J.-P., Wilhelm, T., Schubatzky, T., Haagen-Schützenhöfer, C., Ivanjek, L., Hopf, M., Dopatka, L. & Spatz, V. (2019). Re-Design des Frankfurter Unterrichtskonzepts im Rahmen von EPO-EKo. *PhyDid-B – Didaktik der Physik – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*, 253-260.
- Burde, J.-P., Dopatka, L., Spatz, V., Hopf, M., Wilhelm, T., Schubatzky, T., Haagen-Schützenhöfer, C. & Ivanjek, L. (2020). Ein kontextstrukturiertes Unterrichtskonzept mit Potenzial. *PhyDid-B - Didaktik der Physik – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*, 227-233.
- Dopatka, L., Spatz, V., Burde, J.-P., Wilhelm, T., Ivanjek, L., Hopf, M., Haagen-Schützenhöfer, C. & Schubatzky, T. (2019). Kontexte in der Elektrizitätslehre im Rahmen des Projekts EPO-EKo. In C. Maurer (Hrsg.), *Naturwissenschaftliche Bildung als Grundlage für berufliche und gesellschaftliche Teilhabe*, Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Kiel 2018, 217-220.
- Dopatka, L., Keursten, F. & Spatz, V. (2020). *Elektrizitätslehre in Kontexten (Band 1 & 2)*. Friedberg: Brigg.
- Engelhardt, P. & Beichner, R. (2004). Students' understanding of direct current resistive electrical circuits. *American Journal of Physics*, 72(1), 98-115.
- Frey, A., Taskinen, P., Schütte, K., Prenzel, M., Anrtelt, C., Baumert, J., Blum, W., Hammann, M., Klieme, E. & Pekrun, R. (2009). *PISA-2006-Skalenhandbuch. Dokumentation der Erhebungsinstrumente*. Münster: Waxmann.
- Haagen, C., Burde, J.-P., Hopf, M., Spatz, V. & Wilhelm, T. (2019). Using the electron-gas-model in lower secondary schools – a binational design-based research project. In E. McLoughlin & P. v. Kampen (Hrsg.), *Concepts, Strategies and Models to Enhance Physics Teaching and Learning (S. 3-12)*. Springer Nature Switzerland.
- Herbst, M., Fürtbauer, E.-M. & Strahl, A. (2016). Interesse an Physik. *PhyDid-B – Didaktik der Physik – Beiträge zur DPG-Jahrestagung*.
- Hoffmann, L., Häußler, P. & Lehrke, M. (1998). *Die IPN-Interessenstudie Physik*. Kiel: IPN.
- Ivanjek, L., Morris, L., Schubatzky, T., Hopf, M., Burde, J.-P., Haagen-Schützenhöfer, C., Dopatka, L., Spatz, V. & Wilhelm, T. (eingereicht). Development of a two-tier instrument on simple electric circuits. Manuskript eingereicht zur Publikation.
- Jäger, A., Holling, H., Preckel, F., Schulze, R., Vock, M., Süß, H. & Beauducel, A. (2006). *Berliner Intelligenzstrukturtest für Jugendliche: Begabungs- und Hochbegabungsdiagnostik*. Göttingen: Hogrefe.
- Kuhn, J., Müller, A., Müller, W. & Vogt, P. (2010). Kontextorientierung im Physikunterricht - Konzeptionen, Theorien und Forschung zu Motivation und Lernen. *Praxis der Naturwissenschaften - Physik in der Schule*, 59(5), 13-25.
- Kultusministerkonferenz (2005). *Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss. Beschluss vom 16.12.2004*. München: Luchterhand.
- Kunert, P., Wilhelm, T. & Junge, A. (2017). Ein Modellversuch zur Geoelektrik. *Plus Lucis*, 3, 41-43.
- Nawrath, D. (2010). *Rekonstruktion einer fachdidaktischen Konzeption für den Physikunterricht*. Oldenburg.
- Reinmann, G. (2005). Innovation ohne Forschung? Ein Plädoyer für den Design-Based Research Ansatz. *Unterrichtswissenschaft*, 33(1), 52-69.
- Rhöneck, C. v. (1986). Vorstellungen vom elektrischen Stromkreis und zu den Begriffen Strom, Spannung und Widerstand. *Naturwissenschaft im Unterricht - Physik*, 34(13), 10-14.
- Schecker, H., Wilhelm, T., Hopf, M. & Duit, R. (Hrsg.) (2018). *Schülervorstellungen und Physikunterricht*. Springer-Spektrum.
- Schreiner, C., & Sjøberg, S. (2004). Sowing the seeds of ROSE. Background, rationale, questionnaire development and data collection for ROSE (The Relevance of Science Education). Oslo: University of Oslo.
- Schubatzky, T. (2020). *Das Amalgam Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht. Eine multiperspektivische Betrachtung in Deutschland und Österreich*. Berlin: Logos.
- Shaffer, P. & McDermott, L. (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), 1003-1013.
- Taasoobshirazi, G. & Carr, M. (2008). A review and critique of context-based physics instruction and assessment. *Educational Research Review*, 3, 155-167.
- Urban-Woldron, H. & Hopf, M. (2012). Entwicklung eines Testinstruments zum Verständnis in der Elektrizitätslehre. *Zeitschrift für die Didaktik der Naturwissenschaften*, 18, 201-227.

Danksagung

Das in diesem Artikel vorgestellte Projekt „EKO – Elektrizitätslehre in Kontexten“ wird von der Deutschen Telekom Stiftung unterstützt. Hierfür bedanken wir uns herzlich.

Entwicklung des „FLexKom-Karussells“ zur Förderung experimenteller Kompetenzen

Maria Hinkelmann*, Simon Goertz*, Heidrun Heinke*

*RWTH Aachen University

maria.hinkelmann@rwth-aachen.de, goertz@physik.rwth-aachen.de, heinke@physik.rwth-aachen.de

Kurzfassung

An der RWTH Aachen werden spezielle Unterrichtsmaterialien zum **Fördern und Lernen experimenteller Kompetenzen** entwickelt und auf der Plattform FLexKom kostenlos zur Verfügung gestellt. In diesem Rahmen wurde ein Miniaturkarussell (das „FLexKom-Karussell“) konzipiert, auf dessen Basis experimentelle Module erstellt werden können. Das Karussell kann vielfältig eingesetzt werden, da sowohl Kompetenzen aus der Experimentierphase der Planung (z.B. Hypothesen formulieren) als auch Kompetenzen der Durchführung (z.B. Variablenkontrollstrategie) und Auswertung (z.B. Messunsicherheiten) durch den Einsatz dieses Karussells gefördert werden können. Im Folgenden wird zunächst der Aufbau des Karussells, ein dazugehöriges Modul zur Förderung der Variablenkontrollstrategie und zuletzt eine erste außerschulische Erprobung vorgestellt. Das Modul wurde in zwei verschiedenen Versionen konzipiert. Eine Ausführung fokussiert auf Schülerinnen und Schüler (SuS) der Sekundarstufe I und eine zweite auf SuS der Oberstufe.

1. Einleitung

Der „PISA-Schock“ Anfang der 2000er Jahre war der Anstoß zu einer grundlegenden Diskussion über das deutsche Bildungssystem. Seit der Überarbeitung der Bildungsstandards sowie der Kernlehrpläne soll besonders den prozessbezogenen Kompetenzen im Unterricht eine größere Bedeutung zuteilwerden, weshalb gerade dem Experimentieren im Physikunterricht ein hoher Stellenwert zugesprochen wurde (vgl. MSB NRW, 2019, S. 9). Eigenständiges und strukturiertes Experimentieren ist ein wesentlicher Bestandteil bei der Vermittlung einer vertieften naturwissenschaftlichen Grundbildung. Es sollen nicht nur physikalisches Wissen, sondern insbesondere die Auseinandersetzung mit den „spezifischen Methoden der Erkenntnisgewinnung und deren Grenzen“ sowie „typische theorie- und hypothesengeleitete Denk- und Arbeitsweisen“ im Fokus stehen. Die beim Experimentieren zu erlernenden Kompetenzen ermöglichen den SuS „eine aktive Teilhabe an gesellschaftlicher Kommunikation und Meinungsbildung“ und sind somit ein „wesentlicher Bestandteil von Allgemeinbildung“ (MSB NRW, 2019, S. 9).

Die Plattform „FLexKom“¹ knüpft an diesem Punkt an, indem sie verschiedene Unterrichtsmaterialien anbietet, die speziell zum **Fördern und Lernen experimenteller Kompetenzen** konzipiert werden (vgl. Goertz et al., 2019, S. 266). Die Module werden so gestaltet, dass sie von SuS ab der siebten Jahrgangsstufe

bearbeitet werden können. Das für die Bearbeitung benötigte physikalische Hintergrundwissen wird dabei als bereits bekannt vorausgesetzt oder genügend reduziert, sodass die Module inhaltlich lediglich der Wiederholung bzw. Vertiefung dienen und der Fokus auf die experimentellen Kompetenzen gelegt werden kann (vgl. ebd.). Bei unbekanntem physikalischen Inhalt werden diese in Alltagssituationen eingebettet, damit die SuS eine Grundvorstellung haben bzw. entwickeln können und ihnen das restliche Fachwissen während der Bearbeitung des Moduls vermittelt werden kann (vgl. Klein, 2018, S. 11). FLexKom-Module können im Regelfall sowohl als Schüler- als auch als Demonstrationsexperiment eingesetzt werden. Eine Besonderheit ist, dass sie typischerweise auch zu individuell gestaltbaren Lernzirkeln flexibel kombiniert werden können, in denen die Module dann die einzelnen Stationen bilden (vgl. Goertz et al., 2020, S. 114). Aus den Rahmenbedingungen der Lernzirkel ergeben sich die Bearbeitungsdauern der Module und damit Stationen der Lernzirkel zu 8 bis 15 min.

Für die Konzipierung weiterer Module wurde ein Miniaturmodell eines Kettenkarussells entwickelt, welches in mehreren Modulen zur Förderung verschiedener experimenteller Kompetenzen zum Einsatz kommen soll.

In diesem Artikel werden sowohl die Entwicklung und Erprobung des Karussells, ein erstes Modul, in

¹ www.sciphylab.de/flexkom (Stand: 07.05.2021)

welchem das Karussell genutzt wird, und ein Ausblick auf mögliche Weiterentwicklungen vorgestellt.

2. Das FLeXKom-Karussell

Ziel der Entwicklung des „FLeXKom-Karussells“ war es, ein schülerfreundliches, leicht zu bedienendes und kompaktes Miniaturmodell eines Kettenkarussells zu konstruieren, auf dessen Basis verschiedenste FLeXKom-Module entworfen werden können. Sowohl die Frequenz als auch die Masse der Gondeln sollten variabel einstellbar sein. Es wurde erwartet, dass die Gondeln bei ausreichend hohen Frequenzen der Drehung sichtbar ausgelenkt werden und eine Möglichkeit gefunden wird, diese Auslenkung zuverlässig zu bestimmen. Außerdem sollte das Karussell für den Schuleinsatz geeignet sein, weshalb es sowohl robust als auch sicher sein musste. Vor dem Hintergrund dieses Anforderungsprofils wurde ein Modell eines Karussells entwickelt, dessen Foto in Abbildung 1 zu sehen ist.



Abb.1: Foto des "FLeXKom-Karussells". Der Drehknopf steuert über ein Potentiometer die Drehgeschwindigkeit. Die roten Sensormodule (SensorTags) dienen der Bestimmung der Frequenz über die App phyphox und lassen sich aus den Halterungen herausnehmen. Der Strahl eines in einer Gondel verbauten Lasers wird zum Ablesen des Auslenkwinkels genutzt.

Das Karussell zeichnet sich durch einen stand- und rutschfesten Fuß aus, in welchem ein Drehmotor und ein Temperatursensor² verbaut sind. Als Drehmotor wird ein Schrittmotor der Firma joy-it³ verwendet. Dieser wird über einen Arduino⁴, an den ein Drehpotentiometer⁵ zur Geschwindigkeitsregulierung angeschlossen ist, gesteuert.

² Firma Conrad: <https://www.conrad.de/p/156600.html>, abgerufen am 07.05.2021

³ Firma Conrad: <https://www.conrad.de/2142507.html>, abgerufen am 07.05.2021

⁴ Firma Reichelt: <https://www.reichelt.de/1-p215774.html?r=1>, abgerufen am 07.05.2021

Der Drehmotor ist über eine Achse mit dem Schirm verbunden, an dem vier weitgehend identische Gondeln befestigt sind. Diese sind beweglich befestigt und besitzen eine maßgefertigte Haltevorrichtung für ein Sensormodul SensorTag der Firma Texas Instruments. Dabei handelt es sich um ein Bauteil, das über ähnliche Sensoren wie ein Smartphone verfügt und über die App phyphox mit einem Endgerät verbunden und ausgelesen werden kann. Der SensorTag wurde zur Bestimmung der Drehfrequenz des Karussells eingesetzt (siehe Abschnitt 2.2). Zusätzlich besitzt jede Gondel ein gesondertes Fach, um durch Massestücke das Gewicht einer Gondel schrittweise zu erhöhen. Die Gondel inkl. SensorTag wiegt 83,4 g und kann durch bis zu vier Massestücke à 10 g beschwert werden.

2.1. Bestimmung der Auslenkung der Gondeln

Zur Bestimmung des Auslenkwinkels der Gondeln sollte zunächst der Neigungssensor der SensorTags genutzt werden. Durch die bei der Kreisbewegung zusätzlich wirkenden Kräfte musste diese Methode jedoch verworfen werden. Stattdessen ist am Rand einer der Gondeln ein Laser der Laserklasse II⁶ entlang der Aufhängung so befestigt, dass über den abgestrahlten Laserstrahl der Auslenkwinkel bestimmt werden kann (siehe Abbildung 1).

Der Laserstrahl trifft eine Messskala, die auf dem Karussellfuß beginnt und für höhere Auslenkwinkel auf dem Boden bzw. an einer Messwand fortgesetzt wird. Damit die Konstruktion nicht zu groß wird, wurde eine Messwand konzipiert, die in einem festen Abstand von dem Karussell platziert wird, sodass an ihr höhere Winkel abgelesen werden können. Einen Überblick über das Messprinzip und die drei verschiedenen Messbereiche gibt Abbildung 2.

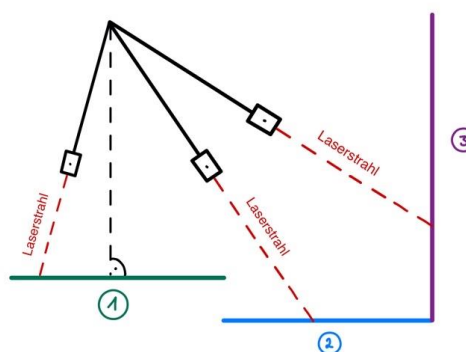


Abb.2: Überblick über die drei Bereiche der Messvorrichtung. Bereich 1 bezeichnet den Messbereich auf dem Fuß des Karussells, Bereich 2 den Messbereich auf dem Boden und Bereich 3 die Messwand zum Ablesen höherer Winkel.

⁵ Firma Conrad: <https://www.conrad.de/1438022.html>, abgerufen am 07.05.2021

⁶ In der finalen Version des Karussells soll ein Laser der Laserklasse I verbaut werden, um Sicherheitsrisiken im Schulbetrieb auszuschließen.

Zu beachten ist, dass die Gondeln bei Stillstand nicht gerade nach unten hängen, sondern durch die Form der Gondeln um ca. $2,4^\circ$ nach innen geneigt sind. Die Gondeln sind nicht mittig, sondern an der Vorderseite der Aufhängung befestigt und auch die Aufhängung ist nicht masselos, was den Schwerpunkt zusätzlich verschiebt und dafür sorgt, dass die Gondeln bei Stillstand nach innen geneigt sind. Dieser Offset-Winkel ist in den Berechnungen mit einzubeziehen.

Über trigonometrische Betrachtungen, die für jeden der drei Bereiche separat vorgenommen werden, lassen sich die einzelnen Bereiche der Messvorrichtung konstruieren. Winkel bis 15° werden auf dem Fuß des Karussells (Bereich 1) abgelesen, zwischen 20° und 30° auf dem Boden (Bereich 2) und höhere Winkel an der Messwand (Bereich 3). Abbildung 3 zeigt die mit diesen Zusammenhängen entwickelte Messvorrichtung.

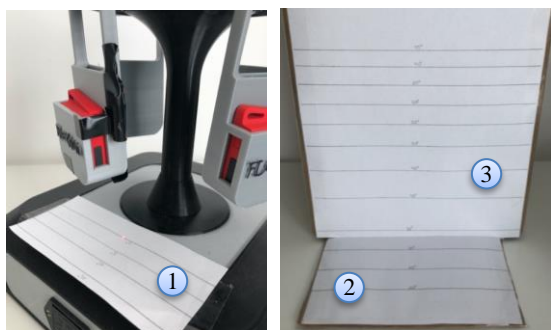


Abb.3: Messskala zum Ablesen des Winkels. Winkel von 0° bis 15° werden auf dem Fuß des Karussells (Bereich 1) abgelesen und von 20° bis 30° auf dem Boden (Bereich 2). Ab 35° trifft der Laser die Messwand (Bereich 3).

2.2. Bestimmung der Frequenz mittels phyphox

Um die Frequenz des Karussells zu bestimmen, wird der Magnetfeldsensor eines SensorTags ausgelesen. Über die periodischen Schwankungen im Erdmagnetfeld bei der Drehung des Karussells wird mit einem speziell erstellten Experiment der App phyphox eine Umdrehung identifiziert. Zur Verarbeitung des Signals und Ermittlung der Drehrate wurden zwei Methoden getestet: die Autokorrelation und die Fourier-Transformation der Daten.

Bei der Autokorrelation wird das Signal mit einer früheren Version seiner selbst verglichen. So kann ein Zusammenhang der Messdaten zu verschiedenen Zeitpunkten erfasst werden, woraus phyphox auf eine Frequenz schließen kann. Diese Messmethode stellt sich als sehr zuverlässig und vergleichsweise schnell heraus. Allerdings können ab einer Frequenz von ca. 1,6 Hz nur noch etwa sechs Datenpunkte pro Periode ermittelt werden, weshalb diese Methode für sehr schnelle Drehungen keine brauchbaren Ergebnisse liefern kann. Die Fourier-Transformation umgeht das Problem der geringen Zahl von Messpunkten, indem es ein zeitdiskretes Signal auf ein kontinuierliches, periodisches Frequenzspektrum abbildet. Allerdings erfordert diese Messmethode eine Zeit von sieben bis

neun Sekunden pro Messpunkt, weshalb sie zwar genutzt wurde, um größere Frequenzen zu betrachten und die Messergebnisse in diesem Bereich mit der Theorie zu vergleichen, aber nicht im praktischen Einsatz in dem Modul „Wer hat an den Variablen gedreht?“ verwendet werden soll.

Die ermittelte Frequenz wird von phyphox mit einer Genauigkeit von zwei Nachkommastellen angegeben. Es wurde aber auch eine Version getestet, die nur eine Nachkommastelle ausgibt. Bei dieser Version nehmen die Werte in 0,1 Hz-Schritten zu, bei der anderen Version steigt die Frequenz nicht gleichmäßig. Für kleine Frequenzen nimmt sie in 0,03 Hz-Schritten zu, während die Schrittabstände bei höheren Frequenzen größer werden, sodass bei Frequenzen um 1,6 Hz Sprünge von bis zu 0,06 Hz möglich sind. Einen Überblick über die Eigenschaften der beiden Methoden soll Tabelle 1 vermitteln.

| | | Autokorrelation | Fourier-Transformation |
|-------------------------|---------------------|---------------------------|---------------------------------|
| Empirischer Messbereich | | $f \leq 1,6 \text{ Hz}$ | bis $f_{\max} = 2,6 \text{ Hz}$ |
| Messdauer pro Messpunkt | | nicht wahrnehmbar | 7 bis 9 Sekunden |
| Δf | für kleine f | $\approx 0,03 \text{ Hz}$ | $\approx 0,03 \text{ Hz}$ |
| | für f nahe 1,6 Hz | $\approx 0,06 \text{ Hz}$ | $\approx 0,06 \text{ Hz}$ |

Tabelle 1: Vergleich der beiden Datenanalysemethoden Autokorrelation und Fourier-Transformation. Δf sind die Frequenzsprünge, die bei beiden Methoden mit zunehmender Frequenz größer werden.

2.3. Programmierung des Arduino

Im Folgenden soll die Funktionsweise des Codes, mit dem der Arduino das Karussell steuert, grob erläutert werden. Zur Einstellung der Geschwindigkeit des Karussells gibt das Drehpotentiometer die Motorgeschwindigkeit vor, die der Arduino an den Drehmotor weitergibt. Die Motorgeschwindigkeit wird dabei in 200 Einheiten unterteilt. Wird der Widerstand am Potentiometer über den Drehknopf erhöht, so wird das Karussell beschleunigt. Dabei wird die Geschwindigkeit in Intervallen von 500 ms um jeweils eine Einheit erhöht, bis der gewünschte Wert erreicht ist. Wird die Geschwindigkeit wieder verringert, gibt der Arduino die neue Motorgeschwindigkeit wieder an den Motor weiter. Dieser arbeitet so lange gegen die Trägheit des Karussells an, bis die eingestellte Geschwindigkeit erreicht ist. Als Maximalwert wurde zunächst der Wert 160 (von maximal 200) gewählt, was in etwa einer Frequenz von 2,6 Hz und einem Auslenkwinkel von 75° entspricht. Experimentell konnte festgestellt werden, dass das Karussell bei höheren Geschwindigkeiten zu wackeln beginnt und nicht mehr stabil steht. Deshalb wurde der Wert 160 als Maximalwert festge-

legt. Um einen möglichst flüssigen Start des Karussells gewährleisten zu können, wurde eine minimale Geschwindigkeit von 3 Einheiten eingestellt. Gibt das Potentiometer also einen Wert unter 3 Einheiten an den Arduino weiter, erhält der Motor keinen Befehl mit der Beschleunigung zu starten. Zur Überwachung der Temperatur des Drehmotors ist ein Temperatursensor an diesen angebracht worden. Erreicht das Gehäuse des Motors eine Temperatur von über 60 °C, schaltet der Arduino den Motor automatisch aus. Dieser Fall trat in der Erprobung einmal auf, nachdem das Gerät etwa 5 Stunden bei einer Raumtemperatur von über 30 °C in dauerhafter Benutzung war. Während eines Schuleinsatzes sollte die Temperaturgrenze somit nicht erreicht werden.

Der Code wurde so programmiert, dass das Karussell in der Lage ist, eigenständig auf jede in dem vorgesehenen Rahmen liegende Geschwindigkeit schrittweise zu beschleunigen. Kleinere Probleme sollen noch behoben werden. Beispielsweise benötigt das Karussell eine gewisse Zeit für die Beschleunigung, da der Motor sonst durchzudrehen beginnt. Durch eine längere Testphase und Variation der Parameter könnte dieser Vorgang verkürzt werden. Gleiches gilt für den Start des Karussells, da dieser zum aktuellen Stand nur ruckelnd und mit lauten Geräuschen umsetzbar ist, die dem Gerät zwar nicht schaden, aber die Experimentator*innen verunsichern können. In seltenen Fällen dreht sich das Karussell beim Start rückwärts. Sollte dies geschehen, ist es zu empfehlen, das Karussell ganz auszuschalten und neu zu starten. Für diesen Effekt konnte die Ursache noch nicht festgestellt werden.

3. Modul „Wer hat an den Variablen gedreht?“⁷

Das Karussell bietet eine Vielzahl von Möglichkeiten verschiedene Module zur Planung, Durchführung oder zur Auswertung von Experimenten zu entwickeln. In dem Modul „Wer hat an den Variablen gedreht?“ wird die Variablenkontrollstrategie mit besonderem Fokus auf die Teilkompetenz „Interpretieren des Ergebnisses von kontrollierten Experimenten“ (vgl. Chen und Klahr, 1999) gefördert. Die systematische Variation von Variablen stellt eine grundlegende und zugleich bedeutsame wissenschaftliche Arbeitsweise dar, die vielen SuS Schwierigkeiten bereitet. Carey et al. stellten fest, dass besonders jüngere SuS den Ansatz eines variablenkontrollierten Experiments nur schwer nachvollziehen können (vgl. Carey et al., 1989, S. 514). Der physikalische Hintergrund, der zum Verständnis der Vorgänge notwendig ist, kann bei SuS der siebten Jahrgangsstufe nicht vorausgesetzt werden, weshalb das Arbeitsblatt sowohl in einer Version für die Sekundarstufe II als auch mit

Anpassungen in einer zweiten Version für die Sekundarstufe I entwickelt wurde. In der Sekundarstufe I wurde der Fokus auf die methodischen Fähigkeiten gelegt und das physikalische Verständnis in den Hintergrund gestellt.

In dem Modul möchten fiktive Personen (Ferdinand und seine Kollegin Marga, die den SuS bereits aus anderen Modulen bekannt sein können) die Abhängigkeit des Auslenkwinkels der Gondeln eines Kettenkarussells auf der Kirmes von der Bahngeschwindigkeit bzw. der Frequenz und der Masse der Gondeln herausfinden. Die SuS sollen den beiden bei dieser Aufgabe behilflich sein.

3.1. Arbeitsblatt für die Sekundarstufe I

Die SuS sollen in Arbeitsauftrag 1 angeleitet Messwerte aufnehmen, um die Abhängigkeit des Auslenkwinkels von der Geschwindigkeit/Frequenz herauszufinden. Dazu müssen sie zunächst einen der SensorTags einschalten, das Experiment in der App phyphox starten und den SensorTag verbinden. Anschließend sollen sie die Geschwindigkeit des Karussells schrittweise erhöhen und die entsprechenden Auslenkwinkel ablesen. Damit die SuS die Werte einfacher dokumentieren können, wird an dieser Stelle eine vorgefertigte Tabelle angeboten. Um eine Sensibilität für die Variablenkontrollstrategie zu entwickeln, wird darauf hingewiesen, dass die Masse bei diesen Messungen unverändert bleiben muss. In Arbeitsauftrag 2 müssen die SuS die Messergebnisse interpretieren und daraus Schlüsse über den Zusammenhang zwischen dem Auslenkwinkel und der Geschwindigkeit ziehen. Anschließend sollen sie ihre Schlussfolgerungen vergleichen und notieren, welche Variablen sie variiert bzw. konstant gehalten haben und wieso ihnen dieses Vorgehen eine eindeutige Aussage erlaubt. Somit werden sie nicht nur angeleitet nach den Grundsätzen der Variablenkontrollstrategie zu experimentieren, sondern reflektieren ihre Vorgehensweise selbstständig.

Die Arbeitsaufträge 3 und 4 sind den ersten beiden sehr ähnlich. Hier soll eine feste Frequenz von 0,83 Hz eingestellt werden, wobei die Masse schrittweise erhöht wird und die Auslenkwinkel in einer Tabelle notiert werden. Die SuS werden wieder darauf hingewiesen, dass die Frequenz dabei konstant sein muss, um das Vorgehen bei der Variablenkontrolle deutlich zu machen. Anschließend sollen aus den Ergebnissen Schlussfolgerungen über den Zusammenhang zwischen Winkel und Masse gezogen werden. Dazu werden die SuS aufgefordert ihre Vermutungen in der Gruppe zu vergleichen und zu notieren, welche Variablen verändert oder konstant gehalten wurden. Besonders schnelle SuS sollen in einer Zusatzaufgabe das gelernte Wissen auf eine neue Situation übertragen. Es werden Messdaten zu einem Experiment auf

⁷ Die Materialien zum Modul „Wer hat an den Variablen gedreht?“ sind unter folgendem Link einzusehen: https://www.sciphylab.de/wp/wp-content/uploads/2021/03/Material-zur-Station_.pdf

der schiefen Ebene präsentiert, aus denen sie schlussfolgern sollen, welchen Einfluss die verschiedenen Variablen auf die Rutschgeschwindigkeit haben. In den Sachzusammenhang wird dieses Experiment eingebunden, indem eine Teppichrutsche auf der Kirmes betrachtet wird. Ferdinand und Marga rutschen zunächst allein und anschließend zusammen, jeweils erst ohne und dann mit Teppich. Die notierten Zeiten sowie ihr eigenes Gewicht sind in einer Tabelle vermerkt. Die SuS sollen mittels dieser fiktiven Daten herausfinden, dass die Masse keinen Einfluss auf den Ausgang des Experiments hat, im Gegensatz zu dem Material, auf dem gerutscht wird. Zuletzt sollen sie erneut die Verbindung zur Variablenkontrolle ziehen und notieren, auf welche Art und Weise sie die Zeiten verglichen haben, um eindeutige Schlüsse ziehen zu können.

Auf dem Arbeitsblatt für die Sekundarstufe I wird der Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit und Frequenz nur oberflächlich erklärt und von da an die Bezeichnung Geschwindigkeit im Sinne einer didaktischen Reduktion verwendet. Der Begriff der Geschwindigkeit ist den SuS bekannt und im Sachzusammenhang zugänglicher.

3.2. Arbeitsblatt für die Sekundarstufe II

In der Version des Arbeitsblattes für die Sekundarstufe II werden tiefergehende physikalische Grundkenntnisse als bei der oben beschriebenen Version für jüngere SuS vorausgesetzt. Insbesondere wird auf dem Arbeitsblatt für SuS der Sekundarstufe II statt des Begriffs Geschwindigkeit die Bezeichnung Frequenz verwendet, da ein näheres Verständnis des Frequenzbegriffs vorausgesetzt werden kann. Außerdem sollen die SuS der Oberstufe in der Lage sein, den experimentell ermittelten Zusammenhang durch ihr tiefergehendes physikalisches Wissen zu erläutern. Dafür sollen sie in Ansätzen erklären, wieso der Auslenkwinkel der Gondeln mit steigender Frequenz zunimmt und weshalb die Masse der Gondeln keinen Einfluss auf die Auslenkung hat. Zur Unterstützung wird auf einer Hilfekarte der Zusammenhang zwischen der Frequenz und der Bahngeschwindigkeit angesprochen und die formelle Herleitung des Zusammenhangs der Größen angerissen. Darin wird deutlich, dass mit zunehmender Frequenz auch der Auslenkwinkel der Gondeln zunimmt und die Masse aus

der Formel gekürzt werden kann, sodass sie keinen Einfluss auf den Winkel hat.

Die Arbeitsaufträge sind prinzipiell mit denen für die jüngeren SuS vergleichbar: In beiden Versionen der Arbeitsblätter sollen die SuS mit Hilfe des Arbeitsblatts angeleitet Messwerte aufnehmen, um die Abhängigkeit des Auslenkwinkels von der Geschwindigkeit/Frequenz des Karussells und von weiteren Variablen herauszufinden.

3.3. Erste außerschulische Erprobung

Aufgrund der Covid-19-Pandemie war es nicht möglich, das erstellte Modul planmäßig im Schuleinsatz zu erproben. Um dennoch ein erstes Feedback über die Verständlichkeit und Bearbeitungsdauer der Arbeitsaufträge zum Modul zu erhalten, wurde das Modul von vier Proband*innen in Einzelarbeit getestet. Bei diesen handelte es sich um Studierende der RWTH Aachen, die jedoch nicht Physik studieren und somit lediglich auf ihr Grundwissen aus Abiturzeiten zurückgreifen können.

Während der Bearbeitungen wurde die Zeit gestoppt und anschließend wurden Interviews zu Unklarheiten oder Verbesserungsvorschlägen geführt. Die Interpretation der Daten unterliegt naturgemäß der Einschränkung, dass die Proband*innen nicht der Zielgruppe entsprechen und eine sehr kleine Stichprobe darstellen. Die Ergebnisse können deshalb nur einen ersten Eindruck vom Umgang von Nutzer*innen mit dem entwickelten Modul gewähren. Vor einer endgültigen Aufnahme in das Angebot der Plattform FLexKom muss eine ausführlichere Erprobung mit einer größeren Gruppe von SuS durchgeführt werden. Da für dieses Modul ein Arbeitsblatt speziell für die Sekundarstufe I und eines für die Sekundarstufe II erstellt wurden, die sich in einigen Formulierungen oder Aufgabenteilen unterscheiden, aber beide erprobt werden sollten, wurde jedes Blatt jeweils zweimal bearbeitet. Der experimentelle Teil blieb dabei gleich. Zusätzlich erhielten alle Proband*innen im Nachhinein zusätzlich die andere Version des Arbeitsblatts zum Vergleich und konnte auch dazu Feedback geben.

Die durchschnittlich benötigte Zeit zur Bearbeitung der regulären Aufgaben betrug 12:55 min. Für die Zusatzaufgabe wurden im Schnitt zusätzliche 2:37 min benötigt. Einen Überblick über die Bearbeitungszeiten der Proband*innen liefert Tabelle 2.

| | Proband*in A (Sek I) | Proband*in B (Sek I) | Proband*in C (Sek II) | Proband*in D (Sek II) | Durchschnitt |
|---------------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------|
| t _{Aufgaben} [min:sek] | 14:18 | 13:23 | 12:12 | 11:50 | 12:55 |
| t _{Zusatz} [min:sek] | 03:08 | 03:30 | 02:00 | 01:50 | 02:37 |
| t _{Gesamt} [min:sek] | 17:26 | 16:53 | 14:12 | 13:40 | 15:32 |
| Hilfekarte | - | - | nein | nein | |

Tabelle 2: Ergebnisse der ersten außerschulischen Erprobung des Moduls "Wer hat an den Variablen gedreht?", die von vier Studierenden der RWTH Aachen durchgeführt wurde. Die Tabelle zeigt insbesondere die Bearbeitungszeiten in Minuten. Je zwei Proband*innen bearbeiteten die Versionen, die für die Sekundarstufe I und II erstellt wurden. Die Hilfekarte, die Unterstützung bei der fachlichen Aufgabe in der Version für die Sekundarstufe II bieten soll, wurde von beiden Proband*innen nicht verwendet.

Bei der Erprobung wurde deutlich, dass es problematisch ist, eine intuitive Bedienung des Karussells vorauszusetzen. Alle Proband*innen arbeiteten zu Beginn sehr vorsichtig, um das Gerät nicht zu beschädigen. Hinweise auf die Eigenheiten des Geräts, die bereits in Abschnitt 2.3 besprochen wurden, stellten sich nicht nur als hilfreich, sondern auch als notwendig und enorm zeitsparend heraus. So verunsicherten die Geräusche beim Start die Proband*innen sichtbar und verzögerten den Experimentierprozess deutlich. Sollte das Modul als Station in einem Lernzirkel eingesetzt werden, hat die Lehrperson typischerweise nicht die Möglichkeit bei allen Stationen zu assistieren und Fragen zu beantworten. Eine genaue Anleitung für das Karussell würde das Arbeitsblatt allerdings überfüllen. Dadurch ergeben sich zwei Möglichkeiten für die Lehrperson, um das Modul in Schülerarbeitsphasen einzusetzen. Optimaler Weise sollte das Karussell vor Beginn des Einsatzes einmal vor der gesamten Klasse vorgeführt und die Bedienung erläutert werden. Sollte dafür keine Zeit sein, wurde zusätzlich eine kurze Bedienungskarte zu dem Karussell erstellt, welche alle nötigen Hinweise zu einer einfachen und schnellen Bedienung geben soll. Diese kann den SuS entweder in der Stunde vor dem Einsatz des Experiments mitgegeben werden, um bereits Vorfreude auf diese Arbeit mit dem Gerät zu schaffen, oder am Gerät bereitgestellt werden. Da auch ohne diese Karte die durchschnittliche Bearbeitungszeit der Probanden bei 12:55 min lag, sollte sich die Station für Lernzirkel eignen, die für Doppelstunden konzipiert werden und somit bei 5 Stationen eine Dauer von 12-15 min pro Station erlauben. Sollten SuS deutlich schneller arbeiten, da die Bedienungskarte ihren Zweck erfüllt, sie das Karussell schon kennen oder schlichtweg mutiger an das Gerät treten und durch Ausprobieren zügig vorankommen, bietet die Zusatzaufgabe einen angemessenen zeitlichen Puffer.

Außerdem hatten einige der Proband*innen Probleme, den Arbeitsauftrag der Zusatzaufgabe zu verstehen. Mehrfach wurde versucht, eine physikalische Begründung zu geben, anstatt auf die Variablenkontrolle zu schließen. Aus diesem Grund wurde die Aufgabenstellung angepasst und direkt nach den variierten bzw. konstant gehaltenen Variablen gefragt:

„Welche Einträge der Tabelle habt ihr miteinander verglichen? Welche Variablen habt ihr beim Vergleichen konstant gehalten und welche habt ihr verändert?“

Ein weiteres Problem war, dass sich die gemessenen Winkel bei verschiedenen Massen scheinbar unterschieden. Bei der Erprobung wurde eine Version des phyphox-Experiments verwendet, die die Frequenz nur mit einer Nachkommastelle angibt. Diese Version wurde erstellt, um die SuS nicht durch die unregelmäßigen Frequenzsprünge (beispielsweise von 0,80 Hz auf 0,83 Hz), die in Abschnitt 2.2 angesprochen wurden, zu verunsichern. Bei der Aufgabe wurde eine Frequenz von 0,8 Hz vorgegeben, bei der mehrfach

der Auslenkwinkel bei schrittweiser Erhöhung der Masse einer der Gondeln gemessen werden sollte. Da phyphox jedoch zwischen ca. 12° und 15° bei einer Anzeige mit einer Nachkommastelle immer eine Frequenz von 0,8 Hz anzeigt, konnte zufällig sowohl ein Anstieg wie auch ein Abfall des Auslenkwinkels interpretiert werden. Besonders wenn die SuS vor dem Versuch überzeugt sind, den Ausgang des Experiments zu kennen, interpretieren sie die Ergebnisse oft im Sinne ihrer Vorstellung. Um dem entgegenzuwirken, wurde die Version des Experiments in phyphox, die nur eine Nachkommastelle angibt, verworfen und es soll wieder die Version mit zwei Nachkommastellen verwendet werden. Die Frequenzsprünge sind dadurch nicht mehr 0,1 Hz, sondern bei kleinen Frequenzen nur noch ca. 0,03 Hz groß. Dadurch streuen die Winkel deutlich weniger, was die Chance auf ein eindeutiges Ergebnis erhöht.

Von allen Proband*innen wurde kommentiert, dass ihnen die Arbeit mit dem Karussell viel Freude bereitet hat und sie eine neue sowie originelle Experimentierweise darstellt. Außer der unklar gestellten Aufgabenstellung der Zusatzaufgabe, konnte der Rest der Arbeitsblätter ohne weitere Probleme bearbeitet werden. Der Schwierigkeitsgrad wurde als angemessen eingeschätzt.

4. Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Artikel wurden einerseits die Entwicklung und Erprobung des „FLexKom-Karussells“ und andererseits die Konzipierung eines Moduls, in welchem das Karussell eingesetzt wird, beschrieben.

Dabei wurden der Aufbau des Karussells sowie die Programmierung des Arduino erläutert, welche eine schülerfreundliche Bedienung des „FLexKom-Karussells“ ermöglichen. Zudem wurden Bedienungshinweise gegeben und weitere Verbesserungsvorschläge zur Optimierung des Karussells aufgezeigt. Zuletzt wurden das Modul mit seinen Arbeitsaufträgen und die Ergebnisse einer ersten außerschulischen Erprobung präsentiert.

Im Hinblick auf eine technische Weiterentwicklung des „FLexKom-Karussells“ soll die in Abschnitt 2.1 beschriebene Messwand zukünftig durch eine zylinderförmige Plexiglasscheibe ersetzt werden, die in eine Fassung am Karussellfuß eingesetzt werden kann. Dadurch wird nicht nur die Möglichkeit geschaffen, den Winkel von allen Seiten des Karussells abzulesen, sondern zusätzlich verhindert, dass SuS in das drehende Karussell fassen und sich so verletzen können. Es soll zudem überprüft werden, ob die Montage von Lasern an mehr als einer Gondel das Ablesen der Auslenkwinkel weiter erleichtern würde. Weiterhin sollen die in Abschnitt 2.3 angesprochenen kleinen Probleme des Karussells in der Startphase durch die Optimierung des Codes verbessert werden. Außerdem ist angedacht, weitere Module zu dem Karussell als Ergänzung des Aufgabenpools der Plattform FLexKom zu entwickeln. Eine Möglichkeit wäre bei-

spielsweise die Grenzen der Sensoren bewusst in einem Modul zu nutzen, in dem die SuS größere Frequenzen messen und eigenständig die Schlussfolgerung ziehen sollen, dass die Messdaten nur bis zu einem gewissen Bereich aussagekräftig sind. Gleiches gilt für die Eigenschaften der verschiedenen Datenanalyseverfahren, bei denen SuS Vor- und Nachteile der beiden phyphox-Experimente ermitteln können. Zur Kompetenz „Experiment planen“ würde es sich anbieten, die SuS ein Konzept entwickeln zu lassen, wie man alternativ zum Sensoreinsatz mithilfe einer Stoppuhr auf die Geschwindigkeit des Karussells schließen könnte.

Die erste außerschulische Erprobung zeigte durchschnittliche Bearbeitungszeiten der Proband*innen von ca. 13 min. Es bleibt zu überprüfen, ob die erfolgte Erstellung einer zusätzlichen Bedienungskarte für das Karussell eine schnellere und leichtere Handhabung gewährleistet und dadurch der Experimentierprozess optimiert wird. Bereits in der jetzigen Fassung der Arbeitsblätter erscheint das Modul auch für den Einsatz in Lernzirkeln mit einer entsprechend ausreichenden Bearbeitungsdauer der einzelnen Stationen und einer beispielhaften Gesamtdauer von 90 min geeignet. Das FLexKom-Karussell und die zugehörigen Arbeitsblätter sollen im Schuleinsatz erprobt werden, sobald die Rahmenbedingungen der Pandemie dies erlauben.

5. Literatur

- Ministerium für Schule und Bildung des Landes Nordrhein-Westfalen (MSB NRW) (2019). Kernlehrplan für die Sekundarstufe I Gymnasium in Nordrhein-Westfalen - Physik. url: www.schulentwicklung.nrw.de/lehrplaene/lehrplan/208/g9_ph_klp_%203411_2019_06_23.pdf (abgerufen am: 15.05.2021).
- Carey, S., R. Evans, M. Honda, E. Jay und C. Unger (1989). ‘An experiment is when you try it and see if it works’: a study of grade 7 students’ understanding of the construction of scientific knowledge. In: *International Journal of Science Education* 11.5, S. 514 - 529. issn: 0950-0693. doi: 10.1080/0950069890110504.
- Chen, Z. und D. Klahr (1999). All other things being equal: acquisition and transfer of the control of variables strategy. In: *Child development* 70.5, S. 1098 - 1120. issn: 0009-3920. doi: 10.1111/1467-8624.00081.
- Goertz, S., P. Klein, J. Riese und H. Heinke (2019). Die Plattform „FLexKom“ zur Förderung experimenteller Kompetenzen – Konzept und Einsatzbeispiele. In: *PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung 2019*, Aachen.
- Goertz, S., B. D. Götze und H. Heinke (2020). Unterstützung für Lehrkräfte beim Umgang mit Messdaten im Physikunterricht. In: S. Habig (Hrsg.), *Naturwissenschaftliche Kompetenzen in der Gesellschaft von morgen*. Gesellschaft für Didaktik der

- Chemie und Physik, Jahrestagung in Wien 2019. Universität Duisburg-Essen, S. 114 - 117.
- Klein, P. (2018). Entwicklung eines Lernzirkels zur Förderung experimenteller Kompetenzen in der Sekundarstufe I - Eine erste Anwendung der neu konzipierten Plattform FLexKom. Masterarbeit. Aachen: I. Physikalisches Institut A der RWTH Aachen University.

Moderne Physik im Lehr-Lern-Labor

**Tobias Reinsch*, Holger Cartarius⁺, Axel-Thilo Prokop*, Richard Kemmler*,
Philipp Scheiger*⁺, Katharina Stütz*, Ronny Nawrodt***

* 5. Physikalisches Institut, Abt. Physik und ihre Didaktik, Pfaffenwaldring 57, 70569 Stuttgart

⁺ AG Fachdidaktik der Physik und Astronomie, Friedrich-Schiller-Universität Jena, 07743 Jena

treinsch@pi5.physik.uni-stuttgart.de

Kurzfassung

Immer mehr Themen drängen sich mittelfristig in unseren Alltag. Aktuell beginnen moderne Quantentechnologien Einzug in Industrie und nachfolgend auch in unsere tägliche Lebenswelt zu halten. Damit einher geht die Notwendigkeit nach einem tiefgreifenden Verständnis komplexer Zusammenhänge, die im Minimum durch eine geeignete Schulausbildung untermauert werden müssen. Hierbei muss ein besonderes Augenmerk auf zukünftige Lehrkräfte gelegt werden, wobei umfassende experimentelle Fertigkeiten gefordert werden, die im Lehramtsstudium bisher nur eine nebengeordnete Rolle spielen. Wir präsentieren im Rahmen dieser Arbeit einen ersten Entwurf für die Eingliederung dieser Themen in das Studium. So sollen die Grundlagen der Themen moderner Physik im Zuge eines Lehr-Lern-Labors erlernt und ausprobiert werden. Dies umfasst zum einen optische Aufbauten, mit welchen quantenmechanische Analogieexperimente durchgeführt werden können. Zum anderen werden für die Auswertung von Einzelphotonenmessungen digitale Zähler und das nötige Verständnis elektronischer Schaltungen benötigt und erlernt.

1. Einleitung

Die moderne Physik ist aus unserem Alltag nicht mehr wegzudenken. Regelmäßig werden Entdeckungen aus der Forschung in diversen Medien publiziert, die auch für die breite Öffentlichkeit zugänglich sind. Sei es der Nachweis der Gravitationswellen im Jahr 2015 [1] oder die Würdigung dieser Arbeit mit einem Nobelpreis [2]; sei es die erste Fotografie eines Schwarzen Lochs [3] oder die präzise Messung des magnetischen Moments des Myons, die auf weitere physikalischen Theorien jenseits des Standardmodells hoffen lässt [4]. Meilensteine der modernen Physik sind längst Alltag geworden und sind daher auch im Leben von Schülerinnen und Schülern präsent. Doch nicht nur die Grundlagenforschung bringt zunehmend Schlagzeilen. Auch über technische Anwendungen wie der Quantencomputer [5] oder Quantensensoren wird regelmäßig berichtet. Es liegt daher nahe, dass diese Themen zusätzlich in Film und Fernsehen zu Unterhaltungszwecken eingebaut und behandelt werden. Dadurch kommen vor allem Jugendliche bereits sehr früh mit den Begriffen der Quantenphysik in Kontakt, was zur Folge hat, dass das Interesse für moderne Physik bereits bei Schülerinnen und Schülern vorhanden ist.

Damit diesen Themen auch im Physikunterricht entsprechend Beachtung geschenkt werden kann, müssen Lehrkräfte über das theoretische Fachwissen verfügen. Des Weiteren kommt ein hohes Maß an experimentellen Fertigkeiten hinzu, wenn quantenmechanische Experimente respektive deren Analogieexperimente vorgeführt werden sollen. Die Anforderungen hierfür sind sowohl vielseitig als auch interdisziplinär. Für die Integration in den Schulunterricht

müssen diese Themen bereits in der Lehramtsausbildung erlernt werden. Diese Arbeit soll eine erste mögliche Eingliederung dieser Themen in die Lehramtsausbildung vorstellen.

2. Moderne Physik in den Bildungsplänen (BW)

Die Entwicklung der Inhalte moderner Physik im Schulcurriculum soll exemplarisch für das Bundesland Baden-Württemberg betrachtet werden. In den Bildungsplänen des Landes ist eine stetige Entwicklung der Inhalte im Fach Physik in den letzten Jahren zu beobachten. Die Quantenphysik wird im Jahr 2001 in hohem Umfang behandelt [6]. 2004 hingegen wurden nur noch allgemeine Merkmale von Quantenobjekten diskutiert [7]. In der Bildungsplanreform aus dem Jahr 2016 hat die Quantenphysik wieder an Umfang gewonnen [8]. Es werden erneut Eigenschaften von Quantenobjekten behandelt. Der Fokus wird zusätzlich explizit auf quantenmechanische Experimente gelegt. Es sollen Aussagen zu diesen getroffen werden und mit Wahrscheinlichkeitsinterpretationen erklärt werden. Die Entwicklung der Bildungspläne aus Baden-Württemberg spiegelt die zunehmende Wichtigkeit moderner Physik für die Gesellschaft wieder.

3. Ziel des Lehr-Lern-Labors

Das Lehr-Lern-Labor (LLL) stellt eine besondere Seminarform dar, bei der das Lernen und Lehren synchron stattfindet. Der Ablauf eines LLLs lässt sich in verschiedenen Phasen darstellen (vgl. [9]). Die Grundlage bildet die theoretische Einarbeitung der Studierenden in ein Thema. Dabei sollen verschiedene Lehrmaterialien erarbeitet werden. In dieser Phase findet forschendes Lernen und eigenständiger

Erkenntnisgewinn der Studierenden statt [10]. Im Anschluss findet die praktische Erprobung mit Schülerinnen und Schülern in einem Schülerlabor statt. Nach einer Erprobung wird der Lernerfolg der Schülerinnen und Schülern diagnostiziert und die Lehr-/Lern-Erfolge reflektiert. Aufgrund dieser Erkenntnisse sollen die Unterrichtsmaterialien erneut überarbeitet werden. Die Praxisphase wird anschließend mit einer anderen Schülergruppe wiederholt.

Die Ziele des Lehr-Lern-Labors sind vielfältig. In der theoretischen und praktischen Vorbereitung sollen fachliche Inhalte verknüpft werden und in einen schulischen Kontext eingeordnet werden. Hierfür ist eine intensive didaktische Auseinandersetzung notwendig. Besonders bei Themen moderner Physik werden dabei auch experimentelle Fertigkeiten erlernt, erprobt und verbessert. Gleichzeitig sollen Themen aktueller Forschung auf Schulebene übertragen und möglicherweise didaktisch reduziert werden. Durch den Schülerkontakt können zudem eigene Lehrerfahrungen gesammelt werden, was auch dem Wunsch vieler Studierenden nach mehr Praxiserfahrung gerecht wird [11]. Das Lehr-Lern-Labor stellt somit eine Verknüpfung aus dem Fachbereich, der Didaktik und der Schule dar.

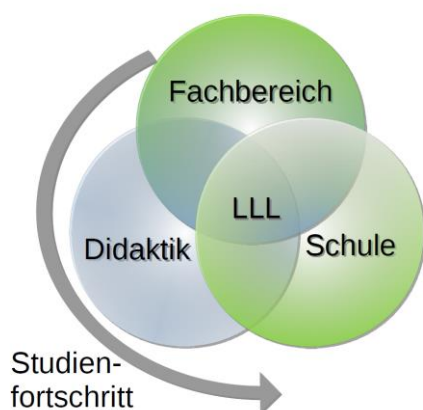


Abb. 1: Lehr-Lern-Labor als Verknüpfung verschiedener Teilbereiche der Lehramtsausbildung.

Abbildung 1 zeigt die Einbindung dieser Teilbereiche der Lehramtsausbildung. Zudem werden diese in Bezug zu den Schwerpunkten eines klassischen Ablaufs eines Physiklehrsstudiums gesetzt, in welchem in frühen Semestern die Fachvorlesungen mit fachdidaktischen und allgemeinen pädagogischen Vorlesungen ergänzt werden. Gegen Ende des Studiums findet eine Orientierung in Richtung Schule durch beispielsweise ein Schulpraxissemester statt.

4. Mögliche Eingliederung des Lehr-Lern-Labors in den Modulplan

In diesem Abschnitt soll eine mögliche Einbindung des LLLs in den Modulplan des Studiums diskutiert

werden. Beispielhaft wird dies am Plan der Universität Stuttgart aufgezeigt. Das Lehramtsstudium ist dort in ein Bachelorstudium und ein Masterstudium unterteilt. Der Masterabschluss berechtigt hierbei als gleichwertiger Abschluss zum ersten Staatsexamen zum Antritt des Referendariats (Vorbereitungsdienst), welches schließlich zum zweiten Staatsexamen führt. Das Bachelorstudium umfasst fachliche und später fachdidaktische Vorlesungen. Begleitend dazu finden Vorlesungen zu den Bildungswissenschaften und ein Orientierungspraktikum statt. Im Masterstudiengang werden Fach- und fachdidaktische Inhalte vertieft. Des Weiteren findet ein dreimonatiges Praxissemester statt. Das Lehr-Lern-Labor ist aufgrund der fachlichen Tiefe, welche die Ausarbeitung der Schülerbesuche erfordert, als Fachmodul Physik im Masterstudium eingeordnet. Hinzu kommt, dass die Nähe zu aktueller Forschung zur Quantensensorik und zum Quantencomputing am selben Standort einen fachlichen Austausch begünstigt und der Fachbereich daher sehr einfach eingebunden werden kann.

5. Arbeitsfeld: Quantenmechanische Experimente

Ein Arbeitsfeld der modernen Physik im LLL können quantenmechanische Experimente sein. Wir wollen zunächst den Quantenradierer in Hinsicht der benötigten Fertigkeiten diskutieren.

Der Quantenradierer kann als quantenmechanisches Analogieexperiment aufgebaut werden. Es handelt sich um ein Mach-Zehnder-Interferometer, bei dem, durch geeignetes Anbringen von Polarisationsfiltern in den Strahlengang, Weginformationen des Lichts gewonnen werden können. Mit einer kontinuierlichen Lichtquelle lässt sich der Aufbau auch klassisch mit den Gesetzen der Elektrodynamik erklären. Mit einer Einzelphotonenquelle, lassen sich Konzepte wie Nichtlokalität, Wellenfunktionen und Messprozesse in der Quantenmechanik einführen. Für den Wechsel von der Elektrodynamik zur Quantenmechanik ist ein experimenteller Übergang vom cw-Laser zur Einzelphotonenquelle nicht zwingend erforderlich. Der Aufbau eines solchen Interferometers dürfte für einen Experimentalphysiker aus dem entsprechenden Labor keine großen Schwierigkeiten bereiten. In der Lehramtsausbildung kommen aber gerade diese praktischen Übungen häufig zu kurz.

Die Fertigkeiten, die bei diesem Experiment erlernt respektive beherrscht werden müssen sind vielseitig und umfassen in erster Linie den Umgang mit Lasern, Linsen und Polarisationsfiltern. Zum Aufbau muss der Strahlengang präzise justiert werden, was je nach Kohärenzlänge des Lasers mehr oder weniger Justiergeschick erfordert, um den Kontrast des Interferenzbilds zu maximieren.

Sollen quantitative Messungen stattfinden, kommen analoge und digitale Messwerterfassungsmethoden mittels Photodioden und passenden Messverstärkern

zum Einsatz. Beim Übergang zur Einzelphotonenquelle ergänzt sich das Spektrum um Koinzidenzmessungen, digitaler Zähler uvm. Je nach Komplexität des Experiments ist es hierbei unabdingbar, dass auch externe Hilfe mit einbezogen wird. Da der Umgang mit professionellen Laborgeräten in den verschiedenen Arbeitsgruppen der Universität zum Alltag gehört, liegt die Interaktion mit (Fach)Wissenschaftlern nahe. Dadurch wird die Arbeitsweise wissenschaftli-

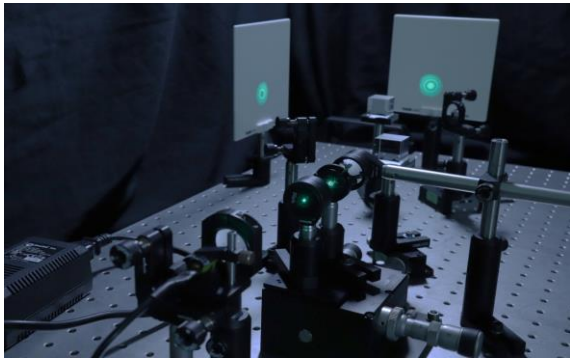


Abb. 2: Aufbau eines Mach-Zehnder-Interferometers als Vorübung des Quantenradierers.

cher Forscherinnen und Forschern und die zugehörigen Abläufe in einer Gruppe in die Lehramtsausbildung integriert.

Der Einstieg in quantenmechanische Experimente fordert daher bereits zu Beginn umfangreiche Fertigkeiten aus der Optik, der Elektronik und der Datenerfassung, die von den meisten Studierenden erst erlernt werden müssen. Die fachinhaltlichen Themen werden durch das Erlernen wissenschaftlichen Arbeitens und das Knowhow aus der Laborarbeit ergänzt.

Ob wie in Abbildung 2 ein Mach-Zehnder-Interferometer oder alternativ ein Michelson-Interferometer aufgebaut wird oder Koinzidenzmessungen zur Widerlegung der Bell-Ungleichung durchgeführt werden, ändert am Umfang der zu erlernenden Techniken wenig. Auch hierbei handelt es sich um komplexe Aufbauten, die eine interdisziplinäre Arbeitsweise erfordern. Gleichzeitig ist ein hohes theoretisches Verständnis erforderlich. Die Vorbereitung der Studierenden auf diese Themen soll selbständig im LLL erfolgen.

Anders als in typischen physikalischen Praktika liegt der Fokus des praktischen Teils nicht auf der Datenerfassung bereits fertig aufgebauter Experimente, sondern auf dem Aufbauen und Einstellen der Experimente von Grund auf, um dies im späteren Schulalltag sicher anwenden zu können. Die Studierenden sollen Aufbausicherheit erlangen, auch komplexe Experimente systematisch aufzubauen und diese Sicherheit auf andere quantenmechanische Aufbauten übertragen können.

6. Ausblick

Als nächster Schritt soll das vorgestellte Konzept mit Studierenden, Schülerinnen und Schülern getestet werden. Aufgrund gesetzlicher Vorgaben während der Corona-Pandemie konnte das Lehr-Lern-Labor in gewünschter Form bisher nicht stattfinden. Abhängig von den gemachten Erfahrungen soll das LLL im Anschluss um weitere Themen aus der Quantenmechanik, aber auch aus Teilbereichen der Messtechnik und der Kernphysik erweitert werden. Die selbstständige Arbeitsweise im LLL soll darüber hinaus auch in den physikalischen Praktika für Lehramtsstudierende verstärkt gefördert werden. Studierende sollen so optimal auf die offenen Aufgabenstellungen im LLL aber auch langfristig auf die Arbeitsweisen im Schulbetrieb vorbereitet werden.

7. Literatur

- [1] Abbott, B.P. et al. (LIGO Scientific Collaboration and Virgo Collaboration): Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger, In: Phys. Rev. Lett 116 (2016), S. 061102, URL: <https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.116.061102> (Stand 5/2021).
- [2] Nobelpreisträger der Physik: <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/> (Stand 5/2021).
- [3] The Event Horizon Telescope Collaboration et al.: First M87 Event Horizon Telescope Results. I. The Shadow of the Supermassive Black Hole. In: The Astrophysical Journal Letters 875:L1 (2019), URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.3847/2041-8213/ab0ec7/pdf>.
- [4] Abi, B. et al. (Muon $g-2$ Collaboration): Measurement of the Positive Muon Anomalous Magnetic Moment to 0.46 ppm. In: Phys. Rev. Lett. 126 (2021), S. 141801, URL: <https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.126.141801> (Stand 5/2021).
- [5] Quantencomputer: “Wir sind in einer Übergangphase“: <https://www.mdr.de/wissen/quantencomputer-stand-quantentechnologien-forschung-foerderung-zukunft-100.html> (Stand 5/2021).
- [6] Bildungsplan Baden-Württemberg für das allgemeinbildende Gymnasium 2001: http://www.bildungsplaene-bw.de/site/bildungsplan/get/documents_E-1296698975/Isbw/Bildungsplaene/Bildungsplaene-2001-GymKurs/BP2001BW_bpgykurs.pdf (Stand 5/2021).
- [7] Bildungsplan Baden-Württemberg für das allgemeinbildende Gymnasium 2004: http://www.bildungsplaene-bw.de/site/bildungsplan/get/documents_E978621370/Isbw/Bil-

- [dungsplaene/Bildungsplaene-2004/Bildungsstandards/Gymnasium_Bildungsplan_Gesamt.pdf](#) (Stand 5/2021).
- [8] Bildungsplan Baden-Württemberg für das allgemeinbildende Gymnasium 2016: <http://www.bildungsplaene-bw.de/Lde/LS/BP2016BW/ALLG/GYM/PH/IK/11-12-BF-QUANTEN/06> (Stand 5/2021).
- [9] Nordmeier, V., Käpnick, F., Komorek, M., Leuchtner, M., Neumann, K., Priemer, B. et al. (2014): Schülerlabore als Lehr-Lern-Labore: Forschungsorientierte Verknüpfung von Theorie und Praxis in der MINT--Lehrerbildung. Unveröffentlichter Projektantrag.
- [10] Priemer, B. (2020): Ein kurzer Überblick über den Stand der fachdidaktischen Forschung der MINT-Fächer an Lehr-Lern-Laboren. In: Roth, J., Priemer, B. (2020): Lehr-Lern-Labore. Berlin: Springer-Verlag GmbH Deutschland.
- [11] Rehfeldt, D., Seibert, D., Klempin, C., Lücke, M., Sambanis, M. & Nordmeier, V. (2018): Mythos Praxis um jeden Preis? Die Wurzeln und Modellierung des Lehr-Lern-Labors. die hochschullehre, Jahrgang 4/2018, URL: http://www.hochschullehre.org/wp-content/files/diehochschullehre_2018_Rehfeldt_et_al_Mythos_Praxis.pdf (Stand 5/2021).

Danksagung

Die vorliegende Arbeit wurde im Rahmen der gemeinsamen Qualitätsoffensive Lehrerbildung von Bund und Ländern aus Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung im Projekt „Lehrerbildung PLUS“ (Förderkennzeichen 01JA1907A) unterstützt. Zusätzlich wird das Projekt durch den IQST-Cluster sowie durch die Carl-Zeiss-Stiftung gefördert.

Ein Escape-Game zur Förderung experimenteller Kompetenzen – Gestaltung des finalen Rätsels „Geldkoffer“

Simon Roth*, Simon Goertz*, Heidrun Heinke*

*RWTH Aachen University
simon.roth2@rwth-aachen.de

Kurzfassung

An der RWTH Aachen ist mit der Plattform FLexKom (Fördern und Lernen experimenteller Kompetenzen) ein Schwerpunkt auf die Vermittlung methodischer Kompetenzen gelegt worden. Die Beliebtheit eines Escape-Game Settings hat zu der Verknüpfung von spielerischen Elementen mit den physikalischen Lerninhalten geführt. Im Rahmen eines sog. FLexcape Games steigen die Schülerinnen und Schüler in eine fiktive Geschichte ein und lösen einzelne Rätsel, in denen sie physikalische Aufgaben unter Anwendung experimenteller Kompetenzen bearbeiten. Als gemeinsames Abschlussrätsel wurde ein Geldkoffer für das FLexcape Game entwickelt. Durch Lösen der gestellten Aufgaben gelangen die Teilnehmenden der Lerngruppe an Informationen, mit denen sie den Geldkoffer öffnen und die Belohnung erhalten können. In diesem Beitrag wird die allgemeine Konzeption unter besonderer Berücksichtigung der Entwicklung und der Funktionsweise des Geldkoffers präsentiert und erklärt. Der Geldkoffer kann auch in anderen Escape Games in Lehr-Lern-Kontexten genutzt werden.

1. Einleitung

Zu den vielfältigen aktuellen Ansätzen innovativer Lehrkonzepte gehört auch die sog. Gamification [1]. Darunter versteht man den Einsatz spieltypischer Elemente in einem spielfremden Kontext, wobei in diesem Fall insbesondere die Lehre von Belang ist. Eine Möglichkeit der Gamification sind sogenannte Escape Games [2]. Dabei handelt es sich um eine Spielform, bei der eine Gruppe von Spielern Aufgaben in einer begrenzten Zeit lösen muss, in der häufigsten Form mit dem Ziel, aus einem verschlossenen Raum zu fliehen. Im schulischen Kontext lässt sich ein verschlossener Raum nicht realisieren, daher wird als Alternative zum Ausbruch eine Belohnung in Aussicht gestellt, die die Teilnehmenden nach erfolgreichem Spiel an der finalen Station erhalten. Der vorliegende Beitrag beschreibt die Entwicklung der finalen Station als ein wesentliches Element für ein solches Escape Game, das sowohl im Rahmen der Plattform FLexKom als auch bei weiteren Lernangeboten für Schülerinnen und Schüler im Schülerlabor Physik (SCiPhyLAB) der RWTH Aachen eingesetzt werden soll.

Das entwickelte Escape Game „FLexcape Game“ basiert auf bereits existierenden Modulen der Plattform FLexKom¹, welche für den Einsatz innerhalb eines Escape Games modifiziert wurden. Die Plattform FLexKom („Fördern und Lernen experimenteller Kompetenzen“) wurde als modulare Sammlung ver-

schiedener Unterrichtsmaterialien mit dem Ziel entwickelt, das Lernen experimenteller Kompetenzen in der Schule zu fördern [3]. Die einzelnen Module setzen verschiedene Schwerpunkte innerhalb der drei Experimentierphasen „Planung“, „Durchführung“ und „Auswertung“ und können flexibel zu individuellen Lernzirkeln zusammengestellt werden.

Eine besondere Nutzung ausgewählter Module wurde im Rahmen der Masterarbeit von Theresa Westphalen [4] in Form eines Escape Games realisiert, bei dem die FLexKom-Module zu „Rätseln“ werden. Die Teilnehmenden müssen in Teamarbeit diese Rätsel in einer bestimmten Zeit lösen, um einen Koffer, der eine Belohnung enthält, öffnen zu können.

In dieser spielerischen Lernumgebung erwerben Schülerinnen und Schüler neben fachlichen Kompetenzen auch fächerübergreifende Kompetenzen, wie z.B. Konzentrationsfähigkeit und Leistungsbereitschaft. Sie stärken zudem soziale Fähigkeiten bei der Zusammenarbeit und Kommunikation. In besonderem Maße werden allerdings in dem hier vorgestellten Escape Game die experimentellen Kompetenzen trainiert.

Der vorliegende Beitrag widmet sich innerhalb des Escape Games „FLexcape Game“ der Optimierung der finalen Station des Geldkoffers, mit dem die erfolgreiche Bearbeitung der Rätsel belohnt wird.

¹ Siehe auch www.sciphylab.de/flexkom

2. Die Plattform FLExKom

Die meisten Rätsel im FLEscape Game basieren auf Modulen der Plattform FLExKom. Diese Plattform wurde von Simon Goertz et al. konzipiert [3] und wird aktuell in Rahmen einer Promotion weiterentwickelt und evaluiert. Sie stellt eine Sammlung unterschiedlicher Unterrichtsmaterialien bereit, um „methodische Kompetenzen explizit in den Unterricht zu integrieren und damit wichtige neue Erkenntnisse vermitteln zu können“ [5].

Lehrkräfte können einzelne Module der FLExKom-Plattform beispielsweise zu individuellen Lernzirkeln kombinieren, in denen sie bestimmte experimentelle Kompetenzen gezielt trainieren möchten.

Alle Materialien, wie Arbeitsblätter und Lehrerhandreichungen, werden im Internet zur Verfügung gestellt, wo sie kostenlos heruntergeladen werden können. Darüber hinaus ist es für Schulen in der Städteregion Aachen möglich, die benötigten Versuchsmaterialien am I. Physikalischen Institut IA der RWTH Aachen auszuleihen.

3. Das Escape Game „FLEscape Game“

Das allgemeine Ziel eines Escape Games besteht darin, eine Aufgabe in einer vorgegebenen Zeit zu lösen. Die Spielenden agieren dabei als Gruppe, in welcher man in der Regel nicht gegen einen personifizierten Gegner antritt. Die verbreitetste Variante ist der Escape Room, bei dem die Flucht aus einem verschlossenen Raum in begrenzter Zeit gelingen muss. Der erfolgreiche Abschluss des Spiels erfordert Teamarbeit, Zusammenführen individueller Fähigkeiten und simultanes Arbeiten. Die Beliebtheit dieser Spielform bei jungen Menschen legt den Einsatz von Escape Games auch im Unterricht nahe.

Das entwickelte Escape Game „FLEscape Game“ stellt den Schülerinnen und Schülern jedoch aus Sicherheitsgründen nicht die Aufgabe, sich aus einem verschlossenen Raum zu befreien. Als Alternative zum Ausbruch aus einem verschlossenen Raum war zunächst die Entschärfung eines symbolischen „Bombenkoffers“ geplant. Da auch dieses Konzept mit einer vermeintlichen Bedrohung verknüpft ist, wurde der Fokus auf den Gewinn gelenkt (Belohnung), welcher die Lerngruppe erwartet, wenn sie die Rätsel in einer vorgegebenen Zeit löst. Hierfür wurde ein sogenannter Geldkoffer (siehe Abb. 1) als finale Station des Escape Games konzipiert und realisiert.

Durch Lösen der gestellten Aufgaben erhalten die Teilnehmenden der Lerngruppe eine Information, mit der sie den Geldkoffer öffnen und die Belohnung erhalten können. Die einzelnen Rätsel bestehen dabei aus physikalischen Aufgaben, die von den Schülerinnen und Schülern gemeinsam bewältigt werden müssen. Dies erfolgt in Dreier-Teams, bei denen eine Person die primäre Aufgabe hat, die Zeit im Auge zu behalten, eine zweite sachgemäß alle Ergebnisse dokumentiert und die dritte Person die Kommunikation zu anderen Gruppen übernimmt. Die einzelnen Rätsel stehen in einem thematischen Kontext, der zu Beginn des Spiels als Rahmengeschichte vorgelesen wird. Die Geschichte motiviert dazu, in der vorgegebenen Zeit die Rätsel zu lösen, um den Koffer öffnen zu können. Ein Vorteil der gewählten Spielform liegt darin, dass die Materialien unabhängig von den Räumlichkeiten flexibel eingesetzt werden können.

4. Die finale Station „Geldkoffer“

Ein Prototyp des Geldkoffers wurde von Jan Berndtgen entworfen [6] und von Simon Roth in seiner Ba-

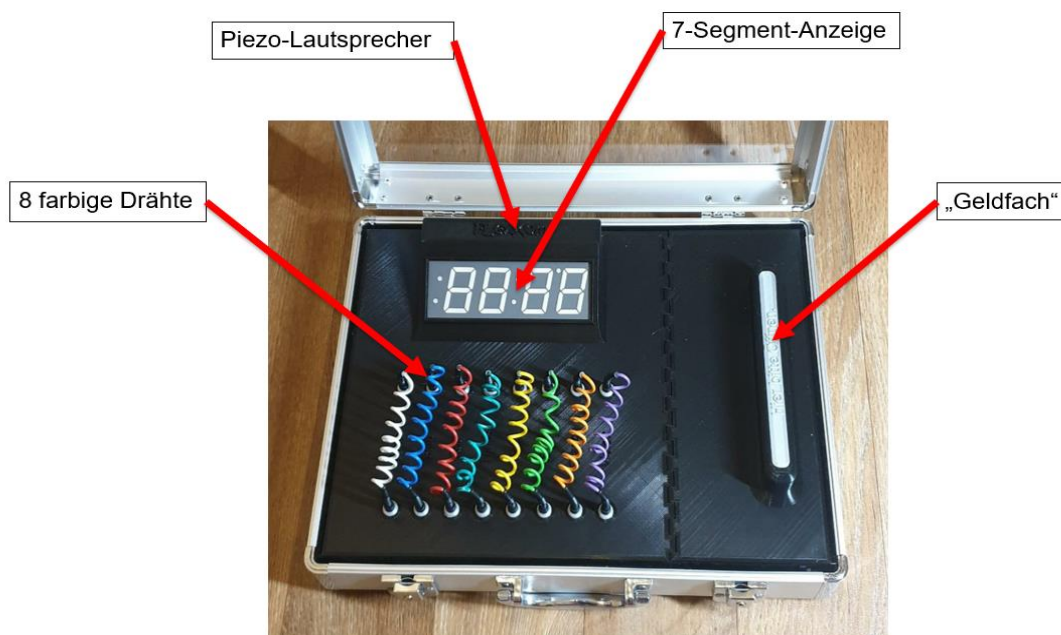


Abb.1: Die finale Station „Der Geldkoffer“

chelorarbeit [7] weiterentwickelt. Wichtiger Bestandteil des Geldkoffers ist eine 7-Segment-Anzeige, welche mittels eines Countdowns die noch verbleibende Zeit zur Lösung des Gesamträtsels anzeigt. Außerdem befindet sich im rechten Bereich des Geldkoffers ein Fach, das sogenannte Geldfach, in welchem sich die Belohnung für das erfolgreiche Absolvieren des Escape Games befindet. Die Lerngruppe erarbeitet sich durch Lösen des Abschlussrätsels die Information darüber, welche Farbe der Draht besitzt, der gezogen werden muss, um das Geldfach zu öffnen. Wird der richtige Draht gezogen, hält der Countdown an und das Geldfach darf geöffnet werden. Wird jedoch ein falscher Draht entfernt, zeigt das Display einen Code für die gescheiterte Bearbeitung des Escape Games an. Zusätzlich ertönt ein lautes akustisches Piep-Signal durch den verbauten Piezo-Lautsprecher. Wird das Geldfach geöffnet, ohne dass der richtige Draht vorher entfernt wurde, kommt es zu derselben Warnmeldung und das Spiel ist ebenfalls verloren. Eine weitere Funktion des akustischen Signals besteht darin, an das Fortschreiten der Spielzeit durch einen regelmäßigen Signalton zu erinnern.

Die Ansteuerung der 7-Segment-Anzeige und des Piezo-Lautsprechers gelingt mit einem Mikrocontroller (Modell ESP-8266). Die Stromversorgung erfolgt über einen Akku (Powerbank), sodass der Koffer nicht permanent an eine Netzsteckdose angeschlossen werden muss.

4.1. Die Fernsteuerung für die finale Station „Geldkoffer“

Die Grundlage für einen reibungslosen Einsatz des Geldkoffers im Unterrichtsszenario bildet eine Fernsteuerung. Diese funktioniert mit Hilfe einer HTML-Seite, die mit einer klassischen Browser-Applikation

geöffnet werden kann. Die HTML-Seite wird über das Netz des verbauten Mikrocontrollers ESP-8266 gesendet und kann dann auf dem mobilen Endgerät dargestellt werden (siehe Abb. 2).

Im Gegensatz zur Verwendung einer speziell programmierten Applikation kann dadurch ohne einen vorherigen Download und eine Installation die Steuerung von nahezu jedem WLAN-fähigen Gerät erfolgen. Die Gestaltung der HTML-Seite wird durch den Einsatz von CSS (Cascading Style Sheets) realisiert, wodurch Inhalt und Design im Quellcode getrennt werden können.

Die Fernsteuerung versetzt die Betreuenden des Escape Games unter anderem in die Lage, die Dauer des Spiels an die Dauer des Unterrichts anzupassen, sodass ein Einsatz in einer klassischen Unterrichtsstunde von 45 Minuten, aber beispielsweise auch in einer 90-minütigen Doppelstunde realisierbar ist. Auch eine Anpassung des Zeitlimits an die Leistungsfähigkeit einer Lerngruppe ist damit möglich. Die Implementierung der Steuerungsoption ermöglicht es, die Spielzeit auf die Minute genau festzulegen. Außerdem kann das Spiel jederzeit abgebrochen, pausiert und fortgesetzt werden. Dies kann beispielsweise nützlich sein, wenn das Escape Game im Schulunterricht eingesetzt wird und von einer Hofpause zwischenzeitlich unterbrochen werden muss. Zudem können Betreuende mit Hilfe der Steuerung bei einem versehentlichen Lösen eines Drahtes oder Öffnen des Geldfachs das Spiel regulär fortsetzen.

Des Weiteren verfügt die Fernsteuerung über eine Auswahlliste, die es erlaubt, den richtigen Draht vor Beginn des Spiels festzulegen. Darüber hinaus wird die Option angeboten, den regelmäßigen Signalton auszuschalten.

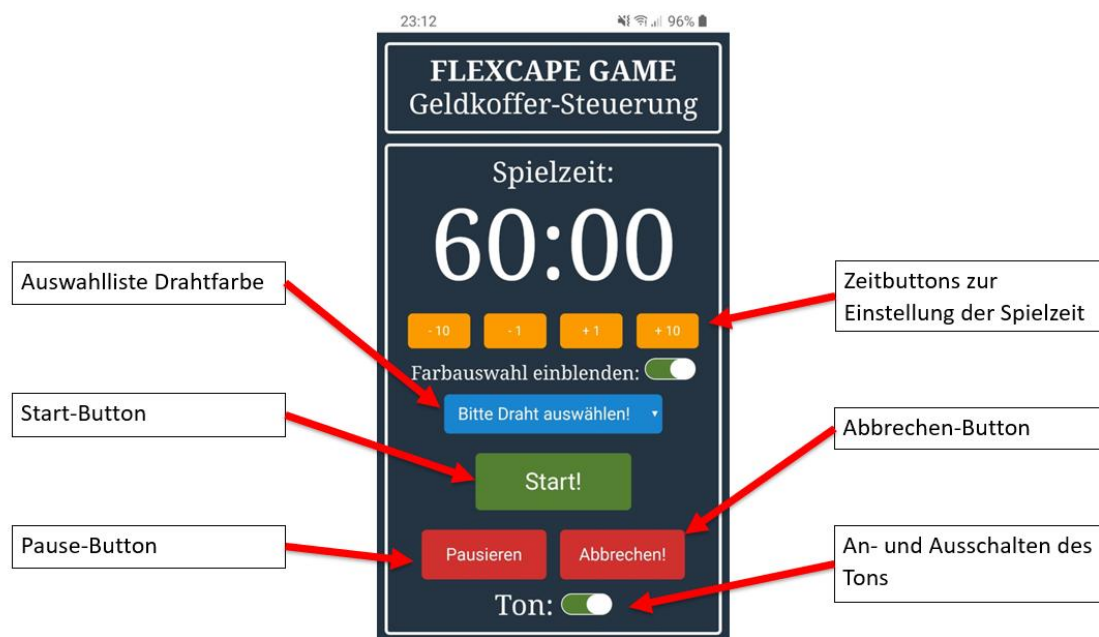


Abb.2: Die Fernsteuerung des Geldkoffers

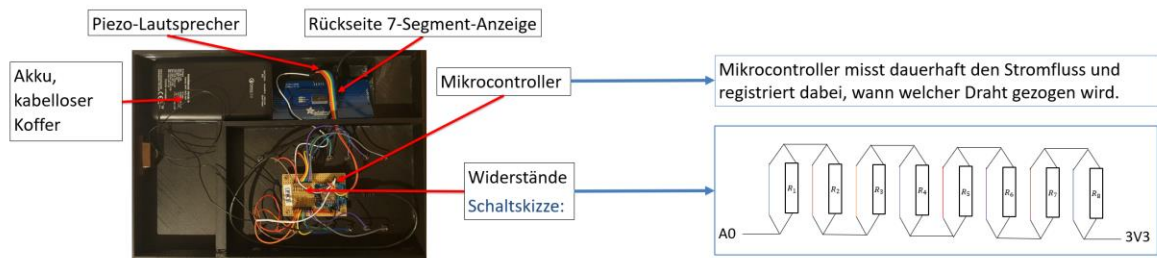


Abb.3: Technische Umsetzung des Geldkoffers

4.2. Variation der Lösung des Spielauftrags

Ein Prototyp des Geldkoffers wies den Nachteil auf, dass der von der Lerngruppe zu ermittelnde Draht fest definiert war. Eine fixe Vorgabe des zu ziehenden Drahtes schließt eine erneute Verwendung in der gleichen Lerngruppe jedoch aus und birgt gleichzeitig die Gefahr, dass die Kenntnis der Farbe des Lösungsdrahtes über verschiedene Lerngruppen hinweg weitergetragen wird.

Daher musste eine Möglichkeit geschaffen werden, um den Draht auswählen zu können, der für den Gewinn des Spiels gezogen werden muss.

Die in Abb. 3 dargestellte Schaltung bietet die Chance, den Lösungsdraht zu variieren. Ein wichtiger Aspekt bei ihrer Entwicklung war die Zuverlässigkeit: Nur wenn eine Schaltung sicher die Ausgabe des richtigen Ergebnisses garantiert, ist sie für den Unterrichtseinsatz geeignet. Nach Ziehen des Drahtes muss der Mikrocontroller auf Basis der angeschlossenen Schaltung ermitteln, ob durch die Lerngruppe der richtige Draht gewählt wurde. Dies ist somit entscheidend für die korrekte und erfolgreiche Durchführung des Escape Games.

Außerdem soll vermieden werden, dass Änderungen des Lösungsdrahtes einen regelmäßigen Eingriff in die Hardware der Schaltung erfordern. Dieser alternative Ansatz würde sehr gute Kenntnisse des betreuenden, typischerweise permanent wechselnden Personals des Escape Games bezüglich der verbauten Schaltung voraussetzen und erscheint deshalb als nicht alltagstauglich.

Die konzipierte Schaltung nutzt den analogen Port des Mikrocontrollers, der die Messung eines Stromflusses ermöglicht. Schaltet man einen Widerstand zwischen der Spannungsquelle 3V3 des Mikrocontrollers und dem analogen Port A0, so kann mit dem analogen Port der Stromfluss durch den Widerstand gemessen werden. Bei gegebener Spannung lässt sich aus der Strommessung des analogen Ports die Größe des angeschlossenen Widerstands ermitteln. Dies funktioniert bei Widerständen ab ca. 30 k Ω , da bei kleineren Widerständen der Maximalstrom der Spannungsquelle des Mikrocontrollers erreicht wird.

Die Schaltung besteht aus acht Parallelschaltungen, die wiederum in Reihe geschaltet sind. Die einzelnen Parallelschaltungen bestehen aus je einem der acht

Drähte, welche gezogen werden können, und einem von acht unterschiedlichen Kohleschicht-Widerständen. Wird einer der Drähte entfernt, fließt der Strom durch den parallel geschalteten Widerstand. Der an diesem Widerstand auftretende Spannungsabfall wird nun vom analogen Port registriert. Der Mikrocontroller kann durch regelmäßige Messung des Stroms am analogen Port erfassen, ob und wenn ja welcher Draht entfernt wurde. Dazu muss im Quellcode jedem auswählbaren Draht ein zu erwartender Messwert zugeordnet werden.

Es besteht somit die Möglichkeit, alle Drähte auszuwählen, ohne dass ein permanenter Eingriff in die Hardware notwendig ist.

4.3. Einführung von Fehlercodes

Beim Einsatz des Geldkoffers kann es gelegentlich zu Fehlern kommen, welche zumeist durch eine Fehlbedienung verursacht werden. Sie verhindern in der Regel den gewünschten Start des Countdowns. Da einige dieser Fehler jedoch durch die Messung am analogen Port erkannt werden können, wurden Fehlercodes festgelegt, die an der 7-Segment-Anzeige ausgegeben werden. Diese Codes sind gerade für unerfahrene Betreuende eine gute Hilfestellung bei der Fehlerbehebung.

Grundsätzlich stellen die Fehlercodes immer nur ein Indiz für eine mögliche Fehlerquelle dar. Dadurch können Standardfehler schnell aufgedeckt werden. Wird ein Fehlercode trotzdem erneut angezeigt, ist eine Reparatur des Koffers unerlässlich. Folgende Fehlermeldungen können auftreten:

E00: Kein Draht ausgewählt

Der Fehler E00 weist darauf hin, dass bei der Fernsteuerung keiner der acht Drähte als richtiger Draht in der Auswahlliste gewählt wurde. Wird dies vergessen, kann das Escape Game von der Lerngruppe nicht erfolgreich abgeschlossen werden.

E01: Mindestens ein Kabel ist nicht eingesteckt

Oft tritt der Fehler auf, dass der Countdown des Koffers gestartet werden soll, obwohl noch nicht alle Kabel wieder eingesteckt sind.

Vor allem beim Kennenlernen der Bedienung kommt es häufig vor, dass das Einstecken zuvor gezogener Kabel vergessen wird. Da zum Start des Countdowns eine leitende Verbindung vorliegen muss, kann dieser Fehler leicht erfasst und auf dem Display angezeigt werden (siehe Abb. 4).

E02: Geldfach steht offen

Ebenfalls scheitert häufig der Versuch den Countdown zu starten daran, dass das Geldfach noch offensteht. Ein verschlossenes Geldfach ist jedoch eine Grundvoraussetzung für den fortschreitenden Countdown, welcher sofort unterbrochen wird, wenn das Geldfach geöffnet wird. Das Schloss des Geldfachs schließt einen Stromkreis, der an einen der digitalen Ports angeschlossen wird. Somit kann ein unverschlossenes Geldfach an diesem Port registriert werden.

E03: Kontrollstromkreis durchbrochen

Ist der Stromkreis, der durch alle Drähte führt, an einer Stelle unterbrochen, lässt sich dies am analogen Port sehr leicht feststellen, da hier kein Stromfluss mehr erfasst werden kann. Dieser Fehler ist der einzige der bislang definierten, welcher sich nicht umgehend beheben lässt und eine Reparatur des Koffers nötig macht. Unabhängig davon, dass dieser Fehler bei sämtlichen Testungen bisher noch nicht aufgetreten ist, empfiehlt sich für den Unterrichtseinsatz des Escape Games das Mitführen eines Ersatzkoffers



Abb.4: Beispielhafte Anzeige eines vorliegenden Fehlers

5. Fazit und Ausblick

Der Einsatz von Escape Games im Schulunterricht bringt ein großes Begeisterungspotential mit sich. Dem Geldkoffer kommt hierbei eine Schlüsselfunktion zu, da er den finalen Höhepunkt des Escape Games bildet. Mit Hilfe einer Fernsteuerung wird die Spieldauer an die jeweiligen Gegebenheiten vor Ort und an die Lerngruppe angepasst. Der Countdown kann minutengenau eingestellt und zu jedem beliebigen Zeitpunkt gestartet werden. Zudem kann er jederzeit pausiert werden, um Unterbrechungen im Schulalltag berücksichtigen zu können.

Von den acht vorhandenen Drähten kann ein beliebiger Draht zur Lösung des Rätsels ausgewählt werden. Nur dadurch ist es möglich, den Geldkoffer als finale Station des Escape Games sinnvoll mehrfach einzusetzen. Die Auswahl gelingt, ohne dass Änderungen

an der Hardware des Geldkoffers (beispielsweise durch Umstecken von Kabeln) vorgenommen werden müssen.

Zudem unterstützt die Anzeige von Fehlercodes den Betreuenden kurzfristig bei der Fehlerbehebung.

Pandemiebedingt haben sich die ersten Praxistests des vollständigen FLEscape Games deutlich verzögert. Sie werden erfolgen, sobald sich der Schulbetrieb wieder normalisiert hat.

Die Einsatzmöglichkeiten des Geldkoffers sind nicht an das FLEscape Game gebunden. Bedingt durch die Tatsache, dass der Lösungsdraht farbcodiert ist und ebenso wie weitere Parameter wie die Spieldauer über die betreuende Person frei wählbar ist, ergeben sich vielfältige Möglichkeiten der Variation des Spielkontextes und des damit verbundenen Inhalts der Rätsel im Escape Game. Dies erschließt eine große Breite von Einsatzmöglichkeiten des entwickelten Geldkoffers auch abseits des FLEscape Games. Bei Interesse freut sich der Autor dieses Beitrags über eine direkte Kontaktaufnahme.

6. Literaturverzeichnis

- [1] Cornelsen Verlag (2018). Gamification: Was es ist und was es bringt. In: Unterricht gestalten. <https://www.cornelsen.de/magazin/beitraege/was-bringt-gamification-im-unterricht> (Stand 05/2021).
- [2] Daam, Michael (2019). Konzeption eines Escape Game Workshops für die Oberstufe. Wissenschaftliche Arbeit zur Zulassung zum ersten Staatsexamen. Karlsruhe: Karlsruher Institut für Technologie.
- [3] Goertz, Simon; Klein, Patrick; Riese, Josef; Heinke, Heidrun (2019): Die Plattform „FLEX-Kom“ zur Förderung experimenteller Kompetenzen – Konzept und Einsatzbeispiele –. In: PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung, 1 (2019) <http://phydid.physik.fu-berlin.de/index.php/phydid-b/article/view/929> (Stand 05/2021)
- [4] Westphalen, Theresa (2020): "FLEscape Game" - Konzeption eines Escape Games zum Fördern und Lernen experimenteller Kompetenzen. Masterarbeit. RWTH Aachen University.
- [5] Homepage des Schülerlabors Physik der RWTH Aachen. Startseite FLEscape Kom: https://www.sciphylab.de/wp/?page_id=1280 (Stand 05/2021)
- [6] Berndtgen, Jan (2020): Entwicklung eines Escape Games zur Vermittlung von Grundlagen der Datenspeicherung. Masterarbeit. RWTH Aachen University.
- [7] Roth, Simon (2020): Weiterentwicklung der Konzeption und Geräteausrüstung eines Escape Games. Bachelorarbeit. RWTH Aachen University.

Lernen aus Widersprüchen: Vom Schülerlabor zur Schulpraxis

Andreas Schulz*, Jonas Wilkenloh⁺, Stefan Brackertz*

*Universität zu Köln, Albertus-Magnus-Platz, 50923 Köln

⁺Universität Bonn, Regina-Pacis-Weg 3, 53113 Bonn

andreas.schulz@uni-koeln.de

Kurzfassung

Das Konzept „Lernen aus Widersprüchen“ – entwickelt im Schülerlabor der Universität zu Köln – wurde jetzt in den regulären inklusiven Physikunterricht übertragen und in einer 7. Klasse in Bonn erprobt und evaluiert. Dazu wurden im Rahmen einer Masterarbeit 5 Lerneinheiten zu je 3 Schulstunden zum Thema Optik entwickelt. Die Grundidee dabei ist, dass zu Beginn einer Lerneinheit von den Schülerinnen und Schülern (SuS) etliche Vermutungen zur Erklärung der Phänomene geäußert und an die Tafel geschrieben werden. Alle Vermutungen, auch die auf Fehlvorstellungen beruhenden, werden gleichwertig behandelt, sodass Widersprüche entstehen. Nach der „Vermutungsphase“ im Plenum arbeiten die SuS in Kleingruppen weiter (je 4 SuS), zunächst in einer Diskussionsphase, danach in der Experimentierphase, um so selbstständig die richtige Erklärung zu erarbeiten. Die 5 Unterrichtseinheiten sind „Sehvorgang“, „Reflexion und Streuung“, Bau eines „Schülerspektroskops“, „Farben“ und „Absorption“. Die Auswertung geschah durch Schülerfragebögen (Prä- und Post-Befragung) und durch aktive Beobachtung (2 unabhängige Beobachter) mit Fokus auf eine ausgewählte SuS-Gruppe.

Einerseits hat sich die Zusammenarbeit in den Kleingruppen als unerwartet problematisch erwiesen. Andererseits zeigte sich, dass die Arbeit mit Widersprüchen in Kombination mit Schülerexperimenten insgesamt gut funktioniert. Insbesondere kann festgestellt werden, dass – im Gegensatz zum Frontalunterricht – nahezu alle SuS in den Lernprozess einbezogen waren. Das Konzept ist offenbar gut für den inklusiven Physikunterricht geeignet.

The concept of „learning from contradictions“ – developed in the School Lab of the University of Cologne – was now transferred for testing and evaluation to regular physics lessons of an inclusive 7. class of a School in Bonn. Hereby, 5 learning units in the subject of optics were established, performed in 3 lessons each. The basic idea of the units is that at the beginning of the units the pupils of the entire class are asked to propose hypotheses to explain the phenomena and all suggested hypotheses were acknowledged equally – also the wrong ones. In this way, contradictions are produced. After this introductory phase, the pupils continue to work in small groups of 4 pupils, first discussing and exchanging arguments, later conducting experiments to test the contradictory hypotheses. The learning method was evaluated via questionnaires (pre and post) to test the learning progress. This was complemented by active observation by 2 independent observers being focussed on a particular group.

On the one hand, cooperation in the small groups proved to be unexpectedly problematic. On the other hand, it turned out that working with contradictions in combination with student experiments worked well overall. In particular, it can be stated that - in contrast to frontal teaching - almost all SuS were involved in the learning process. The concept seems to be well suited for inclusive physics teaching.

1. Fragestellung

Das „Lernen aus Widersprüchen“ wurde im Schülerlabor „Unser Raumschiff Erde“ der Universität zu Köln entwickelt. Das Schülerlabor bildet eine spezielle Lernumgebung als außerschulischer Lernort für Schüler*innen in der Universität.[1] Das „Lernen aus Widersprüchen“ beruht darauf, im Raum stehende Widersprüche nicht zu glätten oder zu übergehen,

sondern zum Ausgangspunkt eines weitgehend offenen Lernverlaufs zu machen.[2] Dabei haben die aufgegriffenen Widersprüche eine dreifache Funktion: (1) Sie fordern heraus, sowohl mit der Welt als auch mit den Mitmenschen in den Dialog zu treten. (2) Sie sind Ausgangspunkt zur gemeinsamen Konstruktion konsistenter Theorien. (3) Sie ermöglichen

es Lehrenden, Vorkenntnisse und Interessen der Schüler*innen schnell einzuschätzen.

Dieses Konzept hat sich – obwohl ursprünglich gar nicht daraufhin konzipiert – als erstaunlich hilfreich zur Gestaltung inklusiver Physik-Lernsituationen erwiesen. Deshalb wird es derzeit für den inklusiven Physikunterricht in der Schule adaptiert. Als erster Schritt wurde nun die Übertragung in den regulären Schulunterricht in einer 7. Klasse einer Gesamtschule in Bonn¹ erprobt und evaluiert.

Ziel war es dabei nicht, die komplette Unterrichtsstruktur zu ändern, sondern zu erproben, inwieweit sich die Idee des „Lernens aus Widersprüchen“ minimal-invasiv in einen typischen Physikunterricht integriert bewährt. Hintergrund dieser Fragestellung ist, dass vielfach der Beweis erbracht ist, dass Inklusion in Pilotprojekten unter optimalen Bedingungen funktionieren kann. Angesichts dessen und der Verabschiedung der UN-Behindertenrechtskonvention [3] im Jahr 2009 wurde erstritten, dass Inklusion inzwischen zumindest dem Anspruch nach in vielen Ländern zum Regelfall erhoben wurde. Allerdings sind die Rahmenbedingungen oft schlecht und jedenfalls nicht mit denen der Pilotprojekte vergleichbar.[4] Die daraus erwachsenen Schwierigkeiten laufen Gefahr, einerseits ambitionierte Kolleg*innen zu überfordern. Andererseits dienen sie zunehmend gesellschaftlichen Kräften, die das Ziel einer inklusiven Schule und Gesellschaft ablehnen, als Argument dafür, dass Inklusion – ob gewollt oder nicht – gar nicht funktionieren könne. Vor diesem Hintergrund gilt es einerseits, weiterhin für eine Verbesserung der Rahmenbedingungen in Regelschulen einzutreten. Andererseits ist es aber auch wichtig und nötig, unmittelbar dazu beizutragen, dass Inklusion unter den gegebenen Rahmenbedingungen besser klappt. Zudem ermöglicht dies, besser zu verstehen, was genau an den erfolgreichen Pilot- und Reformschulkonzepten eigentlich der Knackpunkt ist, der Inklusion ermöglicht.

Dieser Fragestellung, inwieweit sich die Idee des „Lernens aus Widersprüchen“ minimal-invasiv in einen typischen Physikunterricht integriert bewährt, wurde im Rahmen einer Masterarbeit an der Uni Bonn [5] nachgegangen, auf der dieser Beitrag beruht. Im Rahmen dieser Masterarbeit wurde eine Unterrichtsreihe zur Optik entwickelt und erprobt. Konkrete Forschungsfragen waren dabei:

- Wie groß ist der Wissenszuwachs?
- Kommen die Schüler*innen eigenständig zu fachlich korrekten Ergebnissen?
- Ist der Wissenszuwachs themenabhängig?
- Verändert sich die Kooperationsbereitschaft zwischen den Schüler*innen?

- Hängt die Kooperationsbereitschaft zwischen den Schüler*innen von ihrer Sozialkompetenz ab?
- Inwiefern unterstützt das Konzept „Lernen aus Widersprüchen“ Schüler*innen mit Förderbedarf?

2. Lerngruppe

Bei dieser ersten Studie wurde eine vergleichsweise kleine Lerngruppe von Schüler*innen einer 7. Klassenstufe ausgewählt. Es handelte sich um 8 Schülerinnen und 18 Schüler, davon 2 mit sozial-emotionalem Förderbedarf, im naturwissenschaftlichen Kursunterricht, die aus 5 verschiedenen Klassen stammten, was die Heterogenität noch steigerte.

Die Gruppe hatte wenig Erfahrung mit Diskussionen und naturwissenschaftlicher Argumentation kannte aber das Experimentieren in Kleingruppen an Hand von Arbeitsblättern, die im Wesentlichen die Struktur eines Grundgerüsts eines klassischen Versuchsprotokoll haben.

3. Konzeption der Unterrichtseinheiten

Der Fragestellung unserer Untersuchung folgend wurde das „Lernen aus Widersprüchen“ im Rahmen regulär vorgesehener Optik-Unterrichtseinheiten mit Standard-Schulversuchen erprobt: Jede Lerneinheit thematisierte eins der Grundthemen der Optik und bestand aus eine Doppel- und einer darauf folgenden Einzelstunde. Die einzelnen Lerneinheiten waren dabei folgendermaßen aufgebaut:

Doppelstunde:

- 1) Plenum: Aufwerfen der Fragestellung: „Was passiert da eigentlich?“
- 2) Plenum: Sammeln von Hypothesen
- 3) Gruppen: Diskutieren der Hypothesen
- 4) Gruppen: Durchführung eines klärenden Versuchs

Einzelstunde:

- 5) Plenum: Diskussion und Sicherung der Ergebnisse
- 6) Plenum: Übertragung auf einen neuen (astrophysikalischen) Kontext

In der Phase (2) werden im Plenum Hypothesen zur in Phase (1) aufgeworfenen Fragen von (möglichst vielen) Schüler*innen zusammengetragen und an der Tafel gesammelt. Hierbei werden alle Vermutungen (auch die auf Fehlvorstellungen beruhenden) zunächst als völlig gleichwertig behandelt, damit so alle SuS (auch lernschwache) ermutigt werden, sich zu äußern, und die Widersprüche zwischen verschiedenen Schüler*innenvorstellungen deutlich werden. Sie dienen als Ausgangspunkt für den Rest der Lerneinheit.

¹ Wir danken der Gesamtschule Bonn Beuel und insbesondere Ulrich Dobrindt.

In der Gruppenphase werden dann die Vermutungen in heterogenen Kleingruppen (je 4 Schüler*innen) untersucht, zunächst durch Argumentieren und Diskutieren, danach durch Experimente, wobei natürlich die Experimentierergebnisse die oberste Instanz zur Prüfung der Vermutungen sind. Die Diskussion hat dabei vor allem drei Funktionen: (1) Sich der Hypothesen und der damit zusammenhängenden Widersprüche in der Gruppe vergewissern. (2) In sich unlogische Hypothesen verwerfen. (3) Herausarbeiten, inwiefern das Experiment eine Klärung des Widerspruchs herbeiführen kann und worauf deshalb bei dessen Durchführung besonders zu achten ist.

Experimente sind beim Lernen aus Widersprüchen zentral, weil sie es Schüler*innen ermöglichen, selbst Widersprüche zu erkennen und zu klären, indem sie die Natur befragen, ohne auf externes Expert*innenwissen angewiesen zu sein. Umgekehrt bietet das Lernen aus Widersprüchen eine naheliegende Möglichkeit, den sonst oft von den Schüler*innen nicht gesehenen Bezug zwischen Experimenten und dem Rest des Physikunterrichtes herzustellen. Sie ermöglichen darüber hinaus im inklusiven Physikunterricht [2]:

- 1) Natürliche Binnendifferenzierung am gemeinsamen Gegenstand [6] ohne dass die Gruppe den Bezug zueinander verliert,
- 2) Wahrnehmung mit allen Sinnen
- 3) Entwicklung von Kreativität und Phantasie
- 4) Förderung der Konzentrationsfähigkeit
- 5) Ausbau der motorischen Fähigkeiten (psychomotorische Lernziele)
- 6) Schulung des Problemlösevermögens (kognitive Lernziele)
- 7) Selbstständiges Wählen von Fragen und Zielen,
- 8) spielerische Freuden (affektive Lernziele).

Ziel ist es, dass jede Kleingruppe zu einem gemeinsamen Ergebnis gelangt, das jede Gruppe am Ende jeder Lerneinheit vorträgt; es wird dann im Plenum gemeinsam bewertet.

Durch Anwendung dieser Methodik wird der Erwerb der Kompetenzen Erkenntnisgewinnung, Kommunikation durch Argumentieren und des Bewertens besonders gefördert, so die Arbeitshypothese der Autoren.

Aus der Entwicklungspsychologie ist bekannt, dass es nicht reicht, ein Ergebnis lediglich als solches festzuhalten; vielmehr ist das Ziel „Beweglichkeit zu verleihen und (...) den Schüler zu befähigen, (...) die notwendigen Transformationen, Variationen usw. vorzunehmen. (...) Nur so werden [Operatoren und Begriffe] zu Instrumenten eines lebendigen Denkens. (...) Diese Transparenz erwirbt ein Begriff im Zuge seines Durcharbeitens. (...) Durcharbeiten bedeutet nämlich, daß sich das Denken auf verschiedenen Wegen durch ein Netz bewegt.“ [7] Deshalb schließt jede Einheit mit der Übertragung des Ge-

lernten in einen anderen Kontext ab. Gewählt wurde dabei die Astrophysik (manchmal ergänzt um Beispiele aus anderen Kontexten), weil sie typischerweise im Schulunterricht zu kurz kommt, [8] obwohl sie bei Schüler*innen auf sehr großes Interesse stößt [9] und vielfach mit ihrer Alltagserfahrung zu tun hat. Zudem wird damit eine gewisse Spannweite eröffnet, von ganz nah dran und unmittelbar mit den eigenen Händen in Experimenten zu Erkundendem und ganz weit weg, nur durch Beobachtung und oftmals sehr indirekt Erkundbarem.

4. Kompromisse

Diese Konzeption der Unterrichtseinheiten stellte in dreierlei Hinsicht einen Kompromiss zwischen dem Ziel, dass sich die Reihe möglichst bruchlos in den Regelbetrieb einfügen sollte und dem Konzept des Lernens aus Widersprüchen dar:

- 1) Der Idee des Lernens aus Widersprüchen folgend wäre es naheliegender gewesen, die Arbeitsgruppen erst nach dem Sammeln der Hypothesen für jede Lerneinheit neu so zusammenzustellen, dass immer gezielt Schüler*innen mit verschiedenen Hypothesen zusammen eine Arbeitsgruppe gebildet hätten, und dies auch explizit zu kommunizieren. So hätten die Schüler*innen tatsächlich ihre eigenen Thesen in der Gruppe vertreten und zueinander ins Verhältnis setzen können. Angesichts seiner Erfahrung mit dem Kurs hielt der Lehrer des Kurses es aber für sinnvoller, über mehrere Einheiten hinweg feste Gruppen (mit je 4 Schüler*innen) zu bilden. Diese wurden von ihm möglichst heterogen zusammengestellt; Arbeits- und Sozialverhalten wurden zuvor vom Lehrer bei allen Schüler*innen durch einen qualifizierten Fragebogen [10] ermittelt.
- 2) Die Versuche und zugehörigen Arbeitsblätter waren vorher in Vorwegnahme erwarteter Hypothesen festgelegt. Idealerweise wären sie erst nach dem Aufstellen der Hypothesen auf diese maßgeschneidert oder aus einem größeren Repertoire ausgewählt worden, sodass sichergestellt gewesen wäre, dass sie auch tatsächlich zur Klärung der Widersprüche zwischen diesen Hypothesen geeignet sind.
- 3) Für das Schülerlabor wurden bewusst zahlreiche Versuche entwickelt, deren Durchführung jeweils maximal 1-2 Minuten dauerte und die höchstens minimal protokolliert werden mussten. Sie wurden als ein Argument in den Diskussionsfluss eingewoben und sollten diesen nicht unterbrechen, sondern befeuern. Stattdessen wurde in der hier vorgestellten Untersuchung an die Experimentierpraxis der Schüler*innen angeknüpft und mit typischen Schulversuchen gearbeitet. Dementsprechend gab es während der Gruppenarbeit eine klassische Trennung mit einer Diskussionsphase, der genau eine längere Experimentierphase folgte. Ein Grund für diese Wahl war auch, dass eine mit dem Schülerlabor vergleich-

bar enge Betreuung der Gruppen im Regelschulbetrieb nicht realisiert werden kann.

5. Die Unterrichtseinheiten

Die Unterrichtseinheiten zum Themenbereich Optik wurden im Rahmen der Masterarbeit in Absprache mit dem Lehrer entwickelt.

5.1. Sehvorgang

5.1.1. Ausgangsfragestellung

Stimmt folgender Werbeslogan einer fiktiven Lampenfirma: „Durch uns kommt zu jeder Zeit Licht ins Dunkel. Durch uns können Sie zu jeder Zeit etwas sehen.“ Versuch: Im verdunkelten Raum wird der Strahl eines Laserpointers quer durch den Raum geführt und der Ursprung (Pointer) und der Auftreffpunkt an der gegenüberliegenden Wand abgedeckt. Später wird Kreidestaub in den Strahl eingebracht.

5.1.2. Von den SuS aufgestellte Hypothesen

Die Hypothesen in dieser Unterrichtseinheit wurden in Form von Skizzen aufgestellt, die sich in Abbildung 1 finden.

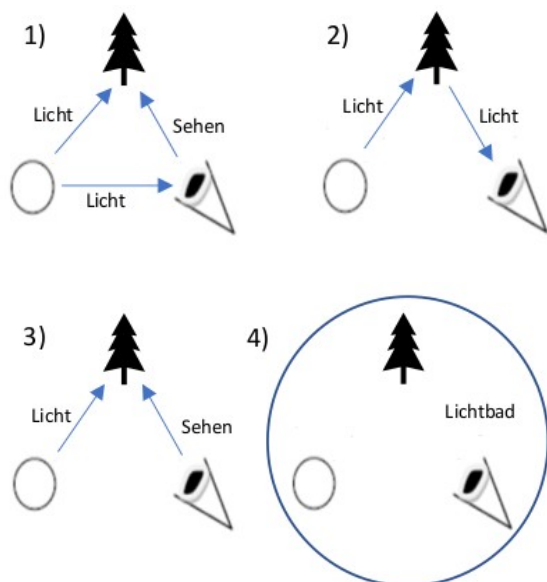


Abb. 1: Hypothesen zum Sehvorgang

5.1.3. Schülerexperiment

Selbständige Wiederholung des Eingangsversuches mit LED statt Laser.

Auf dem Arbeitsblatt sind eine Lichtquelle, ein Gegenstand und das Auge aufgezeichnet. Die Schüler*innen haben die Aufgabe, den Sehvorgang durch Anbringen von Pfeilen zu erklären.

5.1.4. Astrophysikalischer Kontext

Als astronomischer Kontext dienten u.a. die Mondphasen (Licht und Schatten).

5.2. Reflexion und Streuung

5.2.1. Ausgangsfragestellung

Wovon hängt ab, ob Reflexion oder Streuung auftritt?

5.2.2. Von den SuS aufgestellte Hypothesen

Ob Streuung oder Reflexion stattfindet, hängt ab von (1) Blickwinkel, (2) Material, (3) Farben oder (4) Oberfläche.

5.2.3. Schülerexperiment

Auf dem Arbeitsblatt (siehe Abb. 2) sind eine glatte (spiegelnde) metallische Oberfläche (1) und eine unregelmäßig geformte metallische Oberfläche (2) mit samt dreier unter einem Winkel einfallenden Lichtstrahlen abgebildet.

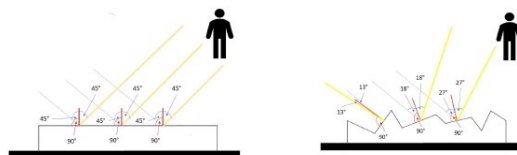


Abb. 2: Ausschnitte aus dem Arbeitsblatt zu Reflexion und Streuung

Aufgabe der Schüler*innen ist es, jeweils die reflektierten Strahlen zu bestimmen und einzuzeichnen. Dabei spielt das zuvor thematisierte Einfallslot für jeden einfallenden Strahl eine entscheidende Rolle. Das begleitende Experiment: Eine Aluminiumfolie wird sorgfältig von der Rolle abgerissen, die Schüler*innen können sich wie in einem Spiegel sehen (Reflexion, es gilt das Reflexionsgesetz). Nun wird das Folienstück zerknüllt und anschließend so gut es geht wieder glatt gestrichen – da wird nie wieder ein Spiegel draus, die mikroskopisch kleinen Teilflächen der Folie haben alle unterschiedliche Einfallslote, die einfallenden Strahlen werden daher in alle möglichen Richtungen reflektiert, insgesamt sprechen wir von diffuser Reflexion bzw. Streuung (Beispiel: eine Hauswand).

5.2.4. Astrophysikalischer Kontext

Sichtbarkeit von Planeten

5.3. Spektroskopie

5.3.1. Ausgangsfragestellung

Spektroskopie verschiedener Lichtquellen: Woher kommen die Farben?

5.3.2. Von den SuS aufgestellte Hypothesen

Die Farben (1) kommen aus dem Licht, (2) aus dem Prisma, (3) entstehen durch Brechung oder (4) Veränderung des Lichts.

5.3.3. Schülerexperiment

Die Schüler*innen bauten ein Spektroskop, das von A. Küpper im Rahmen seiner Dissertation entwickelt und in der Klassenstufe 5/6 erfolgreich erprobt worden war, siehe Abbildung 3 und [11].

Nun werden verschiedene Lichtquellen betrachtet (unter Anleitung), z.B. eine Glühlampe (kontinuierliches Spektrum), Deckenleuchten im Klassenraum (meist ein Quecksilber-Spektrum), wenn vorhanden auch eine Natriumdampf-Lampe. Die Schüler*innen sehen die Verschiedenheit der farbigen Spektren, mit Hilfe von Hilfskarten werden sie in einfacher, didak-

tisch reduzierter Weise erklärt (Glühspektrum: fester heißer Glühdraht, Linienspektren: leuchtende heiße Gase).

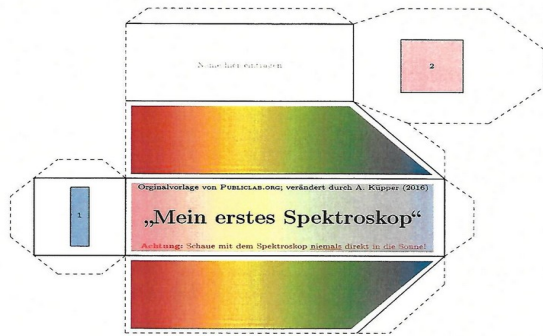


Abb. 3: Spektroskop-Bastelbogen

5.3.4. Astrophysikalischer Kontext

Das Sonnenspektrum

5.4. Farbmischung

5.4.1. Ausgangsfragestellung

Wieso mischen sich Lampen anders als Farbfilter?

5.4.2. Von den SuS aufgestellte Hypothesen

Die Farbmischung hängt ab von (1) Nähe zur Lichtquelle, (2) Lage der Farben, (3) eigene Lichtquelle der Farben, (4) Farbplättchen (5), weißer Hintergrund (6) Stärke des Lichts (7), Helligkeit (8), Reihenfolge der Farben.

5.4.3. Schülerexperiment

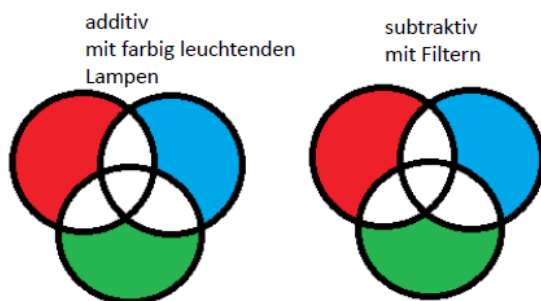


Abb. 4: Ausschnitt aus dem Arbeitsblatt zur Farbmischung

Die SuS erhalten pro Gruppe drei farbige Taschenlampen und drei Farbfilter (alternativ: Lebensmittelfarben). Sie bringen das Licht der Lampen und danach die Farbfilter, beleuchtet durch eine Glühlampe, zur Überlappung und beobachten das jeweilige Ergebnis.

Auf dem Arbeitsblatt (siehe Abbildung 4) sind zwei aus jeweils 3 Farben bestehende Farbkreisensembles gezeichnet, das eine Ensemble repräsentiert die additive Farbmischung durch die farbigen Taschenlampen, das andere die subtraktive durch die beleuchteten Farbfilter. Die Überlappbereiche sollen nun entsprechend ihren Beobachtungen mit Farbstiften ausgemalt werden. Der kleine mittlere Bereich der En-

sembles ergibt weiß für additive und schwarz für subtraktive Farbmischung.

5.4.4. Astrophysikalischer Kontext

Leuchtende Gasnebel am Himmel (z.B. Orionnebel).

5.5. Absorption

5.5.1. Ausgangsfragestellung

Warum erscheinen Gegenstände hell oder dunkel?

5.5.2. Von den SuS aufgestellte Hypothesen

(1) Die Farben werden sichtbar durch das Licht. (2) Schwarz reflektiert weniger als weiß. (3) Die Farben werden unterschiedlich gemischt. (4) Die Gegenstände werden eingefärbt. (5) Die Farben werden aus dem Licht herausgezogen. (6) Es liegt an der Helligkeit des Lichts. (7) Es liegt am Material.

5.5.3. Schülerexperiment

Auf dem Arbeitsblatt sind verschiedenfarbige Streifen abgebildet. (Abb. 5) Diese werden nun erst mit einer Glühlampe bestrahlt, dann mit einer Natriumdampf-Lampe (monochromatisches Licht). Das beobachtete Ergebnis ist im ersten Fall, dass man alle Farben wie abgebildet sieht; im zweiten Fall sieht man überhaupt keine Farben (bis auf das orangefarbene Licht der Natriumlampe auf dem weißen Streifen), sondern nur Grautöne, die Farbstreifen absorbieren das monochromatische Licht der Natriumlampe unterschiedlich stark, ein Farbeindruck kommt aber nicht zustande.

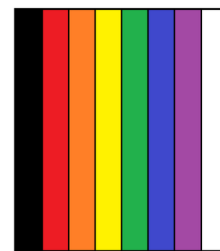


Abb. 5: Ausschnitt aus dem Arbeitsblatt zur Absorption

5.5.4. Astrophysikalischer Kontext

Absorptionsvermögen des Mondes

6. Tatsächlicher Verlauf der Unterrichtseinheiten

Die ersten beiden Phasen, das Aufwerfen der Ausgangsfragen und das Aufstellen von Hypothesen im Plenum haben tatsächlich wie erwartet stattgefunden. Es ist auch gelungen, alle Schüler*innen dabei einzubinden und zum Aufstellen von Thesen zu ermutigen. Trotz vorab feststehender Gruppeneinteilung (siehe Kompromiss 1) waren mit wenigen Ausnahmen auch bei allen Unterrichtseinheiten in jeder Gruppe Schüler*innen mit verschiedenen Thesen. In den wenigen Ausnahmefällen, in denen alle Schüler*innen einer Gruppe dieselbe Hypothese hatten, wurde auch Bezug auf die zuvor gesammelten, aber nicht in der Gruppe vertretenen Hypothesen genommen.

Die Diskussion in den Arbeitsgruppen verlief dagegen anders als geplant: Tatsächlich haben die Schü-

ler*innen sich lediglich sehr kurz der in der Gruppe vertretenen Hypothesen versichert; diese wurden aber weder auf innere Konsistenz reflektiert noch wurde der Bezug zum geplanten Experiment hergestellt; stattdessen gingen die Schüler*innen nach kürzester Zeit in die Experimentierphase (4) über, klärten aber währenddessen den im Raum stehenden Widerspruch ohne weitere Unterstützung tatsächlich (bis auf eine Ausnahme).

Dass diese Klärung tatsächlich stattgefunden hatte, wurde in der zweiten Plenumsphase in der Einzelstunde deutlich, in der mit großer Beteiligung aus allen Gruppen von klaren Ergebnissen in Bezug auf die zu Beginn aufgeworfenen Hypothesen berichtet wurde und diese Ergebnisse zu großen Teilen auch in die Übertragung auf die jeweiligen astrophysikalischen Kontexte eingebracht werden konnten.

7. Evaluation

7.1. Gruppenarbeitsverhalten

Die Gruppenarbeitsphasen wurden durch den Lehrer und einen der Autoren unabhängig voneinander beobachtet. Dabei ging es einerseits um einen Gesamtüberblick. Andererseits wurde eine ausgewählte, stark heterogene Arbeitsgruppe mit Hilfe kriterienbasierter Beobachtungsbögen in jeder Unterrichtseinheit systematisch beobachtet.

Es zeigte sich, dass die Schüler*innen in 3 von 7 Arbeitsgruppen nicht wie erhofft als Gruppen zusammenarbeiteten, sondern allein arbeiteten oder zu zweit mit einer weiteren Schülerin / einem weiteren Schüler, die/der dieselbe Hypothese vertrat wie sie selbst. So wurden die Experimente auch nicht immer gemeinsam durchgeführt; stattdessen führten die Schüler*innen dieser Gruppen die Experimente teilweise individuell nacheinander durch. Die Erfüllung des Arbeitsauftrages stand dabei nicht immer im Zentrum des Arbeitens und auch nicht die Hypothesen der Mitschüler*innen, sondern der Plan der Schüler*innen, für sich ihre jeweilige Hypothese, auf der sie zunächst sehr beharrten, zu beweisen. Verfolgten sie eine Hypothese, die durch das Experi-

ment widerlegt wurde, waren sie allerdings durchweg in der Lage, dies zu erkennen und von ihrer Ursprungshypothese abzurücken. Diese Erkenntnis und der Weg dorthin wurden in der jeweils die Lerneinheit abschließenden Plenumsphase bereitwillig geteilt und ins Gespräch eingebracht. Mehrmals fragten Schüler*innen bei den Beobachtern um Hilfe, woraufhin die Schüler*innen auf Hilfe durch andere Gruppen hingewiesen wurden. Doch auch dies führte oft nicht dazu, dass das Gespräch mit den anderen Gruppenmitgliedern gesucht wurde.

Zu dieser Agenda einzelner Gruppen passt, dass die Gruppendiskussion vor dem Experiment (Phase 3) so gut wie gar nicht stattgefunden hat. Aber auch die Gruppen, die beim Experimentieren zusammengearbeitet haben, hatten Schwierigkeiten, in der Gruppendiskussion aufeinander einzugehen und beendeten diese sehr schnell.

Unabhängig von diesen Schwierigkeiten nahmen aber fast alle Schüler*innen aktiv am Experimentieren teil.

7.2. Lernzuwachs

Der Lernzuwachs wurde auf zwei Arten erhoben:

- Schüler*innen-Fragebögen zu den einzelnen Unterrichtseinheiten, Prä- und Post-Fragebogen zur quantitativen Ermittlung des Lernzuwachses. Auswertung durch Balken- bzw. Tortendiagramme und zusätzlich Wilcoxon-Test auf Signifikanz
- Reguläre Klassenarbeit 2 Wochen nach Durchführung der Lerneinheiten

Die Ergebnisse der Schüler-Fragebögen sind in Abbildung 6 dargestellt. Sie zeigt den Gesamtpunktevergleich Vorher-Nachher. Dabei wurden 0 Punkte für keine oder eine falsche Antwort, 1 Punkt für eine richtige Antwort ohne Begründung, 2 Punkte für zusätzliche richtige Begründung, 3 Punkte für zusätzlichen Gebrauch der Fachbegriffe vergeben. Abb. 6 verdeutlicht, dass – wie natürlich zu erwarten – mit einer Ausnahme überall Lernzuwachs erreicht wurde, aber der Lernzuwachs erstaunlicherweise sehr stark ist. Im Prätest hatten 35% der Schüler*in-

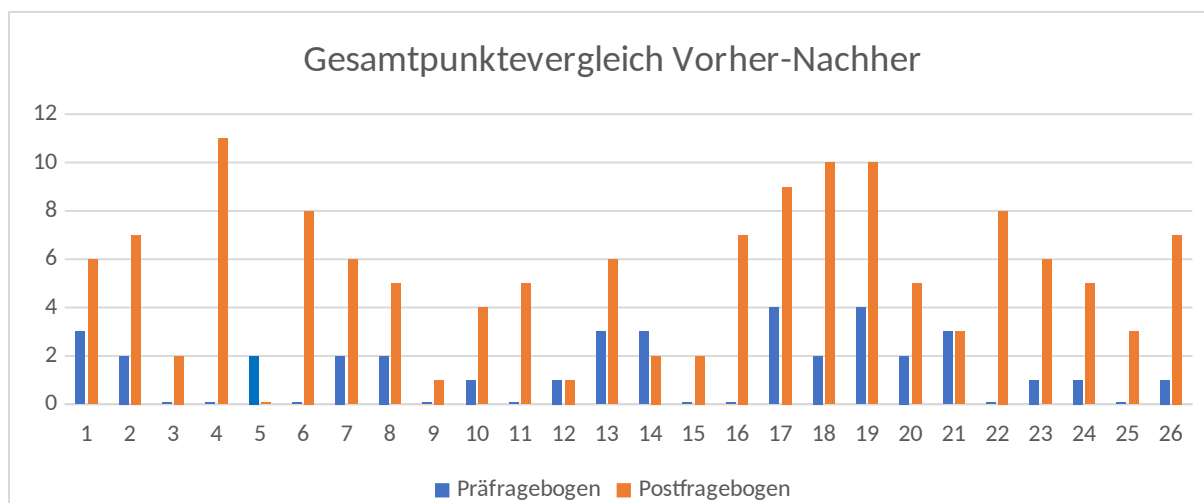


Abb. 6: Lernzuwachs der einzelnen Schüler*innen

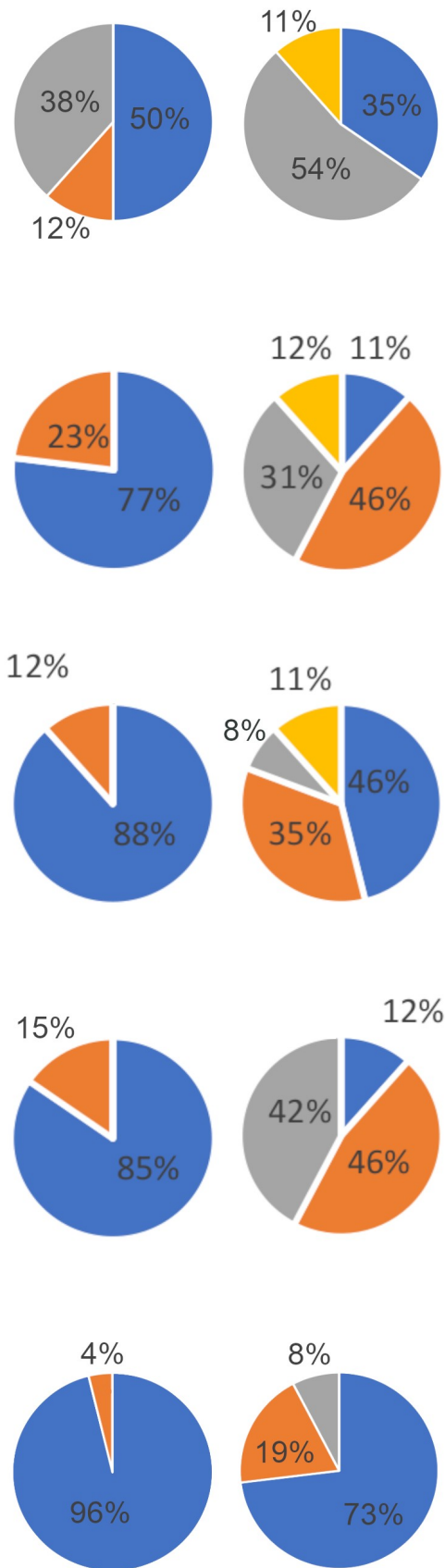


Abb. 7: Prozentuale Verteilung der erreichten Punktzahlen: von oben nach unten: Frage 1-5 im Prä- (links) und Postfragebogen (rechts). blau: 0 Punkte; orange: 1 Punkt; grau: 2 Punkte; gelb: 3 Punkte

nen 0 Punkte und 8% 4 Punkte (dies war das erreichte Maximum), obwohl die Themen „Sehen“ und „Reflexion“ eine Wiederholung aus früheren Klassenstufen darstellten. Im Posttest hatte nur noch 1 Schüler 0 Punkte, 50% erreichten 5, 6, 7 oder 8 Punkte, 12% erreichten 10 oder 11 Punkte.

Abb. 7 zeigt in Tortendiagrammen die Prä- und Posttest-Ergebnisse für die einzelnen Unterrichtseinheiten. Man erkennt, dass die Punkteverteilung bei den Einheiten erheblich variiert, insbesondere die Einheit 5 (Absorption) ganz erheblich schlechter abschneidet als die anderen.

Abb. 8 zeigt in einer Tabelle die erreichten Noten, 45% erzielten die Note 1 oder 2, 78% erzielten eine 1, 2 oder 3, 22% die Note 4, niemand die Note 5 oder 6. Dies spiegelt eindrucksvoll den bereits oben festgestellten großen Wissenszuwachs wider.

8. Bewertung

Das Ergebnis dieser Untersuchung ist ambivalent:

8.1. Umgebaute Konzeption

Man könnte vertreten: Einige Gruppen haben die Konzeption der Unterrichtsreihe folgendermaßen umgebaut:

Doppelstunde

- 1) Plenum: Aufwerfen der Fragestellung: „Was passiert da eigentlich?“
- 2) Plenum: Sammeln von Hypothesen
- 3) ~~Gruppen: Diskutieren der Hypothesen~~
- 4) ~~Gruppen~~ Einzelarbeit: Durchführung eines klärenden Versuchs

Einzelstunde

- 5) Plenum: Diskussion und Sicherung der Ergebnisse
- 6) Plenum: Übertragung auf einen neuen (astrophysikalischen) Kontext

Nimmt man diesen Umbau hin und analysiert die Lerneinheiten vor dem Hintergrund dieses veränderten Plans, war das Lernen aus Widersprüchen höchst erfolgreich:

- Es ist gelungen, einen Bezug zwischen Experiment und Hypothesen/Theoriediskussion herzustellen.
- Die SuS haben nicht nur eingeforderte Aufgaben abgearbeitet, sondern eine eigenständige Agenda erarbeitet und erfolgreich verfolgt.
- Das Abschlussplenum war recht lebendig und es ist gelungen, die gewonnenen Erkenntnisse auf

| Note | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|--------|---|---|---|---|---|---|
| Anzahl | 5 | 7 | 9 | 6 | 0 | 0 |

Abb. 8: Ausschnitt aus dem Arbeitsblatt zur Absorption

einen neuen, anspruchsvollen Kontext zu übertragen.

- Alle SuS, die leistungsstarken wie die sonst oft abgehängten, haben sich aktiv und produktiv eingebracht.
- Der Lernzuwachs ist beachtlich.

8.2. Einzelkämpfer*innen?

Allerdings kann die hartnäckige Weigerung einiger Gruppen zusammen zu arbeiten auch nicht zufrieden stimmen, schließlich soll Einzelkämpfer*innentum ja weder etabliert noch reproduziert werden. Zudem zeigt der Verlauf des Einzelstundenplenums, dass die SuS unter Anleitung durchaus für produktive Bezugnahme aufeinander zu gewinnen sind.

Der Lehrer des Kurses erklärte dieses Phänomen damit, dass die SuS Gruppenarbeit einfach bisher noch so gut wie gar nicht praktiziert hätten, und dies eine Kulturtechnik sei, die erst erlernt werden müsse. Das war im Vorfeld bekannt. Allerdings hatten die Autoren angesichts der Erfahrungen im Schüler*innenlabor die Hoffnung, dass die Arbeit mit Widersprüchen dazu beitragen könnte, diese Kulturtechnik zu erlernen.

Tatsächlich haben wir die guten Erfahrungen diesbezüglich im Schülerlabor aber auch unter der Voraussetzung gemacht, dass die Gruppen von Studierenden betreut werden, die das Gespräch starten und zumindest hin und wieder sehr gezielt in den Gesprächsverlauf eingreifen. Dabei reichen bei erfahreneren Studierenden sehr wenige Interventionen, sodass diese mehrere asynchron startende Gruppen gleichzeitig betreuen können. Dies lässt sich im Regelunterricht aber nicht realisieren.

9. Beantwortung der Forschungsfragen, Fazit & Ausblick

Das Konzept „Lernen aus Widersprüchen“ aktiviert alle SuS der Lerngruppe und stellt in stark heterogenen Lerngruppen eine gute Alternative zu klassischen Unterrichtskonzepten dar. Zudem ist es erfreulich, wie gut es gelungen ist, Theoriebildung in der Diskussion und Experiment wirklich miteinander zu verbinden, sodass die verbreiteten Begründungen, warum Schüler*innenexperimente sinnvoll sind, nicht leere Versprechungen blieben.

Sicherlich könnte die Gruppenarbeit in der hier erprobten Unterrichtskonzeption mit Kursen, die mehr Erfahrung mit Gruppenarbeit haben, besser funktionieren. Allerdings sind bei der Auswertung der Untersuchung einige vielversprechende Ideen entstanden, wie sich das Konzept so überarbeiten lässt, dass die Gruppenarbeit auch mit ungeübten Gruppen funktionieren könnte:

- Die angesprochenen Kompromisse nachjustieren. Denkbar wäre einerseits, bewusster zu inszenieren, dass die Gruppen absichtlich so zusammengesetzt sind, dass sie aus SuS mit verschiedenen Hypothesen bestehen, damit diese ihre Hypothe-

sen aneinander reiben. Andererseits könnten konkrete Diskussionsaufgaben gezielt in die Arbeitsblätter eingebaut werden.

- Regeln für das Diskutieren im Anschluss an die Hypothesenbildung im Plenum erarbeiten.
- Den SuS Rollen beim Experimentieren zuweisen, sodass die SuS gezielt zusammenarbeiten.
- Adaption von Peer-Konzepten, bei denen die einen den anderen Vorschläge für die Weiterentwicklung eines Zwischenprodukts machen. Damit gibt es etwa in Schreibwerkstätten gute Erfahrungen. Erste Schritte in diese Richtung sind im Schülerlabor bereits entwickelt worden; Ausschnitte aus Arbeitsblättern wie etwa in Abbildung 3 gezeigt dienen dabei als Zwischenprodukte, an denen Widersprüche diskutiert werden können.

10. Literatur

- [1] Schulz, A.; Brackertz, S.; van de Sand, M.: Schülerlabore in Deutschland – Ein ideologiekritischer Blick auf die Schülerlaborlandschaft in Deutschland und Einordnung der Kölner Schülerlabors. In: PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung, 1 (2018), S. 169-177
- [2] Brackertz, S.; Weck, H.; Schulz, A. (2018): Experimente & Widersprüche im (inkluisiven) Naturwissenschaftsunterricht. Chancen und Grenzen entwickelt am Beispiel Physik. In: Dziak-Mahler, u.a. (Hrsg.): (Fach-)Unterricht inklusiv gestalten – theoretische Annäherungen und praktische Umsetzungen. Waxmann: Göttingen. S. 205 – 222.
- [3] Beauftragte der Bundesregierung für die Belange behinderter Menschen (Hrsg.) (2017): UN Behindertenrechtskonvention – Übereinkommen über die Rechte von Menschen mit Behinderungen, amtliche, gemeinsame Übersetzung von Deutschland, Österreich, Schweiz und Lichtenstein
https://www.behindertenbeauftragte.de/Shared-Docs/Publicationen/UN_Konvention_deutsch.pdf?__blob=publicationFile&v=2 (Stand 5/2021)
- [4] Hollenbach-Biele, N.; Klemm, K. (2020): Inklusive Bildung zwischen Licht und Schatten: Eine Bilanz nach zehn Jahren inklusiven Unterrichts. Studien im Auftrag der Bertelsmann-Stiftung
https://www.bertelsmann-stiftung.de/fileadmin/files/BSt/Publicationen/GrauePublicationen/20200625_Inklusive-Bildung-Zwischen-Licht-und-Schatten_ST-IB.pdf (Stand 5/2021)
- [5] Wilkenloh, J. (2020): Lernen aus Widersprüchen im inklusiven Physikunterricht (Optik) der Klassenstufe 7. Masterarbeit an der Universität Bonn im Fach Physik
- [6] Feuser, Georg (2013): Die „Kooperation am Gemeinsamen Gegenstand“ – ein Entwicklung induzierendes Lernen. In: Feuser, Georg; Kut-

- scher, Joachim. (Hgg.): Entwicklung und Lernen. Stuttgart: Kohlhammer. 282–293.
- [7] Aebli, H. (1977): Grundformen des Lernens. 10. Auflage, Stuttgart: Klett, S. 201 ff.
- [8] Bernhard, H. (2005): Zur astronomischen Schulbildung in Deutschland.
http://www.lutz-clausnitzer.de/Bernhard_Studie_26.02.2005.pdf
(Stand 5/2021)
- [9] Holstermann, H.; Bögeholz, S. (2007). Interesse von Jungen und Mädchen an naturwissenschaftlichen Themen am Ende der Sekundarstufe I. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 13 (2007), S. 71-86
- [10] Petermann, U.; Petermann, F. (2013). Lehrereinschätzliste für Sozial- und Lernverhalten. Göttingen: Hogrefe Verlag
- [11] Küpper, A.; Schulz S. (2017): Ein low-cost Spektroskop zum Beobachten der Fraunhoferlinien. In: Astronomie + Raumfahrt 52 (2), S. 25-29.

Die Bewegung im räumlichen Denken bei physikalischen Aufgaben

Marion Zöggeler *, Alexander Strahl +, Günter Maresch *

*Universität Salzburg, School of Education, AG Didaktik der Mathematik,

marion.zoeggeler@sbg.ac.at und guenter.maresch@sbg.ac.at

+Universität Salzburg, School of Education, AG Didaktik der Physik, alexander.strahl@sbg.ac.at

Kurzfassung

Das räumliche Denken und die Vorstellung von Bewegung sind eng miteinander verbunden. Dies zeigt sich im Besonderen in den Inhalten der STEM-Fächer, namentlich in Physik. Das vorliegende Modell der Bewegung als zentrales Element des räumlichen Denkens basiert auf grundlegenden anerkannten wissenschaftlichen Theorien zur visuellen Wahrnehmung und zur Raumvorstellung in Verbindung mit fachdidaktischen Erkenntnissen aus Mathematik und Physik. Es beinhaltet u. a. die Bewegung als Vorstellung eines realen Ablaufs, die Bewegung als verändernden Vorgang, die Bewegung als gedanklichen Prozess zur Problemlösung sowie die Bewegung als Bewegbarkeit innerhalb eines ruhenden Systems. All diesen Vorstellungen liegt die Erfahrung der Bewegung im realen Raum zugrunde. An das Modell anlehnd, werden physikalisch-technische, astronomische und mathematische Aufgaben zur Bewegung im Hinblick auf das räumliche Denken entwickelt und analysiert. In diesem Beitrag wird der Schwerpunkt auf die physikalischen und astronomischen Aufgaben gelegt. Des Weiteren wird auf eine qualitative Studie zur Untersuchung von räumlichen Denkschritten bei der Lösung der Aufgabenstellungen Bezug genommen. Die Studie zielt auf das Auffinden von Hypothesen, ob und wie das räumliche Denken von Studierenden bei der Lösung der gestellten Aufgaben verwendet wird.

1. Der Raum in der Physik

Zu Beginn dieses Beitrages wird der Blick auf den Raum und die Bewegung als physikalische Inhalte gelegt, die den Hintergrund für die weitere Ausführung über das räumliche Denken bilden.

1.1. Sichtweisen auf den Raum

Von alters her beschäftigten sich Wissenschaftler mit der Frage: „Was ist der Raum?“ und „Welche Eigenschaften bestimmen die Struktur des Raumes?“ Im Laufe der Jahrtausende treten verschiedene Sichtweisen in den Vordergrund, einmal empirische Betrachtungen von Raum und Materie, dann metaphysische Erklärungen und rationalistische Interpretationen von Raum und „Raumbilder(n)“ (Malotki, 1979, zitiert nach Thiering, & Schiefenhövel, 2016, S. 41).

Platon sieht den Raum als etwas Transzendentes und Absolutes, a priori Seiendes, das selbst mit Denken nur schwer ergründet werden kann. Eine Andeutung des Raumes kann in seiner Beschreibung der Natur, „die alle Körper in sich aufnimmt“ (Platon, übersetzt von Müller & Schleiermacher, 1972, Kap. 18), gesehen werden. Die Sichtweise auf den Raum ist bei Aristoteles hingegen von der Betrachtung der empirisch erfassten Natur geprägt und richtet sich auf die Stellung der Erde im Mittelpunkt des Universums, zu dem alles strebt und sich dorthin bewegt. Zu einer ähnlichen Vorstellung des geozentrischen Raumes gelangt Ptolemäus. Er erklärt im *Almagest* durch geometrisch-mathematische Berechnung von Epizykeln

die Bewegung der Planeten um die Erde (vgl. Neugebauer, 1975). Kopernikus lenkt seinen Blick von der Stellung der Erde zu jener der Sonne und nimmt in der Vorstellung des Raumes einen Perspektivenwechsel von innerhalb einer Konstellation nach außen vor. Galilei wendet sich, ähnlich wie Aristoteles mit seiner Erklärung der Nachbarschaften der Objekte und der Bewegung, gegen das Konzept von der Leere des Raumes und begründet dies damit, dass die Natur Leere zu vermeiden versucht. Wie Galilei setzt Descartes den Raum mit der Ausdehnung unendlich teilbarer Materie gleich. Nach seiner Vorstellung ist der Raum durch die Beziehungen zwischen den Körpern bestimmt, die ihn gänzlich ausfüllen und sich bei Bewegung berühren oder abstoßen. Körper und Raum bilden miteinander eine Einheit. Descartes weist in seinen Ideen auf eine metaphysische Betrachtung des Raumes hin, ausgehend von kognitiver Erkenntnis und mathematischer Überlegung, zu einer Zeit, in der die Mathematik als unabhängig von der Erfahrung, im Gegensatz zur Naturwissenschaft, gilt. Newtons Ideen zu Descartes' Rationalismus zeigen seine Einstellung zur metaphysischen Betrachtung der Naturwissenschaften. Er trifft eigene Annahmen und stellt, ausgehend von atomistischen Vorstellungen, Gesetzmäßigkeiten auf, um vor allem mechanische Phänomene im Raum zu erklären. (vgl. u. a. Damerow, 2016)

Den verschiedenen Sichtweisen liegt annähernd die Vorstellung des Raumes als ein Gebilde zugrunde,

das mit veränderbaren Körpern und mit Orten ausgestattet ist, bei deren Wechsel sich Bewegung als Veränderung der Beziehung der Körper untereinander vollzieht.

1.2. Die Erfahrung des Raumes

Der geographische Raum stellt den erfahrbaren Raum im Lebensumfeld des Menschen dar. Er weitet sich aus zum kosmischen Raum, teils aus Notwendigkeit für die räumliche und zeitliche Orientierung, teils aus Neugierde für das Erkennen der kausalen Abhängigkeiten für die Lebensgestaltung. Natürliche Orientierungs- und Bezugspunkte als Landmarken (vgl. u. a. Glück et al., 2005) und technische Hilfsmittel erleichtern das Kennenlernen des Raumes, die Vorstellung von Raumbildern im Gedächtnis und die Darlegung dieser als mentale Struktur des räumlichen Denkens und Orientierens.

Durch Handeln mit den Objekten aus der realen Welt und durch deren Verknüpfung mit dem Vorstellungsbild lässt die Erfahrung kognitive Strukturen entstehen. Die Erfahrung von Raum und Zeit, mit der ein periodischer Ablauf gemessen bzw. eine Wiederkehr von Episoden vorausgesagt wird, und die symbolische Darstellung dieser Erfahrung führen durch das kognitive Überdenken zu den beispielhaft genannten Sichtweisen auf den Raum als frühe Raumkonzepte. (vgl. Damerow, 2016)

Ein bereits bestehendes Konzept des Raumes unterliegt einerseits der Repräsentation als der räumlichen Vorstellung und symbolischen Darstellung bis hin zur Abstraktion im geometrisch-mathematischen Formalismus, andererseits der Reflexion als Prozess des räumlichen Denkens. Das Denken über den Raum schließt im Aufbau eines neuen Konzeptes Analogiebildung, Zufälligkeiten und mögliche neue Erfahrungen im realen empirischen und im mentalen Raum ein. Damit zeigt sich der Weg in der Konzeptbildung und im räumlichen Denken von der Wahrnehmung der Raumerfahrung, über die Vorstellung in Raumbildern und die Abstraktion bis hin zur Bildung eines neuen physikalischen Wissenskonzeptes höherer Ordnung. (vgl. Blum, Renn, & Schemmel, 2016)

1.3. Der Raum in physikalischen Konzepten

Durch neue physikalische Konzeptbildungen ergibt sich vielfach in Wechselwirkung eine Veränderung in der Sichtweise auf Raum sowie auf Zeit. Im Besonderen führen die Spezielle und Allgemeine Relativitätstheorie zu einem neuen Verständnis von Raum und Zeit als untrennbarer Einheit, der Raumzeit. Ausgehend von erfahrbaren Phänomenen im Elektromagnetismus, vor allem in der Optik, und in der Gravitation entsteht durch deren Beschreibung ein erweitertes neues Konzept von Raum und Zeit. Die Allgemeine Relativitätstheorie ist geprägt durch die neuerdings verstärkte Gewichtung der Auswirkungen der Gravitation im Raum, während in der klassischen Physik im Konzept des homogenen und isotropen Raumes die Materie als Ursache von Gravitation vor-

erst nicht miteinbezogen worden ist. Die Quantenphysik hingegen hat das Verständnis von Raum und Zeit nicht in diesem Ausmaß verändert, wie die Betrachtung der Nicht-Lokalität von Eigenschaften in Quantensystemen vermuten lassen könnte. Vielmehr sind die Materie und ihre mikroskopischen Eigenschaften das zentrale Element der Quantenphysik. Dabei fließt der Aspekt der Wahrscheinlichkeit und Unschärfe als neue Eigenschaft der Teilchen im Raum ein. (vgl. u. a. Blum et al., 2016)

Als zentrales Element physikalischer Konzeptbildung stellt das Konstrukt des Feldes an sich und mit einer möglichen zeitlich-räumlichen Veränderung eine enge Verbindung zur Vorstellung von Raum dar. Es ist sowohl die Vorstellung einer physikalischen Einheit im Raum, als auch die mathematische Beschreibung für die Verteilung physikalischer Eigenschaften im Raum.

1.4. Die Verbindung von Raum und Zeit

In der Bewegung sind Raum und Zeit als kognitive Elemente eines Vorgangs zur Veränderung miteinander verbunden. Der Raum wird durch Bewegung erfahren und erkundet, und die Bewegung ist an den Raum gebunden bzw. an das sichtbare und/oder mentale Nebeneinander von Objekten, die ihre Beziehung zueinander durch Bewegung verändern. Die Zeit hingegen ist das Nacheinander im Ablauf eines Vorganges und das Aufeinanderfolgen von Augenblicken. Sie steht gleichsam als für sich nicht-vorstellbares Element über den Objekten. Raum und Zeit werden in einigen Konzepten der klassischen Physik getrennt betrachtet, während sie in anderen als Gemeinsamkeit aufscheinen. Die Bewegung schließt Raum und Zeit mit ein. Gerade in der Astronomie und in der Astrophysik zeigt sich in den kosmischen Vorstellungen die Erfassung der Zeit als erfahrbares bewegtes Vorüberziehen und Wiederkehren in Regelmäßigkeit. Dass Raum und Zeit aneinandergebunden sind, wird – außer im beschriebenen Zusammenhang im Konzeptionellen – auch über verschiedene Formen der Messung und der Darstellung deutlich. Die regelmäßige Wiederkehr von Phänomenen im realen, vor allem kosmischen Raum und in physikalischen Systemen wird schon früh als zeitlich-räumliches Maß betrachtet, zum Beispiel der Tageslauf der Sonne, die monatliche Wiederkehr des Mondbildes und die Regelmäßigkeit drehender und bewegter Elemente im Takt mechanischer Systeme

2. Räumliches Denken – Spatial Thinking

2.1. Begriffsklärung

„*Spatial thinking is the mental process of representing, analysing, drawing inferences from spatial relations [...] between objects [...] or relations within objects, [...] analysing spatial relations and transforming spatial relations.*“ (nach Uttal, Miller, & Newcombe, 2013, S. 367; vgl. auch National Research Council, 2006)

Von der Raumvorstellung als gesamtheitlicher (u. a. El Koussy, 1935) bzw. in Faktoren (u. a. Linn, & Petersen, 1985) aufgegliederter Aspekt der Intelligenz weitet sich der Begriff neuerdings zum räumlichen Denken als dem Spatial Thinking, das ein einheitliches, jedoch fein gegliedertes Konstrukt darstellt. (vgl. u. a. Buckley, Seery, & Canty, 2019)

Das räumliche Denken ist eine vielfältige komplexe Fähigkeit, - „*visuell processing*“ und „*spatial cognition*“ (vgl. McGrew, 2009, S. 5; Buckley et al., 2019, S.168), - die sich in verschiedenen räumlichen Denkprozessen zeigt, die individuell eingesetzt und innerhalb eines Lösungsvorganges mitunter gewechselt werden (vgl. u. a. Barratt, 1953; French, 1965; Just, & Carpenter; 1985, Schultz, 1991). In der aktuellen Forschung wird räumliches Denken unter anderem gesehen als „*largely determined by the capacity to represent and manipulate mental information (spatial cognition) and to hold sufficient amounts of pertinent information (working memory)*“ (Buckley et al., 2019, S. 166). Dabei wird das räumliche Arbeitsgedächtnis als Element des räumlichen Denkens gewichtet.

Ein früher Hinweis auf räumliches Denken ist in einer Aussage von Galton (1879) gegeben.

„Much instruction on these matters can be derived from those who possess the power of what is called the visualising faculty, in a high degree. The objects of their memory are conspicuous images; they can retain them for a long time before the eye of their mind, they can dismiss or change them at will, and they can, if they please, subject them to careful examination from every side.“ (Galton, 1879, S. 158 f.)

Galton bezieht sich auf räumliche Bilder vor dem Auge des Geistes, die verändert, bearbeitet und von verschiedenen Perspektiven betrachtet werden können. Dieser angedeutete Ablauf des räumlichen Denkens findet sich auch in aktuellen Begriffsklärungen zum Raumvorstellungsvermögen (u. a. Maresch, 2020) bzw. zum räumlichen Denken, dem Spatial Thinking (vgl. National Research Center, 2006), wieder, in denen die individuellen Denkprozesse immer mehr in den Vordergrund rücken. Mc Grew (2009) charakterisiert den visuellen und räumlichen Fähigkeitsbereich der Intelligenz als „*the ability to generate, store, retrieve and transform visual images and sensations*“ (Mc Grew, 2009; S. 5). Er bezieht sich außerdem auf die Wahrnehmung und Vorstellung von Formen und Bildern und auf die räumliche Orientierung von Objekten, die sich verändern und im Raum bewegen.

2.2. Denken über und mit dem Raum

Räumliches Denken umfasst das Denken über den Raum und das Denken mit dem Raum. Ersteres betrifft einerseits die Erfahrung im realen Raum, im Large-Scale, in dem man nur einen Teil des Gesamten zeitgleich erfassen kann, andererseits die mentale Bearbeitung realer und vorgestellter Objekte im Raum,

in der Größenordnung des Small-Scale mit handlichen Objekten, z. B. Modellen. Das Denken mit dem Raum deutet auf die Verwendung räumlicher Objekte und Denkprozesse zur Vorstellung nicht räumlicher Inhalte hin, z. B. die Verwendung von Bilderzeichen als Hinweise oder von Graphen in Koordinatensystemen, die Darstellung abstrakter Inhalte in Diagrammen und die Struktur von Termen (vgl. Malle, 1993) in der Mathematik. (vgl. Hegarty, & Stull, 2012)

2.3. Räumliches Denken als umfassende Fähigkeit

Das räumliche Denken ermöglicht, sich durch Wahrnehmen und Vorstellen mentale Abbilder des realen Raumes zu schaffen, mit diesen Vorstellungsbildern zu operieren, sie zu verändern, anzupassen, sie aus verschiedener Lage zu betrachten und in symbolischen, auch abstrakten Darstellungen wiederzugeben. Damit gehen vielfältige Denkvorgänge einher. Diese Denkprozesse, in der Literatur als „*problem-solving behavior*“ und „*problem-solving processes*“ (Barratt, 1953, S. 17), „*problem-solving styles*“ (French, 1965, S. 2), „*mental operations, representations and strategies*“ (Just, & Carpenter, 1985, S.137) und als Strategien (Maresch, 2014) bezeichnet, kennzeichnen individuelle und wechselnde Denkvorgänge in der Raumvorstellung. Sie beinhalten z. B. ganzheitliches oder analytisches Vorgehen, Wechseln der Blickrichtung, gedankliches Bewegen eines Objektes oder der eigenen Person, Zuhilfenehmen eines Koordinatensystems und Betrachten von wesentlichen Merkmalen eines Objektes, seiner Lage und seiner Beziehung im Raum, den „*key features*“ (Schultz, 1991, S. 477). Das räumliche Denken baut auf die visuelle Wahrnehmung (Frostig, Horne, & Miller, 1972) und die Raumvorstellung (vgl. Maresch, 2020) auf. Die visuelle Wahrnehmung betrifft u. a. das „Sehen“ eines ruhenden oder bewegten Objektes durch Sinneswahrnehmung, die Unterscheidung eines Objektes von seinem Hintergrund und das Erkennen seiner Raumlage sowie das Wiedererkennen bei Unvollständigkeit. Sie ist die Voraussetzung für das räumliche Vorstellen und mentale Bearbeiten eines gedanklichen Objektes und für das Orientieren im realen und mentalen Raum. Räumliches Denken, speziell in den STEM-Fächern, schließt außerdem ein zielführendes Analysieren und Argumentieren als Weiterarbeiten und Übertragen auf ähnliche weitergefasste Inhalte mit ein. Im mentalen Weiterarbeiten sind Möglichkeiten gegeben, z. B. mit geometrischen Eigenschaften von Objekten und ihren Beziehungen, wie Orthogonalität, Parallelität, Winkelsumme u. a. zu argumentieren.

2.4. Räumliches Denken in Physik

Der Physik liegt als Auftrag die „*Suche nach letzten Wahrheiten über die Realität*“ zugrunde (Kircher, 2009 a, S. 27). Dabei verbindet sie Erfahrungen und Erforschungen mit Erfassen und Vorhersagen „*von raum-zeitlichen Änderungen an physikalischen Objekten*“ (ebd. S. 4), um Strukturen für ein allgemeines Konzeptverständnis und als „*Grundlage für technische Anwendungen*“ (ebd. S. 5) zu schaffen.

Vom Elementarisieren und Idealisieren komplexer Erfahrungen und Inhalte, führt der physikalische Erkenntnisweg im Wechselspiel von Theorie und Experiment zur Entwicklung bzw. zum Verständnis physikalischer Konzepte. Dazu können bildhafte und symbolische Darstellungen ein gedankliches räumliches Bild einer realen Gegebenheit vermitteln, wofür eine sprachliche und mathematische Beschreibung eingesetzt werden kann. (vgl. Kircher, 2009 b) Dies stellt eine enge Verbindung physikalischer Inhalte zur Vorstellung des Raumes und zum räumlichen Denken her. Einige Beispiele aus Studien sollen dies verdeutlichen.

Die Vorstellung der veränderten Bewegungsbahn eines sich bewegenden Objektes durch Krafteinwirkung, z. B. die Ablenkung einer rollenden Kugel auf einer glatten Fläche durch einen seitlichen Kräftestoß (u. a. Kozhevnikov, Motes, & Hegarty, 2007) oder die Ablenkung eines sich bewegenden geladenen Teilchens in einem homogenen Magnetfeld (u. a. Fulmer, & Fulmer, 2014), setzt im räumlichen Denken das Nachvollziehen einer realen Bewegung voraus. Für das Vorhersagen des weiteren Bewegungsverlaufs werden räumliche Beziehungen zwischen Richtungen und Geschwindigkeitsveränderungen betrachtet. Durch die Vorstellung eines Koordinatensystems (vgl. Just, & Carpenter, 1985) kann z. B. eine Überlagerung von Geschwindigkeitskomponenten ausgedrückt werden. Um die Beziehung zwischen Richtungen, z. B. jener des homogenen Magnetfeldes, des sich bewegenden geladenen positiven oder negativen Teilchens und der ablenkenden elektromagnetischen Kraft, festzustellen, bedarf es der räumlichen Orientierung und der mentalen Rotation (vgl. Fulmer, & Fulmer, 2014).

Ähnliche Denkvorgänge führen zum Verständnis des Zusammenhangs von Bewegungsbahnen in unterschiedlichen Bezugssystemen. Wird z. B. ein Ball aus einer Vorrichtung auf der Ladefläche eines fahrenden Wagens frei nach unten fallen gelassen und die Bahnkurve von verschiedenen Standpunkten aus betrachtet, von einer Person auf dem Wagen und außerhalb, wird in der Vorstellung von einem Bezugssystem in das andere gewechselt (vgl. Kozhevnikov et al., 2007). Der Bezugssystemwechsel trifft auch zu, wenn im astronomischen Raum die Sichtweise von der Horizontebene aus, – z. B. auf den Tageslauf der Sonne von der ruhenden Erde aus –, mit der Sicht von außen auf die bewegte Erde zum Verständnis der astronomischen Realität verbunden wird (vgl. Cole et al., 2018). Räumliche Orientierung und Perspektivenwechsel sind wesentliche Aspekte des räumlichen Denkens in physikalischen Inhalten.

3. Die Bewegung als zentrales Element räumlichen Denkens

3.1. Bewegung und Vorstellung des Raumes

Bewegung, als Orts- und Lageveränderung eines Objekts im Raum und als Objektveränderung, sowie die Beweglichkeit als Möglichkeit dazu, durchziehen das

räumliche Denken. Bewegung äußert sich dabei in verschiedener Weise, als Vorstellung und Vorausdenken eines Bewegungsablaufs, als mentaler Veränderungsprozess eines Vorstellungsbildes oder als gedanklicher Vorgang zur Problemlösung.

Ausgehend von der wirklichen Bewegung und Orientierung im Raum zu dessen Erkundung und vom Empfinden der Bewegung des eigenen Körpers, erfolgt die Übertragung in die Vorstellung und damit auch die Erweiterung der gedanklichen Fähigkeiten zur Vorstellung des Raumes. (vgl. Stückrath, 1955; Piaget, & Inhelder, 1971; Glück et al., 2005; Wolbers, & Hegarty, 2010)

3.2. Modell der Bewegung im räumlichen Denken

Aus der Analyse der Bewegung und der Vorstellung darüber im räumlichen Denken wurde das Modell der Bewegung geschaffen, das als Grundlage für die in diesem Beitrag vorgestellten Aufgaben zu Bewegung und Veränderung dient. Es zeigt die verschiedenen Aspekte der Bewegung auf, die in der Realität und in der Vorstellung von Veränderung bei mathematischen und physikalischen Inhalten zum Tragen kommen. Dabei handelt es sich um vier Ausprägungen von Bewegung:

- die real im Raum erfahrbare und in der Vorstellung nachvollziehbare Bewegung,
- die potentielle Bewegung eines bewegbaren Teiles eines Systems,
- die gedankliche Bewegung eines Gesamtobjektes zu dessen Veränderung,
- die Veränderung einzelner Teile durch die Vorstellung von Bewegung.

Grundlage einer jeden räumlichen Vorstellung von Bewegung ist die Wahrnehmung einer wirklichen, sich real vollziehenden Bewegung im Raum.

Die potentielle Objektbewegung beinhaltet das Erfassen einer möglichen Bewegung eines bewegbaren Teiles in einem mechanisch-technischen Objektgefüge. Dies betreffend, wird auf die Beispiele von ineinandergreifenden Zahnrädern und Schrauben in den *Mechanical Movements* von Thurstone (1938) verwiesen.

Die Veränderung eines Gesamtobjektes betrifft die Transformation der Lage, Form und Größe eines vorgestellten bzw. dargestellten Objektes mittels Spiegelung, Verschiebung, Drehung und Skalierung, sodass das Objekt in seiner Veränderung als dasselbe wiedererkannt werden kann.

Mit einer gedanklichen Bewegung kann auch eine innere Veränderung einzelner Teile im Objekt vollzogen werden, z. B. beim Falten eines Körpers aus Flächen bzw. beim Auffalten in Flächen, sowie beim Übertragen von flächenhaften Vorstellungen in körperliche und umgekehrt. Thurstone (1950) bezeichnet diesen Vorgang als „*internal displacement*“ (ebd. S. 518), als eine innere Ortsverlagerung. In den genannten Bereich der Veränderung einzelner Teile durch die Vorstellung der Bewegung fällt auch die

Veränderung in mathematischen und geometrischen Sachverhalten, wie unterschiedliche Darstellungen von Brüchen und die Einordnung von Zahlen am Zahlenstrahl, das Umstellen von Gleichungen und Termen und die Veränderlichkeit als Eigenschaft von Variablen und Funktionen (vgl. u. a. Malle, 1993; Hawes, Tepylo, & Moss, 2015, Wai, Lubinski, & Benbow, 2009), sowie das Bewegliche Denken (Roth, 2005). Letzteres bezeichnet eine gedachte Bewegung, als „Hineinsehen von Bewegung“ (Roth, 2005, S. 86) in eine mathematisch-geometrische Konstellation und beansprucht einen bestimmten Grad an Abstraktion für das zielführende Weiterarbeiten: das Änderungsverhalten von Objekten verstehen, beschreiben, nachvollziehen und damit argumentieren (Roth, 2005).

4. Räumlich-physikalische Aufgaben zu Bewegung und Veränderung

Zu den im Modell beschriebenen Arten der Bewegung wurden mathematische und physikalische Aufgaben konstruiert, die in einer qualitativen Studie zur Sammlung räumlicher Denkprozesse Verwendung finden.

4.1. Entwicklung von Aufgaben

Die Aufgaben betreffen vorwiegend räumliche Inhalte, zu deren Lösung räumliche Vorstellungen oder räumliche Hilfsmittel beansprucht werden. Die Aufgaben werden so konzipiert, dass zu ihrer Lösung räumliches Denken beitragen kann. Die Aufgabenstellung soll ermöglichen, dass der Lösungsprozess in kleinschrittige Denkvorgänge aufgegliedert werden kann, die auf spezielle, individuell verschiedene räumliche Vorstellungen der ProbandInnen schließen lassen.

4.2. Zuordnung der Aufgaben zum Modell der Bewegung

Der Inhalt der zehn Aufgaben ist über unterschiedliche Themengebiete gestreut, um möglichst vielfältige Aspekte des räumlichen Denkens in der Vorstellung der Bewegung und Veränderung abzudecken.

- Die Aufgaben, die sich auf die Vorstellung der realen Bewegung aus der alltäglichen Erfahrungswelt beziehen, betreffen z. B. eine Spielsituation beim Ballwurf aus einem fahrenden Wagen und die Betrachtung von Bewegung im astronomischen Raum. Sie erfordern einen Bezugssystemwechsel, das Erkennen von Relativbewegung und das Vorstellen von Bahnkurven.
- Die Vorstellung der potentiellen Bewegung ist in technisch-physikalischen Problemstellungen mit Zahnrädern, Schraubengewinden, Wellen u. ä. gefragt. Es betrifft die Vorstellung von einzelnen Bewegungsabschnitten und Übertragung der Bewegung bei ineinander wirkenden bewegbaren Teilen in einem Objektgefüge.
- Die Vorstellung der Bewegung eines Gesamtobjektes zur Veränderung seiner Lage durch Drehung im Raum ist z. B. Inhalt einer Aufgabe, in

der ein Würfel um Geraden in einem Eckpunkt so aufgestellt wird, dass eine Raumdiagonale senkrecht auf die Unterlage steht.

- Die Vorstellung der Veränderung von Teilen durch Bewegung in geometrischen Konstellationen, ist in Aufgaben gefordert, in denen z. B. bei Änderung bzw. Festhalten von Bedingungen Bewegung hineingesehen und damit argumentiert wird.

4.3. Beschreibung exemplarischer Aufgaben

Im Folgenden werden beispielhaft zwei räumlich-physikalische Aufgaben näher beschrieben.

Die ausgewählte Aufgabe „Schraubengewinde“ kann dem Bereich der potentiellen Bewegung in einem Gesamtgefüge zugeordnet werden. Aufgaben dieser Art sind bereits in frühen Raumvorstellungstests verwendet worden (vgl. dazu Thurstone, 1938).

Eine rundum gezahnte Scheibe wird um eine feste Achse in ihrem Mittelpunkt von einem am oberen Rand eingreifenden Schraubengewinde angetrieben. Für das räumliche Verständnis ist es von Vorteil, dass die Beschreibung der Problemstellung mit einer Skizze (Abb. 1) ergänzt wird. Die rechtsgängige Schraube in waagrechter Lage dreht sich in der angegebenen Pfeilrichtung. Man muss sich räumlich vorstellen, wie die Drehbewegung des Stabes mit der Wendel mit seiner Translationsbewegung zusammenhängt.

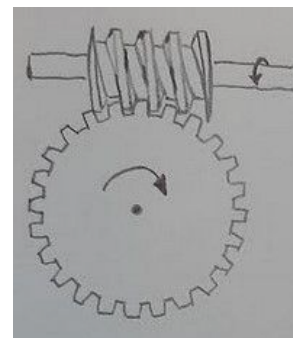


Abb.1: Zahnrad mit Schraubengewinde (selbst erstellte Zeichnung nach Thurstone, 1938)

Die Problemstellung lautet: In welche Richtung dreht sich das Zahnrad, wenn das Schraubengewinde in der dargestellten Anordnung und Drehrichtung in das Zahnrad eingreift? In welche Richtung dreht sich das Zahnrad, wenn das Gewinde in umgekehrter Richtung an den Schaft gesetzt wird?

Bezogen auf das räumliche Denken gilt es vordergründig, die relevanten Merkmale der Konstellation zu betrachten. Der Fokus richtet sich auf die Zähne der Scheibe und das Gewinde des Stabes, die ineinandergreifen, um die Bewegung zu übertragen. Das Vorstellen und Merken einer geringen Teilbewegung, - in diesem Fall, wie sich ein Wellenteil des Gewindes von links oben nach rechts unten auf einen Zahn des Zahnrades zubewegt und diesen um einen kleinen Ruck in eine bestimmte Richtung weiterbewegt -, be-

anspricht u. a. das Vorstellen der Bewegungsrichtungen, das Übertragen der Bewegung sowie das räumliche Arbeitsgedächtnis. Bei der in der Skizze dargestellten Drehrichtung des Gewindestabes bewegt sich der gesamte Stab mit der Wendel in der Bildebene nach rechts, wodurch jeder einzelne Zahn aus dem Gewinde nach rechts herausgedrückt wird. Die Zahnradscheibe wird im Uhrzeigersinn weitergedreht. Auch wenn die Wendel auf dem Schaft verkehrt angebracht ist, bleibt der Gewindetyp derselbe und ebenso die Drehrichtung der Scheibe beim Antrieb in derselben Richtung. Es gilt zu erkennen, dass trotz der Umkehrung der Wendel auf dem Schaft, als der veränderten Bedingung, keine Veränderung in der Bewegungsrichtung eintritt. Die räumlichen Beziehungen innerhalb des Objektgefüges bleiben erhalten. Für die Lösung dieser Aufgabe ist das gedankliche Bild einer Schraube aus dem Werkzeugkasten hilfreich, z. B. die Vorstellung ihrer Vorwärtsbohrung in eine Mauer bei einer Drehbewegung im Uhrzeigersinn. Ein weiterer Aspekt in der Vorstellung ist die Übertragung der anschaulichen flächenhaften Darstellung in der Skizze in die räumliche Vorstellung des tatsächlichen Bewegungsablaufs im Raum.

Die Aufgabe „Sonne in Kapstadt“ erfordert die Wahrnehmung und Vorstellung von Bewegungen im astronomischen Raum in unterschiedlichen Bezugssystemen. Der Inhalt der Aufgabe bezieht sich auf die tägliche Rotation der Erde um ihre Achse, unter Vernachlässigung der Revolution der Erde um die Sonne und anderer kosmischer Phänomene. Ausgehend von der Vorstellung des Tageslaufes der Sonne am Tag der Wintersonnenwende im eigenen Heimatort auf der Nordhalbkugel soll gedanklich der Blick auf den Tagbogen der Sonne von Kapstadt aus gerichtet werden. Die Problemstellung richtet sich auf die Vorstellung des Aufgangs- und Untergangspunktes der Sonne in der Zuordnung zu den Himmelsrichtungen als absolute Bezugspunkte und in der Zuordnung zum eigenen Körper bei Blickrichtung zur Sonne. Eine weitere Fragestellung betrifft die Betrachtung der astronomischen Konstellation von Erde und Sonne beim Blick aus dem Weltall und die geometrische Erklärung von Sonnenaufgang und Sonnenuntergang am Modell der Erdkugel von außen. Für den Vergleich der Sichtweisen aus den beiden Bezugssystemen, einerseits auf den Tageslauf der Sonne von der „ruhenden“ Erde aus, andererseits auf die tägliche Drehbewegung der Erde um ihre Achse von außerhalb, entsprechend dem Large-Scale der Erfahrung und dem Small-Scale der Modellvorstellung, können unterschiedliche Vorstellungen dienen:

- das Hineinversetzen in die jeweiligen Bezugssysteme durch mentale Verlagerung des Standpunktes,
- die analytische Betrachtung der einzelnen Objekte und ihrer räumlichen Beziehungen in beiden Systemen über geometrische Größen.

Das Sich-Hineinversetzen in eine räumliche Konstellation erfordert die Fähigkeit der räumlichen Orientierung. Diese vorwiegend holistische Herangehensweise kann eine gesamtheitliche Sicht ermöglichen.

In der analytischen Betrachtungsweise werden einzelne Eigenschaften in den beiden Bezugssystemen miteinander in Beziehung gesetzt. Dies kann z. B. der Vergleich der Winkel zwischen den Sonnenstrahlen und der Horizontebene, einer vorgestellten Tangentialebene an einem Punkt der Erdoberfläche, sein. Durch die Erddrehung bewegt sich die vorgestellte Tangentialebene am Morgen der Sonne entgegen und tritt am Abend aus dem Sonnenlicht wieder heraus.

Die Verschiebung der Tangentialebene mit einer ruhenden Person an andere Positionen auf der Erdkugel, z. B. von der Nordhalbkugel auf die Südhalbkugel, kann zu einer anderen Sicht auf den Sonnenlauf führen. Die Sonne geht auch in Kapstadt im Osten auf und im Westen unter; ihren Höchststand erreicht sie im Norden. Wenn die Person ihren Blick zum Höchststand der Sonne richtet, blickt sie somit nach Norden. Folglich liegt der Aufgangspunkt der Sonne zu ihrer Rechten, der Untergangspunkt zu ihrer Linken. Dies trifft für alle Orte außerhalb der Tropen auf der Südhalbkugel jederzeit zu. Es fällt auf, dass mit der Veränderung des Standpunktes neue Bedingungen für die räumliche Vorstellung auftreten.

4.4. Verwendung der Aufgaben in einer qualitativen Studie

Die Bearbeitung der Aufgaben erfolgt im Rahmen einer qualitativen Studie zur Untersuchung räumlicher Denkprozesse bei Mathematik-Lehramtsstudierenden der Universität Salzburg im Studienjahr 2020-2021. Zur Beantwortung der Forschungsfrage „Welche räumlichen Denkschritte werden in mathematisch-physikalischen Aufgaben zu Bewegung und Veränderung verwendet?“ wird ein exploratives Vorgehen (vgl. Flick, 2014) mit qualitativer Inhaltsanalyse (vgl. Mayring, 2010) zur Auswertung gewählt.

Die Analyse der unterschiedlichen Lösungswege einerseits und die persönliche Sichtweise der ProbandInnen auf ihre eigenen Denkschritte bei der Bearbeitung der Aufgaben andererseits sollen zur Ermittlung mannigfaltiger Einzelheiten des räumlichen Denkens führen. Die erhobenen Daten aus der schriftlichen Bearbeitung und aus der mündlichen Kommunikation in einem leitfadengestützten Interview obliegen einer vergleichenden und prüfenden Interpretation, bei der individuelle Kernaussagen geordnet, zum tieferen Verständnis expliziert und strukturiert werden (vgl. Gropengießer, 2008). Daran schließt sich der Versuch einer induktiv abgeleiteten Klassifizierung räumlicher Denkprozesse.

5. Beispielhafte Ergebnisse der Erprobung als Ausblick

Die Erprobung der Aufgaben in einer Lehrveranstaltung mit 15 Studierenden vermittelt bereits ein erstes

Bild der Analyse der Lösungsschritte und der Denkprozesse, die die ProbandInnen aus der Reflexion über ihr Vorgehen beim Lösungsprozess schildern und nach der Bearbeitung der Aufgabe aufzeichnen. Relevante Aussagen werden nach der Ähnlichkeit ihrer inhaltlichen Bedeutung in abgeleiteten übergeordneten Klassen eingeordnet.

Für die Lösung der Bewegungsaufgaben mit mechanischen Elementen gilt vor allem die Fokussierung auf relevante Merkmale der Bewegung, auf statische und bewegliche Teile des Gesamtgefüges, wie „dass ein einzelner Zahn der Scheibe nach und nach etwas weiter nach links rutscht“ und „dass die Schraubenwinde in die Zahnradlücke drückt“.

Auch das Nachvollziehen einer realen Bewegung scheint bei der Angabe von Denkvorgängen zur Drehrichtung von Zahnrädern mehrmals auf, z. B. als „in Gedanken langsam nachvollzogene Bewegung“ oder als Einzeichnen von „Schlangenlinien mit Pfeilspitzen um die Zahnräder“.

Auf die Aufgliederung einer komplexen Konstellation als Objektzerlegung und als Objektzusammenfügung für die endgültige Lösung lassen die Vermerke „schrittweises Vorstellen der Bewegungsschritte“ und „System einzeln und im Zusammenwirken betrachtet“ schließen, d. h. komplexe Bewegungen werden in ihre Teile zerlegt und dann zusammengeführt bzw. übertragen.

Das Verändern von Bedingungen und die Betrachtung aus entgegengesetzter Sicht werden ebenfalls als Denkprozess zur Lösung mechanischer Aufgaben eingesetzt, z. B. „ich habe mir das Gegenteil vorgestellt, also in welche Richtung würde es sich drehen, wenn sich B anders bewegt“.

Bei der räumlichen Vorstellung astronomischer Bewegungen herrscht der Perspektivenwechsel vor. Allerdings bleibt die Verbindung der Sichtweise aus der Horizontebene mit jener von außen auf die Kugel der Erde als Modell, vom Large-Scale zum Small-Scale, vielfach ein Versuch und wird nur in einzelnen Fällen bis zur Lösung durchdacht. Bezeichnend sind folgende Aussagen: „ich habe an die Erde als Kugel gedacht, die immer zur Hälfte im Schatten ist“, „die Erde rotiert an bestimmten Punkten in Richtung Sonne und an anderen weg von ihr“, „ich habe mir mental bei Kapstadt einen Menschen vorgestellt“.

Auffallend ist die individuelle und spontane Verwendung von praktischen alltäglichen Hilfsmitteln und von einfachen Skizzen zur Veranschaulichung. Zum Beispiel wird die Übertragung der Bewegung der starren Pleuelstange zu einer Drehbewegung mit einem Lineal nachgespielt oder die Drehrichtung von Zahnrädern mit Keilriemen an Gläsern mit Gummibändern imitiert. Zum Erkennen der Rechtsschraube „habe ich geneigte Striche für die Schraube gezeichnet und probiert, wohin sie sich bei der Umdrehung bewegt“.

Der Rückgriff auf frühes Wissen bzw. auf Allgemeinwissen kennzeichnet vor allem die Lösung bei Aufgaben mit astronomischem Inhalt. Der Vergleich mit Vertrautem aus der Erfahrung, z. B. die Erinnerung an eine Spieleisenbahn oder die Vorstellung einer alten Bergbahn, um die Translationsbewegung der Pleuelstange zu erkennen, ist ein wichtiger Aspekt in der räumlichen Vorstellung und hebt das räumliche Arbeitsgedächtnis hervor.

Die Auswertung der bei der Erprobung erhobenen Daten zeigt, dass bei der Bearbeitung der Aufgaben eine Vielfalt an räumlichen Denkvorgängen angewendet wird, die auf Individualität und vielseitigen Einsatz räumlicher Prozesse hindeuten. Die Ergebnisse lassen erkennen, dass die Vorstellung der Bewegung im räumlichen Denken eine zentrale Rolle spielt. Im Hinblick auf die Erstellung eines Kategorienkonstrukt räumlicher Denkvorgänge im Lösungsweg dieser Aufgaben werden leitfadengestützte Interviews angesetzt, die differenziertere persönliche Aussagen vermuten lassen.

6. Literatur

- Barratt, E. S. (1953). Analysis of verbal reports of solving spatial problems as an aid in defining spatial factors. *The Journal of Psychology* 36, 17-25.
- Blum, A., Renn, J., & Schemmel, M. (2016). Experience and Representation in Modern Physics. Schemmel, M. (Ed.): *Spatial Thinking and External Representation. Towards a Historical Epistemology of Space*. Max Planck Institute for the History of Science. Berlin.
- Buckley, J., Seery, N., & Cauty, D. (2019). Investigating the use of spatial reasoning strategies in geometric problem solving. *Int J Technol Des Educ* 29, 341-362.
- Cole, M., Cohen, Ch., Wilhelm, J., & Lindell, R. (2018). Spatial Thinking in astronomy education research. *Physical Review. Physics Education Research* 14.
- Damerow, P. (2016). Space and Matter in Early Modern Science: The Impenetrability of Matter. Schemmel, M. (Ed.): *Spatial Thinking and External Representation. Towards a Historical Epistemology of Space*. Max Planck Institute for the History of Science. Berlin.
- El Koussy, A. A. H. (1935). Visual perception of space. *British Journal of Psychology*, 20, 1-89.
- Flick, U. (2014). *Qualitative Sozialforschung. Eine Einführung*. 6. Auflage. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt Taschenbuch Verlag.
- French, J. W. (1965). The relationship of problem-solving styles to the factor composition of tests. *Educational and Psychological Measurement*, Vol. XXV, 1, 9-28.
- Frostig, M., Horne, D., & Miller, A. M. (1972). *Visuelle Wahrnehmungsförderung*. Reinartz, A., & E. (Hrsg.) 2. Deutsche Auflage 1979. Hannover: Schroedel Schulbuchverlag.

- Fulmer, L., & Fulmer, G. (2014). Secondary Students' Visual-Spatial Ability Predicts Performance on the Visual-Spatial Electricity and Electromagnetism Test (VSEEMT). *Science Education. Review Letters*, Vol. 2014, 8-21
- Galton, F. (1879). Generic images. *Nineteenth Century*, 6, 157-169.
- Glück, J., Kaufmann, H., Dünser, A., & Steinbügl, K. (2005). Geometrie und Raumvorstellung – Psychologische Perspektiven. *Informationsblätter der Geometrie (IBDG)*, 24.
- Gropengießer, H. (2008). Qualitative Inhaltsanalyse in der fachdidaktischen Lehr-Lernforschung. Mayring, Ph., & Gläser-Zikuda, M. (Hrsg.): Die Praxis der Qualitativen Inhaltsanalyse. Weinheim & Basel: Beltz Verlag.
- Hawes, Z., Tepylo, D., Moss, J. (2015). Developing spatial thinking. Implications for early mathematics education. B. Davis and Spatial Reasoning Study Group (Eds.): Spatial reasoning in the early years: Principles, assertions and speculations. New York: Routledge.
- Hegarty, M., & Stull, A. T. (2012). Visuospatial thinking. Holyoak, K. J., & Morrison, R. G. (Eds.): The Oxford handbook of thinking and reasoning. Oxford University Press, 606-630.
- Hegarty, M. (2018). Ability and sex differences in spatial thinking: What does the mental rotation test really measure? *Psychon Bull Rev* 25, 1212-1219.
- Just, M. A., & Carpenter, P. A. (1985). Cognitive Coordinate System: Accounts of Mental Rotation and Individual Differences in Spatial Ability. *Psychological Review*. 92/2, 137-172.
- Kircher, E. (2009 a). *Warum Physikunterricht?* Kircher, E., Girwidz, R., & Häußler, P. (Hrsg.) Physikdidaktik. Theorie und Praxis. Berlin Heidelberg: Springer Verlag.
- Kircher, E. (2009 b). *Elementarisierung und didaktische Rekonstruktion*. Kircher, E., Girwidz, R., & Häußler, P. (Hrsg.) Physikdidaktik. Theorie und Praxis. Berlin Heidelberg: Springer Verlag.
- Kozhevnikov, M., Motes, M.A., & Hegarty, M. (2007). Spatial Visualization in Physics Problem Solving. *Cognitive Science* 31.
- Linn, M. C., & Petersen, A. C. (1985). Emergence and Characterization of Sex Differences on Spatial Ability: A Meta-Analysis. *Child Development*, 56/6, 1479-1498.
- Malle, G. (1993). *Didaktische Probleme der elementaren Algebra*. Braunschweig/Wiesbaden: Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft.
- Malotki, E. (1979). *Hopi-Raum: Eine sprachwissenschaftliche Analyse der Raumvorstellungen in der Hopi-Sprache*. Tübingen: Narr.
- Maresch, G. (2014). Strategies for Assessing Spatial Ability Tasks. *Journal for Geometry and Graphics*, 18 (1), 125-132.
- Maresch, G. (2020). *Die Grundroutinen des räumlichen Denkens und Handelns*. Zumbach, J., Maresch, G., Strahl, A., Fleischer, T. (Hrsg.): Neue Impulse in der Naturwissenschaftsdidaktik. Münster: Waxmann. 121-133.
- Mayring, Ph. (2010). Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken. 11. Auflage. Weinheim und Basel: Beltz Verlag.
- McGrew, K. S. (2009). CHC theory and the human cognitive abilities project: Standing on the shoulders of the giants of psychometric intelligence research. *Intelligence* 37, 1-10.
- National Research Council (2006). *Learning to Think Spatially*. Washington, DC: The National Academies Press.
- Neugebauer, O. (1975). The Almagest and its Direct Predecessors. Book 1. Neugebauer, O. (Ed). A History of Ancient Mathematical Astronomy. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- Piaget, J., & Inhelder, B. (1971). *Die Entwicklung des räumlichen Denkens beim Kinde*. Stuttgart: Klett-Cotta.
- Platon. *Timaios*. aus: Werke VII, Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgemeinschaft, 1972. Übersetzung von Müller, H., & Schleiermacher, F. (Sonderausgabe 1990).
- Roth, J. (2005). *Bewegliches Denken in Mathematik*. Hildesheim: Franzbecker.
- Schultz, K. (1991). The Contribution of Solution Strategy to Spatial Performance. *Canadian Journal of Psychology*, 45 (4), 474-491.
- Stückrath, F. (1955). *Kind und Raum. Psychologische Voraussetzungen der Raumlehre in der Volksschule*. München: Kösel-Verlag.
- Thiering, M., & Schiefenhövel, W. (2016). Spatial Concepts in Non-Literate Societies: Language and Practice in Eipo and Dene Chipewyan. Schemmel, M. (Ed.): Spatial Thinking and External Representation. Towards a Historical Epistemology of Space. Max Planck Institute for the History of Science. Berlin.
- Thurstone, L. L. (1938). *Primary mental abilities*. Chicago, Illinois: University of Chicago Press.
- Thurstone, L. L. (1950). Some Primary Abilities in Visual Thinking. *Proceedings of the American Philosophical Society*, 94 (6), 517-521.
- Uttal, D. H., Miller, D. I., & Newcombe, N. S. (2013). Exploring and Enhancing Spatial Thinking: Links to Achievement in Science, Technology, Engineering, and Mathematics? *Current Directions in Psychological Science*, 22 (5), 367-373.
- Wai, J., Lubinski, D., & Benbow, C. P. (2009). Spatial Ability for STEM Domains: Aligning Over 50 Years of Cumulative Psychological Knowledge Solidifies Its Importance. *Journal of Educational Psychology*, 101 (4), 817-835.
- Wolbers, Th., & Hegarty, M. (2010). What determines our navigational abilities? *Trends in Cognitive Sciences*, 14 (3), 138-146.

3D-Druck und Mikrocontroller: Ein Dreamteam für Lowcost-Hightech-Experimente?

Fabian Bernstein^{*,+}, Oliver Keller^{*}, Sascha Schmeling^{*}, Thomas Wilhelm⁺

^{*}CERN, 1211 Genève 23, Schweiz

⁺Institut für Didaktik der Physik, Goethe-Universität Frankfurt, Max-von-Laue-Str.1, 60438 Frankfurt
fabian.bernstein@cern.ch, oliver.michael.keller@cern.ch, sascha.schmeling@cern.ch,
wilhelm@physik.uni-frankfurt.de

Kurzfassung

Die eingeschränkte Verfügbarkeit von kommerziellen Lehrmitteln zur modernen Physik an allgemeinbildenden Schulen führt im Ergebnis dazu, dass sich Schülerinnen und Schülern nur sehr begrenzte Erkundungsmöglichkeiten zur modernen Experimentalphysik im schulischen Rahmen bieten. Um diese Lücke zu verringern, können 3D-gedruckte Bauteile und Mikrocontroller zur Entwicklung und Reproduktion neuer, innovativer Lehrmittel zur modernen Physik eingesetzt werden. Gerade die Kombination von Mikrocontrollern und 3D-Druck scheint vielversprechend, da diese Technologien wesentliche Bestandteile moderner Experimente abdecken können. Mögliche Strategien zur Realisierung solcher Lehrmittel werden am Beispiel dreier Experimentiermaterialien, die am Schülerlabor S’Cool LAB des CERN entwickelt wurden, exemplarisch diskutiert: einem interferometrischen Analogieexperiment zur Gravitationswellendetektion, einem funktionalen Modell eines Wechselspannungs-Linearbeschleunigers sowie einem 3D-gedruckten Experiment zum äußeren Fotoeffekt.

1. Das Ressourcenproblem im Physikunterricht

1.1. Problemstellung bei Experimenten zur modernen Physik

Die Beschäftigung mit Experimenten zur modernen Physik wird im schulischen Physikunterricht durch verschiedene Faktoren erschwert. So sind kommerzielle Lehrmittel zur modernen Physik aufgrund begrenzter finanzieller Ressourcen an Schulen oftmals nur eingeschränkt vorhanden. Darüber hinaus stehen in den Sammlungen regelmäßig nur veraltete oder nicht voll funktionstüchtige Lehrmittel zur Verfügung, die nur begrenzt Zugänge zur modernen Experimentalphysik vermitteln können. Schließlich tendieren moderne experimentalphysikalische Aufbauten, wie man sie bspw. an Forschungsinstituten oder Universitäten vorfindet, dazu, immer aufwendiger und komplexer zu werden – die experimentalphysikalischen Anlagen des CERN verdeutlichen dies exemplarisch –, was eine Aufbereitung für den schulischen Physikunterricht zusätzlich erschwert. Infolgedessen sind die Begegnungs- und Erkundungsmöglichkeiten für Schülerinnen und Schüler mit zeitgemäßen experimentellen Aufbauten und Fragestellungen im schulischen Rahmen häufig eng begrenzt.

1.2. Empirische Indikatoren

Dass ein Mangel an adäquatem Experimentiermaterial den schulischen Physikunterricht *de facto* ausbremst, lässt sich u.a. anhand der PISA-Studie 2015 [1] nachvollziehen, für die die Verfügbarkeit von Experimentiermaterial an Schulen und der Ein-

fluss auf den Lernerfolg der Schülerinnen und Schüler explizit untersucht wurde. Methodisch wurde aus Auskünften von Schulleitern ein „Index of science-specific resources“ gebildet. Dabei zeigte sich einerseits, dass deutsche Schulen bei diesem Index im Mittel unter dem OECD-Schnitt liegen, und andererseits, dass ein positiver Zusammenhang zwischen den verfügbaren Ressourcen und der Leistung der Schülerinnen und Schüler in den naturwissenschaftlichen Fächern besteht (siehe [1], S. 53-56).

Eine kritische Einschätzung von Lehrkräften hinsichtlich der verfügbaren Ressourcen wurde auch im Rahmen einer 2018 am CERN durchgeführten Studie deutlich, bei der 130 Lehrkräften aus Deutschland, Italien und dem Vereinigten Königreich befragt wurden [2]. Mangel an Experimentiermaterial und mangelnde Eignung des vorhandenen Experimentiermaterials waren neben einem Mangel an Vorbereitungs- und Unterrichtszeit die am häufigsten von den Lehrkräften genannten erschwerenden Faktoren für den Einsatz von Experimenten im Physikunterricht.

2. 3D-Druck und Mikrocontroller to the rescue?

Da eine grundsätzliche Verbesserung der finanziellen Ausstattung von Schulen mittelbar nicht zu erwarten steht, scheint es naheliegend, über Alternativen nachzudenken, wie innerhalb der gegebenen Spielräume innovative Lösungen der Problemstellung gefunden werden können. Ein möglicher Ansatz besteht darin, das Potential neuer Technologien wie bspw. additiver Fertigung oder programmierbarer Mikrocontroller für

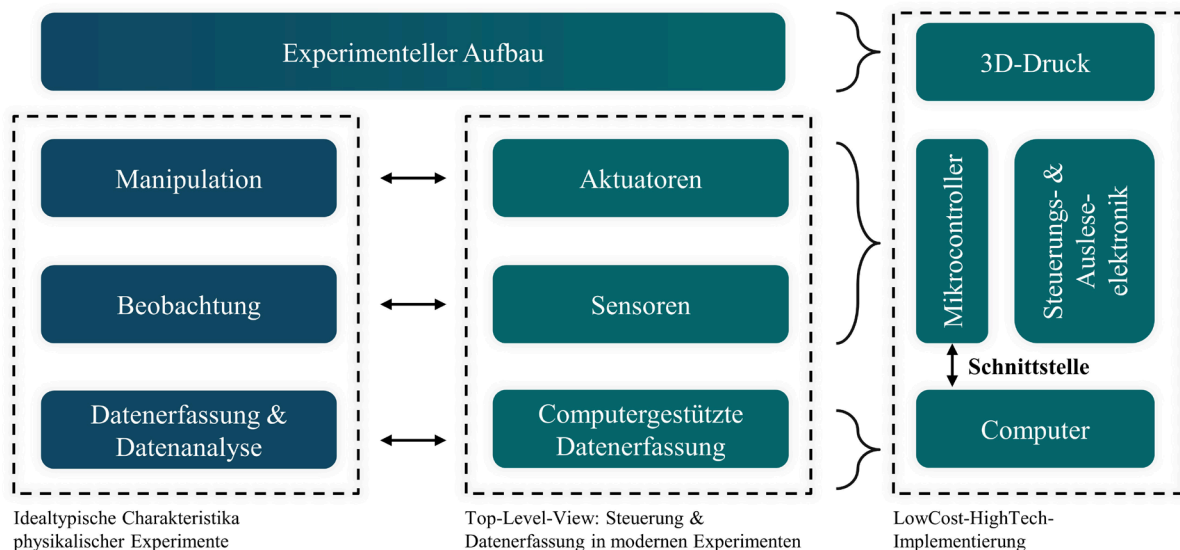


Abb. 1: Charakteristika physikalischer Experimente und Chancen zu ihrer technischen Implementierung

die Gestaltung neuartiger Lehrmittel zu evaluieren und gegebenenfalls neue Konzepte zu deren Einsatz zu entwickeln.

Dabei zeigt eine genauere Analyse, dass zwar Einsatzmöglichkeiten von 3D-Druck und Mikrocontrollern im Physikunterricht *je für sich* verschiedentlich erörtert und teils auch Unterrichtsvorschläge ausgearbeitet wurden (siehe z. B. [3-5]), dass aber das Potenzial der *Verbindung* dieser beiden Technologien für den Physikunterricht noch weitgehend ungenutzt zu sein scheint. Gerade die Kombination eröffnet aber, wie im Folgenden gezeigt werden soll, Möglichkeiten zur Gestaltung ganz neuer Lehrmittel und wurde am Schülerlabor des CERN eingesetzt, um attraktive und kostengünstige Experimentiermaterialien zur modernen Physik zu gestalten.

2.1. Charakteristische Elemente moderner Experimente

Um das grundsätzliche Potential solcher Lösungen abzuschätzen, ist es hilfreich, sich die Bestandteile eines idealtypischen Experimentes zu vergegenwärtigen: Als konstitutiv für physikalische Experimente kann dabei gelten, dass die Auswirkungen von Manipulationen an experimentellen Aufbauten beobachtet, diese Beobachtungen systematisiert und aus ihnen Schlussfolgerungen über zugrundeliegende Wirkzusammenhänge abgeleitet werden (siehe z. B. [6]). Während in „klassischen“ Experimenten die Manipulation oftmals händisch und die Beobachtung mit den menschlichen Sinnen erfolgt, ist dies bei modernen Experimenten nur in Ausnahmefällen möglich. Im Regelfall kommen Aktuatoren und Sensoren zum Einsatz, die elektronisch gesteuert werden; Datenaufzeichnung und -analyse erfolgen ganz überwiegend computergestützt.

Betrachtet man die typischen Einsatzgebiete von 3D-Druck und Mikrocontrollern und gleicht sie mit den angeführten Charakteristika moderner Experimente

ab, so zeigt sich, dass die erforderlichen Funktionalitäten häufig durch diese beiden Technologien abgebildet werden können. So können Mikrocontroller-Boards, wie bspw. der Arduino Uno, sowohl dafür genutzt werden, Aktuatoren zu steuern und Sensoren auszulesen, als auch dafür, Daten an einen Computer zu übertragen und Steuerungsbefehle für die Aktuatoren zu empfangen.

3D-Druck (in der Form von Consumer-FDM-Druck) ist aufgrund von Designfreiheit, Reproduzierbarkeit und niedrigen Kosten prädestiniert, um spezifische experimentelle Aufbauten zu entwickeln und am Einsatzort zu replizieren. Dies wurde für den Bereich der wissenschaftlichen Instrumentierung bereits erkannt und hat zu einer Vielfalt an anspruchsvollen Projekten im Umfeld von „Open Source“ und „Open Labware“-Bewegungen geführt (siehe z. B. [7-8]).

Wenngleich es zutrifft, dass in der Regel weitere Bauteile erforderlich sind, um ansprechende und funktionale Lowcost-Hightech-Experimente zu realisieren, kann dieser Prozess jedoch mithilfe von 3D-Druck und Mikrocontrollern wesentlich vereinfacht und der Nachvollzug erleichtert werden.

3. Lowcost-Hightech-Lehrmittel: Beispiele

3.1. Analogieexperiment zur Gravitationswellendetektion

Ein Beispiel für ein solches mikrocontroller-gestütztes und 3D-gedrucktes Experiment, das am S’Cool LAB – dem Schülerlabor des CERN – entwickelt wurde, ist ein funktional angereichertes Michelson-Interferometer, das als Analogieexperiment zur Gravitationswellendetektion fungiert. Es dient dazu, die physikalischen Grundprinzipien der interferometrischen Gravitationswellendetektion für Schülerinnen und Schüler nachvollziehbar zu machen und ist einem Exponat, das ursprünglich für Museen und Ausstellungen entwickelt wurde, nachempfunden [9]. Der

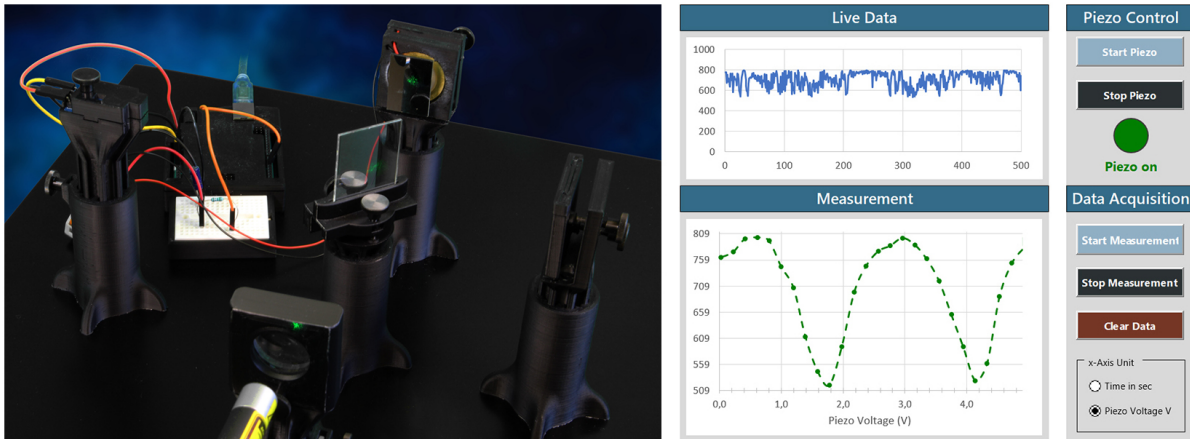


Abb. 2: 3D-gedrucktes Michelson-Interferometer als Analogieexperiment zur Gravitationswellendetektion (links)
Interaktives Excel-Worksheet zum Interferometer, implementiert mittels „Microsoft Datastreamer“ (rechts)

grundsätzliche Aufbau ist Abbildung 2 (links) zu entnehmen. Alle optischen Halter sind 3D-gedruckt, die verwendeten optischen Elemente kostengünstige Bastlermaterialien. Technische Details können [10] und [11] entnommen werden.

Als Lichtquelle des Interferometers dient ein handelsüblicher Laserpointer. Die Besonderheit des Aufbaus besteht darin, dass a) anstelle eines optischen Schirms ein Fotodioden-Modul eingesetzt wird – was eine quantitative Auswertung des Experiments erlaubt – und dass b) einer der Spiegel auf einem Piezolautsprecher montiert wurde. Dies ermöglicht, diesen Spiegel durch Anlegen einer geringen Spannung (0-5 V), die vom Mikrocontroller bereitgestellt wird, in der Größenordnung von einigen hundert Nanometern zu verfahren, was zu einer Änderung der optischen Weglängendifferenz führt und sich in der Folge als Modulation des Interferenzmusters bzw. des an der Fotodiode ausgelesenen Intensitätswertes bemerkbar macht. Die Steuerung des Piezoelements und das Auslesen der Fotodiode erfolgt mithilfe des Arduino Uno Mikrocontrollers.

Der Datenaustausch mit dem Computer wurde mithilfe von „Microsoft Datastreamer“ – einer nativen Excel-Schnittstelle – realisiert [12]. Diese Schnittstelle wurde von Microsoft im Rahmen des Projektes „Hacking STEM“ [13] in Excel implementiert und erlaubt eine unkomplizierte Kommunikation zwischen Arduino und Microsoft Excel. Sie ist in Excel ab Installation vorhanden und wird im Menüband sichtbar, sobald sie als Add-In aktiviert wird.

Einer der Vorteile von Microsoft Datastreamer besteht darin, dass sich die Steuerung und der Datenaustausch mit dem Arduino in ein interaktives Excel-Tabellenblatt einbetten lassen, das grafisch ansprechend gestaltet und mittels VBA (Visual Basic for Applications) mit komplexen Interaktionen versehen werden kann. Im Beispiel des Gravitationswellen-Analogie-experiments ist die technische Implementierung der Funktionalitäten als VBA-Skript im Hintergrund umgesetzt, das der Nutzer, der nur mit einer grafischen Nutzeroberfläche interagiert, nicht zu Gesicht bekommt.

3.2. Modell-LINAC

Ein anderes Beispiel, das die Möglichkeiten der Kombination von 3D-Druck und Mikrocontroller in anderer Richtung auslotet, ist das funktionale Modell eines Wechselspannungs-Linearbeschleunigers (Details siehe [14] und [15]), das ebenfalls am S’Cool LAB entwickelt wurde. Dieses Modell dient ebenfalls dem Zweck, grundlegende physikalische Prinzipien und deren technische Nutzbarmachung für Schülerinnen und Schüler erfahrbar machen.

Das Funktionsprinzip besteht darin, einen graphitebeschichteten Tischtennisball mithilfe elektrostatischer Felder in einer Plexiglasröhre zu beschleunigen, um hierdurch die Funktionsweise der ersten Wechselspannungs-Linearbeschleuniger anschaulich zu demonstrieren. Die experimentellen Herausforderungen bestehen einerseits darin, die durch eine Influenzmaschine erzeugte Hochspannung von einigen 10 kV zu schalten, andererseits darin, dass sich Hochspan-



Abb. 3: 3D-gedrucktes, mikrocontroller-gesteuertes Modell eines Wechselspannungs-Linearbeschleunigers

nungskabel und Steuerungsleitungen des Mikrocontrollers in räumlicher Nähe zueinander befinden, was eine elektromagnetische Entstörung erforderlich macht. Die Notwendigkeit der elektrischen Entstörung zieht ihrerseits einen recht aufwendigen Breadboard-Aufbau nach sich, um die Eingänge und Ausgänge des Arduino durch Schutzdioden von der Hochspannung abzuschirmen. Dies erhöht die Störanfälligkeit des Experiments sowie die zu seinem Aufbau erforderliche Zeit.



Abb. 4: LINAC-Shield zum Aufstecken auf einen Arduino Uno

Um den Nachvollzug des Experiments zu erleichtern und die Fehleranfälligkeit zu reduzieren, wurde daher zusätzlich ein Shield – ein Steckaufsatz für den Arduino Uno – entworfen, das alle erforderliche elektronischen Komponenten enthält und das für wenige Euro vollständig bestellt werden kann (siehe Abbildung 4). Das Shield enthält ebenfalls die Bedienelemente des User-Interfaces in Form von Druckknöpfen und Drehpotentiometern. Um den experimentellen Aufbau in Betrieb zu nehmen, genügt es dann, das Shield auf den Arduino Uno aufzustecken und die Sensoren und Aktuatoren des Linearbeschleuniger-Modells anzuschließen. Ein 3D-gedrucktes Gehäuse nimmt diese aus Mikrocontroller und Shield bestehende Steuereinheit für den LINAC auf.

3.3. Experiment zum äußeren Fotoeffekt

Dass auch solche Experimente, die zum klassischen Bestand des Physikunterrichts der Sekundarstufe II zählen, sich auf diese Weise aufbereiten lassen, zeigt ein 3D-gedrucktes Experiment zur Untersuchung des äußeren Fotoeffektes (siehe Abbildung 5). Es besteht neben einem Arduino Uno und dem 3D-gedruckten Gehäuse ebenfalls aus einem speziell entwickelten Shield, das in diesem Fall eine recht ausgefeilte Ausleseelektronik – u. a. ein Nanoamperemeter auf Basis eines ADS1115-Analog-Digitalwandlers – beherbergt.

Mit diesem Aufbau können jene Messungen zur Intensitätsunabhängigkeit und Frequenzabhängigkeit der Stoppspannung (der Gegenspannung, bei der der Fotostrom null wird) durchgeführt werden, die zentral für die typische Argumentation bei der Einführung der Lichtquantenhypothese im Physikunterricht sind.

Ferner lässt sich aus diesen Messungen das Plancksche Wirkungsquantum bestimmen, indem man die maximale Energie der Elektronen als Funktion der Frequenz des jeweils einfallenden Lichtes abträgt und die Steigung der Ausgleichsgeraden ermittelt.

Aufgrund einer Kostenreduktion um mehr als eine Größenordnung im Vergleich zu kommerziellen Lehrmitteln ist es möglich, das Experiment als Schülerexperiment durchzuführen. Auf diese Weise können Schülerinnen und Schüler selbst experimentieren und eigene Erfahrungen mit dem Experiment gewinnen, anstatt es nur im Rahmen einer (i. d. R. einmaligen) Demonstration während des Unterrichts kennenzulernen.

Darüber hinaus besteht hinsichtlich der Messwertaufnahme die Wahl zwischen einer manuellen Erfassung mithilfe von Displays oder einer computergestützten Datenerfassung, bei der die Messwerte über die USB-Schnittstelle an einen Computer übertragen werden. Details zum Aufbau und den durchführbaren Messungen können [16] entnommen werden.

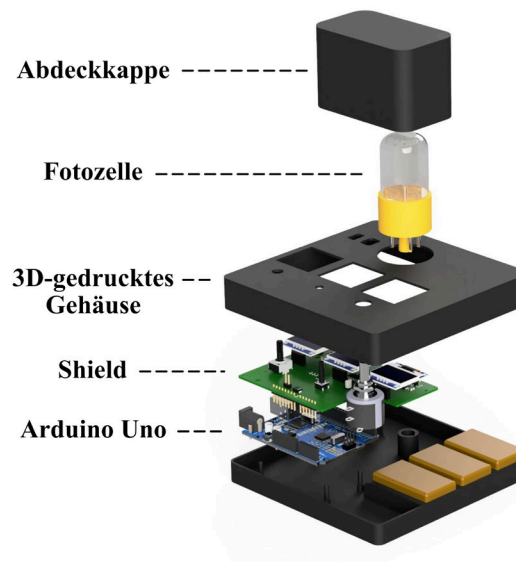


Abb. 5: 3D-gedrucktes Experiment zum äußeren Fotoeffekt

4. Schlussbetrachtungen

Diese Beispiele zeigen, dass es gelingen kann, durch die Verbindung von 3D-Druck und Mikrocontrollern experimentelle Lehrmittel zur modernen Physik zu gestalten, die kostengünstig, aber gleichzeitig leistungsfähig, zuverlässig und attraktiv sind und somit den Bedingungen des schulischen Alltags gewachsen sind. Dabei ist sowohl möglich, gänzlich neue Lehrmittel zur modernen Physik zu entwerfen als auch klassische Lehrmittel nachzubilden und dadurch neue didaktische Einsatzmöglichkeiten zu erschließen.

Mittelbar scheint es darüber hinaus denkbar, die Beschäftigung mit Experimenten zur modernen Physik vom schulischen Kontext hin zu informellen Lernorten, wie z. B. Makerspaces, zu verlagern.

5. Literatur

- [1] OECD (2016): PISA 2015 Results (Volume II): Policies and Practices for Successful Schools, PISA, OECD Publishing, Paris.
Url:
<https://read.oecd.org/10.1787/9789264267510-en?format=pdf>
(Stand: 5/2021)
- [2] Bernstein, F., Schmeling, S., Wilhelm, T., Woithe, J. (2020): Saliente Überzeugungen von Physiklehrkräften zum Experimentieren, GDPC Jahrestagung Wien 2019 (Bd. 40), S. 86-89,
Url:
https://www.gdpc-ev.de/wp-content/tb2020/TB2020_86_Bernstein.pdf
(Stand: 5/2021)
- [3] Girwidz, R., Watzka, B. (Hrsg.) (2018): Arduino, Raspberry Pi & Co, Naturwissenschaften im Unterricht Physik, 11/2018, 29 (167)
- [4] Wiesner, H. (Hrsg.) (2018): Plus Lucis, Arduino, 1/2018
- [5] Hopf, M. (Hrsg.) (2020): Plus Lucis, 3D-Druck, 4/2020
- [6] Kircher, E., Girwidz, R., Häußler, P. (2007): Physikdidaktik. Theorie und Praxis, 1. Aufl., S. 230
- [7] Pearce, J. (2014): Open-source lab. How to build your own hardware and reduce research costs. Amsterdam: Elsevier.
- [8] Courtney, A., Alvey, L., Merces, G., Burke, N., Pickering, M. (2020): The Flexiscope: a low cost, flexible, convertible and modular microscope with automated scanning and micromanipulation. In: Royal Society Open Science 7 (3), S. 191949.
- [9] Cooper, S., Green, A., Middleton, H., Berry, C., Buscicchio, R., Butler, E. et al. (2020): An Interactive Gravitational-Wave Detector Model for Museums and Fairs. Url:
<http://arxiv.org/pdf/2004.03052v1>
(Stand 5/2021)
- [10] Bernstein, F., Schmeling, S., Wilhelm, T. (2020): 3D-gedruckte Experimente zur modernen Physik. Vom Michelson-Interferometer zum Quantenradierer. In: Plus Lucis, 3D-Druck, 4/2020, S. 33-39
- [11] Laserlab auf der Homepage des Schülerlabors S‘Cool LAB des CERN:
<https://scoollab.web.cern.ch/laserlab3D>
(Stand 5/2021)
- [12] Microsoft Datastreamer Support Page:
<https://support.microsoft.com/de-de/office/was-ist-datenstreamer-1d52ffce-261c-4d7b-8017-89e8ce2b806f>
(Stand 5/2021)
- [13] Microsoft Hacking STEM-Projekt: <https://education.microsoft.com/en-us/hackingStem>
(Stand 5/2021)
- [14] Bernstein, F., Keller, O., Schmeling, S., Wilhelm, T., Woithe, J. (2020): Ein LINAC zum Selberbauen. Funktionales Modell eines elektrostatischen Linearbeschleunigers. In: Unterricht Physik (180) 2020, S. 33-35
- [15] Modell-LINAC auf der Homepage des Schülerlabors S‘Cool LAB des CERN:
<https://scoollab.web.cern.ch/linac3D>
(Stand 5/2021)
- [16] Bernstein, F., Keller, O., Schmeling, S., Wilhelm, T. (eingereicht): Der äußere Fotoeffekt in neuem Licht. Ein 3D-gedrucktes, Mikrocontroller-gestütztes Schülerexperiment neuer Art, MNU-Journal

Forschen@Home: Ein digitaler Lehr-Lern-Raum mit tet.folio

Markus Elsholz*, Wolfgang Lutz*, Sebastian Haase⁺, Thomas Trefzger*

*Lehrstuhl für Physik und ihre Didaktik, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, ⁺Fachbereich Erziehungswissenschaft und Psychologie, AB Schulpädagogik/Schulentwicklungsforschung, Freie Universität Berlin
markus.elsholz@uni-wuerzburg.de, wolfgang.lutz@uni-wuerzburg.de, sebastian.haase@fu-berlin.de,
thomas.trefzger@uni-wuerzburg.de

Kurzfassung

Das Projekt Forschen@Home wurde im Rahmen des Lehr-Lern-Labor-Seminars im Wintersemester 2020/21 an der Universität Würzburg umgesetzt. Studierende des Lehramts Physik konzipierten zu insgesamt fünf verschiedenen Themengebieten jeweils eine digital aufbereitete Lernumgebung, die Schüler:innen ein Forschendes Lernen im häuslichen Umfeld ermöglichen sollte. Im Rahmen einer vierwöchigen Projektphase betreuten 19 Studierende 45 Schüler:innen bei der Durchführung ihrer individuellen Forschungsprojekte. Die Implementierung des Projekts erfolgte mit der Lehr-/Lernplattform tet.folio, die zum einen als Autorensystem zur Erstellung der Lerninhalte durch die Studierenden genutzt wurde. Zum anderen ermöglicht tet.folio durch seine Funktionen der Kurs- und Benutzerverwaltung und durch Kommunikations-Tools auch die Zusammenstellung und Präsentation der Lerninhalte sowie die Unterstützung der Lernenden. Der Beitrag schildert die Sequenzierung des Projektablaufs anhand des 5-E-Modells von Bybee (2014) und gibt Einblick in die Aktivitäten und Ergebnisse der Schüler:innen. Darüber hinaus wird die Lehr-/Lernplattform tet.folio als Autoren- und Learning Content Management System charakterisiert.

1. Einleitung

Der vorliegende Beitrag versteht sich zum einen als Praxisbericht für die Übertragung des etablierten hochschuldidaktischen Lehr-Lern-Labor-Konzepts in ein rein digitales Angebot für Schüler:innen, das ein asynchron betreutes Experimentieren zuhause ermöglicht. Zum anderen möchte der Beitrag die für das Projekt verwendete Online-Plattform tet.folio der Freien Universität Berlin in ihren Funktionen als Autorensystem und Learning Content Management System vorstellen und charakterisieren.

Abschnitt 2 gibt eine kurze Einführung in das Lehr-Lern-Labor-Format und seine Umsetzung unter Nicht-Pandemiebedingungen an der Universität Würzburg. Abschnitt 3 beschreibt die theoretische Ausrichtung des Formats und den geplanten Projektablauf. In Abschnitt 4 wird die Rolle der eingesetzten interaktiven Lehr-/Lernplattform tet.folio der Freien Universität Berlin für die Ausarbeitung des Angebotes im digitalen Raum beschrieben und in Abschnitt 5 werden die Erfahrungen aus der Umsetzung des Projekts diskutiert.

2. Lehr-Lern-Labor digital

Das Lehr-Lern-Labor (LLL) ist ein etabliertes Format der Hochschuldidaktik, das „die Potenziale der Konzeptionen Schülerlabor, Lernwerkstatt und Microteaching miteinander vereint“ (Brüning, Kämpnick, Weusmann, Köster & Nordmeier, 2020). Sie werden an vielen Standorten in den naturwissenschaftlichen Fachbereichen umgesetzt, finden aber

auch Eingang in nicht-naturwissenschaftliche Domänen (Rehfeldt, Klempin, Seibert, Mehrrens & Nordmeier, 2017). Unterscheiden sie sich in Bezug auf die didaktische Ausgestaltung (Weusmann, Kämpnick & Brüning, 2020), so ist den meisten Ansätzen doch gemein, dass die Interaktion zwischen Studierenden und einer schulischen Lernendengruppe wesentlicher Bestandteil des Formats ist. Damit bietet das LLL berufsfeldbezogene und praxisnahe Lernmöglichkeiten für Studierende, die sich in ihren Rahmenbedingungen insbesondere durch Komplexitätsreduzierung von anderen Praxisformen abgrenzen lassen (Bosse, Meier, Trefzger & Ziepprecht, 2020).

An der Universität Würzburg gliedert sich das verpflichtende Lehr-Lern-Labor-Seminar (LLLS) in eine ca. zehnwöchige Vorbereitungsphase und eine anschließende ca. vierwöchige Phase der iterativen Praxis (Elsholz & Trefzger, 2017). Während in der Vorbereitungsphase die theoriefundierte Ausarbeitung von Lernstationen im Fokus steht, besuchen während der iterativen Praxisphase unter Nicht-Pandemiebedingungen mehrere Schulklassen an unterschiedlichen Terminen die Laborräume der Universität und die Schüler:innen arbeiten - betreut von den Lehramtsstudierenden - an den Stationen. Zwischen den Durchführungsterminen bleibt Zeit, die Erfahrungen aus der Betreuung der Schüler:innen zu reflektieren und das Lernmaterial gegebenenfalls zu adaptieren. Unter den Pandemiebedingungen im Wintersemester 2020/21 mussten beide

Phasen des Seminars entsprechend angepasst werden. Zum einen konnten die Studierenden in der Vorbereitungsphase nicht auf die Materialien der Sammlung zugreifen. Zum anderen musste davon ausgegangen werden, dass auch die Schüler:innen keinen Zugang zu schulischer Infrastruktur haben, sich also komplett im Distanzunterricht befinden. Die Durchführung des Angebots vor Ort an den Schulen bzw. an der Universität war damit ebenso ausgeschlossen. An folgenden inhaltlichen Zielen wurde jedoch festgehalten: (1) Die Studierenden erarbeiten Lernstationen, (2) Die Schüler:innen führen physikalische Experimente durch und (3) die beiden Gruppen stehen dabei im Austausch.

3. Das Projekt **Forschen@Home**

Das Projekt **Forschen@Home** entstand im Wintersemester 2020/21 im Rahmen des verpflichtenden Lehr-Lern-Labor-Seminars an der Universität Würzburg. Es waren 19 Studierende des Lehramtes Physik für Gymnasien bzw. Realschulen und 45 Schüler:innen (8. bis 9. Jgst) aus drei Schulen beteiligt. Jede:r Studierende betreute im Projektverlauf demnach zwei oder drei Schüler:innen.

Die Studierenden konzipierten und entwickelten während der Vorbereitungsphase des LLLS zu insgesamt fünf verschiedenen Themengebieten aus den Bereichen Akustik, Mechanik und Optik eine digital aufbereitete Lernumgebung, die den Schüler:innen ein Forschendes Lernen im häuslichen Umfeld ermöglichen sollte. Ziel war die Gestaltung eines möglichst niederschweligen experimentellen Zugangs zu den Themengebieten, damit das entsprechende Thema auch ohne Vorkenntnisse aus dem Unterricht bearbeitet werden konnte. Aus datenschutzrechtlichen Gründen musste für die Kommunikation mit den Schüler:innen auf ein Videokonferenztool verzichtet werden. Die Studierenden standen mit den Schüler:innen ausschließlich über ein Chat-tool in Verbindung, das zum Funktionsumfang von *tet.folio* gehört (vgl. Abschnitt 4.2.3.). Für umfangreichere Absprachen wurden individuelle Echtzeit-Chattermine vereinbart.

3.1. **Forschend-Entdeckender Unterricht**

Handlungsleitend für die Umsetzung des Projekts **Forschen@Home** war das Konzept des **Forschend-Entdeckenden Unterrichts** (FEU, Höttecke, 2010): Ein Unterrichtskonzept, das die Offenheit in Bezug auf Lernprozesse und Lernprodukte, die mit den oben genannten Rahmenbedingungen verbunden sind, als konstituierende Elemente beinhaltet. Zentraler Ansatz des FEU ist, dass die Schüler:innen ihren Lernprozess als Forschungsprozess gestalten und erleben (Höttecke, 2010). Dazu nehmen sie eine forschende Perspektive ein, arbeiten möglichst selbstständig und aktiv. So formulieren sie beispielsweise eigene Fragestellungen, bilden Hypothesen, planen Experimente und führen diese durch und bewerten und kommunizieren ihre Ergebnisse. Wenn auch diese Reinform des FEU in den meisten

Fällen nicht erreicht wird, so lassen sich doch Stufen des FEU ableiten, die sich durch eine stärkere Strukturierung der Lehrkraft auszeichnen und Schüler:innen auf ihrem Weg zu einem selbstständigen wissenschaftlichen Arbeiten weiterhelfen (Höttecke, 2010).

3.2. **Das 5-E-Modell als Strukturierungshilfe**

Um eine entsprechende Schwerpunktsetzung bei der Vorbereitung des Projekts im Sinne des FEU durchzuführen, hat sich das 5-E-Phasenschema von Bybee (2014) als hilfreich erwiesen. Bybee definiert folgende Unterrichtsphasen, die je nach Erfahrungsstand der Lernenden (und der Lehrenden) unterschiedlich stark betont bzw. durch die Lehrkraft unterschiedlich stark vorstrukturiert werden können. Die Phasen werden jeweils beispielhaft mit konkreten Eindrücken aus dem Teilprojekt zum Thema Kraft („May the force be with you!“) illustriert.

3.2.1. **Engage-Phase**

Ziel dieser Phase ist es nach Bybee (2014), die Aufmerksamkeit der Schüler:innen zu gewinnen. Dazu kann die Lehrkraft beispielsweise ein faszinierendes Phänomen zeigen bzw. beschreiben oder ein herausforderndes Problem umreißen, das als Ausgangspunkt für eine weitere Beschäftigung dienen kann. Bybee verweist darauf, dass aus den ersten Erklärungsversuchen oder Fragen der Schüler:innen wichtige Rückschlüsse auf deren Präkonzepte in Bezug auf den physikalischen Gegenstand gezogen werden können, die im weiteren Unterrichtsverlauf aufgegriffen und thematisiert werden können.

Im Teilprojekt „May the force be with you!“ entschieden sich die Studierenden für die Erstellung eines Videos, das mit dem Begriff „Kraft“ in alltäglichen Kontexten spielt („Kräftemessen im Sport“), um so Neugierde zu wecken und ein Forschungsinteresse aufzubauen. Im Verlauf des Videos wird eingeführt, dass Kräfte unter anderem Körper verformen können, was am Beispiel der Dehnung der Feder in einem physikalischen Kraftmesser illustriert wird. Das Video endet mit der Aufforderung an die Schüler:innen, mit einfachen Haushaltsmaterialien einen eigenen Kraftmesser zu bauen.

3.2.2. **Explore-Phase**

In dieser Phase bekommen die Schüler:innen ausreichend Zeit, das Phänomen aus der Engage-Phase durch einfache Hands-on Aktivitäten selbst zu erkunden, erste Annahmen zu testen, qualitative Zusammenhänge zu erkennen und ihre individuellen Fragen in Bezug auf das Phänomen zu formulieren.

Im ersten Echtzeit-Chat nahmen die Studierenden die Aufforderung aus dem Video auf, um mit den Schüler:innen zu besprechen, welche Materialien aus ihrem Haushalt für den Bau eines Kraftmessers in Frage kommen. So wurde das eigenständige experimentelle Vorgehen der Schüler:innen vorentlastet. Mit dem Auftrag, einen eigenen Kraftmesser zu bauen, diesen zu fotografieren und das Foto auf ihre Projektseite hochzuladen, wurden die Schüler:innen

in eine erste Arbeitsphase entlassen. Abbildung 1 zeigt das Ergebnis einer Schülerin aus der Explore-Phase: Ein Kraftmesser bestehend aus einer fixierten Aufhängung, einem Haushaltsgummi und einer Tasche, in die verschiedene Gegenstände eingebracht werden können. Die Schülerin zeigt, wie mit einem Lineal die Auslenkung des Gummibandes bestimmt werden kann.

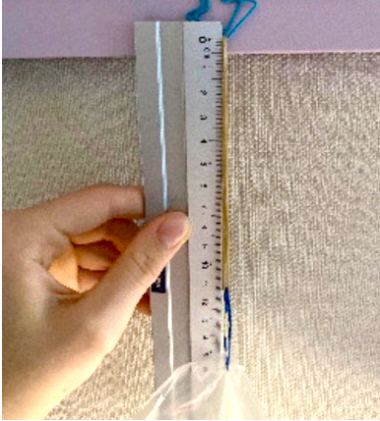


Abb. 1: Selbstgebautes Kraftmesser einer Schülerin

3.2.3. Explain-Phase

Ziel der Explain-Phase ist es, die Aktivitäten aus der Explore-Phase in ein systematisches Vorgehen münden zu lassen. Die Schüler:innen entdecken dabei den physikalischen Zusammenhang, der für das Verständnis der Inhalte aus der Engage-Phase zentral ist und eine weitgehend systematische Auseinandersetzung ermöglicht. Die Lehrkraft greift die experimentellen Ergebnisse der Lernenden und deren Erklärungsansätze auf und erarbeitet mit den Lernenden die zentrale physikalische Aussage.

Die Studierenden entschieden sich in dieser Phase für einen klar vorgegebenen Arbeitsauftrag. Die Schüler:innen sollten mit ihrem Aufbau die Dehnung des Gummibandes bei verschiedenen Massen untersuchen und in einer Tabelle auf ihrer tet.folio-Projektseite dokumentieren. Die eingetragenen Werte wurden automatisch in einem mit der Tabelle gekoppelten Diagramm angezeigt (siehe Abb. 2).

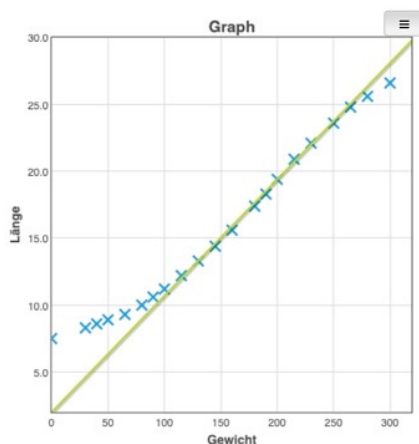


Abb. 2: Messergebnisse zum Dehnungsverhalten

Nach dieser Arbeitsphase wurde in einem weiteren Echtzeit-Chat das experimentelle Ergebnis zusammen mit den Schüler:innen interpretiert. Die Schüler:innen konnten aus ihren Messdaten folgern, dass sich im Dehnungsverhalten des Gummibandes ein linearer von zwei nichtlinearen Bereichen abgrenzen lässt. Ausschließlich im linearen Bereich geht eine gegebene Kraftänderung mit einer konstanten Dehnungsänderung einher (Hooke'sches Verhalten).

3.2.4. Elaborate-Phase

Die Elaborate-Phase dient der Anwendung des Erarbeiteten und der Übertragung auf ähnliche Zusammenhänge. Die Schüler:innen nutzen ihre gewonnenen Erkenntnisse, um neue Probleme zu lösen bzw. um sich weiter mit einer bestenfalls selbst formulierten Forschungsfrage zu beschäftigen.

Als Impulsgeber für diese Phase wurden die Schüler:innen gefragt, ob sie mit ihrem Aufbau begründen können, warum ein gespanntes Seil immer „durchhängt“, wenn in der Mitte des Seils eine Masse befestigt wird (als Beispiel dient das Bild einer balancierenden Person auf einer gespannten Slackline).

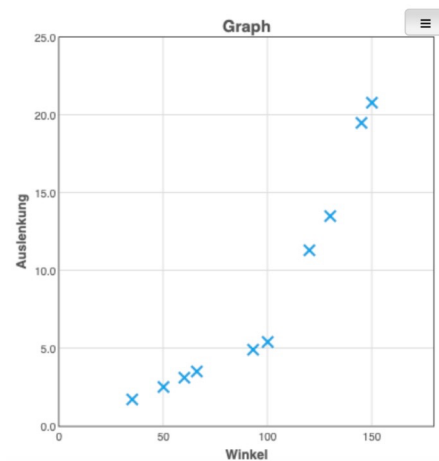


Abb. 3: Abhängigkeit zwischen dem Winkel zwischen zwei Kraftmessern und der gemessenen Dehnung der Gummibänder bei konstanter Probemasse.

Die Schülerin kam auf die Idee, ihren Aufbau zu duplizieren, beide Kraftmesser mit einem Seil zu verbinden und die Dehnung der Gummibänder (bei Verwendung einer am Seil eingehängten Referenzmasse) in Abhängigkeit des Winkels zwischen den Längsachsen der beiden Kraftmesser zu bestimmen (Abb. 3). Im abschließenden Echtzeit-Chat konnte die Schülerin folgern, dass eine Slackline, die nicht „durchhängt“, wenn ein Mensch darauf balanciert, so stark gespannt werden müsste, dass das Material (der Slackline und/oder der Aufhängung) diesen Kräften nicht standhalten könnte.

3.2.5. Evaluate-Phase

Die Evaluate-Phase dient nach Bybee (2014) dazu, den Lernenden Rückmeldung zu ihren Erklärungsansätzen und ihren Fähigkeiten zu geben. In seinem Modell steht diese Phase als abschließende Phase am

Ende der Lehreinheit. Andere Autor:innen verweisen darauf, dass die Evaluation der Schüler:innenfähigkeiten und entsprechendes Feedback in allen Phasen sinnvoll sind (Lembels & Abels, 2015). Technisch unterstützt tet.folio den Feedbackprozess, indem die Autor:innen einer tet.folio-Seite (bzw. eine konfigurierbare Gruppe von tet.folio-Usern) jederzeit Einblick in die Aktivitäten der Lernenden haben und über das Chat-Tool entsprechende Rückmeldungen geben können.

4. Umsetzung mit tet.folio

Das Projekt Forschen@Home wurde mit der interaktiven Lehr-/Lernplattform tet.folio der Freien Universität Berlin umgesetzt (Haase, Kirstein & Nordmeier, 2016). In der folgenden Darstellung ausgewählter Funktionen von tet.folio werden zwei zentrale Wesenszüge des Systems betont. Als Lehr-/Lernplattform verbindet tet.folio die Funktionalität eines Autorensystems mit ausgewählten Möglichkeiten eines Learning Content Management Systems (Kursverwaltung) bzw. Learning Management Systems (Benutzerverwaltung). Dabei besteht nicht der Anspruch, in Konkurrenz zu bestehenden Learning Management Systemen zu treten. Durch seinen Fokus auf die Lerninhalte und deren Präsentation versteht sich tet.folio eher als Ergänzung dieser Systeme. Die hier beschriebenen Funktionen bilden nur einen kleinen Ausschnitt aus dem Funktionsumfang von tet.folio, die Darstellung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

4.1. tet.folio als Autorensystem

4.1.1. Selbst gestalten, statt nur verwalten

Eine Zielsetzung des Projekts Forschen@Home war die Konzeption und Entwicklung digital gestützter Lerneinheiten durch die Studierenden. In der Literatur werden in sich abgeschlossene Lerneinheiten als Lernobjekte beschrieben (Kerres, 2018), für deren Erzeugung ein Autorensystem benötigt wird. tet.folio ermöglicht den Benutzer:innen die Erstellung einer Vielzahl von Lernobjekten und unterstützt durch Echtzeitsynchronisation und eine spezifische Rechtevergabe das gleichzeitige und kollaborative Arbeiten mehrerer Autor:innen an einem Projekt. Dies war eine wesentliche Voraussetzung für die Umsetzung des Projekts Forschen@Home im Rahmen einer universitären Lehrveranstaltung. Die Gestaltung von Lernobjekten in tet.folio ist nicht auf die Adaption von vorgegebenen Typen-Vorlagen beschränkt, vielmehr unterstützt tet.folio als Autorensystem den kreativen Prozess der Benutzer:innen und ermöglicht die Erstellung von Lernobjekten unter Verwendung einer Vielzahl von Medientypen, Kontroll-, Interaktions- und Designmöglichkeiten.

4.1.2. tet.box als Alleskönner

Grundlage der Lernobjekte in tet.folio ist die tet.box, ein Strukturelement, das verschiedenste Inhaltsformate aufnehmen kann. Eine tet.box kann reinen Text enthalten, als Input-Textfeld für Usereingaben for-

matiert werden, Bild-, Video- oder Audio-Dateien aufnehmen oder beliebige Lernobjekte aus externen Quellen, solange diese im HTML5-Format eingebunden werden können. Mit verschiedenen Kontroll-Tools kann zudem das Verhalten der tet.box gesteuert werden. Auf diese Weise lassen sich Ein-/Ausblendeffekte ebenso leicht erzeugen, wie das zeitgesteuerte Überblenden bzw. Anreichern von z. B. Videoformaten mit weiteren tet.boxes. Darüber hinaus lassen sich tet.boxes auch grafisch in Relation zueinander setzen, was z. B. die intuitive Erzeugung von Mindmaps oder Ablauf- und Strukturdiagrammen ermöglicht.

4.1.3. Use, Re-Use, Share, Export

Eine Grundidee der Lernobjekte ist die Wiederverwertbarkeit aufwendig erstellter Lerninhalte (Kerres, 2018). In tet.folio erstellte Lernobjekte können von den Autor:innen problemlos in andere Projekte kopiert und dort gegebenenfalls angepasst werden. Autor:innen können sich auch entscheiden, Lernobjekte zu veröffentlichen. In diesem Fall stehen sie im sog. tet.markt allen anderen Autor:innen zur Verfügung und können problemlos verwendet werden. Für die Integration in andere Lernumgebungen steht darüber hinaus eine Exportfunktion zur Verfügung, welche die erstellten Lernobjekte im HTML5-Format zur Verfügung stellt.

4.1.4. Große Auswahl im tet.markt

Im tet.markt finden sich alle von Autor:innen veröffentlichte Elemente. Dabei kann es sich um umfangreiche Sammlungen von Lerneinheiten (Bücher), einzelne Lernobjekte (z. B. interaktive Bildschirmexperimente: Haase, Pfaff, Ermel, Kirstein & Nordmeier, 2018) oder Bestandteile von Lernobjekten (Bilder, Videos, Audiocontent) handeln.

Eine weitere Kategorie im tet.markt bilden die sog. tet.tools. Dabei handelt es sich um vorkonfigurierte (und intuitiv anpassbare) Steuerelemente für das Verhalten von tet.boxes, mit denen spezifische Lernobjekte erstellt werden können. So erlaubt beispielsweise die Einbindung des Tools „Lückentext Prüf-Button“ die Implementierung eines Feedbacks für die Lernenden in Bezug auf deren Zuordnung vorgegebener Elemente zu Lücken in einem Text. Im tet.markt finden sich Tools zur Umsetzung von Kategorisierungsaufgaben, interaktiven Diashows, Multiple-Choice Quizfragen u.v.m. Zusätzlich finden sich einige tet.tools, die als digitale Werkzeuge für die Lernenden direkt eingebunden werden können, darunter ein Winkel- oder Flächenmesser, ein Geodreieck, eine Stoppuhr, ein Tonhöhen-Detektor oder ein Frequenzgenerator.

Ein für das Projekt Forschen@Home zentrales Triple bilden die Tools „Wertetabelle“, „Diagramm“ und „Mathe-Funktion mit Parameter“. Sie bieten den Lernenden die Möglichkeit, ihre Messwerte bei der Durchführung von Experimenten direkt in einer Wertetabelle zu dokumentieren. Diese kann mit einem Diagramm gekoppelt werden, sodass die

Werte automatisch angezeigt werden, sobald sie eingetragen wurden. Zusätzlich kann im Diagramm eine weitere Funktion angezeigt werden, die über das Tool „Mathe-Funktion mit Parameter“ von den Lernenden direkt eingegeben und durch Parametervariation an die Messwerte bestmöglich angepasst werden kann (vgl. Abb. 2).

4.1.5. Komplettlösung ohne Medienbruch

Mit den bisher geschilderten Elementen und Funktionen konnte das Projekt Forschen@Home in den Phasen Engage bis Elaborate ausschließlich in tet.folio realisiert werden. Die Schüler:innen arbeiten dabei ohne Ablenkung durch Struktur- oder Medienbrüche auf ihren Projektseiten innerhalb der tet.folio-Umgebung, d. h. ein Wechsel zu anderen Plattformen bzw. zu anderen lokal installierten Softwarelösungen ist nicht nötig. Ebenso entfällt ein potenziell ablenkendes Navigieren durch Strukturhierarchien der Lernplattform, da die einzelnen Einheiten übersichtlich untereinander auf einer tet.folio-Seite arrangiert und erst dann eingeblendet werden können, wenn die Schülerin, der Schüler sie für den weiteren Fortgang des individuellen Projekts benötigt.

4.2. tet.folio als L(C)MS

Neben seinen Stärken als Autorensystem bietet tet.folio auch wesentliche Funktionen eines Learning Content Management System (LCMS). Nach Watson & Watson (2007) grenzen sich LCMS von Learning Management Systemen (LMS) durch ihren Fokus auf die Lerninhalte (Content) ab. LCMS setzen Schwerpunkte in den Bereichen Erstellung, Verwaltung und Bereitstellung von Lerneinheiten, während bei LMS der Fokus zusätzlich auf der Gestaltung der Schnittstelle zwischen den Lerninhalten (in Form von Kursen) und der Verwaltungsstruktur der Einrichtung (z. B. Schule, Universität, Unternehmen) liegt, für deren Schüler:innen, Studierende oder Mitarbeitende die Lerninhalte gedacht sind.

Somit kann tet.folio als didaktische Ergänzung zu bestehenden LMS gesehen werden, indem es die Bereitstellung kompletter Lerneinheiten in einer angepassten Umgebung ermöglicht, welche die Ablenkung der Lernenden durch nicht benötigte Struktur- und Navigationselemente eines LMS vermeidet. Die integrierte Benutzerverwaltung, die Vergabemöglichkeit von Lese- und Schreibrechten, sowie die Kommunikationsmöglichkeiten zwischen Lehrenden und Lernenden machen tet.folio zu einem äußerst flexiblen, vielseitig nutzbaren System.

4.2.1. Kursstruktur: Buch, Kapitel, Seiten

Ein einzelner Kurs lässt sich in tet.folio als sog. Buch anlegen. Ein Buch umfasst alle Lerneinheiten des Kurses. Ein tet.folio Buch umfasst beliebig viele tet.folio Seiten, mit denen Lerneinheiten strukturiert werden können. Mehrere Seiten können durch einfaches Ein- bzw. Ausrücken in der Hierarchieebene zu Kapiteln, Abschnitten, Unterabschnitten usw. zusammengefasst werden. Das Projekt For-

sch@Home gliedert sich in eine Einstiegsseite, auf der die Lernenden begrüßt werden und allgemeine Projektinformationen gelistet sind. Auf dieser Startseite finden sich Links zu den jeweiligen Teilprojektseiten (Kapitel). Die Teilprojektseiten beinhalten die Lerneinheiten für die Engage-, Explore- und Explain-Phase. Auf den tet.folio-Seiten innerhalb der jeweiligen Kapitel wurden schließlich individuelle Projektseiten angelegt, auf denen die Schüler:innen in der Elaborate-Phase ihre eigenen Forschungsfragen untersuchen konnten. Diese wurden von den Studierenden adaptiv und individuell im Projektverlauf ausgestaltet.

4.2.2. Userverwaltung und Zugriffsrechte

Den Autor:innen eines tet.folio Buches obliegt die Entscheidung, wer Zugriff auf die Inhalte des Buches bekommt. So besteht die Möglichkeit, das Buch ohne Einschränkung öffentlich zugänglich zu machen (der Link zum Buch muss bekannt sein), den Zugriff nur registrierten tet.folio-Benutzer:innen zu ermöglichen oder diesen durch die explizite Angabe einer Usergruppe bzw. einzelner Personen weiter einzuschränken.

Im Projekt Forschen@Home hatten alle beteiligten Schüler:innen und Lehrkräfte Zugriff auf die Start- und alle Kapitelseiten (Teilprojektseiten). Für die individuellen Projektseiten der einzelnen Schüler:innen wurde der Zugriff auf die entsprechende Schülerin, den Schüler und die Lehrkräfte eingeschränkt. Die Studierenden als Autor:innen des Buches hatten Zugriff auf alle Seiten des Projekts.

4.2.3. Kommunikationsmöglichkeiten

Zur Kommunikation zwischen Studierenden und Schüler:innen wurde das tet.folio-Tool „Kommentar-Tool“ benutzt. Dabei handelt es sich um ein Chat-tool zur asynchronen Kommunikation, das direkt auf einer tet.folio-Seite positioniert werden kann. So kann die Kommunikation über Inhalte direkt neben den Inhalten stattfinden. Um die Verbindlichkeit in der Kommunikation zu erhöhen, vereinbarten die Studierenden mit ihren Schüler:innen feste Chat-Termine (30 Minuten pro Woche), zu denen über das Tool in Echtzeit kommuniziert wurde. Bei Fragen, die seitens der Schüler:innen zwischen den vereinbarten Terminen aufkamen, konnten sich diese jederzeit über das Chat-tool an ihre Betreuer:innen wenden, mussten aber eine längere Antwortzeit einkalkulieren (asynchrone Kommunikation).

5. Lessons Learned

Aus den Erfahrungen mit dem Projekt Forschen@Home lassen sich einige allgemeine Schlussfolgerungen ableiten:

- a) **Eine Orientierungsphase zum Projektstart ist nötig und wichtig.** Insbesondere wenn die Lernenden bisher keine Erfahrung mit der verwendeten Lernplattform hatten, ist eine ausführliche Einführungs- bzw. Orientierungsphase unerlässlich.

lich (Sammet & Wolf, 2019). Während dieser Phase müssen neben den Rahmenbedingungen des Projekts (Zeitplan, Rollenverständnis und Erwartungshaltung der Beteiligten) vor allem die Funktionen der Lernplattform vorgestellt werden: Wo und wie melde ich mich an? Wie ist das Angebot strukturiert? Wie bekomme ich Hilfe?

- b) **Die Kommunikation muss klar geregelt sein.** Kommunikation muss nicht nur technisch möglich sein (Chat-Tool), vielmehr müssen klare und verbindliche Kommunikationsregeln und Kommunikationstermine eingeführt werden. Dass die Kommunikation im Projekt *Forschen@Home* ausschließlich über das Chat-Tool von *tet.folio* stattfand, ist u. a. aus folgenden Gründen als inadäquat zu bewerten. Das textbasierte Ausformulieren von Erläuterungen und allgemeinen Absprachen nimmt sehr viel Zeit in Anspruch. Zudem wird die Lesegeschwindigkeit der Schüler:innen von den Studierenden oft überschätzt und es fehlt eine Rückmeldung, ob und in welchem Umfang die Schüler:innen den Text der Studierenden lesen und verstehen. Für die inhaltliche Diskussion und die Absprache von Arbeitspaketen ist eine direktere Kommunikationsmöglichkeit (z. B. im Rahmen einer Videokonferenz) empfehlenswert. Für knappe Rückmeldung während der Arbeitsphasen, oder kurze organisatorische Absprachen hat sich das Chat-Tool hingegen bewährt. Für die verschiedenen Kommunikationsanforderungen sollten also mehrerer Kommunikationskanäle bereitgestellt und bedient werden (Miller, 2005).
- c) **Erst Struktur, dann Öffnung.** Das Projekt *Forschen@Home* zielte darauf ab, die Schüler:innen in die eigenverantwortliche Position der Forschenden (zumindest ansatzweise) zu bringen. Die damit verbundene Offenheit ist für viele Schüler:innen ungewohnt, die entsprechenden Fähigkeiten (z. B. das Formulieren einer wissenschaftlichen Fragestellung, das eigenständige Planen eines Experiments) sind oft nicht bzw. unzureichend ausgebildet (Hofstein, Navon, Kipnis & Mamlok-Naaman, 2005). Es empfiehlt sich daher ein strukturierter, stark angeleiteter Projekteinstieg, der dann im Projektverlauf in eine zunehmende Öffnung und Übertragung der Verantwortung auf die Lernendenseite übergehen kann. Auch auf Seiten der Studierenden führte der Anspruch eines eher schülergesteuerten Prozesses zu Überforderung während der Vorbereitungsphase des Seminars im Hinblick auf das Antizipieren möglicher Vorstellungen und Lernschwierigkeiten der Schüler:innen und der Vorbereitung entsprechender Unterstützungsstrategien.

6. Fazit und Ausblick

Die Lehr-/Lernplattform *tet.folio* bietet die Möglichkeiten, Lerninhalte kollaborativ zu erstellen, zu

arrangieren, Schüler:innen zur Verfügung zu stellen und diese bei ihrer Auseinandersetzung mit den Lerninhalten zu begleiten. Durch diese Kombination an Möglichkeiten eignet sich *tet.folio* für die Umsetzung des hier beschriebenen Projekts im Rahmen einer Lehrveranstaltung. Es kann festgehalten werden, dass die Studierenden den Umgang mit dem System in einem vertretbaren Zeitaufwand erlernen und anschließend in der Lage sind, die *tet.folio*-Projektseiten für die Schüler:innen adaptiv nach Bedarf zu erstellen und im Projektverlauf zu erweitern.

Der Einsatz von *tet.folio* ist mit keinen zusätzlichen Kosten verbunden. Durch seinen niederschweligen und plattformunabhängigen Zugang bestehen weder gehobene Anforderungen an die Endgeräte der Nutzer:innen, noch muss eine zusätzliche Software auf den Endgeräten der Nutzer:innen installiert werden. Der "bring your own device"-Ansatz kann problemlos umgesetzt werden. Damit eignet sich *tet.folio* insbesondere für den Einsatz im schulischen Kontext.

Mit *tet.folio* kann es somit leicht gelingen, den Besuch eines außerschulischen Lernorts nahtloser mit dem schulischen Unterricht zu verknüpfen, indem sowohl im Unterricht vor dem Besuch, beim Arbeiten am außerschulischen Lernort und während einer zeitlichen Phase nach dem Besuch mit Lerneinheiten auf *tet.folio* gearbeitet wird. So könnte der LLL-Besuch der Schüler:innen auch auf Ebene der Lerneinheiten strukturell in ein schulisches Projekt bzw. eine zeitlich ausgedehnte Unterrichtsreihe eingebunden werden. Im Hinblick auf die beschriebenen Phasen nach Bybee (2014) könnte der Besuch im LLL die Phasen Engage bis Explain abdecken und Aktivitäten für die Elaborate-Phase vorbereiten. So könnten die Studierenden die Schüler:innen auch nach deren Besuch im LLL für einen gewissen Zeitraum bei der Bearbeitung von Forschungsfragen betreuen, die sie gemeinsam im LLL entwickelt haben.

7. Literatur

- Bosse, D., Meier, M., Trefzger, T., & Ziepprecht, K. (2020). Lehr-Lern-Labore – universitäre Praxis, empirische Forschung und zukünftige Entwicklung. In D. Bosse, M. Meier, T. Trefzger & K. Ziepprecht (Hrsg.), *Professionalisierung durch Lehr-Lern-Labore in der Lehrerbildung* (S. 5-25). Lehrerbildung auf dem Prüfstand, 13 (1). Landau: Verlag Empirische Pädagogik.
- Brüning, A.-K., Käpnick, F., Weusmann, B., Köster, H., & Nordmeier, V. (2020). Lehr-Lern-Labore im MINT-Bereich – eine konzeptionelle Einordnung und empirischkonstruktive Begriffskennzeichnung. In B. Priemer & J. Roth (Hrsg.), *Lehr-Lern-Labore* (S. 13–26). Springer.

- Bybee, R. W. (2014). The BSCS 5E instructional model: Personal reflections and contemporary implications. *Science and Children*, 51(8), 10-13.
- 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. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik Jahrestagung in Zürich 2016* (S. 488–491). Regensburg: Universität Regensburg
- Haase, S., Kirstein, J., & Nordmeier, V. (2016). The Technology Enhanced Textbook: An HTML5-based Online System for Authors, Teachers and Learners. In L.-J. Thoms & R. Girwidz (Hrsg.), *Selected Papers from the 20th International Conference on Multimedia in Physics Teaching and Learning* (S. 85-92). München: LMU.
<https://epub.ub.uni-muenchen.de/28963/>
- Haase, S., Pfaff, M., Ermel, D., Kirstein, J., & Nordmeier, V. (2018). Interaktive Bildschirmexperimente als Systemkomponente der webbasierten Lernplattform tet.folio. In V. Nordmeier, H. Grötzebauch, (Hrsg.), *PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung, Würzburg* (S. 333 – 337). <http://phydid.physik.fu-berlin.de/index.php/phydid-b/article/view/910/1039>
- Hofstein, A., Navon, O., Kipnis, M., & Mamlok-Naaman, R. (2005). Developing students' ability to ask more and better questions resulting from inquiry-type chemistry laboratories. *Journal of research in science teaching*, 42(7), 791-806.
- Höttecke, D. (2010). Forschend-entdeckender Physikunterricht. Ein Überblick zu Hintergründen, Chancen und Umsetzungsmöglichkeiten entsprechender Unterrichtskonzeptionen. *Unterricht Physik*, Ausgabe 119, 4-12.
- Kerres, M. (2018). *Mediendidaktik: Konzeption und Entwicklung digitaler Lernangebote* (5. Auflage). De Gruyter Oldenbourg.
- Lembens, A., & Abels, S. (2015). Forschendes Lernen nach dem 5E-Modell und Showmanship. *Chemie & Schule*, 30, 6-7.
- Miller, D. (Hrsg.). (2005). *E-Learning: eine multiperspektivische Standortbestimmung*. Haupt.
- Rehfeldt, D., Klempin, C., Seibert, D., Mehrrens, T., & Nordmeier, V. (2017). Fächerübergreifende Wirkungen von Lehr-Lern-Labor-Seminaren: Adaption für die Fächergruppen Englisch, Geschichte und Sachunterricht. 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. 556–559). Regensburg: Universität Regensburg
- Sammet, J., & Wolf, J. (2019). *Vom Trainer zum agilen Lernbegleiter: So Funktioniert Lehren und Lernen in digitalen Zeiten*. Springer.
- Watson, W. & Watson, S. L. (2007). An argument for clarity: What are learning management systems, what are they not, and what should they become. *TechTrends*, 51, 28-34.
- Weusmann, B., Käpnick, F., & Brüning, A.-K. (2020). Lehr-Lern-Labore in der Praxis: Die Vielfalt realisierter Konzeptionen und ihre Chancen für die Lehramtsausbildung. In B. Priemer & J. Roth (Hrsg.), *Lehr-Lern-Labore* (S. 27–45). Springer.

Augmented-Reality-Applikation zum Einsatz bei Schülerexperimenten im Elektrizitätslehreunterricht der Sekundarstufe I

Florian Frank, Christoph Stolzenberger, Thomas Trefzger

Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Lehrstuhl für Physik und ihre Didaktik
florian.frank@uni-wuerzburg.de

Kurzfassung

Mithilfe von Augmented Reality (kurz: AR) können reale Situationen (z.B. physikalische Experimente) durch virtuelle Objekte und Texteinblendungen ergänzt werden. Die hier vorgestellte Applikation erweitert als Schülerexperimente aufgebaute Stromkreise um die virtuelle Darstellung des physikalischen Elektronengasmodells (Burde, 2018) inklusive der Innenansichten verschiedener Bauteile wie Lampen und Widerständen. Dadurch ergeben sich für die Unterrichtsgestaltung neue Möglichkeiten der Verzahnung von Theorie und Experiment. Die Lernenden können mithilfe der Applikation direkt am Experiment qualitative und halb-quantitative Kenntnisse zu den Grundgrößen Stromstärke, Spannung, Potential und Widerstand sowie zu den Gesetzmäßigkeiten in Reihen- und Parallelschaltungen erwerben. Ausgehend von der Cognitive Load Theory (Plass, 2010), der Cognitive Theory of Multimedia Learning (Mayer, 2014) und der Self Determination Theory (Ryan, 2016) vermuten wir, dass durch diese Erarbeitung der theoretischen Inhalte direkt am Experiment (anstelle des üblichen Lehrervortrags) ein erhöhter Wissenszuwachs und eine Steigerung der unterrichtsbezogenen Motivation erzeugt wird. Außerdem wird untersucht, ob sich dadurch die Möglichkeit ergibt, direkter und effektiver auf falsche Schülervorstellungen einzugehen.

Im Beitrag werden die sich in der Entwicklung befindende Applikation vorgestellt sowie die geplanten Studien skizziert.

1. Einleitung

Das Fach Physik wird von Schüler*innen im Vergleich zu anderen Fächern als schwieriger bewertet (Haag, 2012). Die Lehre naturwissenschaftlicher Modelle scheint ein hohes Maß an Komplexität zu bergen und Lerner vor kognitive Herausforderungen zu stellen. Tatsächlich zeigen sich etwa nach Abschluss des Einführungsunterrichts in die Elektrizitätslehre prävalente fehlerhafte Schülervorstellungen wie die Stromverbrauchsvorstellung (Burde, 2018). Diese sind auch zum Ende der Sekundarstufe I noch zu großen Teilen vorhanden (Müller, 2015). Selbst Studienanfänger*innen der Physik, also vermeintlich gute und interessierte Lerner, offenbaren noch zu großen Teilen solche fehlerhaften Vorstellungen (Fromme, 2018). Über die Dauer der Schulzeit sinkt außerdem die schulbezogene intrinsische Motivation der Schüler*innen (Finkenber, 2018).

Diesen Herausforderungen wollen wir durch den Einsatz von Augmented Reality-Anwendungen am Beispiel der Elektrizitätslehre begegnen.

2. Theoretische Betrachtung

Nach der Theorie der kognitiven Belastung (Plass, 2010) kann man bei Lernprozessen drei Arten auftretender kognitiver Belastung unterscheiden.

- Intrinsische Belastung ist für einen Lerngegenstand unveränderlich und resultiert aus der Komplexität desselben.

- Extrinsische Belastung ist abhängig von der Darstellung der Lerninhalte und allgemein nicht lernförderlich. Ziel muss es also sein, diese Art der Belastung zu reduzieren.
- Lernbezogene Belastung entsteht durch die Aufnahme und Speicherung der Lerninhalte in das Langzeitgedächtnis und ist damit lernförderlich.

Lernende haben nur eine begrenzte kognitive Kapazität. Bei hoher extrinsischer Belastung wird damit die lernbezogene Belastung reduziert, der Lernvorgang wird gehindert.

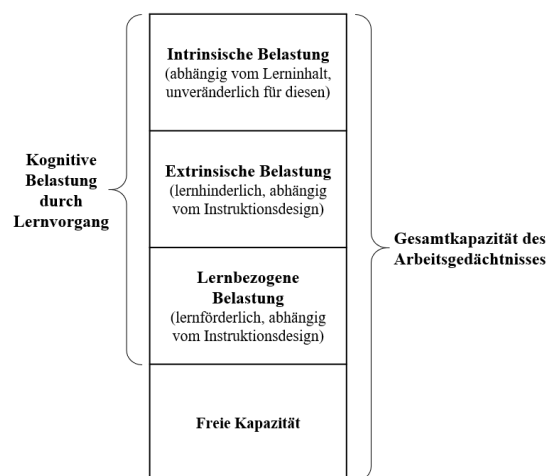


Abb. 1: Arten kognitiver Belastung nach Plass, 2010

Zur Reduktion der extrinsischen Belastung kann nach den Prinzipien der räumlichen und zeitlichen Kontiguität der kognitiven Theorie des multimedialen Lernens (Mayer, 2014) die Nutzung von Augmented Reality einen entscheidenden Beitrag leisten. Grundannahme ist hier, dass eine räumliche und zeitliche Trennung aufeinander bezogener Lerninhalte die extrinsische Lernbelastung erhöht. Eine solche räumliche und zeitliche Trennung findet im Unterricht beispielsweise statt, wenn die Lehrperson nach der Durchführung eines naturwissenschaftlichen Experiments im Lehrervortrag das theoretische Modell erläutert, welches das Ergebnis des zuvor durchgeführten Experiments erklärt. Durch die Nutzung einer AR-Applikation kann das theoretische Modell bereits während des Experimentierens über den experimentellen Aufbau geblendet werden. Dies ermöglicht eine höhere räumliche und zeitliche Kontiguität und reduziert damit die extrinsische Lernbelastung.

Nach der Selbstbestimmungstheorie (Ryan, 2016) kann die intrinsische Motivation durch die Erfüllung der drei psychologischen Grundbedürfnisse nach Autonomie, Kompetenzerleben und sozialer Eingebundenheit erhöht werden. Durch die Nutzung von AR-Applikationen kann die Lehre von theoretischen Modellen als schülerzentrierter, forschender Unterricht gestaltet werden. Die Lernenden können dann in Kleingruppen oder Partnerarbeit die theoretischen Modelle am eigenen Experiment selbstbestimmt erarbeiten. Dabei können die oben genannten Grundbedürfnisse der Lernenden erfüllt werden.

3. Forschungsinteresse und Rahmenbedingungen der Entwicklung der Applikation

Im Rahmen der präsentierten Forschungsarbeit wird der Einfluss des Einsatzes einer Augmented Reality-Anwendung auf das konzeptuelle Verständnis und auf die Motivation der Schüler*innen untersucht. Das konzeptuelle Verständnis wird dabei in Form der Lernleistung und des Auftretens fehlerhafter Schülervorstellungen untersucht.

Ziel des Einsatzes von AR in Unterrichtssituationen ist es also, den Lernprozess komplexer Inhalte – wie z.B. theoretische Modelle – durch Gewährleistung räumlicher und zeitlicher Kontiguität zu vereinfachen und die unterrichtsbezogene Motivation der Lerner durch Befriedigung der psychologischen Grundbedürfnisse nach Autonomie, Kompetenzerleben und sozialer Eingebundenheit zu steigern.

Ausgehend von dieser Zielsetzung wurde eine Applikation für den Unterricht der Elektrizitätslehre in der Sekundarstufe I entwickelt. Diese soll im Unterrichtsgeschehen das Bindeglied zwischen dem zur Erklärung und Vorhersage genutzten theoretischen Modell und den durchgeführten Experimenten darstellen. Der Weg der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung ist ein Spiralprozess: Zu Beginn werden aus theoretischen Modellen Hypothesen abgeleitet. Diese werden durch Experimente geprüft und anhand deren

Ergebnisse verworfen oder gestützt. Dadurch lassen sich Rückschlüsse auf die grundlegenden Gesetzmäßigkeiten ziehen und das theoretische Modell schärfen (Stiller, 2020). Die Applikation soll diesen Prozess qualitativ begleiten und so den Lernenden die Möglichkeit bieten, selbsterforschend die Theorien am Experiment konstruktiv zu erarbeiten.

Um die Anwendung auf diese Art im Unterricht zu nutzen, ist es wichtig, sie auf die vorhandene Hard- und Software abzustimmen. Eine großflächige Nutzung von AR-Brillen im Unterricht steht dem Ziel einer nahtlosen Verknüpfung von Unterricht und Experiment durch deren aufwendiges Setup im Wege und erscheint im Moment nicht realistisch. Daher wird die Anwendung für die Nutzung mit Tablets optimiert. Eine spätere Erweiterung auf AR-Brillen ist aber möglich.

Um dem Ziel einer möglichst nahtlosen Verknüpfung von AR-unterstütztem Experiment und Unterricht Rechnung zu tragen, wird die Applikation auf eine Experimentierumgebung angepasst. Durch die resultierende Reduktion der Komplexität der Aufbauten ist auch die Arbeit mit der Anwendung weniger aufwendig. Als Grundlage der Entwicklung wurde der Schüler-Experimentierkasten Elektrik I der Firma Mekruphy genommen. Dieser zeichnet sich durch universelle Einsetzbarkeit verbunden mit einem modularen und reduzierten Aufbau aus, was die Entwicklung einer damit verbundenen AR-Anwendung begünstigt hat. Eine spätere Anpassung der Applikation für weitere Experimentierumgebungen ist aber möglich.

Es sollte insgesamt ein einfaches, im Unterrichtsverlauf aber trotzdem vielseitig einsetzbares Werkzeug entwickelt werden. Die Bedienung und Handhabung soll für die Schüler*innen möglichst einfach und intuitiv sein, um durch die Verwendung der Applikation die Schüler*innen kognitiv nicht zusätzlich zu belasten.

4. Momentaner Stand der Anwendung

Die Applikation überlagert einen realen Experimentieraufbau mit Visualisierungen zur Erklärung der auftretenden Stromflüsse. Als Grundlage der Visualisierungen wurde das Elektronengasmodell (Burde, 2018), abgeändert durch Lutz (Lutz, 2020), herangezogen. Die Wahl des zugrundeliegenden didaktischen Modells fiel auf das Elektronengasmodell, da es erfolgreich in der Reduktion fehlerhafter Schülervorstellungen ist, was ein erklärtes Ziel des Entwicklungsvorhabens darstellt. Außerdem ist es im Vergleich mit anderen bekannten didaktischen Modellen der Elektrizitätslehre wie dem Fahrradkettenmodell und dem Modell des offenen oder geschlossenen Wasserkreislaufs näher an der physikalischen Realität angesiedelt, was dem Ziel der realitätsnahen Darstellung der Abläufe im Inneren von Stromkreisen zugutekommt.

Das Elektronengasmodell postuliert, dass sich Elektronen in Metallen in Teilchenform frei bewegen können. Sie füllen aufgrund der negativen Ladung und der daraus resultierenden Abstoßung den ihnen zur Verfügung stehenden Raum gleichmäßig aus. Das Elektronengas wird als komprimierbar angenommen, die Batterie pumpt Elektronengas von ihrem positiven Ende zu ihrem negativen Ende. Damit wird die Elektronendichte am positiven Ende niedriger, am negativen Ende höher. In Abhängigkeit von der Elektronendichte kann von einem auftretenden elektrischen Druck gesprochen werden. Elektronen strömen von Bereichen hohen elektrischen Drucks in Bereiche niedrigeren elektrischen Drucks. (Burde, 2018)

Nach dem Elektronengasmodell ist also die Elektronendichte und damit der mittlere Abstand der Elektronen zueinander ein Maß für den elektrischen Druck. Bereiche hohen elektrischen Drucks werden dabei blau eingefärbt, Bereiche niedrigen elektrischen Drucks rot (Lutz, 2020).



Abb. 2: Screenshot der Anwendung

Mit der Anwendung können entlang der Leiterstücke virtuelle Elektronen eingeblendet werden. Dazu wurden die Bauteile des Experimentierkastens mit QR-Codes versehen. Die Anwendung wird auf Basis der Unity-Engine in Verbindung mit der Erweiterung Vuforia für die Erkennung der QR-Codes programmiert. Die Codes müssen anfangs gescannt werden. Sobald dies geschehen ist, kann die Visualisierung gestartet werden.

Der Abstand der Elektronen zueinander in der Visualisierung ist wie oben beschrieben abhängig vom elektrischen Druck (d.h. dem elektrischen Potential) am jeweiligen Ort. Die Farbe und die Darstellung der Elektronen kann mittels der Bedienelemente rechts ein- und ausgeschaltet werden. Die Elektronen bewegen sich entlang der Leiterstücke und teilen sich an Knotenpunkten entsprechend der Widerstände der Bauteile im Parallelkreis auf.

Die Visualisierung der Elektronen und der Färbung der Bereiche nach dem elektrischen Druck kann dabei separat voneinander an- und abgeschaltet werden. Dadurch haben die Schüler*innen beim Einsatz in Verbindung mit den Experimentieraufbauten die Möglichkeit, sich auf entweder die Strom- oder die

Spannungsaspekte des Stromkreises zu konzentrieren und damit die extrinsische kognitive Last zu reduzieren. So ist bei der Parallelschaltung durch die Knotenpunkte evtl. die Stromsicht interessanter, bei der Reihenschaltung interessiert evtl. aufgrund der unterschiedlichen Spannungsabfälle vorrangig die Potentialsicht.

Zur Untersuchung der Interaktion der Leitungselektronen mit den verschiedenen Bauteilen des Stromkreises können zusätzlich hierfür Visualisierungen angezeigt werden. Dafür wurde das in den Unterrichtskonzepten zum Elektronengas verwendete zweidimensionale mikroskopische Modell des Widerstands (Burde, 2018) in das dreidimensionale übertragen. Elektrische Leiter zeichnen sich in diesem Modell durch eine sehr gleichmäßige Anordnung der Atomrümpfe aus, während nicht zu vernachlässigende Widerstände durch eine ungleichmäßige Anordnung der Atomrümpfe dargestellt werden. Infolgedessen kommt es bei letzteren zu mehr Stößen zwischen Leitungselektronen und Atomrümpfen.

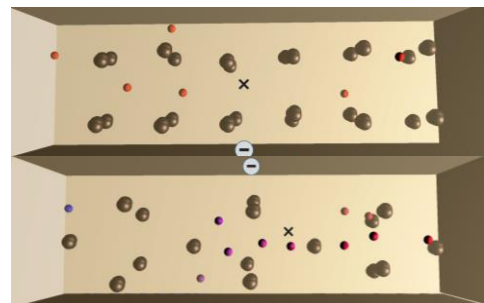


Abb. 3: Visualisierung eines Leiters (oben) und eines Widerstands (unten)

Um auch halbquantitative Untersuchungen mit der Anwendung zu ermöglichen, wurde die Option hinzugefügt, an den Bauteilen Werte zum Widerstand, Stromfluss und Spannungsabfall anzuzeigen. Diese Werte werden dabei nicht gemessen, sondern aus den bekannten und über die QR-Codes eingelesenen Daten der Bauteile berechnet.

Weitere Schritte, die im Rahmen der Entwicklung angestrebt werden, ist die Implementierung einer Bluetooth-Schnittstelle, um die Möglichkeit zu bieten, Bluetooth-Multimeter mit der Anwendung zu verbinden und so tatsächliche Messwerte anzuzeigen. Dies ermöglicht dann auch eine Nutzung des Experimentierkastens in Verbindung mit einer externen Spannungsquelle. Gerade die Betrachtung eines offenen Stromkreises wäre sehr interessant, da hier ohne eine Bewegung der Elektronen bei sich verändernder anliegender Spannung beobachtet werden kann, wie sich die Elektronenabstände in den an die Batterie angrenzenden Leiterstücken ändern.

Außerdem ist geplant, für die Nutzung im Unterricht ein Einführungs Menü zu implementieren. In diesem soll es neben einer Kurzanleitung für den Gebrauch

der Anwendung auch eine Auswahlliste mit verschiedenen Betriebsmodi geben. Auf Anweisung der Lehrperson können die Schüler*innen dann beispielweise einen Modus wählen, in welchem nicht alle Funktionalitäten der Anwendung verfügbar sind, wenn diese noch nicht im Unterricht erarbeitet wurden.

5. Einsatzmöglichkeiten in Unterrichtssituationen

Die Anwendung soll im Rahmen des Elektrizitätslehreunterrichts breit eingesetzt werden. Mögliche Themen sind dabei etwa die Einführung des elektrischen Drucks als Ursache von Elektronenströmungen, die Erarbeitung der Stromstärke zur Beschreibung der Elektronenströmungen und qualitative Beobachtungen an verschiedenen Arten von Widerständen, ohmschen wie nicht-ohmschen. Darüber hinaus können einfache Stromkreise mit bis zu drei Widerständen mit der Applikation analysiert werden, sowohl in Parallel- als auch in Reihenschaltung und es können halbquantitative Experimente durchgeführt werden, die auf das ohm'sche Gesetz hinführen.

Ein möglicher Unterrichtseinsatz in der Erarbeitung des elektrischen Drucks besteht etwa darin, die Schüler*innen im Rahmen von Schülerexperimenten Beobachtungen zum Verhalten der Elektronen in einem einfachen Stromkreis mit einer Lampe machen zu lassen. Dafür sollten lediglich die Elektronen eingeblen-det werden, jedoch noch nicht die Färbung der Elektronen. Beobachten die Schüler*innen die verschiedenen Abstände der Elektronen zueinander in den Bereichen zwischen Batterie und Lampe, so können sie eigenständig ein Folgeexperiment durchführen, in welchem ein offener Stromkreis mit einer regelbaren Spannungsquelle untersucht wird.

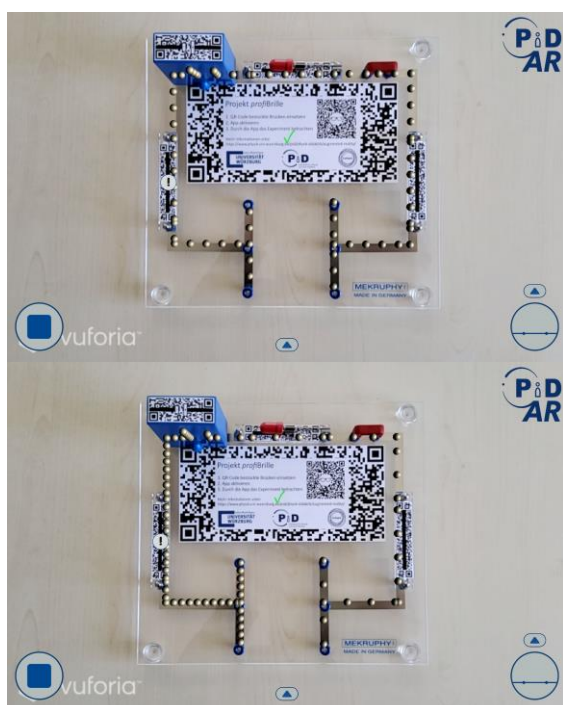


Abb. 4: Elektronendichteunterschied im offenen Stromkreis bei niedriger (oben) und hoher (unten) anliegender Spannung

Die regelbare Spannungsquelle muss dann per Bluetooth mit der Anwendung verbunden sein. Bei Änderung der anliegenden Spannung können die Schüler*innen nun die Verschiebung der Elektronen zueinander direkt beobachten und beeinflussen. In einem anschließenden Unterrichtsgespräch kann gemeinsam der elektrische Druck erarbeitet werden, nachdem die Schüler*innen diesen bereits gesehen und eigenständig untersucht haben.

6. Ausblick auf geplante Studien

Um die Entwicklung der Anwendung zu unterstützen, werden entwicklungsbegleitend eine Reihe qualitativer Studien durchgeführt.

Zurzeit wird die Applikation in der hier vorgestellten Version Physiklehrkräften an bayerischen Schulen zur persönlichen Testung zur Verfügung gestellt. Im Rahmen eines leitfadengestützten Interviews, dessen Fragen sich an Kreienbühl et al. orientieren (Kreienbühl, 2020), werden diese anschließend gebeten, Aussagen zur Handhabung der Anwendung und einem möglichen Einsatz dieser im Unterricht zu machen. Aus den Interviews gewonnene Erkenntnisse zu der Applikation werden in die weitere Entwicklung einfließen. Erste Rückmeldungen aus dieser Phase sind positiv.

In einem weiteren Schritt soll die Anwendung auch Schüler*innen der Sekundarstufe I gezeigt werden. Der Fokus der Befragung liegt dann auf Fragen zur Verständlichkeit der Darstellung und der Handhabung. Ebenso soll die Anwendung Expert*innen zur Verfügung gestellt werden, um Rückmeldung zur Umsetzung des didaktischen Modells in der Applikation zu erhalten. Ziel all dieser Untersuchungen ist es, schon frühzeitig mögliche auftretende Probleme bei der Verwendung der App zu erkennen und zu beheben.

Zeitgleich zur weiteren Entwicklung der Anwendung sollen Unterrichtsentwürfe entstehen, in denen großflächig Schüler- und Lehrerexperimente genutzt werden, in deren Rahmen die Applikation verwendet werden kann. Auch diese Unterrichtsentwürfe werden vor ihrem Einsatz im Rahmen der Hauptstudie Fokusgruppen aus Lehrpersonen und Experten zur Einschätzung und Bewertung gegeben.

Am Ende der Entwicklungsarbeit steht eine Interventionsstudie an bayerischen Gymnasien in der 8. Jahrgangsstufe. Interveniert wird über den Zeitraum des Elektrizitätslehreunterrichts. Dieser beträgt etwa acht Wochen. Die Testung verläuft nach einem Pre/Post-Test-Design mit Kontrollgruppe und mehreren Testgruppen. Alle Gruppen werden dabei nach den entwickelten Unterrichtskonzepten unterrichtet. Die Kontrollgruppe führt die geplanten Experimente jedoch ohne Nutzung der Applikation durch. Testgruppe 1 nutzt in Verbindung mit den Experimenten die AR-Anwendung, Testgruppe 2 nutzt statt der AR-Anwendung eine

bildschirmgestützte Simulation, die der Applikation nachempfunden ist. So soll zusätzlich zur Untersuchung der Wirkung von Augmented Reality-Anwendungen auf den Lernprozess ein Vergleich der Wirkung von Augmented Reality und bildschirmgestützten Simulationen ermöglicht werden.

Im Rahmen der Pre- und Posttests werden das konzeptuelle Verständnis und die intrinsische unterrichtsbezogene Motivation der Schüler*innen erhoben. Das konzeptuelle Verständnis wird dabei in Form des kognitiven Lernzuwachses und des Auftretens von fehlerhaften Schülervorstellungen gemessen. Genutzt werden kann hierzu ein von Urban-Woldron und Hopf entwickeltes Testinstrument (Urban-Woldron, 2012), welches von Morris im Rahmen einer Diplomarbeit weiterentwickelt wurde (Morris, 2018). Das Testinstrument ist ein mehrstufiger Single-Choice-Test, der die gleichzeitige Messung des Kenntnisstands und des Auftretens von Schülervorstellungen ermöglicht. Zur Messung der unterrichtsbezogenen Motivation können beispielsweise von Finkenberg verwendete und validierte Testinstrumente genutzt werden (Finkenberg, 2018). Diese beinhalten Items aus den PISA-Erhebungen von 2015 (OECD, 2016) und selbstentwickelte und evaluierte Items.

Im Anschluss an die Hauptstudie wird die Anwendung über die Internetseite der Physikdidaktik der Universität Würzburg für den Einsatz im Unterricht zur Verfügung gestellt.

7. Literatur

- 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.
- Finkenberg, Frank (2018): Flipped Classroom im Physikunterricht. In: Studien zum Physik- und Chemielernen. Logos-Verlag, Berlin.
- 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.
- Haag, Ludwig; Götz, Thomas (2012): Mathe ist schwierig und Deutsch aktuell: Vergleichende Studie zur Charakterisierung von Schulfächern aus Schülersicht. In: Psychologie in Erziehung und Unterricht, 59 (2012), S. 32-46.
- Kreienbühl, Tobias; Wetzel, Richard; Burgess, Naomi; Schmid, Andrea Maria; Brovelli, Dorothee (2020): AR Circuit Constructor: Combining Electricity Building Blocks and Augmented Reality for Analogy-Driven Learning and Experimentation. In: 2020 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct (ISMAR-Adjunct). IEEE Publishing.
- Lutz, Wolfgang; Burde, Jan-Philipp; Wilhelm, Thomas; Trefzger, Thomas (2020): Digitale Unterrichtsmaterialien zum Elektronengasmodell. In: PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung, 1 (2020), S. 333-341.
- Mayer, Richard (Hrsg.) (2014): The Cambridge Handbook of Multimedia Learning. Second Edition. Cambridge University Press, New York.
- Morris, Louisa Christine (2018): Weiterentwicklung eines Testinstruments zum einfachen Stromkreis. Diplomarbeit, Universität Wien.
- Müller, Svetlana; Burde, Jan-Philipp; Wilhelm, Thomas (2015): Vergleich von Schülervorstellungen zur Elektrizitätslehre in Hessen und Weißrussland. In: PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung, 1 (2015).
- OECD, Organisation for Economic Co-operation & Development (2016): PISA 2015 Assessment and Analytical Framework: Science, Reading, Mathematic and Financial Literacy. OECD Publishing.
- Plass, Jan; Moreno, Roxana; Brünken, Roland (2010): Cognitive Load Theory. Cambridge University Press, New York.
- Ryan, Richard; Deci, Edward (2016): Facilitating and Hindering Motivation, Learning, and Well-Being in Schools. In: Handbook of Motivation at School, S.96-119. Routledge, New York.
- Stiller, Cornelia; Allmers, Tobias; Habigsberg, Annette; Stockey, Andreas; Wilde, Matthias (2020): Erkenntnisgewinnung in den Naturwissenschaften: Von der Hypothese zur Theorie. In: PFLB – PraxisForschungLehrer*innenBildung, 2 (2), S. 28–39.
- Urban-Woldron, Hildegard; Hopf, Martin (2012): Entwicklung eines Testinstruments zum Verständnis in der Elektrizitätslehre. In: Zeitschrift der Didaktik der Naturwissenschaften, 18 (2012), S. 201-227.

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. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

tet.folio: Eine Online-Plattform für die Produktion innovativer Lehr-Lern-Angebote

Sebastian Haase*, Manfred Sommerer**, Jürgen Kirstein und Volkhard Nordmeier***

*Freie Universität Berlin, Fachbereich Erziehungswissenschaft und Psychologie, AB Schulpädagogik/ Schulentwicklungsforschung, **Freie Universität Berlin, Fachbereich Veterinärmedizin, Institut für Veterinär-Physiologie, ***Freie Universität Berlin, Fachbereich Physik, AG Didaktik
sebastian.haase@fu-berlin.de

Kurzfassung

Als "Technology Enhanced Textbook", dem "Schulbuch der Zukunft" sowie als Verteilplattform für Interaktive Bildschirmexperimente (IBE) hat sich tet.folio in den letzten 10 Jahren zu einer universell einsetzbaren Lehr-Lern-Plattform entwickelt. Nach einer Übersicht interaktiver Beispiele aus unterschiedlichsten Fachgebieten stellen wir das Potential von tet.folio als Plattform für Autorinnen und Autoren vor. Basierend auf einfachen Konzepten werden mit tet.folio einheitlich erscheinende Lehr-Lern-Angebote umsetzbar. Effektiv herstellbar sind mit tet.folio neben individualisierten Inhalten auch entsprechende Formatvorlagen, mit denen Autorinnen und Autoren einheitlich gestaltete Lehr-Lern-Angebote schnell umsetzen können. Eine ansprechende Gestaltung der Angebote unterstützt die Fokussierung auf Lerninhalte. Die so erstellten Inhalte können, wenn gewünscht, auch als PDF im DIN-A4 Format oder für den Offline-Einsatz exportiert werden.

1. Vorbemerkungen

Die Förderung des Erwerbs von Medienkompetenz in den Bereichen Informieren und Recherchieren, Kommunizieren und Kooperieren, Analysieren und Reflektieren, Präsentieren aber auch Produzieren und Modellieren ist eine fächerübergreifende Aufgabe schulischer Bildung [1]. Die Vielfalt digitaler Medien unterstützt dabei das fachliche Lernen als ein wichtiges Element für die lernförderliche Gestaltung individualisierter Lernprozesse [2]. Das erfordert eine digitale Umgebung, die nicht nur Inhalte bereitstellt, sondern Lehrenden wie Lernenden vielmehr die Möglichkeiten bietet, eigene Inhalte individuell oder gemeinschaftlich zu erstellen, zu bearbeiten und zu teilen. tet.folio [3] als eine de-novo Eigenentwicklung der AG Didaktik der Physik der Freien Universität Berlin ermöglicht seit 2013 als universell nutzbares Baukastensystem das Erstellen digitaler Inhalte vielfältige Lernaktivitäten, die sich an die Anforderungen von Unterricht und Lehre flexibel anpassen lassen und damit einen echten Mehrwert gegenüber klassischen Learning Management Systemen (LMS) bieten, die analoge Medien meist nur substituieren. Mit tet.folio lassen sich weitere Stufen des SAMR-Modells [4] umsetzen, bis hin zur Implementierung digitaler Angebote, die mit analogen Mitteln alleine nicht mehr realisierbar wären („Redefinition“).

Dieser Beitrag gibt einen Überblick der grundlegenden Eigenschaften und Prinzipien von tet.folio und stellt zentrale Anwendungsprojekte vor.

2. Das TET-Projekt

Auch heute noch ersetzen digitale Medien vielfach nur das Buch oder Arbeitsblatt, die Wandtafel oder Videos. Lernplattformen übernehmen die Verteilung

dieser Informationsträger, verwalten Lerngruppen und bieten standardisierte Aufgaben- und Quizformate. Damit wird das Potenzial der Digitalisierung im Bildungsbereich nicht ausgeschöpft. Ihr Nutzen besteht gerade darin, digitale Medien nicht nur als Träger von Informationen, sondern eher für ihre Verarbeitung und so zum Anregen kognitiver Prozesse zu nutzen [5].



Abb. 1: Mobiles Experimentieren mit dem ‚Lehrbuch der Zukunft‘ sollte jederzeit und überall möglich sein.

Unsere Vision des ‚Lehrbuchs der Zukunft‘ im Projekt „Technology Enhanced Textbook (TET)“ [6] ging davon aus, dass Lernende die Inhalte ‚ihres‘ Lehrbuchs individuell aus einem umfassenden Angebot von (interaktiven) Bildungsbausteinen zusammenstellen, mit geeigneten Werkzeugen erstellen und mit anderen teilen können. Das Lehrbuch der Zukunft wäre damit ein Medium, das die Lernenden über ihre gesamte Bildungsbiografie hinweg begleitet und sich ständig um ihr Wissen und ihre Erfahrung erweitert (Abb. 1). Einer der zentralen Bausteine dafür bildete

das ‚Interaktiven Bildschirmexperiment‘ (IBE) [7] als multimediales Repräsentationsformat für reale naturwissenschaftliche Experimente, das aber auch für andere Fachgebiete adaptiert werden konnte.

Mit Hilfe des BMBF-Förderprogramms „Validierung des Innovationspotenzials wissenschaftlicher Forschung“ (VIP) wurde das Konzept des TET als didaktisch-technologische Innovation in Hinblick auf einem möglichen didaktischen Nutzen und die Anwendbarkeit in der Breite untersucht. Im Rahmen der Validierung wurden auf dieser Grundlage zahlreiche Demonstratoren entwickelt, darunter die Web-Applikation ‚tet.folio‘. Sie ermöglicht neben dem Herstellen und Verteilen interaktiver Online-Medien auch deren interaktive Vernetzung mit realen Experimenten wie z. B. in Museen oder Ausstellungen (Abb. 2).

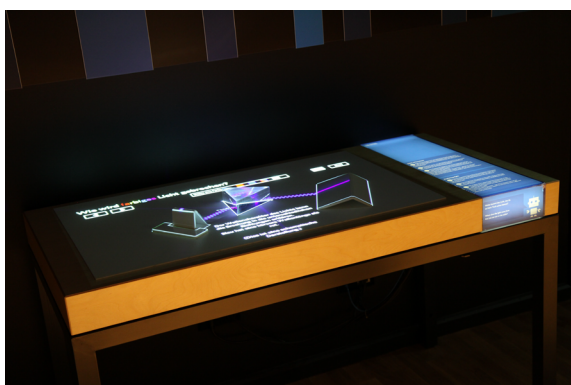


Abb. 2: Beispiel für ein durch Aufprojektion von tet.folio-Inhalten augmentiertes Experiment in der Ausstellung des Science Center Spectrum Berlin. Besucher:innen interagieren mit virtuellen Bedienelementen über eine kamera-gestützte Gestenerkennung.

Mit tet.folio sollte eine institutionsübergreifende nutzbare Bildungsplattform Realität werden, die Bildungsressourcen aus Wissenschaft, Medien, Schule und Universität als digitale Bausteine nicht nur ubiquitär verfügbar, sondern auch auf die individuellen Bedarfe von Lehrenden wie Lernenden flexibel anpassbar macht.

3. tet.folio als "enabling technology"

tet.folio wird als offene Plattform im Rahmen der digitalen Lehre in zunehmend mehr Fachbereichen an der Freien Universität Berlin sowie von Nutzer:innen anderer Universitäten und Bildungsinstitutionen im nichtkommerziellen Bereich genutzt. Dabei liegt der Fokus auf interaktiven, nachhaltig verfügbaren Lernangeboten. Die aus dem TET-Projekt übernommene Buchmetapher erleichtert als symbolischer Rahmen die Navigation. Für deren individuelle Gestaltung und Anpassbarkeit ist in tet.folio ein HTML5-Autorenwerkzeug integriert, das sich über den Web-Browser unabhängig vom Endgerät nutzen lässt. Eine Installation von Software ist für die Nutzung des modular aufgebauten tet.folio-Systems nicht erforderlich. Realisiert wird hier das ‚Software As A Service‘-Modell (SAAS), das auch Aktualisierungen nicht mehr erforderlich macht [8]. So ist jede Erweiterung

der in tet.folio integrierten Funktionen für alle Nutzer:innen unmittelbar verfügbar. Dabei lassen sich alle interaktiven Objekte, Werkzeuge und Medienformate wie die Inline-Darstellung von Weblinks, IBE, Messwerterfassung über die Anbindung an Hardware-Schnittstellen (Abb. 3), Bild- und Tonaufzeichnung, Grafik, oder ein interaktives Whiteboard nahtlos in das Layout einer Buchseite integrieren. Damit werden Medienbrüche durch das Öffnen externer Apps oder den Wechsel in andere Programmmoden vermieden.



Abb. 3: Experimentieren mit der in tet.folio integrierten Hardware-Schnittstelle zur Erfassung von Messwerten.

Die Integration kollaborativer Elemente erlaubt ein gemeinschaftliches Erstellen und Nutzen von Inhalten in Realzeit. Alle dabei erfassten Daten registrierter Nutzer:innen werden in Berlin an der Freien Universität automatisch zentral gespeichert. Alle Inhalte dieser datenschutzkonformen Cloud-Lösung sind entweder im PDF-Format (mit der Option zum Ausdrucken) oder auch als voll funktionsfähiges HTML für die Offline-Nutzung exportierbar. Der Web-Modus blendet die Bedienelemente von tet.folio aus und erlaubt so das Einbinden von tet.folio-Seiten in beliebige Standard-Webserver. tet.folio ist damit ein universell nutzbares Bausteinsystem zum Erstellen von digitalem Lehr-/Lernmaterial.

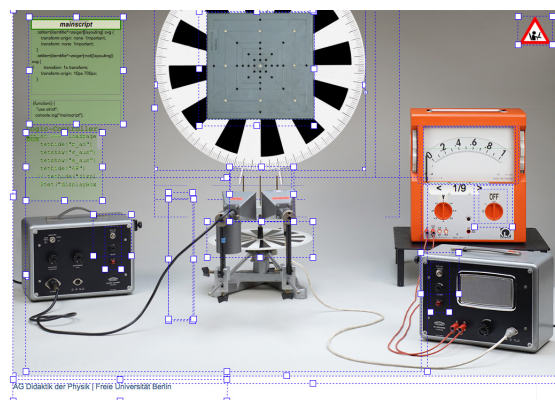


Abb. 4: Ein mit standardisierten Medienobjekten aufgebautes IBE (Bragg-Reflexion mit Mikrowellen) im Layout-Modus.

So bietet tet.folio auch völlig neue Ansätze zur Realisierung und Verteilung von IBE, die durch Kombinationen von standardisierten Medienobjekten

(,tet.box', ,Diashow') mit Bausteinen aus dem tet.folio-Werkzeugkasten (tet.actions, Diashow-Controller, Logic-Controller) möglich werden (Abb. 4). Dabei bildet das IBE nicht wie bisher eine monolithische Einheit, sondern wird ein System aus zum Teil unabhängigen Komponenten. Für das BMBF-Projekt ELIXIER [9] konnten wir den Funktionsumfang von tet.folio so erweitern, dass neben modularisierten IBE auch Interaktionen mit realen Objekten integrieren ließen. Damit konnte demonstriert werden, wie sich reale Erfahrung im Experiment mit der Möglichkeit der virtuellen Reproduzierbarkeit über personalisierte IBE verknüpfen lässt.

4. tet.folio Features

Cognitive Tools [10] unterstützen den aktiven Kompetenzerwerb in digital angereicherten Lernumgebungen. Als solche sind in tet.folio neben Werkzeugen zur grafischen Auswertung von Messdaten oder einem Mind-Map-Tool auch Bausteine wie Feld-Variablen, Format-Vorlagen, tet.actions, der Präsi-Effekte-Controller und dynamische Variablen verfügbar, mit denen sich vielfältige Anwendungen und Hilfsmittel für eine effektive Auseinandersetzung mit Lerninhalten selbst erstellen lassen.

4.1. Feld-Variablen

Feld-Variable sind beispielsweise aus Word oder LaTeX bekannt, aber weniger im Umfeld von Web-Applikationen. Damit lassen sich der Titel einer Seite oder Buchs, das Datum der Erstellung einer Seite oder auch die seitenübergreifende Nummerierung von Abbildungen automatisch in das Seitenlayout, frei platzier- und formatierbar, einfügen.

4.2. Format-Vorlagen

Format-Vorlagen (Abb. 5) bilden die Grundlage für die Gestaltung individueller Lernangebote. Das freie Programmieren von CSS-Styles ermöglicht in tet.folio einen größeren Gestaltungsspielraum als die üblichen Standard-Formatvorlagen vieler LMS.

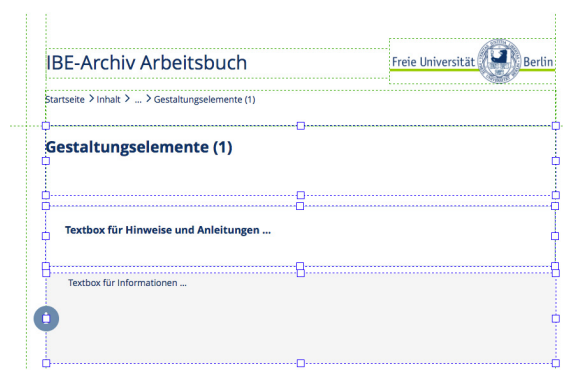


Abb. 5: Beispiel für die Gestaltung mit Format-Vorlagen.

Die parametrisierbaren Format-Vorlagen sind im System hinterlegt und lassen sich von den Nutzer:innen einfach auswählen und anwenden. Solche CSS-Styles und Stylesheets ermöglichen ein einheitliches Erscheinungsbild (,Cooperate Design') und

ermöglichen damit eine bessere Fokussierung auf den eigentlichen Lerninhalt [11].

Der Style tet.note-share erlaubt den (kontrollierten) Zugriff der Lehrenden auf die individuellen Arbeitsergebnisse von Lernenden in tet.folio, zum Beispiel ein interaktives Arbeitsblatt mit IBE. Ein Auswahlménü erlaubt den sofortigen Zugriff auf Arbeitsergebnisse wie Wertetabellen mit Messwerten, die grafische Auswertung oder das als Text formulierte Ergebnis.

4.3. Der digitale Werkzeugkasten – tet.tools

Eines der fundamentalen Objekte in tet.folio ist die ,tet.box', ein Container für Texte, Formeln (LaTeX), Bilder oder zeitbasierte Medienformate. Auch Bildserien, wie sie etwa im Stop-Motion-Verfahren fotografiert werden, lassen sich in eine tet.box importieren. Der Zugriff auf die Bilder erfolgt dann über ,Diashow-Controller', die auch eine gestengesteuerte Interaktionen mit Bildobjekten erlauben – die Basis für die Herstellung einfacher IBE mit tet.folio als dem Baukasten für interaktive Medien.

Ein weiteres Beispiel ist ein Tool, mit dem sich beliebige Mind-Maps über eine einfache Syntax darstellen lassen. So erzeugt der Ausdruck ,a ->b' einen Pfeil vom Objekt a zum Objekt b. Gibt man diesen Objekten die Eigenschaft ,schiebbar', so wird diese Verbindung dynamisch dargestellt. Auch multimodale Mind-Maps oder solche mit interaktiven Medienobjekten sind damit einfach realisierbar (Abb. 6).

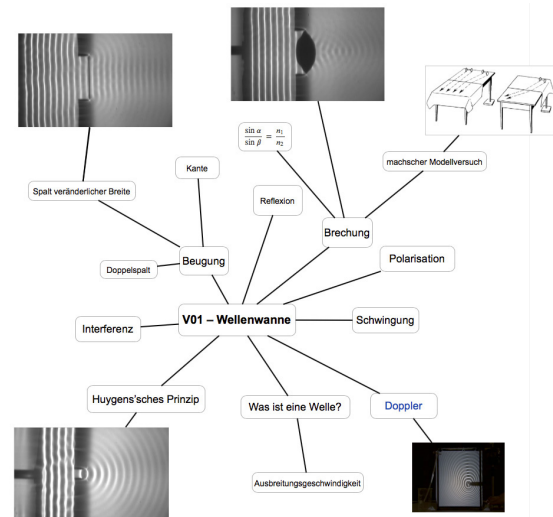


Abb. 6: Beispiel für eine multicode Mind-Map in tet.folio mit Videos und anklickbaren Bildstrecken (Diashows) als interaktiven Elementen.

Ein ,Feedback-Tool' ermöglicht das Senden eines seitenbezogenen Kommentars an Autor:innen per E-Mail. Die synchrone oder asynchrone Begleitung von Lernenden ermöglicht ein Chat-Tool, das sich, wie alle anderen Bausteine auch, in das Seitenlayout integrieren lässt.

Über das Tool ‚tet.cam mobile‘ können Lernende Fotos über ein Mobilgerät direkt auf eine tet.folio-Seite einfügen (hochladen).

4.4. tet.actions

tet.folio umfasst weitere programmierartige Komponenten („tet.actions“), die einfache Interaktionen mit Objekten erlauben. Animationsartige Effekte lassen sich über einfache Befehle im ‚Präsi-Effekte-Controller‘ programmieren. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, Animationseffekte zeitgesteuert über den Timecode eines Videos oder einer Audiodatei automatisch auszulösen. Das ermöglicht das Herstellen von Erklärungsfilmchen ähnlich wie mit der Legetechnik, allerdings ohne die Verwendung einer Kamera. Der informativ-Aspekt der Medienbildung kann damit ein Aspekt der unterrichtlichen Nutzung von tet.folio werden, ohne die digitale Arbeitsumgebung verlassen zu müssen.

4.5. Dynamische-Variablen

Dynamische Variablen ermöglichen flexible Lösungen, etwa die Darstellung der momentanen Koordinate eines Objekts, das auf dem Bildschirm verschoben werden kann. Häufige Anwendung sind Messlinien bei grafischen Repräsentationen von Messdaten im IBE (Spektralen, Kennlinien).

4.6. tet.wiki

Die Benutzung von tet.folio unterstützt das integrierte ‚tet.wiki‘ als umfangreiche Dokumentation der Funktionen des Systems (Abb. 7). Es stellt eine Wissenssammlung für Nutzer:innen zur Vorbereitung auf die Nutzung des Autorensystems tet.folio zur Erstellung eigener Seiten und Bücher bereit [12].



Abb. 7: Titelseite des tet.wiki.

5. Erstellen umfangreicher Lehr-Lernangebote

Vom einzelnen Arbeitsblatt über digitale Lehr-Lern-Räume bis zum Lehrangebot(-buch) mit hunderten von Seiten ist alles möglich. Mit standardisierten Bausteinen lassen sich auch größere Projekte flexibel realisieren und für die Weiterentwicklung teilen.

5.1. FOCUS Videportal

Das in tet.folio im Rahmen des BMBF-Projekts K2teach realisierte FOCUS Videportal [13]

ermöglicht Lehramtsstudierenden die fokussierte Analyse von Videos zu authentischen Unterrichtssituationen. Dazu stellt das FOCUS Videportal online zur Verfügung:

- Eine **Videodatenbank** mit Unterrichtsvideos und Interviews von Lehrkräften und Schüler:innen. Begleitmaterialien unterstützen dabei die Arbeit zu selbstgewählten Themen.
- Ergänzende **Lehr-Lerngelegenheiten** ermöglichen eine fokussierte Analyse in didaktisch aufbereiteten Umgebungen.
- Die **Toolbox** bietet Empfehlungen zur Fachliteratur als auch zu Instrumenten der Schul- und Unterrichtsentwicklung.

5.2. QuerVet Online-Angebot

An der Freien Universität Berlin lernen Studierende der Veterinärmedizin mit dem Online-Angebot ‚QuerVet‘ [14] fallbasiert anhand von Szenarien aus der tierärztlichen Berufspraxis (Abb. 8). Die Fälle werden in Präsenzphasen ergänzt, diskutiert und fortgesetzt. Fallbasierte und praxisnahe Situationen aus dem Berufsalltag von Tierärzten und Tierärztinnen fördern das Interesse an den Inhalten.

Interaktive Sonographie Abdomen



Abb. 8: Die virtuelle Simulation einer Ultraschalluntersuchung bei Pferden. Das Bewegen des Schallkopfes zeigt auf dem Monitor dynamisch das Ultraschallbild. Die Simulation ist in das Layout einer tet.folio-Buchseite integriert.

Interaktive Bausteine von tet.folio ermöglichen hierbei die virtuelle Simulation von klinischen Untersuchungen wie z. B. Sonografien und Laboruntersuchungen. Ein digitaler Notizzettel steht den Lernenden bei den medizinischen Untersuchungsgängen für eigene Notizen bereit. Die Plattform bietet ergänzend ein Diskussionsforum für inhaltliche und technische Fragen. In einem Glossar stehen den Studierenden Hintergrundinformationen zur Verfügung, auf die je nach Wissensstand zugegriffen werden kann. Die Integration der vielfältigen E-Learning-Elemente gestaltet das Lehren und Lernen zeitlich und räumlich

flexibler, fördert selbstgesteuertes Lernen und eine höhere Eigenbeteiligung der Studierenden.

Der Bereich Veterinär-Physiologie setzt tet.folio bereits seit 2014 für die interaktive Vorbereitung auf das Physiologische Praktikum ein [15]. Begleitet von einer mehrjährigen Evaluationsphase mit Studierenden werden u. a. Formatvorlagen und Werkzeuge der Plattform im Rahmen einer intensiven Zusammenarbeit mit dem Bereich kontinuierlich weiterentwickelt und sind damit für alle Anwender:innen aktuell verfügbar (SAAS-Modell).

5.3. MIND-Center Schüler:innenlabor

Das MIND-Center der Universität Würzburg nutzt tet.folio als Autorentool für die Gestaltung von digitalen Angeboten zur Begleitung von Lernprozessen im Schüler:innen-Labor [16]. Ein tet.folio-Buch wird hier zum Beispiel zu einem Lernprodukt in projektartig organisiertem Unterricht. Die Buchseiten werden je nach Projektverlauf offen oder mit selbst erstellten Formatvorlagen gestaltet. Über die Vergabe von Lese- und Schreibrechten kann sichergestellt werden, welche Schüler:innen die einzelnen Ebenen der Hierarchie sehen oder (auch gemeinschaftlich) bearbeiten dürfen.

5.4. IBE Archiv

Das Archiv Interaktiver Bildschirmexperimente [17] (Abb. 9) unterscheidet sich von herkömmlichen MINT-Portalen deutlich. Es ermöglicht durch die Autorenfunktionalität von tet.folio das individuelle Erstellen von Lernmaterialien mit IBE, die sich aus dem Archiv über die "tet.ablage" in eigene Seiten einfügen lassen. Lehrpersonen haben damit die Möglichkeit, den Einsatz der IBE an die Bedarfe ihrer Lerngruppe anzupassen.

Inhalt | Register | Themen | Tutorials | Aktuell | Blog Freie Universität  Berlin

Archiv Interaktiver Bildschirmexperimente



| | | |
|--|---|--|
| <p>Experimentiere aktiv</p> <p>Experimentieren mit Interaktiven Bildschirmexperimenten (IBE) ist jederzeit und überall möglich. Ob mit Tablet, Laptop, PC oder am digitalen Whiteboard – Browser und Internet genügen.</p> <p>IBE sind digitale Repräsentationen realer Experimente. Sie laufen nicht wie ein Video von selbst ab – IBE erfordern eigenes Handeln. Gesten ermöglichen dabei eine realitätsnahe Durchführung des virtuellen Experiments.</p> | <p>Open-Source-Archiv</p> <p>Viele der seit 1996 produzierten IBE waren bisher online nicht verfügbar. Dieses Archiv will den Bestand der IBE systematisch erschließen, ihn kontinuierlich erweitern, an offene Standards (HTML 5) anpassen und für die Nutzung in Lehre und Unterricht frei zugänglich machen.</p> <p>Alle IBE und Inhalte sind, falls nicht anders gekennzeichnet, unter der Creative-Commons-Lizenz BY-NC 4.0 verfügbar.</p> | <p>Vielfalt mit IBE</p> <p>IBE erweitern Experimente für Lehre und Unterricht. Sie bieten aber auch einen Ersatz und eine Alternative zu Videos, wenn Gefahren, hoher Aufwand oder praktische Hindernisse reales Experimentieren verhindern.</p> <p>IBE lassen sich zur Erweiterung von Lernumgebungen mit Experimenten flexibel einsetzen. Sie unterstützen damit individuelle Lernprozesse im Präsenz- und Distanzunterricht.</p> |
|--|---|--|

Abb. 9: Startseite des IBE-Archivs.

Die in das Archiv integrierte Tutorials leiten dazu an. So lassen sich auch Erklärfilme mit IBE selbst herstellen. Ähnlich wie bei den "Stummen Videos" [18] lassen sich IBE frei kommentieren (vertönen). Hier allerdings mit dem Unterschied, dass mit dem IBE die Durchführung des Experiments nicht vorgegeben wird und so Teil der Aufgabenstellung werden kann.

Dabei wird die Durchführung als Screencast aufgezeichnet und entweder synchron oder auch asynchron in einer zusätzlichen Tonspur kommentiert.

5.5. QUA-LiS Schlüsselexperimente NRW

Das QUA-LiS beschreibt in einem online verfügbaren Handbuch 25 Schlüsselexperimente in der Physik der gymnasialen Oberstufe und deren Bezug zu den Kompetenzbeschreibungen im Lehrplan [19]. Als Ergänzung sind IBE insbesondere zu komplexen und anspruchsvollen Experimenten entwickelt worden. „Damit werden Möglichkeiten gegeben, auch im außerschulischen Bereich durch angeleitete Aufgabenstellung real durchgeführte Experimente wiederholend oder auch vorbereitend durchzuführen und dabei eigenständige Messergebnisse und Kommentare, weitergehende Informationen auch durch Nutzung eigenständiger Internetrecherchen hinzuzufügen.“ [20]

Ein Team von erfahrenen Lehrpersonen aus NRW erstellt die Lernmaterialien mit IBE in tet.folio dabei vollkommen selbstständig. Die gemeinsam mit dem Team geplanten und von der AG Didaktik an der FU Berlin hergestellten IBE werden dazu in einem 'Master-Buch' vorgehalten und über ein 'Arbeits-Buch', hier bereits im Zielformat eines einheitlichen Layouts und mit Kommentaren zu den Medieneigenschaften versehen, zur Evaluierung durch die Autor:innen bereitgestellt. In teils mehreren Iterationsschritten werden die IBE dann so optimiert, dass sie den Anforderungen der Autor:innen genügen. Die so qualitätskontrollierten IBE können nun über eine integrierte Zwischenablage in die Endfassungen des Lernmaterials im Buch 'NRW-Physikexperimente' übernommen werden.

6. Zusammenfassung

Der Medienkompetenzrahmen NRW [1] bietet eine gute Übersicht der zentralen Merkmale von tet.folio im Kontext des Erwerbs von

- Bedienen und Anwenden:** Beliebige Endgeräte für die Online-Nutzung, Browser. Keine Installation und Pflege von Software erforderlich (SAAS-Modell). tet.folio als digitales Werkzeug einsetzen. Arbeiten in der Cloud. Buchmetapher unterstützt das Organisieren und Strukturieren der Inhalte. IT-Sicherheit.
- Informieren und Recherchieren:** tet.tools unterstützen das Umwandeln, Strukturieren und Aufbereiten von Daten, beispielsweise von Messdaten, die während der Durchführung von IBE gewonnen wurden.
- Kommunizieren und Kooperieren:** Mediale Produkte gemeinschaftlich erstellen. Die integrierte Chat-Funktion unterstützt Kommunikationsprozesse.
- Produzieren und Präsentieren:** Digitale Werkzeuge (tet.tools) und Formatvorlagen ermöglichen neue Formen der Gestaltung medialer Produkte. tet.folio erlaubt das Teilen sowie das Veröffentlichenden von Medienprodukten.

- e) **Analysieren und Reflektieren:** Vielfalt der Medien nutzen. Integrierte Tools für die Analyse von Videos. Neue Formate entwickeln und testen. IBE als Herausforderung für die Realitätswahrnehmung.
- f) **Problemlösen und Modellieren:** Grundlagen des tet.folio-Konzepts kennen. Strukturierte Sequenzen planen und durch Programmierung umsetzen: Presi- und Logic-Controller.

7. Literatur

- [1] https://medienkompetenzrahmen.nrw/fileadmin/pdf/LVR_ZMB_MKR_Rahmen_A4_2019_06_Final.pdf (Stand 5/2021)
- [2] Heinen, R.; Kerres, M. (2015): Individuelle Förderung mit digitalen Medien. Gütersloh (Bertelsmann Stiftung)
- [3] Kirstein, J.; Nordmeier, V. (2014). tet.folio: Physik lehren und lernen mit einem digitalen Portfolio. In: PdN Physik in der Schule, Heft 3 (63), 19 – 28.
- [4] Hamilton, E.R., Rosenberg, J.M. & Akcaoglu, M. (2016): The Substitution Augmentation Modification Redefinition (SAMR) Model: a Critical Review and Suggestions for its Use. TechTrends (2016) 60.
- [5] Schaumburg, H. (2015): Chancen und Risiken digitaler Medien in der Schule. Gütersloh (Bertelsmann Stiftung)
- [6] <https://www.validierungsfoerderung.de/aktuelle/aktuelles/das-technology-enhanced-textbook-tet>
- [7] Kirstein, J., & Nordmeier, V. (2007): Multimedia representation of experiments in physics. In: IOP, Eur. J. Phys. 28 (2007), 115-126.
- [8] Haase, S.; Kirstein, J.; Neuhaus, W.; Nordmeier, V. (2015): Technology Enhanced Textbook (TET) – Das digitale Lehrbuch der Zukunft. In: Schuhen, M.; Froitzheim, M. (Hg): Das elektronische Schulbuch 2015. Münster (LIT Verlag).
- [9] Ermel D., Kirstein, J. Haase, S., Nordmeier, V. (2016): ELIXIER: Didaktische Konzeption einer kompetenzorientierten Mixed-Reality-Experimentierumgebung. In Phydid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung 2016, Berlin.
- [10] Jonassen, D. H., & Reeves, T. C. (1996). Learning with technology: Using computers as cognitive tools. In D. H. Jonassen (Ed.), Handbook of research for educational communications and technology, 1st edition. (pp. 693-719). New York: Macmillan.
- [11] Mühlenbruch, T.; Nordmeier, V. (2015): Optimierung naturwissenschaftlicher Experimentalpraktika. In: S. Bernholt (Hrsg.): Heterogenität und Diversität – Vielfalt der Voraussetzungen im naturwissenschaftlichen Unterricht. Kiel: IPN, S. 414-416.
- [12] <https://tetfolio.fu-berlin.de/tet/445730> (Stand 5/2021)
- [13] <https://tetfolio.fu-berlin.de/tet/802685> (Stand 5/2021)
- [14] <https://www.e-teaching.org/community/digital-learning-map/quervet-die-neue-querschnittslehre-in-der-veterinaermedizin> (Stand 5/2021)
- [15] <https://www.fu-berlin.de/campusleben/lernen-und-lehren/2017/171214-tet-folio> (Stand 5/2021)
- [16] <http://www.uni-wuerzburg.de/einrichtungen/mind> (Stand 5/2021)
- [17] <https://tetfolio.fu-berlin.de/web/980458> (Stand 5/2021)
- [18] https://www.didaktik.physik.uni-muenchen.de/lehrerbildung/lehrerbildung_lmuvideo (Stand 5/2021)
- [19] <https://www.schulentwicklung.nrw.de/lehrplaene/lehrplannavigator-s-ii-gymnasiale-oberstufe/physik/hinweise-und-beispiele/se2.html> (Stand 5/2021)
- [20] <https://tetfolio.fu-berlin.de/web/NRW-Physik-Experimente> (Stand 5/2021)

Gestaltung von Lernmaterial und Didaktische Typografie – wie sich die Lesbarkeit von Texten auch ohne sprachliche Anpassungen verändern lässt

Rosalie Heinen, Susanne Heinicke

Institut für Didaktik der Physik, WWU Münster,
Wilhelm-Klemm-Str. 10, 48149 Münster
rosalie.heinen@wwu.de

Kurzfassung

Zahlreiche Studien haben in den letzten Jahren aufgezeigt, dass naturwissenschaftsbezogene Texte, wie sie üblicherweise in Schulbüchern und Lernmaterialien verwendet werden, allgemein- und fachsprachliche Herausforderungen an die Lernenden stellen (Busch & Ralle, 2011; Merzyn, 1994; Prediger, 2013; Sumfleth & Schüttler, 1995; Fraas, 1998; Hoffmann, 1998). Kohnen et al. (2017) zeigen außerdem auf, dass Änderungen allein auf morphosyntaktischer Ebene kaum signifikante Effekte in Bezug auf die Erhöhung der Lesbarkeit hervorbringen. Die Ergebnisse einer aktuellen Studie unter 200 Schülerinnen und Schülern zeigen, wie bereits durch typografische Maßnahmen das sinnentnehmende Lesen deutlich erleichtert werden kann. Der Beitrag wird zum einen die Ergebnisse der Studie vorstellen, daraus Empfehlungen der didaktischen Typografie ableiten und zum anderen evidenz- und theoriebasierte (Cognitive Load Theory nach Sweller, 2005; Theory of Multimedia Learning nach Mayer, 2005) Designs zur Gestaltung von Lernmaterial vorstellen, die anhand dieser Basis an der Universität Münster entwickelt werden.

1. Einleitung

Die Forschung von Merzyn (1994) kommt zu dem Ergebnis, dass Schülerinnen und Schüler vor allem die Sprache und Verständlichkeit von Physiklehrwerken bemängeln (zitiert nach Starauschek, 2003). Auch Bölsterli et al. (2010) macht deutlich, dass naturwissenschaftliche Schulbücher, wenn sie unverständlich konzipiert sind, selten genutzt werden. Somit spielt der Faktor „Sprache“ auch im Physikunterricht eine wesentliche Rolle. Vor allem das Lesen und Verstehen von Schulbuchtexten stellt sprachschwache Schülerinnen und Schüler vor Herausforderungen – nicht nur aufgrund fachwissenschaftlicher Inhalte. Dabei lag das Hauptaugenmerk der Verständlichkeit von Schulbuchtexten lange auf der fachinhaltlichen und sprachlichen Ebene. Studien zur sprachlichen Struktur von Lehrtexten aus naturwissenschaftlichen Unterrichtsfächern machen allerdings sichtbar, dass die Texte äußerst komplexe sprachliche Eigenschaften vorweisen (Busch & Ralle, 2011; Merzyn, 1994; Prediger, 2013). Aktuelle Studien, in denen sprachlich vereinfachte Schulbuchtexte erprobt wurden, zeigen, dass die sprachliche Gestaltung bei der Rezeption von Texten nicht die einzige Rolle spielt: Ein Text kann trotz reduzierter Sprachhindernisse komplex wirken (Kohnen et al., 2017). Die Vorstudien zu Textverständlichkeitsmerkmalen in Physikschulbüchern legen nahe, dass neben fachlichen und sprachlichen Anforderungen auch die grafische Gestaltung die Verständlichkeit von Texten beeinflussen kann.

2. Anforderungen an Lehrwerke

Obwohl andere Medien und Medienpraktiken im Lehr- und Lernkontext zunehmend wichtiger werden, strukturieren Schulbücher den Unterricht und beeinflussen dessen Gestaltung auch heutzutage (Diegmann, 2013). Dabei kommt ihnen eine Doppelrolle zu: Einerseits dienen sie als Lernmittel für die Schülerinnen und Schüler, andererseits bieten sie der Lehrkraft „mannigfaltige Arbeitserleichterung bei der Unterrichtsvorbereitung“ (Merzyn, 1994, S. 28) und im Unterricht. Lehrwerke besitzen „[...] mit Lehrenden und Lernenden einen klar definierten Adressatenkreis und erfordern ein ‚Informationsdesign‘ im Sinne eines ganzheitlichen Blicks auf Gestaltung und Verwendung“ (Pettersson 2010 zitiert aus Fuchs et al., 2014; S. 41). Dabei hat der Adressatenkreis bestimmte Voraussetzungen, die für eine Lernförderung gegeben sein müssen (ebd.). Nach Aeberli (2004) sollen moderne Lernmaterialien an den Lebenswelten der Schülerinnen anknüpfen, eine Hilfestellung zur Zusammenarbeit bieten und bei gemeinsamem Erforschen von Bedeutungen unterstützen. Sie bieten Hilfe zur autodidaktischen Selbstbildung an und unterstützen den Aufbau von Basiskonzepten, indem Inhalte mithilfe didaktischer Mittel auf das Wesentliche reduziert werden (Fuchs et al., 2014). Zusätzlich sollen verschiedene Repräsentationsformen angeboten und vielfältige Interessen berücksichtigt werden (Fuchs et al., 2014; S. 41 f.).

Neben diesen fachinhaltlichen, kognitionspsychologischen und fachdidaktischen Rahmenbedingungen formuliert Ballstaedt (1997) erstmals auch diverse Gestaltungsgrundsätze für Lehrwerke: Funktionalität, Einfachheit und Konsistenz. Damit finden auch die grafischen Aspekte einer Lehrwerksgestaltung Beachtung. In diesem Kontext existieren zwei Theorien zum Lernen mit multimedialen Inhalten, die verbreitet aufgenommen und allgemein akzeptiert sind. Beide beschäftigen sich mit der Gestaltung multimedialer Lerninhalte und bezwecken die Reduzierung der kognitiven Belastung des Arbeitsgedächtnisses: die Cognitive Load Theory nach Sweller (2005) und die Cognitive Theory of Multimedia Learning nach Mayer (2005). Beide Modelle sind nicht als konkurrierend, sondern als sich gegenseitig ergänzende Theorien zu betrachten.

3. Cognitive Load Theory

Die Cognitive Load Theory geht von einer begrenzten Kapazität des Arbeitsgedächtnisses aus. Dementsprechend besteht das Ziel darin, die zur Verfügung stehenden kognitiven Ressourcen der Lernenden optimal für lernrelevante Verarbeitungsprozesse zu nutzen. Dabei wird das Lernen als eine Veränderung im Langzeitgedächtnis angesehen (Rey, 2008). Wie kognitiv anspruchsvoll ein multimedialer Inhalt ist, hängt nach Sweller und Paas (2014) von drei Quellen der kognitive Belastung ab (vgl. Abb.1):

1. Intrinsic cognitive load
(Intrinsische kognitive Belastung)
2. Extraneous cognitive load
(Extrinsische kognitive Belastung)
3. Germane cognitive load
(Lernbezogene kognitive Belastung)

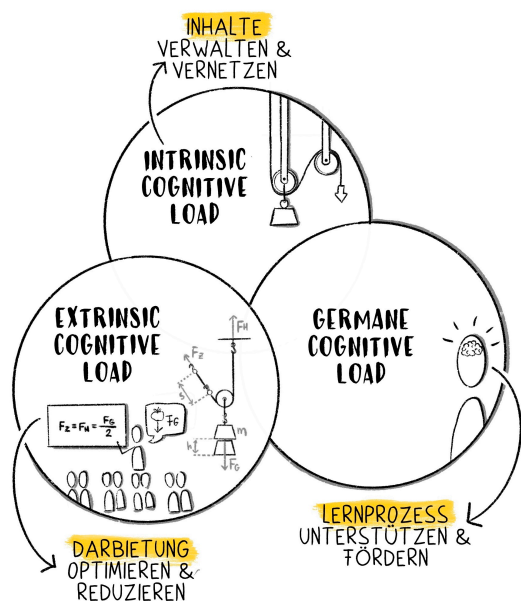


Abb.1: die drei kognitiven Belastungen nach Sweller (2005)

3.1. Intrinsic cognitive Load

Die intrinsic cognitive load (intrinsische kognitive Belastung bezeichnet) bezieht sich auf die durch die Lerninhalte bedingte Belastung (Hofmann, 2012; Rey, 2008; Zander et al., 2012): Je schwieriger und komplexer der Lerninhalt für die Lernenden, desto höher die intrinsische kognitive Belastung. Je höher das Vorwissen des Lernenden in Bezug auf den Lerninhalt, desto niedriger die intrinsische kognitive Belastung.

3.2. Germane cognitive load

Die germane cognitive (lernbezogene oder relevante kognitive Belastung) gilt als Prozess im Arbeitsgedächtnis, der für die Schemabildung und -automation relevant ist (Rubitzko, 2006). Die Erhöhung der germane cognitive load sorgt für einen besseren Aufbau und eine leichtere Aktivierung der Schemata im Arbeitsgedächtnis (Hofmann, 2012). Nach Rey (2008) ist die Lern- bzw. die Verständnisleistung besser, je größer die germane load ist.

3.3. Extraneous cognitive load

Im Gegensatz zur intrinsic cognitive load bezieht sich die extraneous cognitive load (lernirrelevante/extrinsische kognitive Belastung) nicht auf die lernbezogene Belastung des Arbeitsgedächtnisses und das Vorwissen des Lernenden, sondern auf die Darstellung sowie Gestaltung des Lernmaterials (Chandler & Sweller, 1991).

Die Verständlichkeit eines Lernstoffs hängt damit auch von der Darstellungsform des Inhalts ab: Ist ein Lernmaterial schwer verständlich und enthält eine Vielzahl in Bezug auf den Lerninhalt unwichtige Informationen, so folgt eine hohe extrinsische Belastung, da die Informationsfindung kognitive Anstrengung benötigt und nicht sofort zugänglich ist (Hofmann, 2012). Zander et al. (2012) führen an, dass die extrinsische Belastung steigt, wenn Lernende einen Text auf ein Bild beziehen sollen, das sich z. B. auf einer anderen Seite des Buches befindet.

Ziel der Cognitive Load Theory ist, Lernmaterialien so zu gestalten, dass die extraneous cognitive load möglichst geringgehalten wird. Darum werden im Folgenden verschiedene Effekte und daraus resultierende Design- und Gestaltungsmöglichkeiten beschrieben, die Einfluss auf die extrinsische Belastung haben.

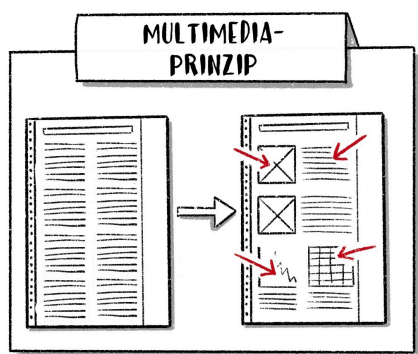
4. Prinzipien Reduktion des „Loads“

Bei der Gestaltung von Lernumgebungen ist darauf zu achten, dass alle drei erwähnten kognitiven Belastungen aufgrund ihres als additiv geltenden Charakters berücksichtigt werden. Ziel ist wie bereits erwähnt, eine kognitive Überlastung des Lernenden zu verhindern. Um dies zu erreichen, gibt es nach Sweller (2005) und Mayer (2005) eine Reihe von Design- und Gestaltungsmöglichkeiten, die sich aus der

Cognitive Load Theory ableiten lassen. Im Folgenden werden 4 dieser Prinzipien vorgestellt und diese in einem weiteren Schritt auf die typografische Gestaltung von Lehrwerken übertragen.

4.1. Multimedia-Prinzip

Das Multimediaprinzip besagt, dass das Lernen mit der Kombination von Text und Bild effektiver ist als das Lernen ausschließlich anhand von Text (Butcher, 2014). Außerdem wird damit argumentiert, dass Bilder anschaulich sind und als Ganzes erfasst werden können (Rey, 2008). Dementsprechend müssen die Lernenden keine gedanklichen Bilder konstruieren. Dies hat schließlich zur Folge, dass durch die Konstruktion von Bildern kognitive Belastungen reduziert werden können (vgl. Abb.2)

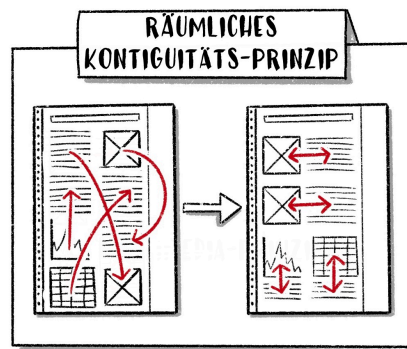


PERSONEN LERNEN BESSER,
WENN ZU EINEM LERNTXT
GEEIGNETE BILDER
HINZUGEFÜGT WERDEN.

Abb.2: das Multimedia-Prinzip nach Sweller (2005)

4.2. Räumliches Kontiguitäts-Prinzip

Damit Lernende von Text-Bild-Kombinationen profitieren können, müssen Bilder und Texte in unmittelbarer räumlicher Nähe stehen. Dazu werden z.B. Bilder, Grafiken, Tabellen etc. neben den Absätzen platziert, in denen sie beschrieben werden (vgl. Abb. 3). Ein Verweis auf ein Bild, das in Relation zu dem entsprechenden Text auf einer anderen Seite steht, hat zur Folge, dass die Aufmerksamkeit geteilt wird (Split-Attention-Effekt; auch bekannt als Prinzip der geteilten Aufmerksamkeit) (Zander et al., 2012). Der Split-Attention-Effekt ist somit ein Resultat der Nichteinhaltung des räumlichen Kontiguitätsprinzips.

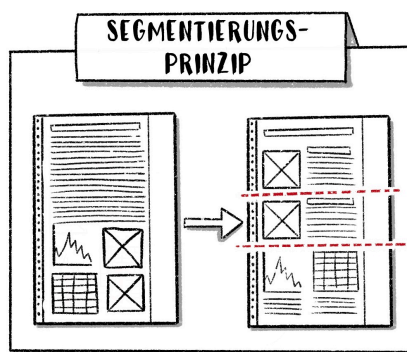


PERSONEN LERNEN BESSER,
WENN ZUSAMMENGEHÖRIGE
TEXTINHALTE & ABBILDUNGEN
IN RÄUMLICHER NÄHE
DARGESTELLT WERDEN.

Abb.3: das räumliche Kontiguitäts-Prinzip nach Sweller (2005)

4.3. Segmentierungs-Prinzip

Das Segmentierungsprinzip beschreibt das Gliedern von Lernsequenzen in Abschnitte (Mayer & Pilegard, 2014). Ist das vorliegende Material ein Text, so bedeutet dies dessen Gliederung in Abschnitte (vgl. Abb. 4). Ist das Material hingegen eine Animation, so wird vom Gliedern in Teilsegmente gesprochen, die durch ‚stop‘ und ‚weiter‘ nacheinander aktivierbar sind (Rey, 2008). Durch die Segmentierung sind die Lernenden nach Zander et al. (2012) in der Lage, „[...] mentale Repräsentationen einzelner Abschnitte aufzubauen, bevor der kommende Abschnitt bearbeitet wird“ (S. 52). Es müssen also keine bzw. wenige Informationen im Arbeitsgedächtnis erhalten bleiben, um den Lerninhalt verstehen zu können. Durch kognitive Überlastung gelingt es den Lernenden nicht, Textinhalte in einem verbalen und Bildinhalte in einem visuellen Modell zu organisieren. Dementsprechend wird der Lernprozess erschwert.



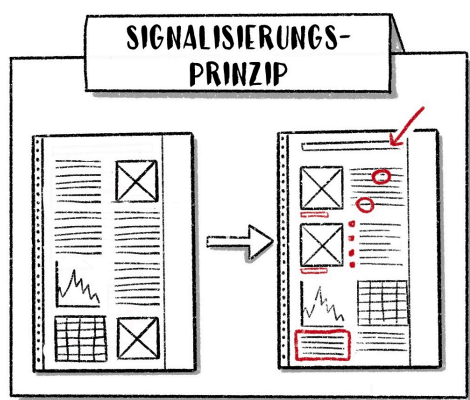
PERSONEN LERNEN BESSER,
WENN DIE INFORMATIONEN IN
LERNGERECHTEN ABSCHNITTEN
DARGESTELLT WIRD.

Abb.4: das Segmentierungsprinzip nach Sweller (2005)

4.4. Signalisierungs-Prinzip

Das Signalisierungsprinzip besagt, dass das Lernen effektiver wird, wenn Hinweiszeichen hinzugefügt und Kerninhalte des Lernmaterials hervorgehoben werden (van Gog, 2014). Die Signalisierung lenkt nicht nur die Aufmerksamkeit des Lernenden auf die Kerninhalte, sondern verbessert auch die Struktur des Materials (ebd.). Das Signalisierungsprinzip kann nach van Gog (2014) in verschiedenen Formen umgesetzt werden. Zum einen können die Hinweise text- und bildbasiert sein, d. h. es kann entweder ein kurzer Text oder ein Bild mit Markierungen erstellt werden, die vorab auf die zentralen Aspekte und Elemente des Themas hinweisen.

Zum anderen kann das Lernmaterial durch die Markierung von Textstellen und die Hervorhebung wesentliche Aspekte in Bildern erleichtert werden (vgl. Abb. 5). Dabei sollten zugehörige Prozesse bzw. Textstellen die gleiche Farbe erhalten (van Gog, 2014). Die Signale können auch in Form von Pfeilen, Piktogrammen etc. dargestellt werden.



PERSONEN LERNEN BESSER,
WENN WICHTIGES, STRUKTUREN
& ZUSAMMENHÄNGE GRAFISCH
HERVORGEHOBEN WERDEN.

Abb.5: das Signalisierungs-Prinzip nach Sweller (2005)

5. Übertragung der Prinzipien auf die Lehrwerksgestaltung

Die verschiedenen Gestaltungsprinzipien lassen sich auf das Repertoire der typografischen Gestaltung von Lehrwerken übertragen. Wenn es um wissensvermittelnde Texte geht, spricht man in diesem Kontext auch von didaktischer Typografie. Gemeint ist damit der zweckdienliche Einsatz typografischer Gestaltungsmittel in Texten, die in Lehr- und Lernprozessen eingesetzt werden, zur Erhöhung der Lesbarkeit und zur Unterstützung des Lese- und Verständnisprozesses. Dies geschieht z.B. durch die Wahl verschiedener Schriften, Schriftschnitte und Schriftgrößen zur Kennzeichnung von Textkörpern und klarer Unterscheidbarkeit der Textfunktionen (z. B. Lesetext, Aufgaben, Zusammenfassungen oder Merksätze).

Inwiefern sich die einzelnen Prinzipien in typografische Maßnahmen übersetzen lassen, kann aus Tab. 1 entnommen werden.

| Gestaltungsprinzipien nach Sweller (2005) | Übertragung in eine typografische Lösung |
|---|--|
| Segmentierungs-Prinzip | <ul style="list-style-type: none"> - Segmentierung des Textes in Abschnitte - Einsatz von Zwischenüberschriften zur Portionierung fachlicher Inhalte - Strukturierung von Elementen mithilfe deutlicher Abschnittsmarkierungen - Textstrukturierung mithilfe von Aufzählungen (Zahlen, Punkte, Spiegelstriche) |
| Signalisierungs-Prinzip | <ul style="list-style-type: none"> - Überschriften und Zwischenüberschriften - konsequente Auszeichnung von Schlüsselbegriffen - farbige Hinterlegung von Textflächen zur Kennzeichnung von Textkörpern - Piktogramme |
| Multimedia-Prinzip | <ul style="list-style-type: none"> - Kombination verschiedener Repräsentationsformen wie bspw. Texte, Grafiken und Abbildungen |
| räumliches Kontiguitäts-Prinzip | <ul style="list-style-type: none"> - Abbildungsnummerierung und -unterschriften, Bildverweise im Text, räumliche Nähe von zusammengehörigen Text- und Bildelementen - Einsatz grafischer Strukturmarker (Linien, Pfeile, Punkte etc.) - Rasterkonforme Text-Bild-Arrangements bzw. die Ausgewogenheit von Text, Bild und Weißraum |

Tab. 1: Übertragung der Gestaltungsprinzipien auf typografische Maßnahmen.

6. Empirische Arbeit

Im Rahmen der Studie soll erhoben werden, ob sich die grafische Gestaltung eines Textes auf seine Verständlichkeit auswirkt – während sprachliche Merkmale auf der Textoberflächenstruktur bewusst außer Acht gelassen werden. Dazu werden ausgewählte Texte aus Nawi-Schulbüchern unter verschiedenen Gesichtspunkten überarbeitet. Ohne sprachliche Veränderungen vorzunehmen wird eine Defragmentierung des Schulbuchtextes in seine einzelnen Bestandteile durchgeführt, um diese dann in kohärenter Abfolge neu zusammenzusetzen. Darüber hinaus werden die Layouts rein typografisch überarbeitet. Bei der grafischen Manipulation werden die Annahmen und Erkenntnisse der Cognitive Load Theory nach Sweller (1998) und der Cognitive Theory of Multimedia Learning nach Mayer (2005) berücksichtigt. Zusätzlich wird das Erfahrungswissen von Designern und Typografen zum Thema Layout und Gestaltung hinzugezogen.

6.1. Methodisches Vorgehen

Die teils qualitativ, teils quantitativ angelegte Studie zielt auf eine erste Erfassung des Einflusses von typografischen Manipulationen in naturwissenschaftlichen Lehrwerken in sprachlich heterogenen Klassen ab. Konkret soll erhoben werden, inwiefern sich die Manipulation eines naturwissenschaftlichen Schulbuchtextes durch auf die Zugänglichkeit des Textes für Schülerinnen und Schülern auswirkt. Dazu wurden insgesamt zwei Schulbuchtexte in 4 Stufen manipuliert, sodass die Layouts A bis D entstanden (vgl. Abb.6).

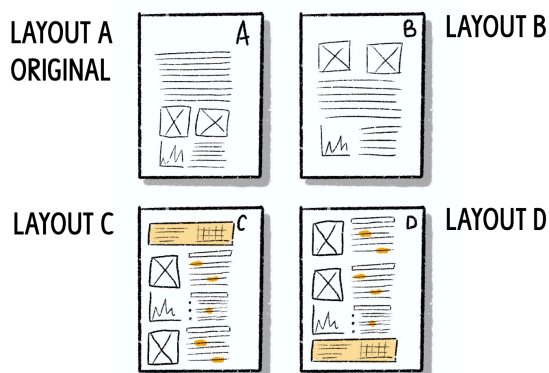


Abb.6: Schematische Darstellung der verschiedenen Textlayouts

Die Erhebung wurde an lokalen und internationalen deutschen Auslandsschulen (Köln, Kairo, Teheran, Istanbul, Kapstadt) in den Jahrgangsstufen 8 bis 10 durchgeführt. Für die Datenerhebung wurden vor allem deutsche Auslandsschulen ausgewählt, weil dort der Anteil der Schülerinnen und Schüler, die Deutsch als Fremdsprache lernen, überproportional hoch ist.

Damit wird eine bewusste Stichprobenziehung nach dem Top-down-Verfahren erzielt.

Zuerst wurden bei allen Schülerinnen die deutsche Sprachkompetenz anhand eines C-Tests und die basalen Lesekompetenzen anhand eines standardisierten Lesetests erhoben.

In einer weiteren Unterrichtsstunde erhielten die Schülerinnen je eines der vier Textlayouts. Der Text wurde von den Schülerinnen gelesen und im Anschluss ein Leseverständnistest ausgefüllt, der sich am Lesekompetenzmodell nach PISA orientiert. Zudem wurden Bearbeitungszeit und weitere subjektive Einschätzungen zum Text erfasst.

7. Tendenzen der Vorstudie

Anhand der mündlichen und schriftlichen Rückmeldungen der Schülerinnen und Schüler zu den vier verschiedenen Textversionen konnten durch strukturierte Zusammenfassung der Vorstudienresultate insgesamt vier verschiedene Feedback-Kategorien festgestellt werden (vgl. Abb.7):

- Feedback zur typografischen Gestaltung
- Feedback zur sprachlichen Gestaltung
- Feedback zur inhaltlichen Gestaltung
- sonstiges (z. B. Gewicht und Kosten des Lehrwerks)

(Heinen & Heinicke, 2021)

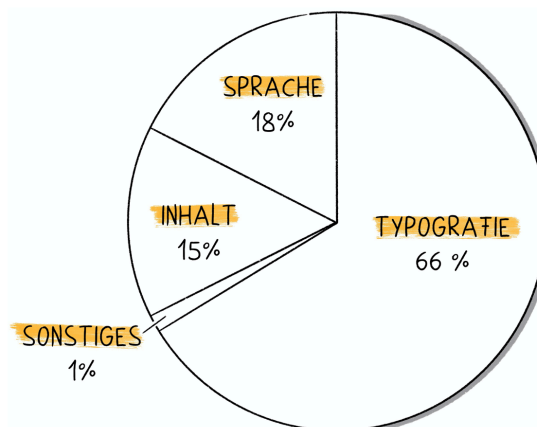


Abb.7: Rückmeldungskategorieparameter

Die Rückmeldungen machen deutlich, dass bereits junge Leserinnen und Leser ein Gespür für gute oder schlechte Typografie besitzen (Heinen & Heinicke, 2021). Die subjektiven Bewertungen und der Lernzuwachs zeigen in Tendenzen, dass die Verständlichkeit von Texten durch die Neustrukturierung der Inhalte und dem Einsatz typografischer Mittel verbessert werden kann. Dabei scheinen deutsche Muttersprachler als auch Deutschlernende von der grafischen Überarbeitung zu profitieren (Heinen & Heinicke, 2021).

8. Implikationen für die Praxis

Die bisherigen Erkenntnisse zur Wirkung von Layout und Schrift dienen u.a. zur Konzeption eines webbasierten Arbeitsblatt-Generators namens Wunderbooks, einem gemeinschaftlichen Arbeitsprojekt des Instituts für Didaktik der Physik (WWU Münster) und diversen Kooperationspartnern (Physikanten und Co., mintley GmbH, tutori UG) gefördert durch die Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung (vgl. Abb.8).

Das Projekt versteht sich als Weiterentwicklung des Schulbuchs und soll durch die modulare Arbeitsblattgestaltung und die Integration einer Video- und Foto-datenbank den digitalen Medieneinsatz im naturwissenschaftlichen Unterricht didaktisch begleiten.

8.1. Schrift

Die Arbeitsblätter werden in der Grundeinstellung mit der Schrift Fira Sans erstellt. Dabei handelt es sich um eine hochwertige, gut ausgebaute Open Source Schrift ohne Serifen, die eine große Anzahl Zeichen unterstützt. Gemeinsam mit vorgegebenen Schriftgrößen und Zeilenabständen kann eine optimale Lesbarkeit gewährleistet werden. Den Nutzerinnen und Nutzern werden limitierte Schriftgrößen und Hervorhebungen angeboten. Hierbei handelt es sich um die bewusste Entscheidung, den Lehrenden einen Großteil der Layoutarbeit abzunehmen, damit diese sich auf die reine Vermittlung der Inhalte konzentrieren können. Auf der einen Seite haben die Nutzerinnen und Nutzer zwar weniger Kontrolle über die grafische Gestaltung der Arbeitsblätter, andererseits kann damit gewährleistet werden, dass die Materialien immer ähnlich systematisch aufgebaut werden und eine hohe Wiedererkennbarkeit besitzen.

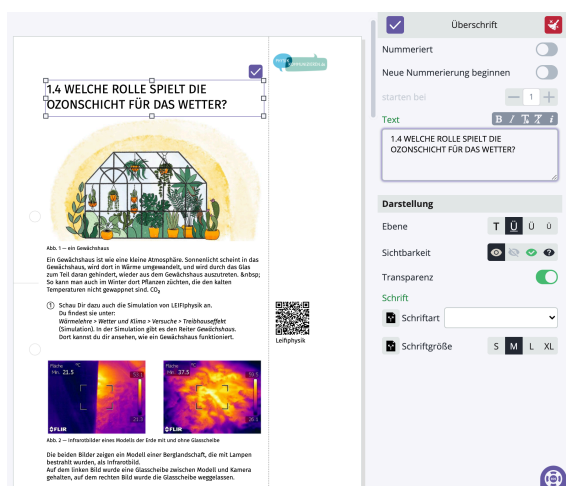


Abb.8: Einblick in den Arbeitsblattgenerator Wunderbooks

8.2. Marginalspalte

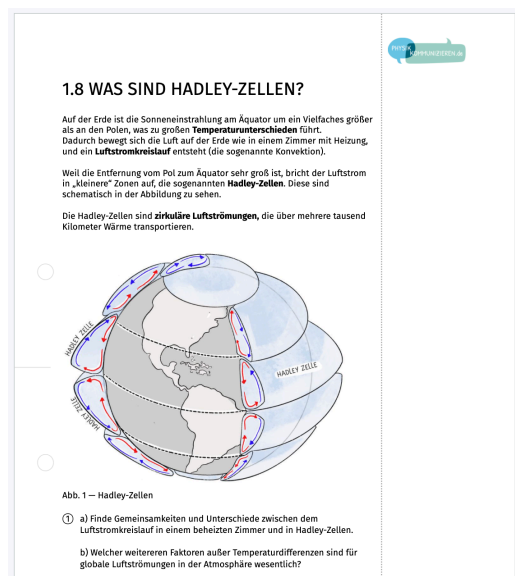


Abb.9: Beispielhaftes Arbeitsblatt mit Marginalspalte

Bei der Konzeption von Arbeitsmaterialien besteht die Möglichkeit, mit Marginalspalten zu arbeiten (vgl. Abb.9). Diese erlauben, dass man Inhalte, die nebensächlich oder weiterführend sind, an der Seite platzieren kann, ohne den Lesefluss zu stören. Auf diese Weise können sich die Lernenden mit dem Hauptinhalt beschäftigen, ohne von Zusatzinformationen gestört zu werden. In der Marginalspalte können bspw. QR-Codes, Hinweise, Definitionen oder Piktogramme platziert werden.

8.3. Piktogramme



Abb.10: entwickelte Piktogramme

Der allgemeine Einsatz von Piktogrammen ist beliebt. Dabei ist es wichtig zu gewährleisten, dass die Piktogramme leicht verständlich und deutlich voneinander zu unterscheiden sind. Das Institut für Didaktik der Physik (WWU Münster) entwickelte gemeinsam mit der Fachhochschule für Design in Münster Piktogramme, die nicht nur als dekorative Illustration verwendet werden, sondern anhand eines systematischen Farbcodes die Wiedererkennbarkeit und Wiederauffindbarkeit von Aufgaben gewährleisten (vgl. Abb.10).

9. Anschlussforschungen

Mit dem Arbeitsblatt-Generator Wunderbooks wird den Lehrenden ein sowohl intuitiv zu bedienender als auch modularer Baukasten zur Erstellung systematischer, gut lesbarer und attraktiver Arbeitsmaterialien geboten, der den Basisanforderungen eines guten Kommunikationsdesigns gerecht wird.

Mit der Annahme, dass die Verständlichkeit von Lehr- und Lernmaterialien nicht nur durch fachinhaltliche oder sprachliche Überarbeitung erzielt wird, sondern durch den zweckmäßigen Einsatz didaktischer Typografie, können im Rahmen der Nutzung des Wunderbooks-Arbeitsblattgenerators weitere Anschlussforschungen zu folgenden Fragestellungen stattfinden:

- Welche didaktischen Einsatzmöglichkeiten bieten die Wunderbooks-Materialien?
- Wie können die Wunderbooks-Materialien die Integration digitaler Medien im analogen naturwissenschaftlichen Unterricht didaktisch optimal begleiten?
- Welche Rolle spielen die Designentscheidungen bei der Gestaltung und Nutzung von Wunderbooks-Materialien?

10. Literatur

Aeberli, C. (Hrsg.) (2004): Lehrmittel neu diskutiert. Ergebnisse des 1. Schweizer Lehrmittelsymposiums am 29./30. Januar 2004 auf dem Wolfsberg in Ermatingen, TG. Zürich: Lehrmittelverlag des Kantons Zürich.

Ballstaedt, S.-P. (1997): Wissensvermittlung. Die Gestaltung von Lernmaterial. Weinheim: Beltz.

Bölsterli Bardy, K.; Wilhelm, M. & Rehm, M. (2010): Die Bedeutung von Schulbüchern im kompetenzorientierten Unterricht - am Beispiel des Naturwissenschaftsunterrichts. In: Beiträge zur Lehrerbildung, 28(1), S. 138–146.

Busch, H. & Ralle, B. (2011): Fachbegriffe und ihre Bedeutung. Diagnostik fachsprachlicher Kompetenz. Naturwissenschaften im Unterricht Chemie, 22 (124/125). S. 52-55.

Butcher, K. R. (2014): The Multimedia Principle. In: Mayer, E. R. (Hrsg.): The Cambridge Handbook of Multimedia Learning. 2. Aufl. New York: Cambridge University Press. S. 174 - 205.

Chandler, P., Sweller, J. (1991): Cognitive Load Theory and the Format of Instruction. In: Cognition and Instruction 8, Heft 4. S. 293-332.

Diegmann, D. (2013): Schulbücher. Zeitschrift für Erziehungswissenschaft, 16(2), S. 463 - 472.

Fraas, C. (1998). Lexikalisch-semantische Eigenschaften von Fachsprachen. In: L. Hoffmann, H. Kanalverkämper & H. Wiegand (1998). Fachsprachen. Languages for special purposes. Ein internationales Handbuch zur Fachsprachenforschung und Terminologiewissenschaft. Berlin: Walter de Gruyter. S. 428-438.

Fuchs, E.; Niehaus, I. & Stoletzki, A. (2014): Das Schulbuch in der Forschung: Analysen und Empfehlungen für die Bildungspraxis. Band 4. Göttingen: V & R Unipress.

Heinen, R. & Heinicke, S. (2021): Die Rolle der Typografie in naturwissenschaftlichen Lehrwerken. In: Michalak, M. & Döll, M. (Hrsg.): Lehrwerke und Lernmaterialien im Kontext des Deutschen als Zweitsprache und der sprachlichen Bildung. Deutsch als Zweitsprache – Positionen, Perspektiven, Potenziale (Band 2). Münster: Waxmann Verlag GmbH. S. 91 – 118.

Hoffmann, L. (1998). Syntaktische und morphologische Eigenschaften von Fachsprachen. In: L. Hoffmann, H. Kanalverkämper & H. Wiegand (Hrsg.): Fachsprachen. Ein internationales Handbuch zur Fachsprachenforschung und Terminologiewissenschaft. Berlin: Walter de Gruyter. S. 416-427.

Hofmann, T. (2012): eFATHOM: Entwicklung und Evaluation einer multimedialen Lernumgebung für einen selbstständigen Einstieg in die Werkzeugsoftware FATHOM. Wiesbaden: Springer Spektrum Vieweg+Teubner Verlag.

- Kohnen, N., Härtig, H., Bernholt, S.; Retelsdorf, J. (2017): Leichte Sprache im Physikunterricht. In: Bock, B.M., Fix, U., Lange, D. (Hrsg.): „Leichte Sprache“ im Spiegel theoretischer und angewandter Forschung. Berlin: Frank&Timme, S. 337-34.
- Mayer, E. R. (Hrsg.) (2005): The Cambridge Handbook of Multimedia Learning. Cambridge.
- Mayer, E. R. & Pilegard, C. (2014): Principles for Managing Essential Processing in Multimedia Learning: Segmenting, Pre-training, and Modality Principles. In: Mayer, E. R. (Hrsg.): The Cambridge Handbook of Multimedia Learning. 2. Aufl. New York: Cambridge University Press. S. 316 - 344.
- Merzyn, G. (1994): Physikschulbücher, Physiklehrer und Physikunterricht. Beiträge auf der Grundlage einer Befragung westdeutscher Physiklehrer. Kiel: Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften.
- Pettersson, R. (2008): Aspekte der Verwendung von Bildern in Lehrbüchern. In: Gabriele Lieber (Hrsg.): Lehren und Lernen mit Bildern. Ein Handbuch zur Bilddidaktik. S. 134 – 145.
- Prediger, S. (2013): Darstellungen, Register und mentale Konstruktion von Bedeutungen und Beziehungen – Mathematikspezifische sprachliche Herausforderungen identifizieren und überwinden. In M. Becker-Mrotzek, K. Schramm, E. Thürmann. & H. J. Vollmer (Hrsg.), Sprache im Fach – Sprachlichkeit und fachliches Lernen. Münster: Waxmann. S. 167-183.
- Rey, G. D. (2008): Lernen mit Multimedia: Die Gestaltung interaktiver Animationen. <https://tinyurl.com/ykfpjefa> (Stand 05/2021)
- Rubitzko, T. (2006): Aktives Lernen mit multiplen Repräsentationen: Zur Vermittlung komplexer physikalischer Inhalte mit Texten, Bildern, Animationen und Simulationen. <https://tinyurl.com/erch764m> (Stand 05/2021)
- Staruschek, E. (2003): Ergebnisse einer Schülerbefragung über Physikschulbücher. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften (9). S. 135–146.
- Sumfleth, E. & Schüttler, S. (1995): Linguistische Textverständlichkeitskriterien. Helfen sie bei der Darstellung chemischer Inhalte? Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften. S. 55-72.
- Sweller, J. (2005): Implications of Cognitive Load Theory for Multimedia Learning. In: Mayer, E. R. (Hrsg.): The Cambridge Handbook of Multimedia Learning. New York: Cambridge University Press. S. 19 - 30.
- Sweller, J. & Paas, F. (2014): Implications of Cognitive Load Theory for Multimedia Learning. In: Mayer, E. R. (Hrsg.): The Cambridge Handbook of Multimedia Learning. 2. Aufl. New York: Cambridge University Press. S. 27–42.
- van Gog, T. (2014): The Signaling (or Cueing) Principles in Multimedia Learning. In: Mayer, E. R. (Hrsg.): The Cambridge Handbook of Multimedia Learning. 2. Aufl. New York: Cambridge University Press. S. 263 - 278.
- Zander, S.; Hawlitschek, A.; Seufert, T.; Brünken, R.; Leutner, D. (2012): Psychologische Grundlagen des Lernens mit neuen Medien. In: Universität Rostock (Hrsg.): Wissenschaftliche Weiterbildung. 2. Auflage.

Ein interaktiver Lehrgang zur geometrischen Optik auf tet.folio

Wolfgang Lutz*, Sebastian Haase^x, Jan-Philipp Burde⁺, Thomas Wilhelm^o, Thomas Trefzger*

*Lehrstuhl für Physik und ihre Didaktik, Julius-Maximilians-Universität Würzburg,

^xFachbereich Erziehungswissenschaft und Psychologie, AB Schulpädagogik/Schulentwicklungsforschung, Freie Universität Berlin

⁺AG Didaktik der Physik, Eberhard Karls Universität Tübingen,

^oInstitut für Didaktik der Physik, Goethe-Universität Frankfurt

wolfgang.lutz@physik.uni-wuerzburg.de, sebastian.haase@fu-berlin.de, jan-philipp.burde@uni-tuebingen.de, wilhelm@physik.uni-frankfurt.de, Thomas.Trefzger@physik.uni-wuerzburg.de

Kurzfassung

Aufbauend auf den Forschungsergebnissen zu Schülervorstellungen in der geometrischen Optik wurde von Wiesner et al. eine Unterrichtskonzeption entwickelt und in einem Re-Design von Haagen-Schützenhöfer et al. überarbeitet. Dieser Ansatz basiert auf der Idee des Sender-Strahlungs-Empfänger-Konzepts, d.h. auf der konsequenten Verfolgung von Lichtquellen über das optische System bis zum Empfänger. Aufbauend auf diesen Grundlagen wurde ein neuer Lehrgang mit insgesamt zwölf digital aufbereiteten Einheiten entwickelt. Durch den Einsatz von Lernvideos, interaktiven Bildschirmexperimenten, Simulationen und Quizaufgaben ergibt sich eine asynchron einsetzbare Lernumgebung, die ein forschend entdeckendes Lernen im Sinne des 5-E-Modells nach Bybee ermöglicht. Im Beitrag werden die didaktischen Überlegungen bei der Entwicklung der Unterrichtsmaterialien und die Möglichkeiten der interaktiven Lernplattform tet.folio vorgestellt. Außerdem wird ein Ausblick gegeben, wie die Materialien im Rahmen einer empirischen Evaluation eingesetzt werden.

1. Unterrichtskonzepte zur geometrischen Optik

1.1. Die didaktische Rekonstruktion

Bei der Konzeption einer Unterrichtssequenz ist eine detaillierte Planung der einzelnen Einheiten von zentraler Bedeutung, um Lerninhalte zu selektieren und zu entscheiden, in welchem Umfang diese thematisiert und intensiviert werden. Eine gute Orientierung geben dabei Lehrbücher und die in den Curricula vorgegebenen Fachinhalte sowie die im Kontext zu erwerbenden inhaltsbezogenen wie auch prozessbezogenen Kompetenzen. Daneben sind aber auch die Lernvoraussetzungen und die Präkonzepte der Schüler:innen von zentraler Bedeutung, da das Lernen einen aktiven Prozess darstellt, indem die angebotenen Informationen auf Grundlage eigener Vorerfahrungen durchdacht und verarbeitet werden (Schecker & Duit, 2018). Präkonzepte können in der Folge schnell zu defizitären Lernständen führen und sollten demnach im Entwicklungsprozess neuer Unterrichtsmaterialien besonders berücksichtigt werden.

Im Modell der didaktischen Rekonstruktion leitet sich die didaktische Strukturierung einer Unterrichtssequenz idealerweise aus der wechselseitigen Verbindung zwischen den fachlichen und der schüler:innenorientierten Perspektiven ab (siehe Abb. 1). Umgekehrt ermöglicht die Implikation entsprechend aufbereiteter Materialien in der Praxis eine bewusste Adressierung bestimmter Lerninhalte unter der

Berücksichtigung entsprechender Vorerfahrungen und Lernschwierigkeiten, so dass die Lehrkraft besser beim Aufbau eines konzeptionellen Verständnisses unterstützen kann.

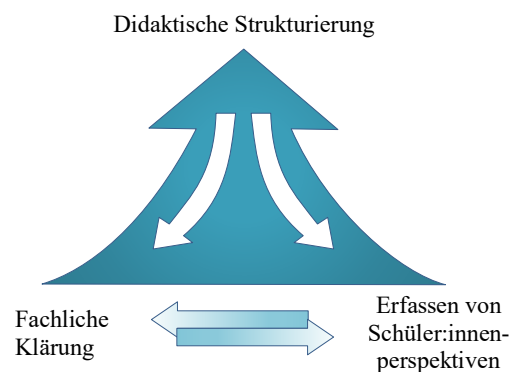


Abb. 1: Modell der Didaktischen Rekonstruktion (nach Kattmann et al., 1997)

1.2. Design-Based-Research

Bei der Entwicklung neuer Unterrichtsmaterialien eröffnet sich die Gelegenheit, aktuelle lerntheoretische Erkenntnisse, Methoden und Technologien zu berücksichtigen und diese in praxistaugliche Innovationen zu transformieren. Diese Chance stellt gleichzeitig aber auch eine große Herausforderung dar, die als Theorie-Praxis-Problem bekannt ist (Stark, 2004, Duit et al., 2012). Mit dem Ansatz des „Design-

Based-Research“ wird in kontinuierlichen Zyklen aus Design, Umsetzung, Analyse und Re-Design versucht, Theorie und Praxis im Entwicklungsprozess sehr eng miteinander zu verschränken – mit dem Ziel, einerseits gute Lernumgebungen zu entwickeln und andererseits auch eine Theorie des Lernens abzuleiten (Reinmann, 2005). Nach Ejersbo et al., 2008 findet dieser Prozess gleichzeitig in zwei Prozessräumen statt: Dem Produktentwicklungsraum und dem Forschungsraum, wobei jeweils vom gleichen Problem ausgegangen wird (siehe Abb. 2).

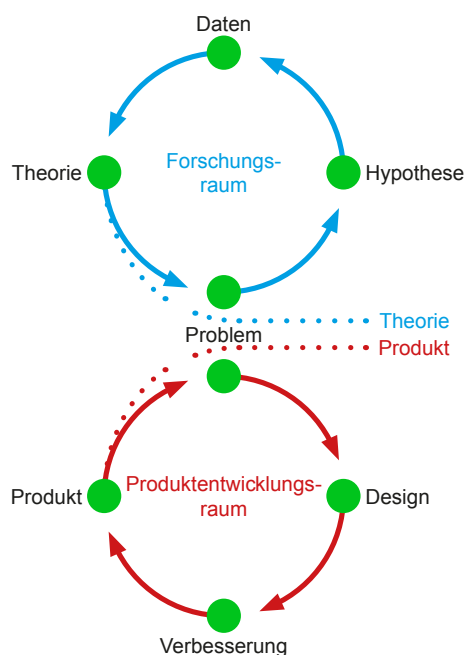


Abb. 2: Modell des Design-Based-Research (nach Ejersbo et al., 2008, S.5)

Ausgehend von einem praxisorientierten Problem wird zunächst eine Hypothese generiert und darauf aufbauend ein Design mit entsprechenden Unterrichtsmaterialien entwickelt. In einem nächsten Schritt werden die Materialien in Interventionen erprobt und aus den gewonnenen Daten

domänenspezifische bzw. lokale Theorien abgeleitet. Außerdem dienen die Erkenntnisse zur Weiterentwicklung der Materialien. Auf dem Re-Design und den gewonnenen Theorien aufbauend lässt sich der Zyklus in iterativen Schleifen weiter fortführen, um so neue theoretische Erkenntnisse zu gewinnen und das Produkt weiter zu optimieren. Der Zyklus kann aber auch zu einem späteren Zeitpunkt in einem weiteren Projekt mit einem neuen Basisproblem unter Berücksichtigung aktueller Theorien fortgeführt werden.

1.3. Bisherige Design-Based-Projekte zur Sender-Strahlungs-Empfänger-Konzeption

Im Bereich der geometrischen Optik gibt es zahlreiche Untersuchungen, in denen die Lernenden selbst nach einer formalen Instruktion wichtiger Themenbereiche im Unterricht, ein zu gering ausgeprägtes konzeptionelles Verständnis entwickeln (für einen Überblick siehe Duit et al., 2014). In der Folge sind die Schüler:innen häufig nicht in der Lage, selbst einfache optische Phänomene fachlich angemessen zu erklären (Andersson & Kärrqvist, 1983; Galili, 1996). Obwohl die geometrische Optik zu einem sehr intensiv beforschten Gebiet im Kontext von Schüler:innenvorstellungen zählt (Duit, 2009; Haagen-Schützenhöfer & Hopf, 2018a), scheinen die Erkenntnisse zu den Lernhindernissen nur selten im Unterricht oder Schulbüchern adäquat berücksichtigt zu werden (Haagen-Schützenhöfer & Hopf, 2018b). Ausgehend von diesem Problem wurde in drei aufeinander aufbauenden Design-Based-Projekten (siehe Abb. 3) das Ziel verfolgt, die defizitären Lernstände im Bereich der Optik durch einen forschungsbasierten und praxisorientierten Lehrgang zu verbessern. Alle Projekte basieren auf der Sender-Strahlungs-Empfänger-Konzeption, mit der Herdt und Wiesner in der Strahlenoptik das Ziel einer Aufbaustrategie verfolgten und in der Lichtbündel stets von der Lichtquelle ausgehend über die Wechselwirkung mit einem optischen System bis hin zum Empfänger verfolgt werden (Herdt, 1989).

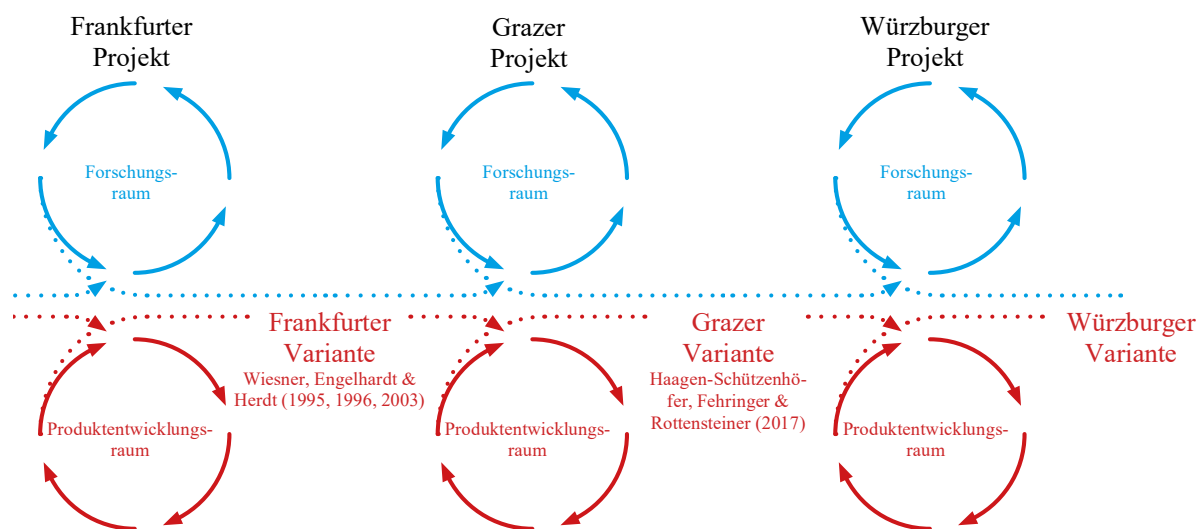


Abb. 3: Design-Based-Research-Zyklen zur Sender-Strahlungs-Empfänger-Konzeption

Auf dieser Theorie aufbauend und unter Berücksichtigung zahlreicher Ideen von Jung (Jung, 1982) wurde im Frankfurter Projekt von Wiesner, Herdt und Engelhardt ein neuer Lehrgang mit Unterrichtsmaterialien entwickelt (Wiesner et al., 1995; Wiesner, Engelhardt & Herdt, 1996; Wiesner, Herdt & Engelhardt, 2003; Schmidt-Roedenbeck, et al., 2005). Weitere wesentliche Merkmale der Unterrichtskonzeption liegen in der zeitlichen Thematisierung beobachtbarer Phänomene, des Sehvorgangs und der an Oberflächen auftretenden Streuung noch vor der abstrakten Strahlenkonstruktion. Die Schüler:innen sollen auf diese Weise zuerst möglichst niederschwellig eine geeignete Modellvorstellung aufbauen, die später durch Strahlenkonstruktionen vertieft wird. Ohne diese Grundvorstellung bergen Strahlenkonstruktionen sonst das Risiko, als rein formale Übungen ohne Vorstellungsgehalt rezeptartig abgearbeitet zu werden.

Im Grazer Projekt (Haagen-Schützenhöfer et al., 2017) wurden in einem weiteren Design-Based-Projekt die immanenten Sachstrukturen und Lernstrategien des Frankfurter Projekts adaptiert, an die Rahmenbedingungen des österreichischen Schulsystems angepasst und z.B. durch kompetenzorientierte und differenzierte Aufgabenformate erweitert. Im Mittelpunkt des Grazer Lehrgangs stehen aktive Phasen, in denen die Schüler:innen selbst experimentell Phänomene untersuchen, auf ihren Erkenntnissen aufbauend Theorien entwickeln und in Form von Übungsaufgaben intensivieren. Bei der Entwicklung der Materialien wurden in mehreren Designzyklen lernhinderliche Instruktionselemente identifiziert und in der Folge theoriegeleitet modifiziert.

2. Grundideen des Würzburger Projekts

2018 startete in Würzburg ein neues, auf den Frankfurter- und Grazer-Projekten aufbauendes Design-Based-Projekt zur Sender-Strahlungs-Empfänger Konzeption. Zentrales Ziel des Vorhabens war die Entwicklung vielfältig einsetzbarer digitaler Unterrichtsmaterialien zur Förderung des konzeptionellen Verständnisses und experimenteller Kompetenzen im Bereich der geometrischen Optik. In einer Kooperation zwischen den Universitäten Würzburg, Frankfurt, Tübingen und Berlin wurden aufbauend auf dem SAMR-Modell nach Puentedura (2006) und dem 5E-Modell zum forschend-entdeckenden Lernen nach Bybee (Bybee et al. 2006, Bybee, 2009) entsprechende Materialien konzipiert, digital aufbereitet und auf der interaktiven Lehr- und Lernplattform tet.folio (Haase et al., 2016) zur Verfügung gestellt. Im Folgenden werden zunächst die dem Projekt zugrunde liegenden Theorien näher erläutert und anschließend Beispiele aus den entwickelten Unterrichtsmaterialien vorgestellt.

2.1. Digitalisierung des Physikunterrichts

Digitale Medien gehören mittlerweile nahezu überall zur Grundausstattung naturwissenschaftlicher Klassenräume (Bos et al., 2017). Jedoch beschränken sich in vielen Schulen digitale Modernisierungsmaßnah-

men häufig nur auf Komponenten, die von der Lehrkraft bedient werden. Das große Potential, Schüler:innen durch digitale Medien individuell in ihren Lernprozessen zu unterstützen (Eickelmann und Venneemann, 2013; Herzig, 2014), reduziert sich hierdurch massiv. Anders sieht es im häuslichen Umfeld der Schüler:innen aus. Dort stehen in nahezu allen Haushalten digitale Endgeräte sowie eine Internetverbindung zur Verfügung (mpfs, 2020). Somit eignen sich digitale Medien zu Hause besonders, um eine eigenständige Auseinandersetzung der Schüler:innen mit den Lerninhalten anzuregen, was nach lernpsychologischen Erkenntnissen besonders effektiv ist (Craik und Lockhart, 1972). Allerdings gibt es bislang für Lehrkräfte nicht viele praxistaugliche Konzepte, um dieses Potential auszuschöpfen. Der Bedarf an empirisch evaluierten digitalen Unterrichtsmaterialien scheint daher gegeben zu sein. Es stellt sich aber die Frage, wie dieses Potential im Physikunterricht konkret nutzbar gemacht werden kann.

Digitale Medien sollten nicht nur zu einer individuellen Beschäftigung mit einem Lerngegenstand führen, sondern gleichzeitig auch eine kognitive Aktivierung bei den Lernenden anregen, die eine notwendige Komponente beim Initiieren von Lernprozessen darstellt (Lipowsky, 2009; Baumert et al., 2004; Helmke, 2012). Idealerweise sind digitale Lernumgebungen deshalb an Schüleraktivitäten gekoppelt, die zu einer konstruktiven Mitarbeit anleiten. Darüber hinaus sind bei der Gestaltung digitaler Arbeitsmaterialien auch Theorien zur Informationsverarbeitung, wie beispielsweise die Cognitive Load-Theory (Sweller et al., 2011), die kognitive Theorie des multimedialen Lernens (Mayer, 2014) oder auch das integrative Modell des Text- und Bildverständnisses (Schnotz & Bannert, 2003) zu berücksichtigen, um den Lernenden eine Adressierung auf möglichst vielen Kanälen zu ermöglichen und gleichzeitig eine Überforderung zu vermeiden. Auch wenn auf der Ebene der Sichtstruktur digitale und konventionelle Unterrichtsmethoden oft zu keinen wahrnehmbaren Unterschieden führen (Hattie, 2012), können bei den Lernenden in der Tiefenstruktur unterschiedliche kognitive Prozesse über das Medium ausgelöst werden (Oser und Baeriswyl, 2001; Renkl & Atkinson, 2007). Beispielsweise löst ein gedruckter Text andere Lern- und Verarbeitungsprozesse aus als eine digitale Simulation des gleichen Inhaltes (Totter et al., 2020).

Traditionelle Materialien sollten aber nicht vollständig ersetzt werden, da nach einer Metastudie von Hillmayr et al. (2017) der größtmögliche Nutzen durch eine Kombination aus digitalen und analogen Lernangeboten erreicht werden kann. Es geht also darum, die Vorteile aus beiden Welten zu ermitteln und miteinander zu vereinen. Kurz gesagt stellt sich im Rahmen der Digitalisierung immer die Frage, wie ein Mehrwert gegenüber traditionellen Materialien erreicht werden kann. Romrell et al. (2014) empfehlen für diesen Schritt das SAMR Modell nach Puentedura (2006).

2.2. Das SAMR-Modell

Im SAMR-Modell (siehe Abb. 4) findet sich eine Kategorisierung zur Integration digitaler Medien im Unterricht auf vier Ebenen, um den Einsatz und den sich daraus generierenden didaktischen Mehrwert zu reflektieren und zu beurteilen (Bach 2019, 47). Die Ebenen können als Kontinuum betrachtet werden, in denen die Bedeutung der digitalen Medien mit zunehmender Tiefe wächst. Allerdings sind die Ebenen nicht als hierarchische Abfolge von Entwicklungsschritten, auf denen sich die Schüler:innen bewegen, zu interpretieren. Vielmehr bilden die vier Ebenen eine sich ergänzende Komposition an Möglichkeiten, wie sich digitale Technologien in unterschiedlichen Aufgaben und Lernangeboten integrieren lassen. Im Folgenden werden die einzelnen Ebenen kurz charakterisiert und Elemente aus dem Würzburger Projekt exemplarisch zugeordnet.

Substitution: Auf der obersten Ebene werden analoge Aufgaben und Materialien 1:1 ins Digitale übersetzt und führen somit zu keiner funktionalen Verbesserung. Die Arbeitsaufträge könnten genauso auch ohne das digitale Medium umgesetzt werden.

Beispiel aus dem Projekt: Alle Hefteinträge, Arbeitsblätter und Experimentieranleitungen sind im pdf-Format in Form eines digitalen Buches auf der Lernplattform tet.folio implementiert und würden in einer Printversion den gleichen Nutzen bringen.

Augmentation: In der nächsttieferen Ebene entsteht durch den Einsatz digitaler Medien ein Mehrwert gegenüber der Nutzung eines analogen Mediums, wobei sich die Form der Arbeitsaufträge und die Struktur des Unterrichts kaum verändern.

Beispiel aus dem Projekt: In den Einheiten kommen interaktiv gestaltete Quizaufgaben mit Selbstkontrollmöglichkeiten zum Einsatz.

Modification: Arbeits- und Aufgabenformen, die auch analog gestellt werden könnten, werden auf dieser Ebene neugestaltet, so dass eine digitale

Unterstützung erforderlich wird und sich dadurch die Unterrichtsstruktur verändert.

Beispiel aus dem Projekt: Interaktive Bildschirmexperimente ermöglichen ohne Risiko die eigenständige Durchführung gefährlicher Experimente (z.B. mit Lasern), die sonst nur als Demonstrationsexperimente durch die Lehrkraft gezeigt werden können.

Redefinition: Auf der tiefsten Ebene werden die Möglichkeiten der digitalen Technik voll ausgeschöpft, wodurch Aufgaben- und Unterrichtsformate neu definiert werden.

Beispiel aus dem Projekt: Durch kurze Lernvideos und interaktiv gestaltete digitale Arbeitsaufträge kann die Wissensvermittlung, die sonst den Kern des Unterrichts darstellt, im Sinne der Flipped Classroom-Methode ausgelagert werden. So können sich die Schüler:innen bereits vor dem Unterricht aktiv in ihren eigenen Lerntempo mit den Inhalten der nächsten Unterrichtseinheit auseinandersetzen. Im Unterricht rückt dann die Anwendung und Intensivierung der Inhalte in den Fokus, während die Lehrkraft die Schüler:innen individuell unterstützen kann. Detaillierte Einblicke in ein für den Physikunterricht geeignetes Flipped Classroom-Konzept findet sich bei Lutz et al. (2021).

Der Einsatz digitaler Medien lässt sich neben den vier beschriebenen Ebenen noch in zwei übergeordnete Stufen kategorisieren. Zur ersten Stufe (Enhancement) zählen die Ebenen der Substitution und Augmentation, da sie zu einer Erweiterung bzw. Verbesserung analog einsetzbarer Materialien führen, wobei die Struktur des traditionellen Unterrichts erhalten bleibt. Zur zweiten Stufe (Transformation) gehören die Ebenen Modification und Redefinition, da dort die Strukturen des klassischen Unterrichts aufgebrochen und bislang nicht denkbare Aufgaben- und Unterrichtsformen ermöglicht werden.

Das SAMR-Modell gibt eine gute Orientierung, wie Arbeitsaufträge durch den Einsatz digitaler Medien

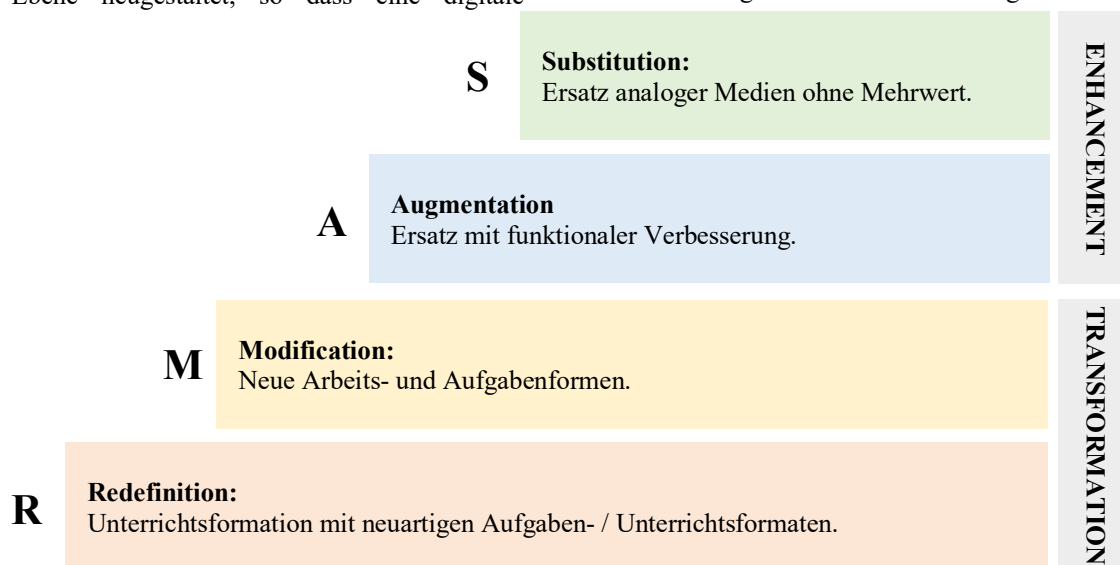


Abb. 4: Das SAMR-Modell nach Puentedura (2006)

angereichert werden können und wie sich Unterricht dadurch neu gestalten lässt. Darüber hinaus ist es sinnvoll, weitere didaktische Theorien zu berücksichtigen, um die entwickelten Materialien in ein Gesamtkonzept zu implementieren. Im nachfolgenden Abschnitt wird am Beispiel des Flipped Classrooms gezeigt, wie durch digital aufbereitete Materialien das Konzept des Forschenden Lernens unterstützt werden kann.

2.3. Forschendes Lernen und das 5E-Modell

Als Forschendes Lernen (Inquiry-based Learning) wird ein Ansatz bezeichnet, bei dem im Kontext eigenständiger naturwissenschaftlicher Untersuchungen experimentelle Kompetenzen aufgebaut und gleichzeitig fachliche Inhalte erarbeitet werden (Abrams et al., 2008). Nach Abels et al. (2014) startet ein idealisierter Forschungszyklus mit der Formulierung einer Forschungsfrage und eines hypothesengeleiteten Ansatzes, um darauf aufbauend ein Experiment zu planen, aufzubauen und durchzuführen. Während dieses Prozesses werden Phänomene beobachtet und Daten gesammelt, die anschließend aufbereitet und interpretiert werden. Aus den gewonnenen Erkenntnissen werden Zusammenhänge hergestellt und dann als Ergebnisse präsentiert. Bleiben am Ende offene Fragestellungen bzw. fehlende Erkenntnisse, so können diese in einem weiteren Zyklus ergänzend erforscht werden. Forschendes Lernen ermöglicht somit eine Förderung aller Teilfacetten der experimentellen Kompetenz nach dem Modell von Nawrath, Maiseykenka, & Schecker (2011) (siehe Abb. 5).

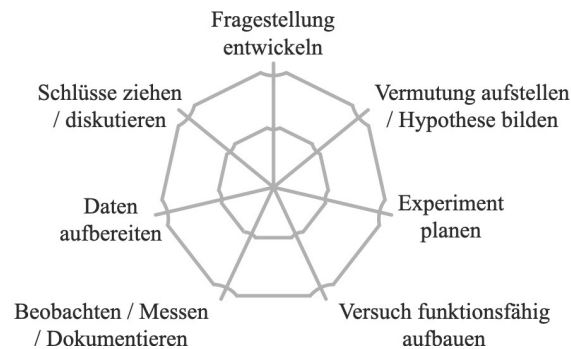


Abb. 5: Teilfacetten der experimentellen Kompetenz (nach Nawrath, Maiseykenka, & Schecker, 2011)

Kompetenzen stehen den Schüler:innen nicht unmittelbar zur Verfügung, sondern müssen sukzessive aufgebaut werden (Abels & Lembens, 2015). Zur Unterstützung in diesem Entwicklungsprozess kann

ausgehend vom individuellen Stand der Lernenden entschieden werden, in welchen Phasen der Untersuchung eine Unterstützung durch die Lehrkraft notwendig ist. Insgesamt werden vier unterschiedliche Levels (siehe Tab. 1) differenziert, die vom rezeptartigen Experimentieren (Level 0) schrittweise bis hin zu einem vollständig offenen Experimentieren (Level 3) führen.

Das Finden und Formulieren eigener Forschungsfragen erweist sich als besonders schwierige Aufgabe (Hofstein et al., 2005) und ist demnach eher für Schüler:innen mit viel Experimentiererfahrung geeignet. Das Würzburger Projekt richtet sich hingegen an Schüler:innen der Sekundarstufe I im Anfangsunterricht mit wenig Experimentiererfahrung. Zur Vermeidung einer Überforderung wurden deshalb die Fragestellungen für die Untersuchungen vorgegeben und als Ziel eine schrittweise Heranführung der Lernenden über die Einheiten hinweg auf das Niveau von Level 2 verfolgt. Bei der Konzeption der Lerneinheiten im Sinne eines Forschenden Lernens wurde auf das 5E-Modell nach Bybee zurückgegriffen (Bybee et al. 2006, Bybee, 2009). Dabei handelt es sich um ein konstruktivistisch orientiertes Unterrichtsmodell, in dem die Schüler:innen ausgehend von eigenen Erfahrungen ein Verstehen entwickeln sollen. Die fünf Es Engage, Explore, Explain, Extent und Evaluate bilden dabei fünf Phasen im Prozess des Forschenden Lernens ab (Bybee et al. 2006, Bybee, 2009), wobei Lembels & Abels (2015) das Evaluieren als einen bereits in allen anderen Phasen parallel ablaufenden Prozess ansehen (siehe Abb. 6), da die Lehrkräfte zu jedem Zeitpunkt die Lernfortschritte diagnostizieren und in der Folge entsprechend reagieren können.

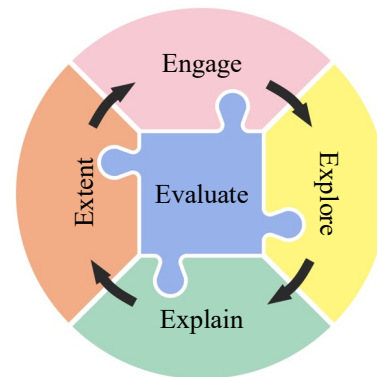


Abb. 6: Forschend entdeckendes Lernen im 5E-Modell (nach Lembels & Abels 2015; basierend auf Bybee et al., 2006 und Bybee, 2009)

| | Fragestellung entwickeln / Hypothese formulieren | Datenerhebung planen und durchführen | Daten auswerten, Ergebnisse interpretieren und diskutieren |
|------------------------------|--|--------------------------------------|--|
| Level 0: bestätigend | Lehrperson gibt vor | Lehrperson gibt vor | Lehrperson gibt vor |
| Level 1: strukturiert | Lehrperson gibt vor | Lehrperson gibt vor | Lernende bestimmen |
| Level 2: begleitend | Lehrperson gibt vor | Lernende bestimmen | Lernende bestimmen |
| Level 3: offen | Lernende bestimmen | Lernende bestimmen | Lernende bestimmen |

Tab. 1: Level beim Forschenden Lernen (Abels et al. , 2020, nach dem Original von Blanchard et al., 2010, S. 581)

Nachfolgend wird am Beispiel der Totalreflexion gezeigt, wie sich im Würzburger Projekt durch den Einsatz digitaler Medien in einem Flipped Classroom das Forschende Lernen im Sinne des 5E-Modells realisieren lässt.

3. Die Totalreflexion als Beispieleinheit

Abb. 7 zeigt zunächst eine Übersicht aller in der Lerneinheit zur Totalreflexion eingesetzten Materialien. Hierzu zählen ein Lernvideo, interaktive Quizaufgaben, ein Hefteintrag, ein qualitatives und ein quantitatives interaktives Bildschirmexperiment sowie ein Heimexperiment. Darüber hinaus gibt es noch zwei weitere Videos mit Alltagsbezug für interessierte Schüler:innen.



Abb. 7: Materialien zur Totalreflexion

Damit die Lerneinheit im Sinne des Flipped Classrooms eingesetzt werden kann, wurden die Lernhalte so aufbereitet, dass sich die Schüler:innen zunächst zu Hause individuell in ihrem eigenen Lerntempo mit dem Thema auseinandersetzen und die Inhalte anschließend im Unterricht intensiviert werden. Häufig werden zu diesem Zweck Lernvideos eingesetzt, da mit ihnen nicht nur Orientierungswissen,

sondern durch eine Anreicherung mit Demonstrationsexperimenten, Animationen und entsprechenden Erklärungen auch ein vertiefendes Wissen generiert werden kann (Niegemann et al. 2004, S. 153).

3.1. Von der Extent- zur Engage-Phase

Lernvideos eignen sich gut, um die Extent-Phase aus der vorherigen Einheit abzuschließen und in eine neue Engage-Phase überzuführen. Dieses Prinzip wird im Lernvideo zur Totalreflexion umgesetzt. So startet es mit einem Demonstrationsexperiment, indem die Reflexion und Brechung an einem Glasquader, zu dem die Schüler:innen bereits eigene experimentelle Erfahrungen sammeln durften, wiederholt werden (siehe Abb. 8a). Anschließend wird anhand einer Landschaftsaufnahme (siehe Abb. 8b) mit Hilfe der Sender-Strahlungs-Empfänger Konzeption erklärt, warum eine Beobachterin die Landschaft und deren Spiegelbild an der Wasseroberfläche wahrnimmt (siehe Abb. 8c). Außerdem wird gezeigt, wie sich Lichtbündel aufgrund der Brechung unter Wasser weiter ausbreiten. Interessant wird es, wenn die am Boden des Sees liegenden Steine thematisiert werden (siehe Abb. 8d). Damit ein Stein von der Beobachterin überhaupt wahrgenommen werden kann, muss es ein vom Stein ausgehendes Lichtbündel geben, das bis ins Auge der Beobachterin gelangt. Da die Steine selbst aber nur Zwischensender sind, muss es zuvor ein von der Sonne ausgehendes Lichtbündel geben, das an der Wasseroberfläche gebrochen wird, anschließend bis zum Stein gelangt und dort gestreut wird (siehe Abb. 8e). Mit der Frage nach dem weiteren Weg des Lichtbündels nach der Streuung an dem Stein startet die Engage-Phase mit dem Ziel ein Forschungsinteresse bei den Lernenden aufzubauen.



Abb. 8: Screenshots aus dem Lernvideo zur Totalreflexion

Dies soll durch einen phänomenologischen Zugang zur Thematik gelingen, indem in einem Demonstrationsexperiment (siehe Abb. 8f) die Lichtausbreitung des Steins durch eine drehbare Lampe, von der ein schmales Lichtbündel ausgeht, simuliert wird. Die Schüler:innen sollen so einen Eindruck erhalten, wie die Lichtbrechung beim Übergang von Wasser nach Luft vom Einfallswinkel abhängt und dass es einen bestimmten Winkel gibt, ab dem es zur Totalreflexion kommt. Dieses Ergebnis wird anschließend auf die Situation am See übertragen. Ähnlich, wie bei der Reflexion der Landschaft oberhalb der Wasseroberfläche sieht ein Taucher unter Wasser den am Boden des Sees liegenden Stein noch einmal an der Wasseroberfläche gespiegelt (siehe Abb. 8g). Auch dieser Zusammenhang wird über ein Experiment veranschaulicht (siehe Abb. 8h) und durch eine Unterwasseraufnahme auf eine reale Tauchsituation mit einem Fisch übertragen (siehe Abb. 8i). Im Anschluss an das ungefähr 7-8 minütige Lernvideo werden den Schüler:innen interaktive Quizaufgaben gestellt, um zu evaluieren, in wie weit die Lerninhalte des Videos verstanden wurden.

3.2. Explore-Phase

In der Explore-Phase können die Schüler:innen in einem interaktiven Bildschirmexperiment (siehe Abb. 9) noch einmal eigenständig das Experiment aus dem Video durchführen und zusätzlich mit Hilfe eines Geodreiecks messen, dass die Totalreflexion beim Übergang von Wasser nach Luft bei einem Einfallswinkel von ca. 48° eintritt. Besonders interessierte Schüler:innen können sich unter Anleitung eines Videos des Deutschen Museums mit einfachen Mitteln selbst einen Unterwasserspiegel bauen, bei dem das Phänomen der Totalreflexion ausgenutzt wird (Deutsches Museum, 2020).



Abb. 9: Interaktives Bildschirmexperiment zur qualitativen Untersuchung der Totalreflexion

Über diesen explorativen Zugang sollen die Schüler:innen erste experimentelle Erfahrungen sammeln, um darauf aufbauend ein Experiment zur Totalreflexion für den Übergang von Glas nach Luft planen und später im Unterricht durchzuführen. Ausgehend von dem bereits ein paar Einheiten zuvor kennengelernten Brechungsdiagramm (siehe Abb. 10) und dem Wissen, dass die Totalreflexion beim Übergang von

Wasser nach Luft bei ca. 48° eintritt, sollen die Schüler:innen eine Hypothese formulieren, ab wann es beim Übergang von Glas nach Luft zur Totalreflexion kommt.

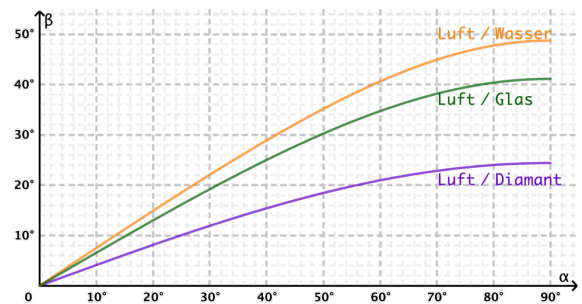


Abb. 10: Brechungsdiagramm für den Übergang von Luft nach Glas

Anschließend müssen die Schüler:innen aus einer Box alle für ihr Experiment benötigten Geräte, Messinstrumente und Materialien auswählen und in eine neue Box legen (siehe Abb. 11), eine Zeichnung des Aufbaus anfertigen und in eigenen Worten die Durchführung des Experiments beschreiben.

Aktuell entwickeln wir auf der Plattform tet.folio ein Tool, mit dem Lehrkräfte Einblicke in den Bearbeitungsstand der Schüler:innen nehmen können (Evaluate).

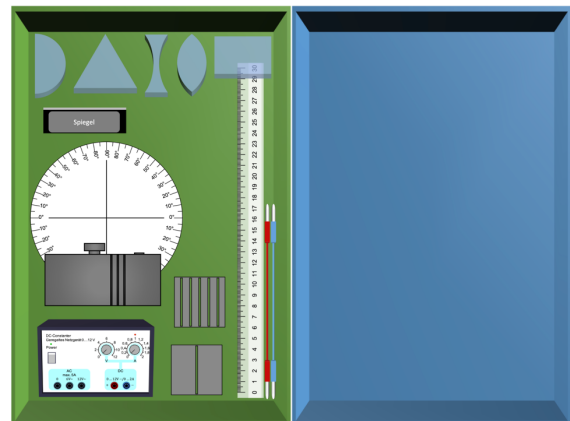


Abb. 11: Auswahl der für das Experiment notwendigen Materialien

3.3. Explain-Phase

Zu Beginn der Unterrichtsstunde werden zunächst alle bei der häuslichen Vorbereitung aufgetretenen Fragen und Probleme gesammelt, sortiert und in einer think-pair-share-Phase (Lyman, 1981) gelöst. Die Lehrkraft kann diese Phase noch durch weitere Fragen ergänzen (siehe Abb.12). In einem anschließenden Klassengespräch werden darüber hinaus noch die relevanten Aspekte bei der Planung des Experiments diskutiert. Durch dieses Vorgehen erhält die Lehrkraft eine Rückmeldung, wie erfolgreich Schüler:innen bei der Planung waren (Evaluate) und kann den weiteren Unterricht entsprechend flexibel gestalten.

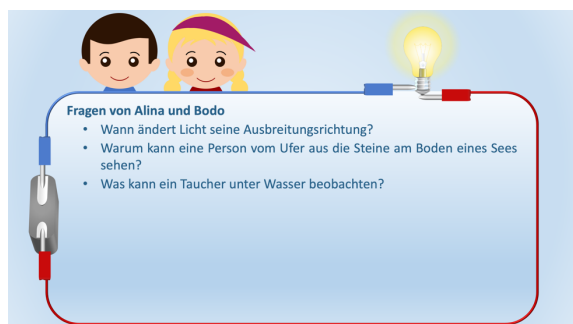


Abb. 12: Fragen für die think-pair-share Phase (Lyman, 1981) im Unterricht

3.4. Extent-Phase

Im weiteren Verlauf des Unterrichts wird das Experiment aufgebaut, Messwerte erfasst, entsprechend aufbereitet und interpretiert. Sind an einer Schule keine Klassensätze zum eigenständigen Experimentieren vorhanden, so kann alternativ ein interaktives Bildschirmexperiment genutzt werden (siehe Abb.13).

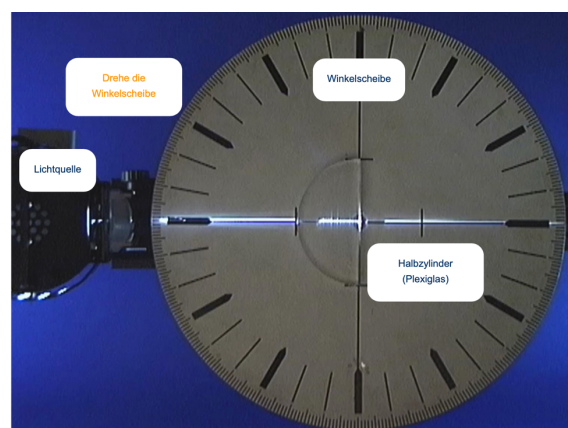


Abb. 13: Interaktives Bildschirmexperiment zur quantitativen Untersuchung der Totalreflexion (IBE REBR02, 1998)

Zur Differenzierung gibt es ein Arbeitsblatt auf dem Glasquader aus unterschiedlichen Richtungen mit einem Lichtstrahl beleuchtet werden (siehe Abb. 14). Ausgehend von den eingezeichneten Lichtstrahlen sollen die Schüler:innen unter Berücksichtigung von Reflexionen und mit Hilfe des Brechungsdiagramms (siehe Abb. 10) alle theoretisch zu beobachtbaren Lichtstrahlen über mehrere Richtungswechsel hinweg einzeichnen.



Abb. 14: Zwei Beispiele zur theoretischen Ermittlung auftretender Reflexionen, Brechungen und Totalreflexionen am Glasquader

Die Schüler:innen müssen bei der Bearbeitung zunächst überlegen, ob ein Übergang von Luft nach Glas oder umgekehrt stattfindet und entsprechend das Brechungsdiagramm interpretieren. Bei den

Übergängen von Glas nach Luft kommt hinzu, dass die Schüler:innen entscheiden müssen, ob es zur Totalreflexion kommt oder ob der Lichtstrahl gebrochen wird und anschließend den Glasquader verlässt. Anschließend überprüfen die Schüler:innen den theoretischen Verlauf experimentell oder mit Hilfe einer Simulation (siehe Abb. 15).

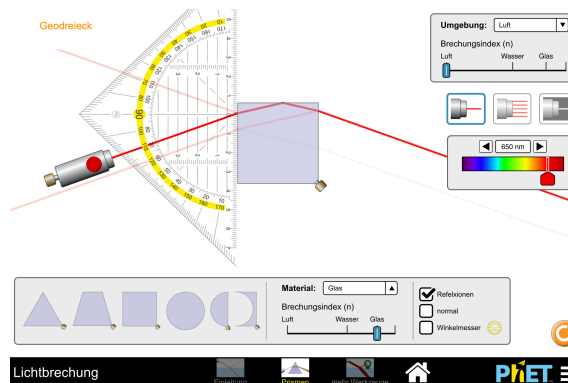


Abb. 15: Simulation zur Untersuchung von Reflexionen, Brechungen und Totalreflexionen an einem Glasquader (University of Colorado Boulder, 2019)

Am Ende der Unterrichtsstunde werden die aus dem Experiment gewonnenen Erkenntnisse gesammelt, diskutiert und ein Bezug zur anfangs gestellten Forschungsfrage aufgebaut. In diesem Zusammenhang werden auch die von den Schüler:innen aufgestellten Hypothesen getestet. Durch die individuelle Unterstützung der Gruppen beim Experimentieren und die gemeinsame Diskussion und Interpretation am Ende der Stunde erfährt die Lehrkraft, wie gut die Schüler:innen mit den Aufgaben zurechtgekommen sind und welche Schlüsse sie abgeleitet haben (Evaluat).

4. Ausblick

Die vorgestellten Materialien repräsentieren eine von insgesamt zwölf im gleichen Stil aufbereiteten Unterrichtseinheiten (siehe Abb.16). Inhaltlich lassen sich die Einheiten den drei Themengebieten der Reflexion, Brechung und Linsen zuordnen.



Abb.16: Übersicht über die Lerneinheiten zur Optik

Neben der geometrischen Optik wurde auch für die Elektrizitätslehre eine vergleichbare Unterrichtskonzeption nach dem Elektronengasmodell mit ebenfalls

zwölf Lerneinheiten entwickelt (siehe Abb. 17). Nähere Einblicke in die Unterrichtsmaterialien zur E-Lehre finden sich bei (Lutz et al., 2020).



Abb.17: Überblick über die Lerneinheiten zur E-Lehre (Lutz et al., 2020)

Im Rahmen zweier Pilotierungsstudien wurden in den Schuljahren 2019/20 und 2020/21 das Nutzungsverhalten der entwickelten Unterrichtseinheiten in der E-Lehre mit 13 Klassen ($n = 296$) und in der Optik mit 16 Klassen ($n = 367$) jeweils in der 8. Jahrgangsstufe an bayerischen Gymnasien eruiert. Im Fokus der Studie standen die subjektiv wahrgenommene Verständlichkeit und die Länge der Lernvideos, die empfundene Schwierigkeit der Aufgaben und der insgesamt aufzuwendende Zeitaufwand zur Bearbeitung. Einblicke in die Ergebnisse zur E-Lehre finden sich bei Lutz et al. (2021). Die Ergebnisse aus der Optikstudie sollen noch folgen.

Aufbauend auf den Erkenntnissen wurden die Materialien weiterentwickelt und stehen nun für eine Vergleichsstudie im Crossover-Design zur Verfügung (siehe Abb.18). Das Ziel dieser Studie richtet sich auf die Untersuchung, inwiefern sich die Entwicklung des konzeptionellen Verständnisses und der experimentellen Kompetenz unter dem Einsatz digital gestalteter Materialien im Flipped Classroom vom traditionellen Unterricht unterscheidet. Zur Erklärung auftretender Varianzen werden zusätzlich noch die kognitive Leistungsfähigkeit, das Vorwissen und affektive Schülermerkmale, wie Interesse, Selbstkonzept und Selbstwirksamkeitserwartung erhoben.



Abb. 18: Cross-Over-Design der Vergleichsstudie

5. Literatur

- Abels, S., Lautner, G. & Lembens, A. (2014). Mit „Mysteries“ zu Forschendem Lernen im Chemieunterricht. *Chemie & Schule*, 29(3), 20-21.
- Abels, S. und Lembens, A.: Mysteries als Einstieg ins Forschende Lernen im Chemieunterricht. *Chemie & Schule*, 2015. 30(1b): S. 3-5.
- Abels, S., Brauns, S. & Egger, D. (2020). Forschendes Lernen im inklusiven naturwissenschaftlichen Unterricht. In: *Innovationen machen Schulen top* S. 10-14.
- Abrams, E., Southerland, S. A. & Evans, C. (2008). Introduction. *Inquiry in the classroom: Identifying Necessary Components of a Useful Definition*. In E. Abrams, S. A. Southerland & P. Silva (Eds.), *Inquiry in the classroom. Realities and Opportunities* (pp. xi-xlii). Charlotte, North Carolina: Information Age Publishing.
- Andersson, B. & Kärrqvist, C. (1983). How Swedish pupils, aged 12-15 years, understand light and its properties. *International Journal of Science Education*, 5(4), 387-402.
- Baumert, J., Kunter, M., Brunner, M., Krauss, S., Blum, W., & Neubrand, M. (2004). Mathematikunterricht aus der Sicht der PISASchülerinnen und -Schüler und ihrer Lehrkräfte. In M. Prenzel, J. Baumert, W. Blum, R. Lehmann, D. Leutner & M. Neubrand (Hrsg.), *PISA 2003: Der Bildungsstand der Jugendlichen in Deutschland – Ergebnisse des zweiten internationalen Vergleichs* (S. 314-354). Münster: Waxmann.
- Blanchard, M. R., Southerland, S. A., Osborne, J. W., Sampson, V. D., Annetta, L. A. & Granger, E. M. (2010). Is Inquiry Possible in Light of Accountability?: A Quantitative Comparison of the Relative Effectiveness of Guided Inquiry and Verification Laboratory Instruction. *Science Education*, 94(4), 577-616.
- Bos, W., Lorenz, R., Endberg, M., Eickelmann, B., Grafe, S., & Vahrenhold, J. (2017). *Schule digital – der Länderindikator 2017. Schulische Medienbildung in der Sekundarstufe I mit besonderem Fokus auf MINT-Fächer im Bundesländervergleich und Trends von 2015 bis 2017*. Münster: Waxmann.
- Bybee, R. W., Taylor, J. A., Gardner, A., Van Scotter, P., Carlson Powell, J., Westbrook, A. & Landes, N. (2006). *The BSCS 5E Instructional Model: Origins and Effectiveness*.
- Bybee, R. W. (2009). *The BSCS 5E instructional model and 21st century skills*. Washington, DC: National Academies Board on Science Education.
- Craik, F. I., & Lockhart, R.S. (1972). Levels of processing: a framework for memory research. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 11(6), 671-684.

- Deutsches Museum (2020). Die spiegelnde Luftblase – Totalreflexion. Link: <https://www.deutsches-museum.de/angebote/jugend-im-museum/experimentierenhome/die-spiegelnde-luftblase/> (Stand 5/2021)
- Duit, R. (2009). Bibliography—STCSE: Students' and teachers' conceptions and science education. Retrieved October 20, 2009
- 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 und J. Dillon (Hrsg.): Science education research and practice in Europe. Springer, S.13–37.
- Duit, R., Schecker, H., Höttecke, D., & Niedderer, H. (2014). Teaching physics, in Handbook of Research on Science Education, edited by N. G. Lederman and S. K. Abell (Routledge, London, 2014), pp. 434–456.
- Eickelmann, B. und Vennemann, M. (2013). Digitale Medien in der Grundschule Deutschland und Österreich im Spiegel der internationalen Vergleichsstudie TIMSS 2011. Medienimpulse, 51 (2): 1–27.
- Ejersbo, L.R., Engelhardt, R., Frølund, L., Hanghøj, T., Magnussen, R. & Misfeldt, M. (2008). Balancing product design and theoretical insights. In Kelly, A.E., Lesh, R.A. & Baek, J.Y. (Hrsg.), Handbook of design research methods in education: Innovations in science, technology, engineering, and mathematics learning and teaching (S. 149–163): Routledge.
- Galili, I. (1996). Students' conceptual change in geometrical optics. International Journal of Science Education, 18(7), 847–868.
- Haagen-Schützenhöfer, C., Fehringer, I., Rottensteiner, J. (2017). Optik für die Sekundarstufe I.
- Haagen-Schützenhöfer C., Hopf M. (2018 a): Schülervorstellungen zur geometrischen Optik. In: Schecker H., Wilhelm T., Hopf M., Duit R. (eds) Schülervorstellungen und Physikunterricht. Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-57270-2_5 (Stand 5/2021)
- Haagen-Schützenhöfer, C.; Hopf, M. (2018 b). Design-Based Research: Unterrichtsgang zur Anfangsoptik. 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
- Haase, S.; Kirstein, J. & Nordmeier, V. (2016): tet.folio: Neue Ansätze zur digitalen Unterstützung individualisierten Lernens. Didaktik der Physik. Frühjahrstagung Hannover 2016. <http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/737/871> (Stand 5/2021)
- Hattie, John. 2012. Visible learning for teachers: Maximizing impact on learning. London: Routledge.
- Helmke, A. (2012). Unterrichtsqualität und Lehrerprofessionalität. Seelze: Klett.
- Herdt, D. (1989). Einführung in die elementare Optik. Vergleichende Untersuchung eines neuen Lehrgangs. Essen: Westarp.
- Herzig, B. (2014). Wie wirksam sind digitale Medien im Unterricht? Gütersloh: Bertelsmann Stiftung. Link: https://www.bertelsmann-stiftung.de/fileadmin/files/BSt/Publikationen/GrauePublikationen/Studie_IB_Wirksamkeit_digitale_Medien_im_Unterricht_2014.pdf (Stand 5/2021).
- Hillmayr, D., Reinhold, F., Ziernwald, L., & Reiss, K. (2017). Digitale Medien im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht der Sekundarstufe. Einsatzmöglichkeiten, Umsetzung und Wirksamkeit. Münster: Waxmann.
- Hofstein, A., Navon, O., Kipnis, M. & Mamlok-Naaman, R. (2005). Developing Students' Ability to Ask More and Better Questions Resulting from Inquiry- Type Chemistry Laboratories. Journal of Research in Science Teaching, 00(00), 1-16.
- IBE REBR02 (1998, Institut für Fachdidaktik Physik und Lehrerbildung, Technische Universität Berlin)
- Jung, W. (1982). Fallstudien zur Optik. *physica didactica*, 9, 199–220.
- 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, 3–18.
- Lipowsky, F. (2009). Unterricht. In E.Wild & J. Möller (Hrsg.), Springer-Lehrbuch. Pädagogische Psychologie (S. 73–101). Berlin: Springer.
- Lutz, W., Burde, J.P., Wilhelm, T. & Trefzger, T. (2020). Digitale Unterrichtsmaterialien zum Elektronengasmodell. In: PhyDid B.
- Lutz, W., Haase, S., Burde, J.P., Wilhelm, T. & Trefzger, T. (2021). Nutzung digitaler Materialien zum Elektronengasmodell im Homeschooling. In: Sebastian Habig (Hg.), Naturwissenschaftlicher Unterricht und Lehrerbildung im Umbruch? Online Jahrestagung der GDGP 2020, S. 137-140.
- Lyman, F. (1981). The Responsive Classroom Discussion. In A. S. Anderson (Ed.), *Mainstreaming Digest* (pp. 109-113). College Park, MD: University of Maryland College of Education.
- Mayer, R. E. (2014). Cognitive Theory of Multimedia Learning. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (2. Aufl., S. 43–71). New York: Cambridge University Press. doi:10.1017/CBO9781139547369.005

- Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest (mpfs) (2020): JIM-Studie 2019. Jugend, Information, (Multi-) Media. Stuttgart. URL: https://www.mpfs.de/fileadmin/files/Studien/JIM/2019/JIM_2019.pdf (Stand 5/2021)
- Nawrath, D., Maiseykenka, V. & Schecker, H. (2011). Experimentelle Kompetenz – Ein Modell für die Unterrichtspraxis. In: PdN PHYSIK in der Schule Heft 6 Jahrgang 60: S. 42-49.
- Niegemann, H. M., Hessel, S., Hochscheid-Mauel, D., Aslanski, K., Deimann, M., & Kreuzberger, G. (2004). Kompendium E-Learning: 10 Video in E-Learning Umgebungen. Berlin: Springer.
- Oser, Fritz K. und Franz J. Baeriswyl. 2001. Choreographies of teaching: Bridging instruction to learning. In Handbook of research on teaching, hrsg. von Virginia Richardson. 4. Aufl., 1031–65. Washington: American Educational Research Association.
- Puentedura, R. (2006). Transformation, technology, and education. Link: <http://hippasus.com/resources/tte/> (Stand 5/2021).
- Renkl, A. & Atkinson, R. K. (2007). Interactive learning environments: contemporary issues and trends. An introduction to the special issue. Educational Psychology Review 19 (3): 235–38.
- Reinmann, G. (2005): Innovation ohne Forschung? Ein Plädoyer für den Design-Based Research-Ansatz in der Lehr-Lernforschung. In: Unterrichtswissenschaft 33 (1), S. 52–69.
- Romrell, D., Kidder, L. C., & Wood, E. (2014). The SAMR Model as a Framework for Evaluating mLearning. Journal of Asynchronous Learning Networks 18 (2).
- Schecker H., Duit R. (2018) Schülervorstellungen und Physiklernen. In: Schecker H., Wilhelm T., Hopf M., Duit R. (eds) Schülervorstellungen und Physikunterricht. Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-57270-2_1 (Stand 5/2021)
- Schnotz W., Duit R., denbeck, C., Müller, R., Wiesner, H., Herdt, D. & Engelhardt, P. (2005). Unterricht Physik, Optik III/2. Wölb- und Hohlspiegel, Spiegelteleskop, Auge, Farben, Köln: Aulis.
- Schnotz, W. & Bannert, M. (2003). Construction and interference in learning from multiple representation. Learning and Instruction, 13 (2), 141–156. doi:10.1016/S0959-4752(02)00017-8
- Stark, R. (2004): Eine integrative Forschungsstrategie zur anwendungsbezogenen Generierung relevanten wissenschaftlichen Wissens in der Lehr- Lern-Forschung. In: Unterrichtswissenschaft, Heft 3/32, S. 257-273
- Sweller, J., Ayres, P. & Kalyuga, S. (2011). Cognitive Load Theory. New York: Springer. doi:10.1007/978-1-4419-8126-4
- Totter, A., Häbig, J., Müller-Kuhn, D., und Zala-Mezö, E. (2020). Zwischen traditionellem Schulbuch und hybridem Lehrmittel. Bedingungen, Möglichkeiten und Herausforderungen von Lernen und Lehren in einer digitalen Welt. Zeitschrift MedienPädagogik 17 (Jahrbuch Medienpädagogik), 169–193.
- University of Colorado Boulder (2019). PhET Interactive Simulations – Lichtbrechung. Link: <https://phet.colorado.edu/de/simulation/bending-light> (Stand 5/2021)
- Wiesner, H., Engelhardt, P. & Herdt D. (1995). Unterricht Physik, Optik I. Lichtquellen, Reflexion, Köln: Aulis Verlag Deubner & Co.
- Wiesner, H., Engelhardt, P. & Herdt D. (1996). Unterricht Physik, Optik II. Brechung, Linsen, Köln: Aulis Verlag Deubner & Co.
- Wiesner, H., Herdt, D. & Engelhardt, P. (2003). Unterricht Physik, Optik III/1. Optische Geräte, Köln: Aulis.

Physikalische Modelle erfahrbar machen

- Mixed Reality im Praktikum -

Paul Schlummer*, **Adrian Abazi[†]**, **Rasmus Borkamp[°]**, **Jonas Lauströer[°]**, **Wolfram Pernice[†]**,
Carsten Schuck[†], **Reinhard Schulz-Schaeffer[°]**, **Stefan Heusler*** und **Daniel Laumann***

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

[†]Center for Nanotechnology, WWU Münster, Heisenbergstr. 11, 48149 Münster

[°]Department Design, HAW Hamburg, Finkenau 35, 22081 Hamburg

paul.schlummer@wwu.de, Adrian.abazi@wwu.de, mail@rasmusborkamp.de, jonas.laustroeer@haw-hamburg.de, wolfram.pernice@wwu.de, carsten.schuck@wwu.de, reinhard.schulz-schaeffer@haw-hamburg.de, stefan.heusler@wwu.de, daniel.laumann@wwu.de

Kurzfassung

In der Regel arbeiten Studierende in den Anfängerpraktika an didaktisch aufbereiteten Experimenten, die einen starken Bezug zu physikalischen Modellen aufweisen. Mit den üblicherweise zur Verfügung stehenden Materialien ist es Lernenden kaum möglich, das Experiment mit der Modellebene unmittelbar in Verbindung zu setzen, da diese keinen direkten Bezug zueinander zu haben scheinen.

Die Erweiterung von Praktikumsversuchen um Elemente der Mixed-Reality ermöglicht eine engere Verknüpfung der beiden Ebenen. Dies verdeutlicht der vorgestellte Versuch zur Polarisation und Verschränkung von Lichtquanten. Die Nutzung einer Augmented-Reality-Brille ermöglicht während des Experimentierens nicht nur die Echtzeit-Darstellung von Messdaten, sondern erlaubt es auch, die Effekte experimenteller Handlungen direkt im Experiment und auf Modellebene zu visualisieren. Überdies ergeben sich neue Interaktionsformen zwischen Lernenden und Experiment.

1. Einleitung

Laborpraktika sind aus der akademischen Ausbildung von Physikerinnen und Physikern nicht wegzudenken. Im Laufe ihres Physikstudiums absolvieren Studierende daher in der Regel mehrere Praxisphasen, beginnend mit einem Grund- oder Anfängerpraktikum. Von diesen einführenden Praktika wird sowohl seitens der Lehrenden als auch der Lernenden neben dem Erlernen von Fachmethoden auch die Vermittlung von konkreten Fachinhalten erwartet [1;2]. So erhoffen Lernende sich von der Durchführung der Versuche beispielsweise eine bessere Verknüpfung von Theorie und Praxis, um ein ganzheitliches Verständnis der Fachinhalte aufzubauen [1;3]. Auch die Konferenz der Fachbereiche Physik definiert die Anwendung theoretischer Grundlagen im Experiment und den Aufbau angemessener Vorstellungen von Phänomenen als wesentliche Ziele, die durch Laborpraktika erreicht werden sollen [4].

Es bleibt jedoch fraglich, ob physikalische Laborpraktika in ihrer üblichen Form dieser Zielsetzung auch in der Praxis gerecht werden. Untersuchungen von Holmes et al [5] und Wiemann & Holmes [6] kommen beispielsweise zu dem Schluss, dass sich aus der Teilnahme an experimentellen Übungen weder langfristig noch kurzfristig ein nachweisbare Effekte auf das konzeptuelle Verständnis, gemessen an Prüfungsergebnissen, nachweisen lassen. Analysen der Handlungen von Studierenden während der

Versuchsdurchführung zeigen zudem, dass diese die meiste Zeit mit reinen Routinetätigkeiten wie dem Aufnehmen von Messwerten beschäftigt sind – eine Beschäftigung mit inhaltlichen Aspekten, also den zugrundeliegenden physikalischen Konzepten, nimmt dagegen nur einen sehr geringen Zeitanteil der Durchführung ein [1;7].

Der durch die empirischen Befunde aufgezeigte Kontrast zwischen den intendierten Zielen und der Realität im Praktikum erscheint umso größer, wenn man bedenkt, dass schon bei der Konzeption der Praktikumsversuche didaktische Überlegungen und Zielsetzungen mit einfließen. Die Versuche bilden zu einem großen Teil kanonische Lehrinhalte der Grundvorlesungen ab, sie sind in hohem Maße auf diese Inhalte optimiert und in Bezug auf die Durchführung vorstrukturiert. Insofern stehen diese Versuche auch in engem Bezug zu etablierten Modellen physikalischer Phänomene, die durch sie verdeutlicht werden sollen. Vor diesem Hintergrund lässt sich eine mögliche Ursache des Problems in der Tatsache verorten, dass der Bezug zum zugrundeliegenden Modell nicht aus dem Versuch allein erschlossen werden kann. Holmes et al. bringen das Problem folgendermaßen auf den Punkt [5]:

„Although the relevant physics concepts were central to the thinking of the instructor that designed and built the experiments, those concepts get little, if any, attention from the student carrying out the assigned activities using that apparatus.“

Aus didaktisch-praktischer Sicht liegt es daher nahe, das einem Versuch zugrundeliegende und anzuwendende Modell expliziter zu machen, indem zusätzliche Repräsentationen angeboten werden. Der Verzahnung solcher Repräsentationen mit den experimentellen Handlungen selbst sind jedoch in den meisten Fällen durch die zur Verfügung stehenden Medien Grenzen gesetzt.

Mit neuen technologischen Entwicklungen sind jedoch neue Möglichkeiten entstanden, die Modellenebene besser mit dem Experiment zu verzahnen. Insbesondere Technologien der sogenannten „erweiterten Realität“ („Augmented Reality“, bzw. „Mixed Reality“) bieten dabei die Gelegenheit, die Durchführung von Praktikumsversuchen anders zu gestalten und so Modell und Experiment interaktiv aufeinander zu beziehen. Damit eröffnen sich neben neuen praktischen Gestaltungsmöglichkeiten auch auf der Forschungsebene neue Fragen in Bezug auf Gestaltungsprinzipien derartiger Lernumgebungen und die Beziehung der Repräsentationsformen untereinander. Die hier vorgestellte Lernumgebung zum Themenbereich Polarisation soll im Rahmen des begleitenden, vom BMBF geförderten Forschungsprojektes „MiReQu“ einen Beitrag zur Klärung dieser Fragen leisten, wie in [8] detailliert beschrieben worden ist. Im Folgenden sollen vor allem aus didaktisch-praktischer Sicht verschiedene Gestaltungsaspekte der neu entwickelten Lernumgebung diskutiert werden.

2. Was ist Mixed-Reality?

Die Begriffe „Augmented Reality“ (AR) und „Mixed Reality“ (MR) bezeichnen keine bestimmte Technologie, sondern sind vielmehr ein Sammelbegriff für verschiedene technische Umsetzungen eines bestimmten Konzeptes, bei dem es darum geht, die physische Realität mit virtuellen Elementen anzureichern [9].

Da die Definition der Begriffe sehr weit gefasst ist, sind auch die mit den Begriffen betitelten Anwendungen sehr unterschiedlich und es bieten sich Charakterisierungen anhand verschiedener Merkmale an. Neben der Charakterisierung anhand technischer Merkmale (z. B. Darstellung über ein 3D-Headset oder ein 2D Handydisplay), ist ein weit verbreitetes Schema das von Milgram et al. [10] vorgeschlagene Realitäts/Virtualitäts-Kontinuum (Abb. 1).



Abb. 1: Realitäts/Virtualitäts-Kontinuum nach Milgram et al. [10].

An einem Ende des Schemas steht die rein physische Realität ohne jegliche Zusatzelemente. Das andere Extrem stellt eine rein virtuelle Realität dar, in der

alle verfügbaren Sinneseindrücke digital generiert werden. Mixed Reality umfasst den weiten Bereich zwischen diesen Extrema, innerhalb dessen je nach Grad der digitalen Anreicherung weiter unterschieden werden kann. Da allerdings die Begriffe „Augmented Reality“ und „Augmented Virtuality“ fließend ineinander übergehen, wird im Folgenden bewusst der weite Begriff „Mixed Reality“ verwendet.

Abgesehen vom Anteil digitaler Zusatzelemente ist eine weitere wichtige Dimension zur Beschreibung von MR-Anwendungen der Grad an Immersion, der durch die Anwendung erzeugt wird. Immersiv ist eine digitale oder digital angereicherte Anwendung dann, wenn sie in der Interaktion mit digitalen Elementen beim Anwender das Gefühl erzeugt, mit echten Dingen und Gegenständen zu interagieren [11]. Um Immersion zu erzeugen ist daher ein hohes Maß an Interaktivität zwischen realen Handlungen des Nutzers und den digitalen Elementen der Anwendung erforderlich. In Bezug auf die Umsetzung einer MR-Lernumgebung im Praktikum erscheint ein möglichst hohes Maß an Immersion und Interaktivität sinnvoll. Daher wird für die technische Umsetzung die Microsoft HoloLens 2 verwendet. Hierbei handelt es sich um ein Headset ähnlich einer Brille. Auf die Brillengläser werden dreidimensionale Hologramme projiziert, mit denen ohne zusätzliche Controller per Handgesten interagiert werden kann. Diese Art der Implementierung bietet maximale Immersion in Bezug auf die visuellen Zusatzelemente und ermöglicht gleichzeitig das ungehinderte Experimentieren mit beiden Händen am realen Versuch. Zur Herstellung von Interaktivität mit dem Versuchsaufbau werden zudem digitale Messwertfassungssysteme genutzt.

3. Mixed Reality im Praktikum

Die beiden zunächst auf technischer Ebene motivierten Konzepte Immersion und Interaktivität lassen sich auch aus didaktischer Perspektive in Hinblick auf das Praktikum reflektieren. Interaktivität und Immersion beruhen auf der Beziehung verschiedener Repräsentationsformen zueinander. Die kognitive Verarbeitung von verschiedenen Repräsentationsformen ist im Rahmen verschiedener lernpsychologischer Theorien modelliert worden, u. a. von Schnotz & Bannert [12] und von Mayer [13].

Durch Einbezug interaktiver und immersiver MR-Techniken verändert sich das Lernen und Arbeiten im Praktikumsversuch an verschiedenen Punkten. Diskutiert werden diese Punkte am Beispiel von typischen, im Anfängerpraktikum üblichen Versuchen zur Polarisation von Licht. Das didaktische Konzept und die zugehörige MR-Lernumgebung wurden im Rahmen des Projekts MiReQu in Zusammenarbeit zwischen dem Institut für Didaktik der Physik und dem Center for Nanotechnology der WWU Münster und dem Department Design der HAW Hamburg, entwickelt. Der erste Einsatz im

Anfängerpraktikum Physik wird an der WWU Münster im Sommersemester 2021 erfolgen.

3.1. Mixed Reality erhöht die Anzahl der zur Verfügung stehenden Repräsentationen

Betrachtet man den Ablauf eines typischen Praktikumsversuches mit allen Phasen der Vor- und Nachbereitung wird deutlich, dass in den zur Verfügung stehenden Materialien durchaus ein hoher Modellbezug vorhanden ist und dieser sich in verschiedenen Repräsentationsformen ausdrückt: in der Vorbereitungsphase erhalten die Studierenden zumeist eine schriftliche Anleitung, in der die wesentlichen theoretischen Grundlagen erläutert und ggf. auch grafisch dargestellt werden. Zur Nachbereitung erstellen die Studierenden in der Regel einen Versuchsbericht, in dem sie ihre Messdaten aufbereiten und diskutieren. Dabei erstellen sie selbst verschiedene Repräsentationsformen in Form von Abbildungen, Texten, Plots usw. Hier reflektieren die Studierenden im Idealfall den zuvor durchgeführten Versuch vor dem Hintergrund der zugrundeliegenden Fachkonzepte.

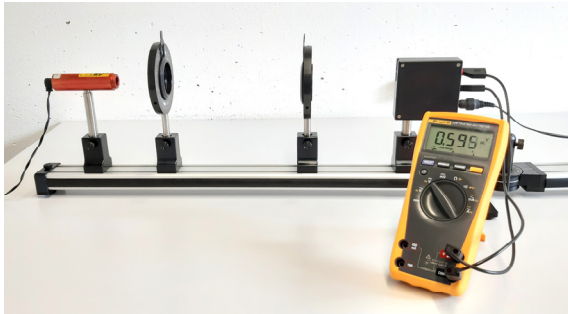


Abb. 2: Typischer Versuchsaufbau zum Gesetz von Malus.

Die Auseinandersetzung mit den Fachkonzepten in Form des Versuchsberichts findet jedoch erst deutlich nach der Versuchsdurchführung statt. Während der Durchführung selbst stehen den Studierenden dagegen bis auf den realen Versuchsaufbau nur wenige oder sehr unspezifische Repräsentationen zur Verfügung, wobei der Versuchsaufbau selbst, wie eingangs geschildert, keinen unmittelbaren Modellbezug erkennen lässt. Diese Situation ist für den beispielhaften Versuch zum Gesetz von Malus in Abb. 2. dargestellt.

Studierende messen in diesem im Versuch die Spannung an einer Fotodiode in Abhängigkeit vom Winkel zwischen zwei Polarisationsfiltern. Das zugrundeliegende Fachkonzept, das zur Interpretation des Versuchs benötigt wird, ist ein vektorielles Verständnis von Polarisation als Schwingungsrichtung des elektrischen Feldes, sowie ein räumliches Verständnis von der Lage der beiden Polfilterachsen zueinander. In der konventionellen Variante des Versuchs steht den Studierenden lediglich der aktuelle Messwert der Fotodiode zur Verfügung. Die gesuchte Gesetzmäßigkeit erschließt sich jedoch erst aus mehreren Messwerten, die dann noch mental in Bezug zum Vektormodell gebracht werden müssen.

Durch Einsatz von MR können dagegen spezifisch für den aktuellen Versuch und die vorgenommenen Einstellungen visuelle Modellrepräsentationen einblendet werden. In Abb. 3 wird beispielsweise der Verlauf des Laserstrahls sowie dessen Polarisationsrichtung im jeweiligen Abschnitt visualisiert. Für jeden der beiden Polarisationsfilter wird die aktuelle Einstellung der Transmissionsachse sowie die Amplitude der ankommenden und der ausgehenden Lichtwelle vektorieLL dargestellt. Zusätzlich können auch aufgenommene Messwerte direkt grafisch dargestellt werden, sodass die Tätigkeit des Messens keine bloße Notwendigkeit zur späteren Auswertung mehr darstellt, sondern unmittelbar zur Modellreflexion genutzt werden kann.

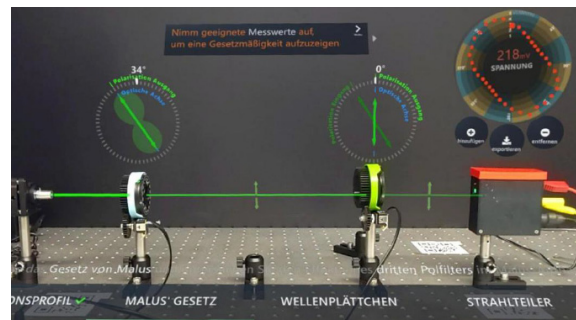


Abb. 3: Zusätzlich verfügbare Repräsentationen beim Blick durch die HoloLens 2.

3.2. Mixed Reality erhöht die Verzahnung der Repräsentationen untereinander

Durch die digitale Anreicherung mithilfe der HoloLens stehen den Lernenden nicht nur mehr Repräsentationen zur Verfügung: Anders als z. B. bei Visualisierungen auf einem Computerbildschirm lassen sich die visuellen Darstellungen räumlich an passender Stelle direkt im realen Aufbau einblenden. Dadurch können zusammengehörige Elemente visuell auf einen Blick erfasst und redundante Darstellungen vermieden werden. Für die klassischen Medien Text und Bild sind bereits viele Untersuchungen durchgeführt worden, die nahelegen, dass die räumliche Nähe von zusammengehörigen Darstellungen einen positiven Effekt auf das Lernen erzeugt [14]. Im Rahmen der kognitiven Theorie multimedialen Lernens ist dieser Effekt als das Kontiguitätsprinzip bekannt und wird damit erklärt, dass Lernende weniger kognitive Ressourcen dafür aufwenden müssen, zusammengehörige Elemente in Beziehung zueinander zu setzen [15]. Erste Hinweise für die Übertragbarkeit des Kontiguitätsprinzips auf MR-Settings liefert beispielsweise eine Untersuchung von Strzys et al [16].

In Bezug auf die Verzahnung der Repräsentationsformen gehen die Möglichkeiten von MR jedoch über die der klassischen Medien hinaus, da die Interaktivität als wesentliches Merkmal hinzukommt. Damit die Handlungen der Nutzer sich dynamisch auf die digitalen Elemente der Lernumgebung aus-

wirken können, ist es notwendig, entsprechende Parameter wie z. B. die Drehung eines Polfilters kontinuierlich digital zu erfassen. Das Messwertfassungssystem im konkreten Beispiel wurde mithilfe eines Arduino-Microcontrollers realisiert (Abb. 4 & 5).



Abb. 4: Modifizierte Halterung zur Erfassung des Drehwinkels optischer Komponenten.

Im Polarisationsversuch werden die Drehwinkel von bis zu drei optischen Bauteilen und zusätzlich die Spannung an bis zu zwei Fotodioden ausgelesen. Drehungen an einer optischen Komponente wirken sich direkt auf die Darstellung des Vektormodells und die Messwertanzeige im Datenplot aus.

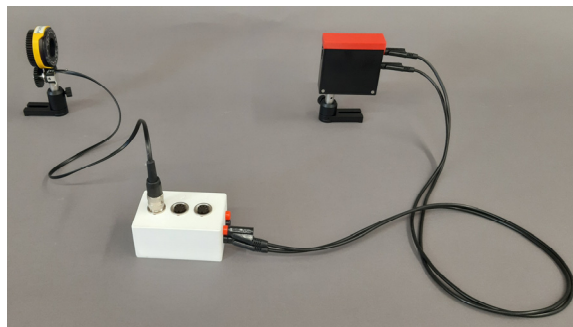


Abb. 5: Umsetzung der digitalen Messwertfassung. In der Adapterbox befindet sich ein Arduino-Microcontroller.

Dadurch rücken die Handlungsebene im Experiment sowie die Beziehung zwischen Handlungsebene und anderen Repräsentationen stärker in den Fokus, als bisher in den theoretischen Rahmungen multimedialen Lernens berücksichtigt worden ist. Der stärkere Einbezug der Handlungsebene und des Experiments als eigenständige Repräsentationsformen in die theoretische Rahmung von Lernprozessen erscheint gerade in Bezug auf die Naturwissenschaften auch unabhängig von MR-Lernumgebungen sinnvoll, wie z. B. von Laumann et al [17] dargelegt. Setzt man die Notwendigkeit einer Erweiterung des theoretischen Rahmens voraus, bietet der beschriebene MR-Versuch die Möglichkeit, gezielt den Grad an Kontiguität zwischen den digitalen Elementen und dem realen Aufbau, an dem die Interaktion stattfindet, zu variieren und so ein erweitertes Kontiguitätsprinzip multimedialen Lernens empirisch zu untersuchen. Dies ist aus Forschungsperspektive das Hauptziel des MiReQu-Projektes [8].

3.3. Mixed Reality ermöglicht neue Formen experimenteller Handlungen

Das beispielhaft in Abb. 2 dargestellte Experiment zum Gesetz von Malus in der traditionellen Form ohne MR beinhaltet an experimentellen Handlungen in erster Linie das Drehen von Polfiltern sowie das Ablesen der Messwerte auf dem Multimeter. Das Drehen der Polfilter als zentrale Handlung am Experiment mit Bezug zum Fachkonzept bleibt in der MR-Lernumgebung unverändert erhalten. Darüber hinaus lassen sich aber viele weitere notwendige Handlungen innerhalb der MR-Lernumgebung grundlegend anders gestalten, um diese stärker in Bezug zu den relevanten Inhalten zu setzen.

Ein Beispiel, das bereits angesprochen wurde, ist die Aufnahme von Messwerten. Einerseits steht den Lernenden schon beim Experimentieren eine grafische Repräsentation in Form eines Polardiagramms zur Verfügung, was es ihnen erleichtern soll, die verschiedenen Darstellungsebenen kohärent aufeinander zu beziehen [18].

Andererseits kann die zur Messwertaufnahme notwendige Interaktion deutlich einfacher und zeitsparender gestaltet werden: Durch Fingerdruck auf einen unter dem Diagramm schwebenden Button können Messwerte digital hinzugefügt, gelöscht oder exportiert werden (Abb. 5). Gegenüber herkömmlicher digitaler Messwertfassung bietet sich hier erneut der Vorteil, dass die Interaktion in direkter räumlicher Nähe zum relevanten Element im Experiment (nämlich der Fotodiode) erfolgt.

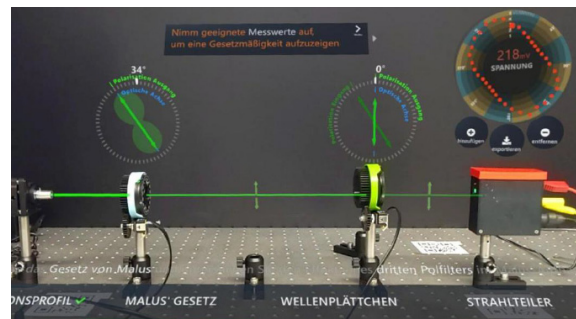


Abb. 5: Messwertdiagramm mit Buttons zur Messwertaufnahme.

Zusätzlich lassen sich auch Hilfestrukturen unmittelbar in die MR-Lernumgebung integrieren. So können Lernende mit dem Finger auf jede Komponente im Aufbau zeigen und erhalten über ein Kontextmenü Informationen zu deren Funktionsweise im Aufbau.

Komplexere Aufgaben lassen sich durch Einblendung von konkreten Teilaufgaben besser und intuitiver in sinnvolle Abschnitte zergliedern, sodass Studierenden die Bearbeitung leichter fällt. Intendiert ist zudem, die Studierenden durch die Einblendung von gezielten Beobachtungsaufgaben ohne konkreten Messauftrag stärker zur Modellreflektion und zur Arbeit mit verschiedenen Repräsentationen anzuregen und so den Fokus der Studierenden vom bloßen

Messwerte Aufnahmen weg zu lenken. Diese Strategien sind aus der Theorie multimedialen Lernens für Text und Bild als das Segmentierungs- und das Signalprinzip bekannt [19]. Zusätzlich erhöht sich auch durch diese Maßnahmen die Kontiguität der Repräsentationsformen: ein separater Aufgabenzettel wird nicht benötigt.

Ein Beispiel für die Anwendung des Segmentierungsprinzips aus dem Polarisationsversuch ist in Abb. 6 gezeigt. Der hier gezeigte Versuchsteil geht über die klassischen Polarisationsversuche hinaus und beschäftigt sich mit dem Quantenphänomen der Polarisationsverschränkung einzelner Photonen. Ein typischer Experimenteller Test auf Verschränkung ist das Messen von Korrelationen mithilfe einer Variante der Bell'schen Ungleichung [20;21]. Hierzu müssen 16 verschiedene, vorgegebene Winkelkombinationen an zwei Polfiltern eingestellt werden. Das Einstellen der vorgegebenen Winkel ist in diesem Fall eine reine experimentelle Notwendigkeit, weshalb die Lernumgebung die Studierenden schrittweise durch die richtigen Einstellungen hindurchführt. Inhaltlich relevanter ist dagegen das Korrelationskonzept, das den Einzelmessungen zugrunde liegt. Die aktuell gemessene Korrelationsfunktion wird deshalb grafisch aufgearbeitet in einem 2x2-Schema dargestellt, sodass die Studierenden sehen können, zu welcher Korrelation ihre Mess-einstellungen jeweils führen. Das anspruchsvolle Thema Verschränkung wurde bewusst als Abschluss des neu entwickelten Versuchs ausgewählt, um die neuen Gestaltungsmöglichkeiten auch an einem Thema zu testen, das sich ansonsten jeder Anschauung entzieht [8].



Abb. 6: Assistentensystem zur Einstellung der richtigen Winkel bei Messung der Bell'schen Ungleichung (unten links) und grafische Darstellung der Korrelationsfunktion (oben rechts).

4. Ausblick und Grenzen des MR-Einsatzes

Die dargestellten Überlegungen zur Gestaltung der MR-Lernumgebung machen sowohl deutlich, wie etablierte und empirisch abgesicherte Gestaltungsprinzipien multimedialen Lernens durch Mixed Reality in einem handlungsorientierten Kontext umsetzen lassen, als auch welche neuen Fragen sich in

Bezug auf die Verknüpfung von Handlungsebene und anderen Repräsentationsformen in diesen Kontexten ergeben.

Viele der vorgestellten Aspekte lassen sich dabei nicht nur mit aktuell noch teurer Technik wie der HoloLens 2 umsetzen, sondern auch mit anderen Formen von digitalen Lernumgebungen nutzbar machen. Leitgedanke der Umsetzung ist vor allem der der Interaktivität von Repräsentationen. Die Grundidee, den Studierenden dynamische Repräsentationen von Modellen zur Verfügung zu stellen, lässt sich dabei auch mit einfacheren digitalen Mitteln realisieren, z. B. auf dem PC oder dem Handy. Die entscheidende Technik hierfür steckt nicht in der HoloLens, sondern in der in Abb. 4 gezeigten Box, die ausschließlich aus günstigen Bauteilen besteht. Diesem Gedanken folgend werden im Rahmen des Projektes MiReQu auch noch andere Formate der Lernumgebung entwickelt, beispielsweise eine Web3D-Umgebung, die in Form eines Remote Labs auch anderen Standorten zugänglich gemacht werden soll.

Bei aller Begeisterung für die neuen Möglichkeiten der hier vorgestellten Technik ist jedoch abschließend zu beachten, dass sich die Gestaltung und Zusammenstellung von Praktikumsversuchen an den jeweils intendierten Zielen orientieren muss. Die vorgestellte Versuchsumgebung zielt explizit auf die Erarbeitung von Fachkonzepten zum Thema Polarisation. Die Vermittlung anderer Fähigkeiten, z. B. methodischer Kompetenzen wie das korrekte Ablese von Messgeräten, kommt dagegen im MR-Versuch weniger zum Tragen. Insbesondere, wenn wie im vorgestellten Versuch auch komplexe Inhalte wie Verschränkung thematisiert werden, die aus sich heraus bereits das Potential bergen, Lernende zu überfordern, lässt sich dies durchaus rechtfertigen. Die Aufbereitung in der hier vorgestellten Form ist aber sicher nicht für jeden Praktikumsversuch sinnvoll und wünschenswert. Experimentelle Kompetenzen umfassen mehr als nur die inhaltliche Seite [22]. Sofern es das Ziel der Anfängerpraktika sein soll, Studierenden einen möglichst breiten Eindruck von der experimentellen Seite der Physik und den damit verbundenen Tätigkeiten und Fähigkeiten zu vermitteln, ist am Ende die Mischung aus eher modellorientierten, methodisch ausgerichteten oder auch ideengeschichtlich relevanten Experimenten entscheidend.

5. Literatur

- [1] Haller, K. (1999): Über den Zusammenhang von Handlungen und Zielen. Eine empirische Untersuchung zu Lernprozessen im physikalischen Praktikum. Berlin: Logos.
- [2] Welzel-Breuer, M.; Haller, K.; Bandiera, M.; Hammelev, D.; Koumras, P.; Niedderer, H.; Paulsen, A.; Bécu-Robinault, K.; von Aufschnaiter, S. (1998): Ziele, die Lehrende mit dem Experimentieren in der naturwissenschaft-

- lichen Ausbildung verbinden. Ergebnisse einer europäischen Umfrage. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften 4(1), S. 29-44.
- [3] Nagel, C.; Scholz, R.; Weber, K. (2018): Umfrage zu den Lehr/Lernzielen in physikalischen Praktika. In: PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung in Würzburg 2018, S. 97-109. <http://phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/829/974> (Stand 5/2021).
- [4] Konferenz der Fachbereiche Physik (Hg.) (2010): Zur Konzeption von Bachelor- und Masterstudiengängen in der Physik. https://www.kfp-physik.de/dokument/KFP_Handreichung_Konzeption-Studiengaenge-Physik-101108.pdf (Stand 5/2021).
- [5] 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. In: Physical Review Physics Education Research 13(1), 10129.
- [6] Wieman, C. E.; Holmes, N. G. (2015): Measuring the impact of an instructional laboratory on the learning of introductory physics. In: American Journal of Physics 83(11), S. 972-978.
- [7] Hucke, L. (1999): Handlungsregulation und Wissenserwerb in traditionellen und computer-gestützten Experimenten des physikalischen Praktikums. Berlin: Logos.
- [8] Schlummer, P.; Lauströer, J.; Schulz-Schaeffer, R.; Abazi, A.; Schuck, C.; Pernice, W.; Heusler, S.; Laumann, D. (2020): MiReQu – Mixed Reality Lernumgebungen zur Förderung fachlicher Kompetenzentwicklung in den Quantentechnologien. In: PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung in Bonn 2020, S. 451-459. <http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/1044/1138> (Stand 5/2021).
- [9] Carmigniani, J.; Furth, B. (2011): Augmented Reality: An Overview. In: B. Furth (Hg.): Handbook auf augmented reality. New York: Springer, S. 3.46.
- [10] Milgram, P.; Takemura, H.; Utsumi, A.; Kishino, F. (1994): Augmented reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum. In: Telematic and Telepresence Technologies, 2351, S. 282-292.
- [11] Jensen, L.; Konradsen, F. (2018): A review of the use of virtual reality head-mounted displays in education and training. In: Education and Information Technologies 23(4), S. 1515-1529.
- [12] Schnotz, W.; Bannert, M. (2003) Construction and interference in learning from multiple representation. In: Learning and Instruction 13(2), S. 141-156.
- [13] Mayer, R. E. (2014): Cognitive Theory of Multimedia Learning. In: R. E. Mayer (Hg.): The Cambridge Handbook of Multimedia Learning, 2nd edition. Cambridge: Cambridge University Press, S. 43-71.
- [14] Schroeder, N. L.; Ceneci, A. T. (2018): Spatial Contiguity and Spatial Split-Attention Effects in Multimedia Learning Environments: A Meta-Analysis. In: Educational Psychology Review 30, S. 679-701.
- [15] Mayer, R. E.; Fiorella, L. (2014): Principles for Reducing Extraneous Processing in Multimedia Learning: Coherence, Signaling, Redundancy, Spatial Contiguity and Temporal Contiguity Principles. In: R. E. Mayer (Hg.): The Cambridge Handbook of Multimedia Learning, 2nd edition. Cambridge: Cambridge University Press, S. 279-315.
- [16] Strzys, M. P.; Kapp, S.; Thees, M.; Klein, P.; Lukowicz, P.; Knierim, P.; Schmidt, A.; Kuhn, J. (2018): Physics holo.lab learning experience: Using smartglasses for augmented reality lab-work to foster the concepts of heat conduction. In: European Journal of Physics 39(3), 035703.
- [17] Laumann, D. (2017): Integrativer Einsatz realer und interaktiver digitaler Repräsentationen in der Physik. In: PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung in Dresden 2017, S. 251-256. <http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/752/904> (Stand 5/2021).
- [18] Seufert, T. (2003): Supporting coherence formation in learning from multiple representations. In: Learning and Instruction 13(2), S. 227-237.
- [19] Mayer, R. E. (2009): Segmenting Principle. In: R. E. Mayer (Hg.): Multimedia Learning. Cambridge: Cambridge University Press, S. 175-188.
- [20] Clauser, J. F.; Horne, M. A.; Shimony, A.; Holt, R. A.; (1970): Proposed Experiment to Test Local Hidden-Variable Theories. In: Physical Review Letters 23(15), S. 880-884.
- [21] Kwiat, P. G.; Mattle, K.; Zeilinger, A.; Sergienko, A. V.; Smith, Y. (1995): New High-Intensity Source of Polarization-Entangled Photon Pairs. In: Physical Review Letters 75(24), S. 4337-4341.
- [22] Schreiber, N.; Theyßen, H.; Schecker, H. (2009): Experimentelle Kompetenz messen?! In: PhyDid 3(8), S. 92-101.

Danksagung

Wir danken Dr. Alexander Pusch vom Institut für Didaktik der Physik der WWU Münster für seine Ideen zur Umsetzung der Drehwinkelmessung mit dem Arduino und für seine technische Expertise bei der Implementierung.

Entwicklung von AR-Applikationen für die Elektrizitätslehre der Sekundarstufe I

Hagen Schwanke, Thomas Trefzger

Lehrstuhl für Physik und ihre Didaktik, Universität Würzburg
Hagen.schwanke@physik.uni-wuerzburg.de

Kurzfassung

Experimente stehen im naturwissenschaftlichen Unterricht nach wie vor im Zentrum des Unterrichtsgeschehens. Durch die Weiterentwicklungen im informationstechnischen Bereich ergänzen inzwischen kostengünstige digitale Medien und Werkzeuge das Experiment im Unterricht. Ziel dieses Projektes ist die Entwicklung von Augmented-Reality(AR)-Applikationen. Mit deren Hilfe kann die reale Lernumgebung bzw. das Realexperiment gezielt mit computergenerierten Informationen überblendet werden. Die Sekundarstufe I bietet in der 9. Jahrgangsstufe in Bayern zum Thema der Elektrizitätslehre viele Experimente zur Anwendung einer augmentierten Lernumgebung. Dabei sollen die in diesem Projekt entwickelten Applikationen hauptsächlich die Modelle der magnetischen Felder sichtbar machen. Sie können jedoch auch zur Darstellung des „Unsichtbaren“, wie z.B. Atome, Elektronen oder Raumladungen, genutzt werden. In diesem Beitrag wird die Entwicklung unterschiedlicher Applikationen und deren Integration in Experimentierstationen vorgestellt. Mit diesen Stationen soll in einer weiteren Studie ein möglicher andersartiger Verlauf des Lernens der Thematik Magnetismus aufgedeckt werden. Bevor die Applikationen für die Pilotierung genutzt werden, werden diese mittels einer Mixed-Methods-Studie bezüglich ihrer Nutzerzufriedenheit evaluiert. Dabei kommt der quantitative System Usability Score (SUS) nach Brooke und ein qualitatives Leitfadenterview zum Einsatz.

1. Einleitung

Aus der aktuellen Bitkom Studie geht hervor, dass 59% der SchülerInnen als die dringlichste Problematik an ihrer Schule den fehlenden Einsatz digitaler Medien sehen. Ebenso sagen 58% der SchülerInnen, dass ihr Lehrer eher positiv digitalen Medien gegenübersteht. Sogar 93% der SchülerInnen finden, dass digitale Medien den Unterricht interessanter machen [1]. Somit gibt es auf jeden Fall Interessierte für Applikationen im schulischen Alltag. Wie wird aber eine „gute App“ entwickelt, welche praxisorientiert und gebrauchstauglich ist? Dieser Frage wird in diesem Artikel nachgegangen.

Zu Beginn steht die Auswahl der passenden Experimente: Dabei ist es von Vorteil, die technische Umsetzung bereits mit ein zu beziehen, da nicht jeder Versuch dafür geeignet ist. Ein wichtiger Punkt bei der Auswahl ist z.B. die Geschwindigkeit des Versuchsablaufs, da statische Vorgänge zum aktuellen Zeitpunkt der Technik im Allgemeinen besser erkannt werden können.

Dann folgen die Programmierung und Erstellung der Applikation. Damit diese Applikation für den Nutzer attraktiv und ansprechend wirkt, spielt die Usability hierfür eine große Rolle. Diese Benutzerfreundlichkeit wird in verschiedene Kategorien unterteilt, wie z.B. Nutzen, Intuitivität, Einprägsamkeit, Erlernbarkeit und die persönliche Einstellung [2]. Alle diese Eigenschaften, sollten im Sinne des Nutzers sein, sodass dieser die Applikation akzeptiert und nutzen wird.

Um die Usability erheben zu können, gibt es z.B. das Qualitative Usability Konzept [2]. Mit diesem standardisiertem qualitativen Leitfadenterview werden die Probanden befragt. Durch die vielen verschiedenen Kategorien und der Antworten der Probanden kann eine anschließende Anpassung der

Applikation vorgenommen werden. Wenn eine Anpassung der Applikation nicht umsetzbar ist, muss ein anderer Versuch gefunden und ausgewählt werden. Die Entwicklung einer AR-Applikation kann somit als Kreis gesehen werden.

In diesem Artikel wird ein Überblick über den kompletten Kreisprozess gegeben. Momentan befindet sich das Projekt in der Datenerhebung. Erste Ergebnisse eigens entwickelter Applikationen zeigen einen deutlichen Nutzen dieser Vorgehensweise.

2. Theoretische Vorüberlegung

Zur theoretischen Vorüberlegung gehört zum einem die richtige Auswahl der zur Verfügung stehenden Technik und zum anderen auch die Überlegung wie dieses digitale Medium adressatengerecht entwickelt werden kann und wie dies zu überprüfen ist.

2.1. Motivation Augmented Reality

Das Experiment ist die zentrale Erkenntnisquelle der naturwissenschaftlichen Forschung und nimmt somit auch eine zentrale Rolle im Unterrichtsgeschehen ein. Experimente sollen die Schüler motivieren, gleichzeitig fachliche Inhalte vermitteln und diese bestätigen. [3] Für die Erklärung der experimentellen Versuche liegen naturwissenschaftliche Modelle zu Grunde. Durch die zur Verfügung stehende Technik Augmented Reality (kurz: AR) ergeben sich neue Möglichkeiten der Anwendung im Unterricht, da dreidimensionale ergänzende Darstellungen möglich sind. Diese Visualisierung kann animiert oder auf Grundlage von Echtdateien aus dem Experiment berechnet worden sein. Somit kann AR als Bindeglied zwischen den zur Erklärung und Vorhersage genutzten theoretischen Modellen und den

Experimenten fungieren. Die Sekundarstufe I bietet in der Elektrizitätslehre der 9. und 10. Klassen viele Experimente zur Anwendung der Augmentierung. Zur technischen Umsetzung wird ein Handheld-Device gebraucht. Tablets bringen einen größeren Bildschirm mit sich und sind so eher dafür geeignet. Da 97% der Kinder ab dem 13. Lebensjahr ein Smartphone benutzen [4] bietet ein Tablet zusätzlich eine intuitivere Handhabung als ein Computer mit Maus und Tastatur.

2.2. Das qualitative Usability Konzept

Über 40 Jahre wird bereits an Augmented Reality geforscht, jedoch liegen noch keine genauen Ergebnisse bezüglich AR vor. Dies liegt an der fehlenden Erfahrung, wie AR richtig evaluiert und die Applikationen erstellt werden. [5]

Bei der Entwicklung der Applikation wird eine bestimmte Nutzung der App antizipiert um dahingehend bestmöglich auf alle Eventualitäten einzugehen. Der Nutzer selbst hat jedoch eigene Vorstellungen und Annahmen (vgl. Abb.1 nach [6])

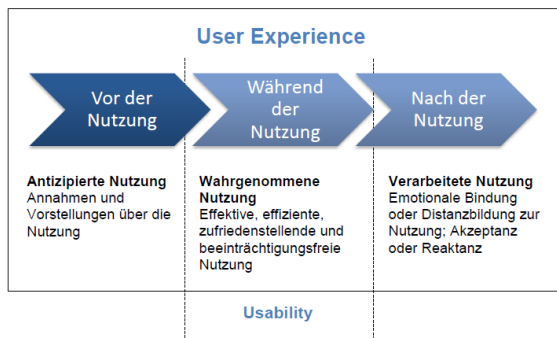


Abb.1: User Experience

Als Qualitätsmerkmal einer zuverlässigen und praxisorientierten App dient die Usability. Diese ist empirisch erhebbar, z.B. mit dem qualitativen Usability Konzept.

Das qualitative Usability Konzept kann einen absoluten Usability Wert generieren, da während des Interviews fünf Hauptkategorien mit 21 Unterkategorien durchlaufen werden. Durch positive oder negative Antworten und der unterschiedlich gewichteten Fragen kann auf den Usability Wert geschlossen werden.

Dieses Konzept bringt jedoch auch die Möglichkeit mit sich, Probleme in der App zu beheben, welche durch eine Art blinden Fleck der Entwickler entstehen. Durch das Interview werden die Fragen auf individuelle Art und Weise beantwortet, sodass die jeweiligen Probleme der Probanden klar zu identifizieren sind und so eine Differenzierung der eigentlichen Unstimmigkeit stattfindet.[2]

3. Experimentierstationen

In diesem Projekt wurden insgesamt 6 verschiedene Experimente zum Thema Magnetismus ausgewählt. Diese Thematik wird in Bayern in der 9. Jahrgangsstufe des Gymnasiums behandelt. Ab dem Schuljahr 2022/23 wird, wegen der Wiedereinführung des G9, der Inhalt in der 10. Klasse unterrichtet. [7]

Die Stationen und die Einbindung wurden bereits vorgestellt und können z.B. in [8] nachgelesen werden.

Dahingehend hat sich lediglich die Station 6 – Selbstinduktion verändert. Da bei dieser Station das Experiment sehr schnell abläuft und die Augmentierung rein animiert gewesen wäre, wurde ein anderes Experiment ausgewählt. Beim jetzigen Versuch „Das Weicheiseninstrument“ werden in das Innere



Abb.2: Materialien der Station 6 - Weicheiseninstrument

einer Spule zwei Eisenstäbe gelegt.

Durch den anschließenden Stromfluss in der Spule wird in den Eisenstäben ein Magnetfeld erzeugt. Durch die gleiche Ausrichtung der Magnetfelder



Abb.3: Das stromdurchflossene Weicheiseninstrument

stoßen sich die zwei Eisenstäbe ab und bewegen sich an die äußeren Enden des Spuleninnenraums (vgl. Abb.3).

Die Augmentierung sieht in diesem Versuch die Darstellung der ausgerichteten Elementarmagneten innerhalb der Eisenstäbe, sowie eine Bewegung der Elektronen in der Spule selbst vor.

4. Praktische Vorüberlegung

In der praktischen Vorüberlegung müssen zwei Punkte bedacht werden:

- Wie wird die Evaluation der App durchgeführt?
- Wie erfolgt die programmiertechnische Umsetzung?

Zunächst werden die einzelnen Punkte der Evaluation betrachtet. Dabei wird nach dem Modell des problemzentrierten Interviews vorgegangen. [9] Auf die Technische Umsetzung der App wird in Kapitel 5 eingegangen.

4.1. Auswahl der Probanden

Die Auswahl der Probanden erfolgt durch eine freiwillige Teilnahme an der Evaluierung.

Da es um die Verbesserung der Applikation geht, werden keine bestimmten Personengruppen angesprochen.

Unter den Probanden befinden sich also Schüler*innen, Lehrer*innen oder auch Student*innen. Da es um die allgemeine Tauglichkeit der App geht, sind verschiedene Personengruppen mit unterschiedlichem Vorwissen sogar erwünscht. Schüler*innen, da diese der Zielgruppe der App entsprechen, Lehrer*innen, welche eine pädagogische Sicht auf die Darstellungen haben, als auch Studierende, welche neue innovative Gedanken haben, sind somit alle als Probanden gerechtfertigt.

4.2. Auswahl der Fragen

Der ursprüngliche Fragenkatalog von Nestler et al. umfasste 259 Fragen, welche in den fünf Hauptkategorien oder den 21 Nebenkategorien gestellt wurden. In der Arbeit von Rudolph [10] wurde dieser Katalog auf 83 Fragen reduziert. Dabei wurden die Fragen in vier verschiedene Ebenen der Wichtigkeit eingeordnet. Die Ebene 0 oder L0-Fragen wurden für so wichtig erachtet, dass diese auf jeden Fall im Fragebogen aufgenommen werden sollten. Entsprechend gibt es noch die Ebenen 1,2 und 3.

Da es in der Studie nicht um AR-Applikationen ging, sondern um Browser Anwendungen, wurde ein erneutes Rating der Fragen des verfeinerten Usability Konzepts erstellt, wobei zusätzlich aus den ursprünglichen 259 Fragen, Fragen ausgewählt wurden, welche auf AR-Applikationen angewandt werden konnten. Insgesamt wurden somit 95 Fragen durch ein Expertenrating (n=8) bewertet. Am Ende wurde eine Auswahl von 19 Fragen für die AR-Applikation getroffen.

Die Fragen mit entsprechender Kategorie sind folgende:

Effektivität

- Inwiefern können Sie mit der Software ihre Ziele erreichen?
- Welche Funktionalität fehlt der Software, die Sie benötigen oder gerne nutzen würden?

Übersichtliche Gestaltung

- Welche Teile der Software sind unübersichtlich?

Einfachheit

- Inwiefern gibt es Situationen, in denen die Bedienung unnötig kompliziert ist – wie denken Sie könnte es auch einfacher gehen?

Selbsterklärungsfähigkeit

- Wie erklären sich die einzelnen Funktionen von selbst?

Transparenz

- Inwiefern ist der Effekt von Aktionen transparent?

Erlernbarkeit

- Welche Probleme hatten Sie während der Einarbeitungsphase?
- Inwiefern kann die Software durch Ausprobieren erkundet werden?

Nutzerführung

- Wie nützlich sind diese Erklärungen oder Beschreibungen?

Attraktivität

- Inwiefern empfinden Sie die Software als hochwertig?
- Welchen Wert hat die Software für Sie?
- Inwiefern ist die Software Ihrer Meinung nach professionell?
- Inwiefern finden Sie die Software optisch ansprechend?

Innovativität

- Inwiefern finden Sie die Software neuartig, innovativ?

Zufriedenheit

- In welchem Maß sind Sie mit der Software zufrieden ?
- Was macht diese Software benutzerfreundlich?

Stressfreiheit

- Wie frustrierend ist der Einsatz der Software?

Zusätzlich aus den ursprünglichen Fragen

- Wie unterstützt die Visualisierung die Erledigung Ihrer Aufgabe?
- Inwiefern ist die dargestellte Information verständlich?

Diese Fragen wurden in einem Leitfaden in Vorbereitung auf das Interview strukturiert gegliedert.

4.3. Auswahl des Ortes

Der Ort der Durchführung sollte frei von Ablenkung sein und genügend Platz für die Durchführung bieten.

In Zeiten der Covid-19 Pandemie ist die Auswahl des Ortes keine leichte Aufgabe, da der normale Publikumsverkehr vor Ort fehlt. Deshalb wurden mittels einem Flyer, welcher in den Vorlesungen

gezeigt oder per E-Mail verschickt wurde, die Probanden akquiriert. Durch diese Auswahl ist ein besonderes Maß an Flexibilität gefragt, sodass einige Probanden mit den Materialien besucht und mit anderen ein Termin direkt an der Universität Würzburg vereinbart wurde.

4.4. Protokollierungstechnik

Bei der Befragung wurde das Gespräch und zusätzlich ein Screenshot des Tablet-Bildschirms aufgezeichnet, um auftretende Probleme direkt zu protokollieren. Auf Videomitschnitte wurde verzichtet, jedoch wurden Notizen während der Experimentierphase gemacht.

5. Technische Umsetzung

Zur technischen Umsetzung werden in diesem Abschnitt nur Eckpunkte angegeben, da eine genauere Darstellung der Vorgänge zu umfangreich wäre.

Wie bereits in der Einleitung erwähnt, bringt die Technologie AR noch einige Einschränkungen mit sich. Aktuell größtes Problem ist eine schnelle und stabile Erkennung der Targets, welche die Grundfläche im Raum definieren und die vorliegende Lernumgebung identifizieren. Es ist jedoch davon auszugehen, dass sich diese Problematik bald lösen lässt, da die Entwicklung von immer präziseren Kameraobjektiven fortschreitet und auf Basis der Software Ansätze von Objekterkennung im Raum stehen.

5.1. Software

Für die Entwicklung der Applikationen werden im Wesentlichen drei verschiedene Programme genutzt: Unity3D ist eine Entwicklungsumgebung für 3D-Spiele. Die Basis bildet eine unendliche Ebene, deren Orientierung durch ein Target klar definiert wird. Auf diese Ebene können im Raum Objekte, zweidimensionaler oder dreidimensionaler Natur eingebunden werden. Mittels C#-Scripts können die Abhängigkeiten zueinander festgelegt werden. Zusätzlich übernimmt Unity die Kompilierung der App. Dabei können sowohl Android-Programmpakete (APK) als auch iOS App Store Packages (ipa) erzeugt werden.

Vuforia arbeitet dicht mit Unity zusammen. Dieses Tool analysiert das vom Tablet erhaltene Kamerabild und sucht nach den zuvor definierten Zielen oder auch Targets. Hat Vuforia dieses Target herausgefiltert, ist an dieser Stelle die Grundebene für die in Unity verwendete Orientierung gelegt. Einmal erkannt, kann nun das Tablet frei im Raum bewegt werden und die Skalierung der Ansicht passt sich der Entfernung zum Target an.

Blender wird dazu genutzt, um die Vorauswahl der 3D-Objekte in Unity zu erweitern. Mit diesem Programm ist es möglich filigranere Objekte vorher zu erstellen und diese dann direkt in Unity einbinden zu können.

Alle Programme benötigen eine Einarbeitungsphase und sind nicht ohne weiteres sofort zu bedienen.

5.2. Hardware

Die genutzte Hardware ist per se erst einmal unabhängig von der Applikation an sich. Es kann jedoch vorkommen, dass ältere Geräte mit der Bewältigung der Daten teilweise überfordert sind und somit ein reibungsloser Ablauf nicht garantiert werden kann. Zum anderen muss man sich auch nach den späteren örtlichen Begebenheiten richten. Somit werden die entwickelten Apps hauptsächlich für Tablets optimiert, da durch den DigitalPakt Schule auch davon auszugehen ist, dass Klassensätze von Tablets an den Schulen häufiger anzutreffen sind. Eine Nutzung von Smartphones oder AR-Brillen, falls vorhanden, ist jedoch nicht ausgeschlossen.

5.3. Beispiel

Im Folgenden wird die App Magnetfeldlinien der ersten Station vorgestellt.

Im klassischen Schulunterricht kennt man den Ver-

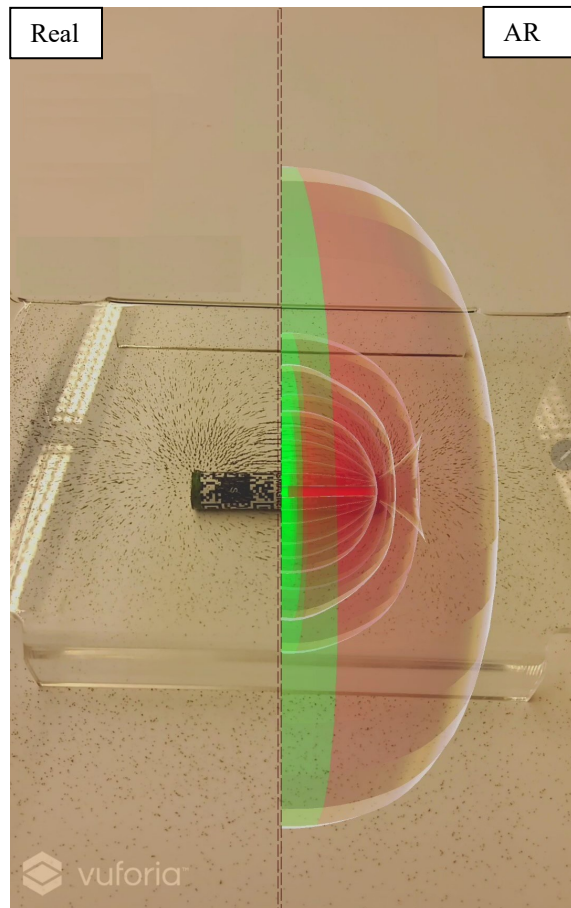


Abb.4: Augmentiertes Realexperiment

such, bei dem mit Eisenspänen auf einer Ebene oberhalb eines Magneten das magnetische Feld sichtbar wird. Diese Darstellung ist jedoch nur zweidimensional. Das magnetische Feld hingegen ist in der Realität dreidimensional und raumfüllend.

Mit AR ist es nun möglich dieses Feld digital zu augmentieren (erweitern) (vgl. Abb.4). In der Abbildung ist zu erkennen, dass unter dem Plexiglastischen ein Magnet liegt, dessen Pole mit einem Target versehen sind. Anhand dieses Targets erkennt Vuf-

ria das vorliegende Experiment und gibt diese Information der App weiter. Daraufhin wird auf Grundlage der gefundenen Ebene das 3D-Magnetfeld auf dem Tablet projiziert. Einmal erkannt ist es, wie schon erwähnt, nun möglich sich das Feld aus unterschiedlichen Richtungen anzuschauen. In der App ist es zusätzlich möglich, die 2D-Ansicht dazuschalten, sodass dem Anwender ein Vergleich zwischen dem Realexperiment auf Ebene des Tisch und dem dreidimensionalen ermöglicht wird.

6. Ablauf der Evaluierung

Wie schon bei den praktischen Vorüberlegungen erklärt, wird es verschiedene Orte und auch Gruppen von Probanden bei der Evaluierung geben. Das Zeitfenster jedoch beträgt bei allen ca. 45 Minuten und setzt sich ausfolgenden Abschnitten zusammen:

Einführung:

Zu Beginn der Datenerhebung erhalten die Probanden eine Einverständniserklärung zur Aufnahme ihrer persönlichen Daten und einer Tonaufnahme des Interviews für die darauffolgende Transkription. Anschließend erhalten die Probanden einen Fragebogen zu ihrer interaktionsbezogenen Technikaffinität (Affinity for Technology Interaction (ATI) Scale)[11]. Durch die Erhebung dieser Affinität, soll in einer Auswertung die Hypothese überprüft werden, ob eine höhere Technikaffinität die Arbeit der Probanden mit den Applikationen vereinfacht oder zu schnelleren individuellen Lösungen bei Problemen führt.

Danach erhalten die Probanden ein kurzes Erklärvideo, welches den Ablauf des Experiments und dessen fachliche Hintergründe beleuchtet. Mit diesem Video sollen auch fachfremde Probanden die Möglichkeit haben sich mit der Thematik Magnetismus vertraut zu machen und ihr Wissen, falls vorhanden, zu reaktivieren. Zusätzlich soll der Fokus auf den bevorstehenden Versuch gelegt werden.

Für die Beantwortung des ATI-Scale und das Abspielen des Videos werden ca. 5 Minuten gebraucht.

Arbeitsphase:

In der darauffolgenden Arbeitsphase bearbeiten die Probanden eine Station mit den dafür gestellten Aufgaben. Zur Beantwortung und Überprüfung ihrer Antworten werden die Probanden darauf aufmerksam gemacht die entsprechende Applikation zu nutzen. Die gestellten Aufgaben entsprechen dem Niveau der 9. Klassen, sodass in den veranschlagten 15 Minuten dieser Phase genug Zeit bleibt, dass die Probanden sich zu Beginn mit der App vertraut machen können. Dabei wird nur eingegriffen, wenn die Targets verdeckt sind und somit eine Erkennung für die Applikation unmöglich ist.

System Usability Score:

Nach der Arbeitsphase erhalten die Probanden den quantitativen System Usability Score (SUS) von John Brooke [12]. Dieser erfasst mit 10 Items die Usability. Diese Items lassen aber keine offenen

Antworten zu. Deshalb werden in der Auswertung einzelne Items mit den Antworten der qualitativen Umfrage ins Verhältnis gesetzt, um abwägen zu können, warum sie diese Entscheidung im SUS getroffen haben. Aufgrund der kurzen Ausfülldauer werden für diesen Teil maximal 5 Minuten veranschlagt. Mit dem Ergebnis des SUS soll eine Tendenz der Benutzerfreundlichkeit festgestellt werden.

Qualitatives Usability Konzept:

Abschließend wird das Interview durchgeführt. Mit den 19 Fragen sollen Aspekte aufgegriffen werden, welche durch den Kurztest nicht erfasst werden können. Durch die persönliche Befragung kann individuell auf die Probleme der Tester mit der App eingegangen werden. Nach Abschluss des Interviews ist die Datenerhebung abgeschlossen. Für diesen Teil werden ca. 20 Minuten eingeplant.

7. Erste Ergebnisse und Ausblick

Erste Befragungen wurden bereits durchgeführt. Dabei zeigt sich, dass die Probanden meist intuitiv richtig mit der App umgehen. Berührungsängste mit dem Tablet und der App sind nicht zu sehen. Es wird eher nach dem Prinzip „Trial and Error“ vorgegangen. Dabei fällt auf, dass die Erkennung teilweise durch Spiegelungen von Zimmerlampe oder Sonnenlicht erschwert wird. Dies zeigt sich auch in den Antworten. Dabei geben die Probanden aber auch von sich aus Lösungen, wie dieses Problem verringert werden kann. Programmiertechnische oder darstellende Probleme werden auch genannt. Die programmiertechnischen Probleme beziehen sich dabei auf Abfragen innerhalb der App, welche von der logischen Reihenfolge noch umstrukturiert werden müssen. Die darstellenden Probleme ergaben sich meist durch falsche Skalierung der Ansicht, sodass Teile der Augmentierung außerhalb des Bildschirmbereichs des Tablets lagen.

Diese Probleme können aber schnell behoben werden und sind den Entwicklern bislang nicht wirklich aufgefallen, da diese genau wussten, wie sie das Tablet zu halten oder zu benutzen haben.

Insgesamt ist jedoch eine positive Resonanz auf die App zu verzeichnen, welche durch hohe Innovativität und intuitives Benutzen begründet wird. Aussagen wie, „so etwas hätte ich früher gebraucht“ oder „Ich würde sie gerne jetzt schon für meinen Unterricht benutzen“ wurden getätigt.

Auch wenn noch nicht alle Befragungen absolviert sind, lässt sich jetzt schon feststellen, dass die Bewertung der App durch zufällige Probanden für die Entwicklung pädagogisch sinnvoller Applikationen unabdingbar ist.

8. Literaturverzeichnis

- [1] HUBIG, Stefanie ; BERG, Achim: *Schüler-Studie zur Digitalisierung der Bildung*. URL <https://www.bitkom.org/Presse/Presseinformation/Schueler-wuenschen-sich-digitale-Schulen>
- [2] NESTLER, Simon ; ARTINGER, Eva ; COSKUN, Tayfur ; YILDIRIM-KRANNIG, Yeliz ; SCHUMANN, Sandy ; MAEHLER, Mareike ; WUCHOLT, Fabian ; STROHSCHNEIDER, Stefan ; KLINKER, Gudrun: *Assessing qualitative usability in life-threatening, time-critical and unstable situations*. GMS Medizinische Informatik, Biometrie und Epidemiologie; 7(1):Doc01; ISSN 1860-9171 / GMS Medizinische Informatik, Biometrie und Epidemiologie; 7(1):Doc01; ISSN 1860-9171 (2011)
- [3] 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
- [4] BERG, Achim: *Kinder und Jugendliche in der digitalen Welt*. URL <https://www.bitkom.org/Presse/Presseinformation/Mit-10-Jahren-haben-die-meisten-Kinder-ein-eigenes-Smartphone>
- [5] DA SILVA, Manoela M. O. ; TEIXEIRA, João Marcelo X. N. ; CAVALCANTE, Patricia S. ; TEICHRIEB, Veronica: *Perspectives on how to evaluate augmented reality technology tools for education: a systematic review*. In: *Journal of the Brazilian Computer Society* 25 (2019), Nr. 1
- [6] SARODNICK, Florian ; BRAU, Henning: *Methoden der Usability Evaluation : Wissenschaftliche Grundlagen und praktische Anwendung*. 3., unveränderte Auflage. Bern : Hogrefe, 2016
- [7] STAATSINSTITUT FÜR SCHULQUALITÄT UND BILDUNGSFORSCHUNG: *LehrplanPLUS : Fachlehrplan - Gymnasium Physik*. URL <https://www.lehrplanplus.bayern.de/schulart/gymnasium/fach/physik/inhalt/fachlehrplaene-Überprüfungsdatum 2020-11-05>
- [8] 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 (GDCCP) (Hrsg.): *Naturwissenschaftlicher Unterricht und Lehrerbildung im Umbruch?* Online, 2021, S. 641–644
- [9] MAYRING, Philipp: *Einführung in die qualitative Sozialforschung : Eine Anleitung zu qualitativem Denken*. 6., überarbeitete Auflage. Weinheim, Basel : Beltz, 2016 (Pädagogik)
- [10] RUDOLPH, Carmen: *Evaluierung von Usability durch standardisierte Leitfadenterviews*. München, Technische Universität München, Fakultät für Informatik. Masterarbeit. 2011-04-18. URL <http://campar.in.tum.de/Students/MAQualitativ-eUsabilityConcept>
- [11] FRANKE, Thomas ; ATTIG, Christiane ; WESSEL, Daniel: *A Personal Resource for Technology Interaction: Development and Validation of the Affinity for Technology Interaction (ATI) Scale*. In: *International Journal of Human-Computer Interaction* 35 (2019), Nr. 6, S. 456–467
- [12] BROOKE, John: *SUS - A quick and dirty usability scale*. In: JORDAN, Patrick W. (Hrsg.): *Usability evaluation in industry : Based on the International Seminar Usability Evaluation in Industry that was held at Eindhoven, The Netherlands, on 14 and 15 September 1994*. London : Taylor & Francis, 1996, S. 189–194

Förderung

Das diesem Artikel zugrundeliegende Vorhaben wird im Rahmen des Projekts „Die Zukunft des MINT-Lernens“ von der Telekom-Stiftung gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Augmented Reality-Experimente zur Wellenphysik

Albert Teichrew*, Marlon Grasse*

*Institut für Didaktik der Physik, Goethe-Universität Frankfurt am Main
teichrew@physik.uni-frankfurt.de

Kurzfassung

Mit dem *GeoGebra 3D Rechner* lassen sich Visualisierungen abstrakter Strukturen modellieren und mithilfe der App auf einem Smartphone oder Tablet als virtuelle Objekte in den realen Raum platzieren. Damit wird eine Erweiterung realer Experimente mit idealen Darstellungen ermöglicht, die als Augmented Reality-Experimente bezeichnet werden. Virtuelle Bestandteile sollen reale Strukturen dort erweitern, wo nicht beobachtbare Elemente zum Verständnis des Experiments beitragen und den Vergleich von Modell und Realität erleichtern. Für Experimente mit Mikrowellen wurden vier Modelle konstruiert, die in der Lage sind, die Versuchsaufbauten nachzuempfinden und solche Wellenphänomene wie Reflexion, Beugung und Interferenz sichtbar zu machen. Die Messwerte aus dem Experiment können direkt mit dem Modell verglichen werden, um die in der Theorie entwickelten Annahmen zu überprüfen. In dem Beitrag werden Entwicklung und ein möglicher Unterrichtseinsatz von vier Augmented Reality-Experimenten zur Wellenphysik vorgestellt.

1. Hintergrund

Die Durchführung von Experimenten ist nicht nur eine verbreitete Methode des naturwissenschaftlichen Unterrichts, sondern ein wesentlicher Schritt der Erkenntnisgewinnung. Naturwissenschaftliches Wissen stützt sich zwar auf empirische Belege, der Weg dorthin ist allerdings subjektiv und theoriegeladen. Hinter dem Experiment als Frage an die Natur steht eine Frage an das Modell, mit dem die Natur im Vorfeld rekonstruiert wurde. Naturwissenschaftlicher Unterricht sollte deshalb ein Lernen mit Modellen und Experimenten in einem gemeinsamen Problemlöseprozess ermöglichen (vgl. Teichrew & Erb, 2020a).

Augmented Reality (dt. erweiterte Realität, AR) wird definiert als eine Echtzeitansicht einer physischen realen Umgebung, die durch Hinzufügen virtueller computergenerierter Informationen erweitert wurde (Carmigniani & Furt, 2011, S. 3). Technisch lässt sich AR dadurch realisieren, dass entweder der von der Kamera eingefangene Bildausschnitt auf einem Bildschirm oder das Sichtfenster einer Brille mit virtuellen Objekten überlagert wird. In den meisten Fällen wird ein immersiver Effekt angestrebt, bei dem die virtuellen Objekte bei Veränderung der Position des mobilen Geräts oder der Brille an der zugewiesenen Stelle relativ zum realen Raum verbleiben. Reale Situationen können dadurch um virtuelle Informationen erweitert werden, die einen erkennbaren Bezug zur Realität enthalten und abstrakte Konzepte damit leichter verständlich werden (Bloxham, 2014). Meta-Analysen haben gezeigt, dass mit AR das Lernen in verschiedenen Inhaltsbereichen (Garzón & Acevedo, 2019) und mit verschiedenen Unterrichtsmethoden verbessert werden kann (Garzón, Kinshuk, Baldiris, Gutiérrez & Pavón, 2020).

1.1. AR-Experimente

Für das Lehren und Lernen der Physik verfolgen wir das Ziel, Experimente im realen Raum mithilfe von AR mit virtuellen Objekten zu erweitern, die zum Verständnis des Experiments beitragen (vgl. Teichrew & Erb, 2020b, 2020c). Für ein AR-Experiment werden virtuelle Objekte in Form von dynamischen Modellen verwendet, die auf abstrakten naturwissenschaftlichen Ideen und Konzepten basieren (vgl. Teichrew & Erb, 2020d). Sie sollen virtuelle Inhalte vermitteln, die dabei helfen, das Zustandekommen realer Inhalte in Form von Beobachtungen und Messwerten nachvollziehen zu können (vgl. Teichrew & Erb, 2020e). In diesem Beitrag werden AR-Experimente vorgestellt, in denen Phänomene der Wellenphysik wie Reflexion, Beugung und Interferenz durch animierte Visualisierungen sichtbar gemacht werden. Sie sollen Lernende unterstützen, die Experimente und einhergehenden Phänomene auf ein physikalisch angemessenes Wellenkonzept zurückzuführen.

1.2. Schülervorstellungen zur Wellenphysik

Sowohl bei Schüler*innen als auch bei Studierenden verbleiben nach der Behandlung von Wellen alternative Vorstellungen. Hopf und Wilhelm (2018) zählen die in mehreren Studien erfassten Lernschwierigkeiten auf (vgl. Caleon & Subramaniam, 2010; Coetzee & Imenda, 2012; Maurines, 2010; Mendel, Hemberger & Bresges, 2013; Wittmann, 2002). Mit einer entsprechenden didaktischen Strukturierung soll der Einsatz der entwickelten Modelle den folgenden Schülervorstellungen begegnen (didaktische Rekonstruktion nach Kattmann, Duit, Gropengießer & Komorek, 1997):

Eine wesentliche Schülervorstellung im Bereich der Wellenlehre ist, dass Wellen als materielle Objekte wahrgenommen werden. Vor allem in Bezug auf Licht ist die Betonung von Wellen als mathematisches Hilfsmittel, um die Ausbreitung elektromagnetischer Strahlung zu beschreiben, wichtig. Die entwickelten Wellendarstellungen basieren auf mathematischen Gleichungen, die an die reale Situation bis zu einer gewissen Grenze angepasst werden. Ihre Rolle als Hilfsmittel zur Deutung experimenteller Ergebnisse wird dadurch besonders deutlich.

Beim Phänomen der Beugung wird oft argumentiert, dass der mittlere Teil eines Lichtbündels unverändert durch die Mitte geht und nur die auf den Rand treffenden Lichtstrahlen abgelenkt werden. Dieser Vorstellung kann durch die konsequente Vermeidung des Strahlenbegriffs und der Visualisierung von Elementarwellen begegnet werden.

Da zur Interferenz oft nur die beiden Extremfälle der völligen Auslöschung, oder wenn sich zwei gleiche Wellenberge zu einem doppelten Wellenberg überlagern, visualisiert werden, fällt es Lernenden schwer zu verstehen, dass sich die Auslenkungen der beiden Wellenzüge überlagern und man durch Addition an jedem Ort die resultierende Amplitude bestimmen kann. Die gewählten Wellendarstellungen können animiert werden, sodass die Überlagerung zu verschiedenen Zeitpunkten und an verschiedenen Orten beobachtet werden kann.

2. Entwicklung

Um die Ausbreitung eines eng begrenzten Bündels elektromagnetischer Wellen mathematisch zu beschreiben, wird der Ansatz einer harmonischen ebenen Welle gewählt, die sich in x -Richtung ausbreitet. Der orts- und zeitabhängige Betrag der elektrischen Feldstärke

$$E(x, t) = E_0 \sin\left(2\pi f \left(\frac{x}{c} - t\right) + \varphi\right) \quad \{1\}$$

schwingt in z -Richtung mit der Amplitude E_0 , einer Frequenz $f = \frac{1}{T}$, der Ausbreitungsgeschwindigkeit $c = \lambda \cdot f$ und einer Phasenverschiebung φ zum Zeitpunkt $t = 0$. Da für die untersuchten Phänomene lediglich das Vorhandensein einer Schwingung an bestimmten Stellen bzw. die Wellenausbreitung in bestimmte Richtungen eine Rolle spielt, wird E_0 auf 1 gesetzt. Um die Phänomene in einer für AR geeigneten Größenordnung beobachten zu können, wird in den Experimenten mit Mikrowellen gearbeitet. Als Wellenlänge λ kann deshalb ein Wert im cm-Bereich vorgegeben werden. Die Periodendauer T wird absichtlich so gewählt, dass eine sichtbare Schwingung bzw. Wellenausbreitung visualisiert wird. Frequenz und Ausbreitungsgeschwindigkeit der modellierten Wellen entsprechen damit nicht der Wirklichkeit. Gemäß den von Stachowiak (1973) formulierten Merkmalen von Modellen betrachten wir somit

Abbildungen, die pragmatische Verkürzungen enthalten. Bei genauerer Betrachtung treten in der Lehre solche absichtlichen Abweichungen zwischen Modell und Original an vielen Stellen auf und müssen im Lernprozess explizit behandelt werden.

Gemäß dem Huygensschen Prinzip kann jeder Punkt einer Wellenfront als Ausgangspunkt einer Elementarwelle betrachtet werden. Als Elementarwellen werden sich kreisförmig in der xy -Ebene ausbreitende Wellen modelliert:

$$E(x, y, t) = E_0 \sin\left(2\pi f \left(\frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{c} - t\right) + \varphi\right). \quad \{2\}$$

Ebene und kreisförmige Wellen sowie ihre Überlagerung dienen in den AR-Experimenten als virtuelle Objekte, die dabei helfen sollen, das Auftreten realer Inhalte zu verstehen (s. Tab.1).

| | Objekte | Inhalte |
|-----------------|---|--|
| real | Mikrowellensender, Empfänger und Hindernis | empfangene Signale als Zeigerauslässe am Messgerät |
| virtuell | ebene und kreisförmige Wellen sowie ihre Überlagerung | Schwingungen an bestimmten Stellen und Wellenausbreitung in bestimmte Richtungen |

Tab.1: Aufzählung von realen und virtuellen Objekten und Inhalten von AR-Experimenten zur Wellenphysik

2.1. Modelle

Es wurden vier Modelle mit dem *GeoGebra 3D Rechner* entwickelt (<https://www.geogebra.org/3d>). Für die Visualisierung der Wellen nach {1} und {2} wird der GeoGebra-Befehl *Oberfläche* verwendet. Er erstellt für einen gegebenen x -, y - und z -Ausdruck eine Fläche in 3D (s. z.B. Abb.1), indem zwei Parametervariablen u und v in jeweils gegebenen Intervallen verwendet werden (s. z.B. Abb.2).

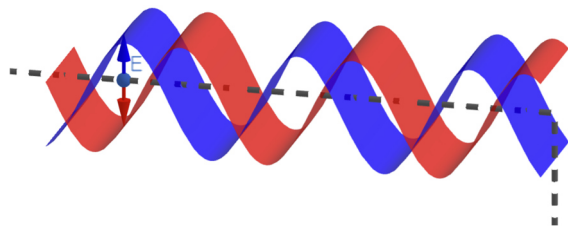


Abb.1: Ausschnitt der 3D Grafik-Ansicht des Modells zu stehenden Wellen

In allen Modellen nimmt die Variable *Zeit* Werte zwischen 0 und T ein. Mit der Play-Taste des zugehörigen Schiebereglers werden die Werte schrittweise abgefahren, sodass aufgrund der verwendeten Werte eine Animation der Wellenbewegung beobachtet werden kann.

Fläche

$$\text{Einlaufende} = \text{Oberfläche} \left(u, v, \sin \left(2 \pi f \left(\frac{u - \text{Ende}}{c} - \text{Zeit} \right) \right) + \text{Höhe}, u, \text{Anfang}, \text{Ende}, v, -\frac{\text{Breite}}{2}, \frac{\text{Breite}}{2} \right)$$

$$\rightarrow \left(\sin \left(2 \pi \frac{1}{3} \left(\frac{u - 24}{1} - 1.98 \right) \right) + 10 \right)$$

$$\text{Reflektierte} = \text{Oberfläche} \left(u, v, \sin \left(2 \pi f \left(\frac{-(u - \text{Ende})}{c} - \text{Zeit} \right) + \pi \right) + \text{Höhe}, u, \text{Anfang}, \text{Ende}, v, -\frac{\text{Breite}}{2}, \frac{\text{Breite}}{2} \right)$$

$$\rightarrow \left(\sin \left(2 \pi \frac{1}{3} \left(\frac{-(u - 24)}{1} - 1.98 \right) + \pi \right) + 10 \right)$$

Abb.2: Ausschnitt der Algebra-Ansicht des Modells zu stehenden Wellen

Der Schieberegler *Höhe* hebt die modellierten Flächen aus der xy-Ebene heraus, um sie später auf der Höhe des Senders einblenden zu können. Die Schieberegler *Anfang*, *Ende* und *Breite* grenzen die modellierten Flächen so ein, dass sie den Dimensionen der Experimente entsprechen. Außerdem kommt der *GeoGebra 3D Rechner* bei zu großen Flächen an seine Grenzen, sodass die Animation nicht mehr gleichmäßig abläuft.

Zusätzlich werden Gerüste aus grauen gestrichelten Strecken und die Position des Senders konstruiert, was die Anpassung der Modelle an die Experimentieranordnung in AR erleichtert. Mit dem Schieberegler *Ansicht* kann gewählt werden, welche modellierten Wellen gerade sichtbar sind, wobei die folgende Farbcodierung verwendet wird:

- Einzeln betrachtete Wellenanteile in Rot und Blau.
- Überlagerung von mehreren Wellenanteilen in Violett.
- Quadrat der Amplitude als Intensität in Orange.

Die vier Modelle können im Browser als GeoGebra-Buch nacheinander untersucht und angepasst werden: <https://www.geogebra.org/m/mpgscgp8>

- a) Im Modell *Stehende Wellen* wird in Rot eine ebene Welle als einlaufende Welle modelliert, die sich in x-Richtung ausbreitet. Da bei der Reflexion einer elektromagnetischen Welle an einer Metallplatte sich das elektrische Feld wie eine Seilwelle mit einem festen Ende verhält, wird in Blau eine in entgegengesetzter Richtung verlaufende Welle mit einem Phasensprung von π gerechnet. In Violett wird die Summe aus beiden Wellen als Überlagerung dargestellt. Die Überlagerung aus einlaufender und reflektierter Welle führt zur Ausbildung von Wellenknoten, an denen die Amplitude immer Null ist, und Wellenbäuchen, an denen die Amplitude zwischen einem Maximum und Minimum hin- und herschwingt. Der Punkt E kann verschoben werden und zeigt

auf verschiedenen Positionen die Amplituden der angezeigten Wellen als Vektorpfeil an.

- b) Im Modell *Beugung an einer Kante* wird in Rot eine ebene Welle modelliert, die sich in x-Richtung entlang einer Kante ausbreitet. Zusätzlich wird eine kreisförmige Welle direkt an der Kante gesetzt (s. Ew_1 in Abb.3), die eine Ausbreitung des Signals nach links hinter das Hindernis andeutet. Allerdings müssen weitere Elementarwellen innerhalb der Wellenfront betrachtet werden, die sich hinter das Hindernis ausbreiten. In Blau wird deshalb stellvertretend eine Kreiswelle modelliert, deren Ursprung sich eine halbe Wellenlänge rechts neben der Kante befindet (s. Ew_n in Abb.3). In Violett wird hinter dem Hindernis die Überlagerung der beiden Elementarwellen dargestellt. Die Überlagerung zeigt, dass sich die Welle zwar hinter das Hindernis ausbreitet, ihre Amplitude aber in der Nähe des Hindernisses gegen Null geht.

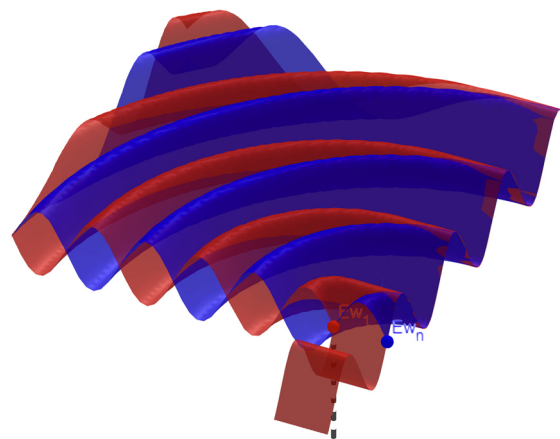


Abb.3: Ausschnitt der 3D Grafik-Ansicht des Modells zur Beugung an einer Kante

- c) Im Modell *Interferenz an Acrylblöcken* wird in Rot links von der Mitte eine ebene Welle und auf der rechten Seite eine kreisförmige Welle modelliert. In Blau wird rechts von der Mitte eine ebene

Welle und auf der linken Seite eine kreisförmige Welle modelliert (s. Abb.4). Für beiden Seiten werden Phasenverschiebungen aufgrund der Änderung der optischen Weglänge berechnet, die dadurch entsteht, dass auf die linke oder rechte Seite Acrylblöcke unterschiedlicher Länge gesetzt werden, die die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Wellen verringern. Auf beiden Seiten überlagern sich demnach ebene Wellen der einen Seite und kreisförmige Wellen der anderen Seite, die sich aufgrund von Beugung in den anderen Bereich ausbreiten. Wenn beide Seiten einen Gangunterschied von einer halben Wellenlänge bzw. eine Phasendifferenz von π aufweisen, dann überlagern sich in der Mitte Wellenberge der einen Seite mit Wellentälern der anderen Seite, sodass sich beide Teile gegenseitig aufheben. In Violett kann anhand der berechneten Überlagerung nachvollzogen werden, dass das immer dann der Fall ist, wenn sich eine Seite um eine Blocklänge von 3 cm von der anderen unterscheidet: Wird nämlich für Acrylglas und Mikrowellenstrahlung ein Brechungsindex n von 1,5 angenommen, gilt für die optische Weglänge Λ eines 3 cm langen Blocks: $\Lambda = l \cdot n = 3 \text{ cm} \cdot 1,5 = 4,5 \text{ cm}$. Die optische Weglängendifferenz $\Delta\Lambda$ von 1,5 cm führt bei einer Wellenlänge λ von 3 cm zu einer Phasendifferenz $\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \Delta\Lambda = \frac{2\pi}{3 \text{ cm}} \cdot 1,5 \text{ cm} = \pi$.

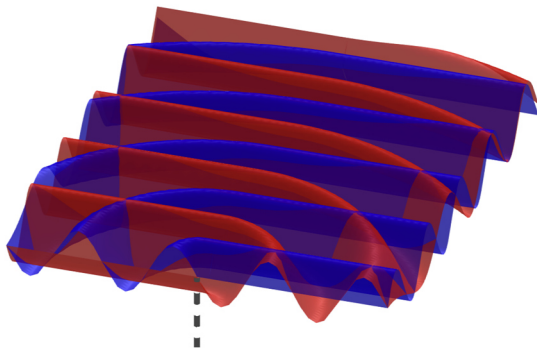


Abb.4: Ausschnitt der 3D Grafik-Ansicht des Modells zur Interferenz an Acrylblöcken

d) Im Modell *Interferenz am Doppelspalt* werden in Rot und Blau zwei kreisförmige Wellen mit einem einstellbaren Abstand modelliert. In Violett wird die Summe aus beiden Wellen als Überlagerung dargestellt. An gewissen Orten treffen zu jedem Zeitpunkt Wellenberge auf Wellentäler, sodass die Amplitude dort null ist. Dazwischen breiten sich Wellen in verschiedene Richtungen aus. In Orange wird das Quadrat der Amplitude berechnet. Diese Fläche enthält keine negativen Anteile und zeigt die Intensität des Signals an verschiedenen Stellen an. In dieser Ansicht kann der Punkt E auf Stellen mit und ohne sichtbare Intensität um die orangene Fläche im Kreis bewegt werden.

2.2. Experimente

Für die Überprüfung der Modelle im Experiment wird der Mikrowellensatz von *3B Scientific* (2017) mit

einigen ergänzenden Materialien verwendet (z.B. mehrere Acrylblöcke mit einer 3 cm langen Seite). Der Mikrowellensender strahlt ein Bündel elektromagnetischer Wellen mit einer Frequenz von 9,4 GHz bzw. einer Wellenlänge von ca. 3 cm ab. Das Signal wird von einem Empfänger in Form einer Sonde oder Hornantenne empfangen und als Spannung am Messgerät ausgegeben. In den vier Telexperimenten werden verschiedene Objekte als Hindernisse vor den Sender gestellt (s. Tab.2):

| reales Hindernis | modellierte Wellen |
|--|--|
| a) mittig angeordnete Metallplatte als Reflektor führt zu stehenden Wellen | <ul style="list-style-type: none"> • einlaufende ebene Welle • reflektierte ebene Welle • Überlagerung |
| b) versetzte Metallplatte als Beugungskante | <ul style="list-style-type: none"> • ebene und kreisförmige Welle an der Kante • kreisförmige Welle neben der Kante • Überlagerung |
| c) Acrylblöcke zur Erzeugung von Gangunterschieden und Interferenz | <ul style="list-style-type: none"> • ebene Welle links und kreisförmige Welle rechts • ebene Welle rechts und kreisförmige Welle links • Überlagerung |
| d) Doppelspalt aus Metallplatten zur Vermessung von Interferenzmustern | <ul style="list-style-type: none"> • kreisförmige Welle links • kreisförmige Welle rechts • Überlagerung • Intensität |

Tab.2: Gegenüberstellung der realen Hindernisse in den vier Telexperimenten a) bis d) und der modellierten Wellen in ihren Farben

a) Im ersten Telexperiment zu stehenden Wellen werden an manchen Orten zwischen Sender und Reflektor Signale mit der Sonde empfangen und an manchen nicht. Das ist ein Hinweis darauf, dass elektromagnetische Strahlung reflektiert wird und es zur Ausbildung von Wellenbäuchen und -knoten kommt.

b) Im Experiment zur Beugung an einer Kante kann der kontinuierliche Abfall der Signalstärke hinter einer links der Mitte platzierten Metallplatte gemessen werden. Dazu werden mit der Hornantenne Winkel von 0° bis 90° abgefahren. Demnach kann sich elektromagnetische Strahlung teilweise hinter ein Hindernis ausbreiten.

c) Im Experiment zur Interferenz an Acrylblöcken wird zunächst ein Block mit einer Länge von 3 cm links der Mitte vor den Sender gestellt, sodass kein Signal gemessen werden kann. Das Hinzufügen eines zweiten Blocks rechts der Mitte bringt das Signal wieder zurück, obwohl sich jetzt scheinbar mehr Hindernisse im „Strahlengang“ befinden. Damit kann gezeigt werden, dass Acrylglas zwar durchlässig für Mikrowellenstrahlung ist, jedoch wird die Ausbreitungsgeschwindigkeit

verlangsamt, sodass sich einzelne Wellenanteile mit einem Gangunterschied von einer halben Wellenlänge gegenseitig auslöschen können.

- d) Im Experiment zur Interferenz am Doppelspalt werden mehrere Intensitätsminima und -maxima an verschiedenen Stellen gemessen. Dazu werden mit der Hornantenne Winkel von -90° bis 90° abgefahren. Wenn elektromagnetische Strahlung auf Öffnungen in der Größenordnung der Wellenlänge gerichtet wird, findet anscheinend keine geradlinige Ausbreitung mehr statt, sondern eine Überlagerung von Wellenanteilen, die sich in alle Richtungen hinter das Hindernis ausbreiten.

3. Einsatz

Um die entwickelten Modelle als virtuelle Objekte direkt in die Experimente einzublenden, muss zunächst der *GeoGebra 3D Rechner* als App auf einem AR-fähigen Smartphone oder Tablet installiert werden. Über folgende Links oder entsprechende QR-Codes werden die Modelle in der App geöffnet:

- Stehende Wellen:
<https://www.geogebra.org/3d/v9cvhbd6>
- Beugung an einer Kante:
<https://www.geogebra.org/3d/jq8wx764>
- Interferenz an Acrylblöcken:
<https://www.geogebra.org/3d/fhgjfbwr>
- Interferenz am Doppelspalt:
<https://www.geogebra.org/3d/vjtcqnx>

Durch das Tippen in der 3D-Ansicht auf die AR-Taste unten rechts wird die Kamera eingeschaltet. Das Gerät sollte daraufhin etwas herumbewegt werden, sodass die Flächenerkennung stattfinden kann. Sobald auf eine Stelle der erkannten Fläche getippt wird, taucht das jeweilige Modell in der Kameraansicht auf und bleibt selbst bei Bewegung an dem zugewiesenen Ort. Es werden somit keine speziellen Marker oder passend dimensionierte Objekte für diese Art der AR benötigt. Das zieht allerdings auch die Aufgabe nach sich, das 3D-Objekt selbstständig im Raum anzuordnen. Mit zwei Fingern wird das Modell an die richtige Stelle bewegt, gedreht, größer oder kleiner gemacht (Pinch-to-Zoom). Es hat sich bewährt, Parameter des real aufgebauten Experiments wie Höhe des Senders und Abstand zum Hindernis auszumessen und noch vor dem Einblenden mit den Schiebereglern einzustellen (1 Längeneinheit im Modell entspricht 1 cm im Experiment). Das aktuelle Verhältnis wird im AR-Modus unten links angezeigt und kann durch Vergrößern oder Verkleinern des Modells auf 1:1 cm eingestellt werden.

Im besten Fall arbeitet eine Person am Modell und eine Person am Experiment. Alternativ kann das Mobilgerät an einem Stativ befestigt werden, sodass die Hände zum Experimentieren frei bleiben. Sobald die virtuellen und realen Objekte aneinander ausgerichtet wurden, kann mit dem Vergleich realer und virtueller Inhalte begonnen werden. In dem verlinkten

GeoGebra-Buch kann unter jedem Modell die Durchführung des AR-Experiments in einem kurzen Video betrachtet werden:

- a) Das AR-Experiment zu stehenden Wellen zeigt, dass die Orte der modellierten Bäuche und Knoten mit den Orten, an denen Signale gemessen oder nicht gemessen werden können, ungefähr übereinstimmen (s. Abb.5).

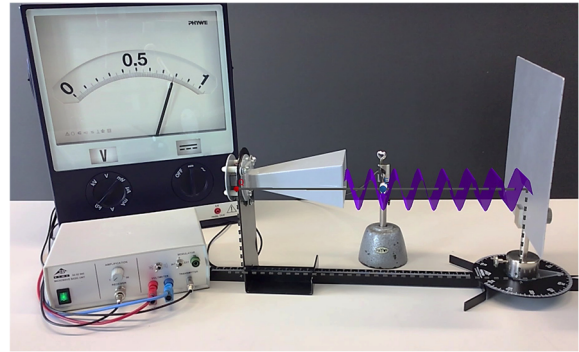


Abb.5: Bildschirmaufnahme während des AR-Experiments zu stehenden Wellen

- b) Das AR-Experiment zur Beugung zeigt, dass der Winkel, bei dem die Amplitude verschwindet, mit den Messungen ungefähr übereinstimmt (s. Abb.6).



Abb.6: Bildschirmaufnahme während des AR-Experiments zur Beugung an einer Kante

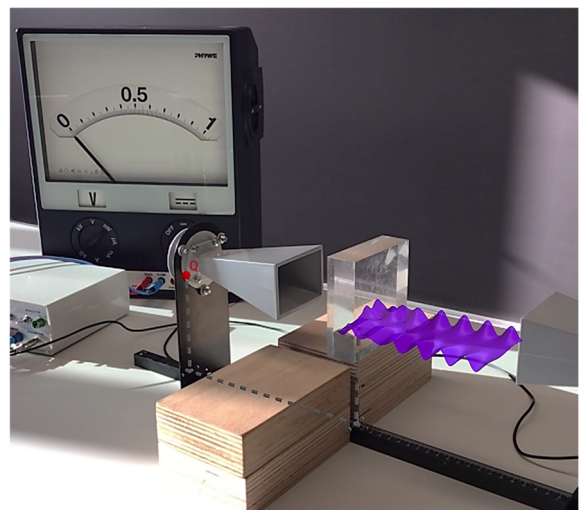


Abb.7: Bildschirmaufnahme während des AR-Experiments zur Interferenz an Acrylblöcken

- c) Das AR-Experiment zur Interferenz an Acrylblöcken zeigt, dass die gegenseitige Aufhebung der beiden Seiten bei den vorhergesagten Längenunterschieden der Blöcke in der Messung eintritt (s. Abb.7).
- d) Das AR-Experiment zur Interferenz am Doppelspalt zeigt, dass die Winkel, an denen Intensitätsminima und -maxima gemessen werden, mit den im Modell für den Punkt E eingestellten Winkeln ungefähr übereinstimmen (s. Abb.8).

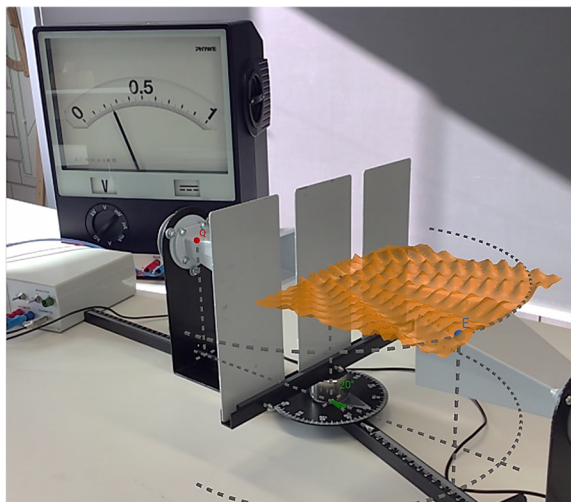


Abb.8: Bildschirmaufnahme während des AR-Experiments zur Interferenz am Doppelspalt

4. Diskussion

Der Vergleich von Modell und Experiment zeigt jeweils, dass die Modellergebnisse mit den Messungen übereinstimmen. Der Güte der Übereinstimmung hängt allerdings stark davon ab, wie gut die im Modell eingestellten Parameter zu der im Experiment tatsächlich vorliegenden Realsituation passen. Vor allem die korrekte Ausrichtung der modellierten Flächen kann im ersten Moment eine Herausforderung darstellen. Es ist hilfreich, den Versuchsaufbau von verschiedenen Seiten zu betrachten und zu kontrollieren, ob die Position stimmt. Die Stabilität der virtuellen Objekte im realen Raum nimmt jedoch mit der Zeit durch viel Bewegung des Mobilgeräts und Verschiebung von realen Objekten ab, die ursprünglich als Anhaltspunkte für die Flächenerkennung dienten. Als Lösung sollte die AR-Ansicht neugestartet werden, indem für kurze Zeit in die 3D-Ansicht gewechselt wird. Außerdem kann eine gemusterte Unterlage vor dem Aufbau platziert werden, die eine schnellere und stabilere Flächenerkennung im Vergleich zum weißen Tisch ermöglicht. Der Einstieg in AR mit GeoGebra kann im Übrigen auch durch einfachere AR-Experimente erfolgen (vgl. Teichrew & Erb, 2020d).

Beim Lernen mit Modellen und Experimenten in einem gemeinsamen Problemlöseprozess liegt das Ziel eines Experiments im Vergleich der Modellhypothesen mit den Beobachtungen während eines Experiments, was in AR-Experimenten besonders deutlich

geschieht. Dadurch sollen oft mühsam eingeführte physikalische Konzepte ihre Legitimation direkt am Phänomen erhalten und eine größere Bedeutung für die Lernenden erlangen.

Gleichzeit wird der Modellcharakter des in Form von mathematischen Gleichungen und ihren Visualisierungen vorliegenden physikalischen Wissens deutlich. Die Modelle erfüllen zwar ihren Zweck, haben allerdings auch ihre Grenzen, die es zu diskutieren gilt: Die berechnete und visualisierte Wellenbewegung entspricht weder in der Animationsgeschwindigkeit noch in der Form der realen, aber unsichtbaren elektromagnetischen Strahlung. Als mentale Hilfsmittel sind sie allerdings in der Lage, Vorhersagen für reale Prozesse zu liefern.

Es wurden noch weitere Idealisierungen aus pragmatischen Gründen vorgenommen: Die Anzahl und Position der modellierten Elementarwellen wurden so gewählt, dass destruktive Interferenz in den betrachteten Bereichen vorliegt. Nach dem Huygensschen Prinzip müsste jeder Punkt einer Wellenfront als Elementarwelle betrachtet werden. Des Weiteren wurde der Wert der mit Abstand abnehmenden Intensität nicht thematisiert. Schließlich kann fern der Strahlungsachse des Senders auch der Ansatz der ebenen Wellen hinterfragt werden, sodass die Breite der Visualisierung nicht zu groß gewählt werden sollte. Nichtsdestotrotz ermöglichen die vorgenommenen Idealisierungen und Elementarisierungen, das Wellenkonzept den Lernzielen entsprechend zu visualisieren und so den Schülervorstellungen der Lernenden zu begegnen.

Eine Untersuchung, ob der Lernprozess oder das konzeptuelle Verständnis zur Wellenphysik durch AR-Experimente stärker unterstützt wird als durch herkömmliche Experimente, steht noch aus. Allerdings konnten für andere Bereiche der Physik Hinweise gefunden werden, dass AR-Experimente Lernende dabei unterstützen, reale Phänomene mit physikalischen Modellvorstellungen zu verknüpfen (vgl. Weber & Teichrew, 2021).

5. Literatur

- 3B Scientific GmbH. (2017). Bedienungsanleitung - Mikrowellensatz 9,4 GHz (230 V, 50/60 Hz). Zugriff am 17.4.2021. Verfügbar unter: https://www.3bscientific.de/product-manual/1009950_1009951_DE1.pdf
- Bloxham, J. (2014). Augmented Reality Learning. *ITNOW*, 56(3), 44–45. Oxford Academic.
- Caleon, I. & Subramaniam, R. (2010). Development and Application of a Three-Tier Diagnostic Test to Assess Secondary Students' Understanding of Waves. *International Journal of Science Education*, 32(7), 939–961. <https://doi.org/10.1080/09500690902890130>
- Carmigniani, J. & Furht, B. (2011). Augmented Reality: An Overview. In B. Furht (Hrsg.),

- Handbook of Augmented Reality. New York, NY: Springer New York.
- Coetzee, A. & Imenda, S. N. (2012). Alternative conceptions held by first year physics students at a South African university of technology concerning interference and diffraction of waves. *Research in Higher Education Journal*, 16(1).
- Garzón, J. & Acevedo, J. (2019). Meta-analysis of the impact of Augmented Reality on students' learning gains. *Educational Research Review*, 27, 244–260.
<https://doi.org/10.1016/j.edurev.2019.04.001>
- Garzón, J., Kinshuk, Baldiris, S., Gutiérrez, J. & Pavón, J. (2020). How do pedagogical approaches affect the impact of augmented reality on education? A meta-analysis and research synthesis. *Educational Research Review*, 31, 100334.
<https://doi.org/10.1016/j.edurev.2020.100334>
- Hopf, M. & Wilhelm, T. (2018). Schülervorstellungen zu Feldern und Wellen. In H. Schecker, T. Wilhelm, M. Hopf & R. Duit (Hrsg.), *Schülervorstellungen und Physikunterricht* (S. 185–208). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
https://doi.org/10.1007/978-3-662-57270-2_9
- Kattmann, U., Duit, R., Gropengießer, H. & Komorek, M. (1997). Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion - Ein Rahmen für naturwissenschaftsdidaktische Forschung und Entwicklung. *ZfDN*, 3(3), 3–18.
- Maurines, L. (2010). Geometrical Reasoning in Wave Situations: The case of light diffraction and coherent illumination optical imaging. *International Journal of Science Education*, 32(14), 1895–1926.
<https://doi.org/10.1080/09500690903271389>
- Mendel, S., Hemberger, J. & Bresges, A. (2013). Schülervorstellungen zu Wellen - Konzeptwechsel mit Hilfe des hypothesengeleiteten Experimentierens. *PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*. Zugriff am 6.5.2021. Verfügbar unter:
<http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/464/604>
- 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. (2020c). Einsatz und Evaluation eines Augmented Reality-Experiments zur Optik. In S. Habig (Hrsg.), *Naturwissenschaftliche Kompetenzen in der Gesellschaft von morgen. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Wien 2019* (S. 987–990). Universität Duisburg-Essen. Zugriff am 9.3.2021. Verfügbar unter: <https://gdcp-ev.de/?p=3931>
- Teichrew, A. & Erb, R. (2020d). Augmented Reality-Experimente mit GeoGebra. *PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*. Zugriff am 15.4.2021. Verfügbar unter:
<http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/1043>
- Teichrew, A. & Erb, R. (2020e). Hauptsache Augmented? Klassifikation digitalisierter Experimentierumgebungen. In K. Kaspar, M. Becker-Mrotzek, S. Hofhues, J. König & D. Schmeinck (Hrsg.), *Bildung, Schule, Digitalisierung* (S. 421–426). Münster: Waxmann Verlag GmbH.
<https://doi.org/10.31244/9783830992462>
- Weber, J. & Teichrew, A. (2021). Akzeptanzbefragung zu Augmented Reality-Experimenten auf dem Spielplatz. *PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*.
- Wittmann, M. C. (2002). The object coordination class applied to wave pulses: Analysing student reasoning in wave physics. *International Journal of Science Education*, 24(1), 97–118.
<https://doi.org/10.1080/09500690110066944>

Danksagung

Wir danken für die Anregung, Visualisierungen für Mikrowellenexperimente zu entwickeln, Johanna Kerch und dem Göttinger Experimentallabor XLAB: <https://xlab-goettingen.de/physik/wellenphysik>

Quantitative Phänomene rund ums Fliegen

- Erfassung realer Flugdaten mit der App „Flightradar24“ -

Patrik Vogt*, Lutz Kasper†

*Institut für Lehrerfort- und -weiterbildung Mainz,

†Pädagogische Hochschule Schwäbisch Gmünd, Abteilung Physik

vogt@ilf.bildung-rp.de, lutz.kasper@ph-gmuend.de

Kurzfassung

Nicht erst die kontinuierlich steigende Flugintensität führt häufig dazu, dass man sich beim Blick zum Himmel fragt, wohin ein zu sehendes Flugzeug wohl fliegen wird. Ausgehend von der beobachteten Flugrichtung kann man zwar Vermutungen anstellen, aber selten überprüfen, ob diese tatsächlich korrekt sind. Die App „Flightradar24“ bietet die Möglichkeit, eine solche Vermutung zu verifizieren. Hierzu visiert man das Flugzeug mit dem Smartphone oder Tablet an und bekommt in das Live-Bild des Kameraobjektivs Augmented-Reality-Informationen des Flugs angezeigt. Auch aus physikalischer Sicht interessante Daten sind abrufbar, nämlich die momentane Höhe des Flugzeugs, seine verschiedenen Geschwindigkeiten, seine derzeitige Position, die vorliegende Windgeschwindigkeit sowie die Außentemperatur. Aus physikalischer Sicht entspricht dies einem Abrufen von Messdaten, sodass die Applikation auch für physikalische Experimente alternativ genutzt werden kann. Im Vortrag werden eine Reihe quantitativer Betrachtungen vorgestellt, welche auf den Daten eines aufgezeichneten Fluges von Frankfurt nach Barcelona beruhen. Diskutiert werden u. a. die Höhenabhängigkeit der Temperatur, die Beschleunigung beim Start sowie die Gleitzahl des Flugzeugs, eine aus aerodynamischer Sicht ganz entscheidende Kennzahl.

1. Einleitung

Nicht erst die kontinuierlich steigende Flugintensität führt häufig dazu, dass man sich beim Blick zum Himmel fragt, wohin ein zu sehendes Flugzeug wohl fliegen wird. Ausgehend von der beobachteten Flugrichtung kann man zwar Vermutungen anstellen, aber selten überprüfen, ob diese tatsächlich korrekt sind. Die App „Flightradar24“ bietet die Möglichkeit, eine solche Vermutung zu verifizieren [1]. Hierzu visiert man das Flugzeug mit dem Smartphone oder Tablet an und bekommt in das Live-Bild des Kameraobjektivs Augmented Reality-Informationen des Flugs angezeigt (Abb. 1): Start- und Zielort, Entfernung zum Beobachter, Airline, Typ und Foto des Flugzeugs. Durch Antippen des AR-Fensters werden detailliertere Informationen zu den Flugzeiten, zur zurückgelegten Strecke und die genaue Flugroute auf einer Karte dargestellt (Abb. 2, links). Auch aus physikalischer Sicht interessante Daten sind in der Vollversion abrufbar, nämlich die momentane Höhe des Flugzeugs, seine verschiedenen Geschwindigkeiten (vertikale [2] und horizontale Geschwindigkeit bezüglich der umgebenden Luft und des Bodens [3]), seine derzeitige Position (Breiten- und Längengrad), die vorliegende Windgeschwindigkeit sowie die Außentemperatur (Abb. 2, rechts). Aus physikalischer Sicht entspricht dies einem Abrufen von Messdaten, sodass die App auch für physikalische Experimente alternativ genutzt werden kann.

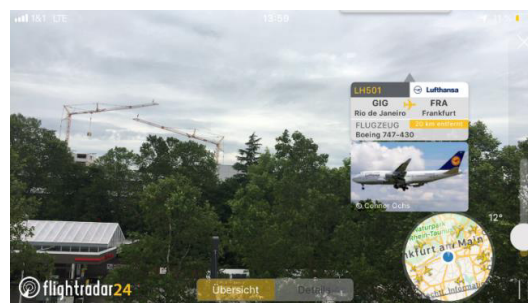


Abb. 1: Augmented Reality-Informationen eines anvisierten Flugzeugs; Screenshot der App „Flightradar24“ [1]

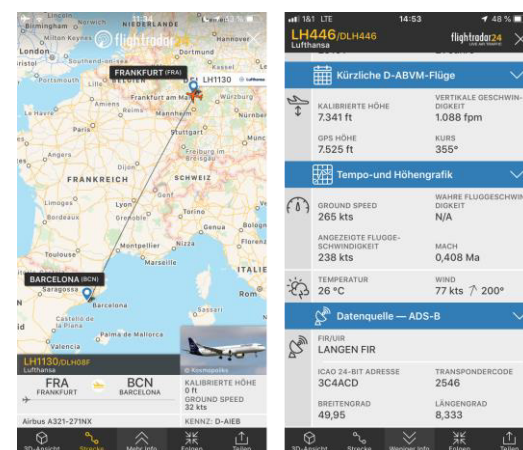


Abb. 2: Flugroute (links), physikalische Größen in Echtzeit (rechts); Screenshots der App „Flightradar24“ [1]

Die grundlegenden Funktionen sind bereits in der kostenfreien Version der App enthalten. Zum Beobachten der meisten physikalischen Daten ist jedoch ein Abonnement („Gold“; 4,49 €/Monat) notwendig. Möchte man nur einmalig eine Reihe physikalischer Betrachtungen anstellen, so kann das Abo bereits vor Ablauf der einwöchigen Testphase gekündigt werden.

Im vorliegenden Artikel wird eine Auswahl an Analysen vorgestellt, welche auf den Daten eines aufgezeichneten Fluges von Frankfurt nach Barcelona beruhen (Flugnummer: LH1130/DLH08F, Datum: 24.7.2019, Maschinentyp: Airbus A321-271NX). Diskutiert werden u. a. die Beschleunigung beim Start, die Höhenabhängigkeit der Temperatur sowie die Gleitzahl des Flugzeugs, eine aus aerodynamischer Sicht ganz entscheidende Kennzahl [4]. Thematisiert wird also nicht die Physik des Fliegens als solche, vielmehr werden physikalische Phänomene rund um das Fliegen in den Blick genommen, wie beispielsweise bereits in den Beiträgen [5] und [6] gesehen.

Die Abfolge der Betrachtungen entspricht dem typischen Verlauf einer Flugreise und bildet somit den roten Faden des Artikels.

2. Tipps zur Nutzung der App

Neben der Möglichkeit, Flugzeuge durch Anvisieren zu identifizieren, kann man durch Nutzung des Suchfeldes gezielt nach einem Flug oder nach einem Flughafen suchen. Ebenfalls ist es möglich, sich einen Flughafen auf der Karte anzeigen zu lassen, was beim Einsatz im Unterricht einen erheblichen Vorteil bietet:

- Es können Flugzeuge zur Analyse herangezogen werden, die sich unmittelbar vor dem Start befinden oder mit dem Sinkflug beginnen; lässt man sich beispielsweise den Frankfurter Flughafen auf der Karte anzeigen, so findet man tagsüber stets Flugzeuge, die sich gerade auf einer Startbahn befinden und sich somit für eine Live-Beobachtung im Unterricht bestens eignen.
- Möchte man weniger Zeit zur Datenerfassung investieren, kann ein Flug als Bildschirmvideo aufgezeichnet werden. Im Unterricht arbeiten die Lernenden dann mit dem Video statt mit der App und können dieses durch ständiges Vorspulen od. durch Einstellen einer größeren Abspielgeschwindigkeit rascher auswerten als dies bei einer Live-Beobachtung möglich wäre.

3. Theoretischer Hintergrund

3.1. Kräftebetrachtung beim stationären Gleitflug

Mit dem Begriff „Gleitflug“ bezeichnet man eine Flugphase, in welcher durch Umwandlung von potentieller in kinetische Energie der Vortrieb des Flugzeugs allein von der wirkenden Gewichtskraft verursacht wird. „Stationär“ ist er, nachdem sich ein Kräftegleichgewicht eingestellt hat und sich das Flugzeug

sodann mit konstanter Geschwindigkeit bewegt. Abb. 4 veranschaulicht die wirkenden Kräfte, die für sich betrachtet auch in jeder anderen Flugsituation analog berechnet werden können.

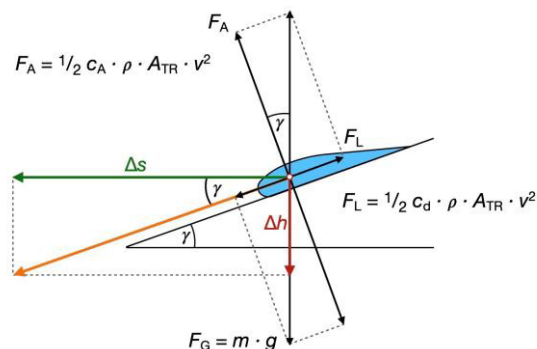


Abb. 3: Kräfteverhältnisse beim stationären Gleitflug

Betrachten wir die Beträge der Gewichtskraft F_G , der Luftwiderstandskraft F_L und des dynamischen Auftriebs F_A , so gilt:

$$F_G^2 = F_A^2 + F_L^2, \quad (1)$$

mit:

$$F_G = m \cdot g \quad (2)$$

$$F_A = \frac{1}{2} c_a \cdot \rho \cdot A_{Tr} \cdot v^2 \quad (3)$$

$$F_L = \frac{1}{2} c_d \cdot \rho \cdot A_{Tr} \cdot v^2 \quad (4)$$

Für eine Erläuterung der Größen vgl. Tab. 1.

| FZ | Größe | Literaturwert | Quelle |
|---------------|---------------------------------|--|--------|
| g | Erdbeschleunigung | $9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ | - |
| ρ | Luftdichte | höhenabhängig | - |
| v | Fluggeschwindigkeit | - | - |
| Flugzeugdaten | | | |
| m | Masse | 97 000 kg | [7] |
| A_{Tr} | Fläche der Tragflächen | $122,6 \text{ m}^2$ | [8] |
| c_a | Auftriebsbeiwert | 2,47 (bei Start) 0,63 (Reiseflug) für Boeing 737 | [9] |
| c_d | Strömungswiderstandskoeffizient | 0,039 | [10] |

Tab. 1: Erläuterung der Größen und Literaturwerte

3.2. Definition und Berechnung der Gleitzahl

Die Gleitzahl E ist definiert als das Verhältnis aus dynamischer Auftriebskraft F_A zur Luftwiderstandskraft F_L und entspricht bei Windstille im stationären Gleitflug zugleich dem Verhältnis aus zurückgelegter Wegstrecke Δs und Höhenverlust Δh ; insgesamt ergeben sich die folgenden sechs Interpretationen und Berechnungsmöglichkeiten (vgl. Abb. 3, [4]):

$$E = \frac{\Delta s}{\Delta h} = \frac{v_h}{v_s} \stackrel{(*)}{=} \frac{F_A}{F_L} = \frac{c_a}{c_d} = \frac{F_G}{F_{\text{Schub}}} = \frac{1}{\tan(\gamma)} \quad \{5\}$$

$$(*) \frac{1}{\tan(\gamma)} = \frac{\cos(\gamma)}{\sin(\gamma)} = \frac{F_A F_G}{F_G F_L} = \frac{F_A}{F_L} \quad \{6\}$$

Zur Veranschaulichung: Verkehrsflugzeuge haben größenordnungsmäßig eine Gleitzahl von rund 20 [11], d. h. ein Verkehrsflugzeug muss nur 1/20 seines Gewichts als Schubkraft aufbringen, um die Reiseflughöhe zu halten. Somit handelt es sich bei der Gleitzahl um eine ganz entscheidende Größe, deren Bestimmung in Kapitel 4.5 thematisiert wird.

3.3. Höhenabhängigkeit der Temperatur

Wie bereits die Zustandsgleichung idealer Gase zeigt, nimmt die Temperatur eines Gases mit steigendem Druck zu. Es ist daher zu erwarten, dass auf Meereshöhe die höchsten Temperaturen beobachtet werden und diese mit anwachsender Höhe abnehmen. Dies ist in der untersten Atmosphärenschicht (Troposphäre) auch tatsächlich der Fall – bis in einen Höhenbereich von 11 km berücksichtigt die Standardatmosphäre der ICAO (International Civil Aviation Organization) eine lineare Temperaturabnahme von $\vartheta = 0,65 \text{ K}/100 \text{ m}$ [12] (Abb. 4). Neben dem direkten Zusammenhang von Druck und Temperatur liefert auch der mit der Höhe abnehmende Wasserdampfgehalt eine Erklärung für den Temperaturrückgang. Eine Luftschicht kann nämlich umso weniger Wärmestrahlung absorbieren, je geringer ihr Wasserdampfgehalt ist.

4. Quantitative Analysen

4.1. Start 1: Geschwindigkeitsverlauf und Schubkraft beim Start

Zur Analyse der Beschleunigung sowie der Schubkraft beim Start des Flugzeugs wurde die Geschwindigkeit in Abhängigkeit von der Zeit dem Bildschirmvideo entnommen. Das Ergebnis zeigt die Abb. 5: Analog zur Beschleunigung eines Kraftfahrzeugs gibt es offensichtlich auch bei einem Verkehrsflugzeug Phasen linearer Geschwindigkeitszunahme bzw. konstanter Beschleunigung. Im Gegensatz zum Pkw werden die Beschleunigungen bei späterer Stufe nicht kleiner, sondern sogar größer ($a_1 \approx 0,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, $a_2 \approx 1,4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, $a_3 \approx 2,1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$), zwischen den Phasen liegen Beschleunigungsspitzen (Abb. 6), die im Größenbereich der Erdbeschleunigung liegen ($a_{1,\text{max}} \approx 9,1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, $a_{2,\text{max}} \approx 6,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, $a_{3,\text{max}} \approx 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$). Dieses Ergebnis konnte auch bei anderen Flügen beobachtet werden und zumindest das erste Phänomen kann mit einer stärkeren Auslastung der Triebwerke begründet werden.

Zur Ermittlung der vorhandenen Schubkräfte F_{Schub} können die regressionsanalytisch ermittelten Beschleunigungen mit der Masse des Flugzeuges ($m = 97 \text{ 000 kg}$) multipliziert werden. Beim Einsatz im Schulunterricht sind die Trendlinien per Augenmaß zu zeichnen oder noch einfacher die mittlere Schubkraft über den kompletten Verlauf aus den Zuwächsen zu ermitteln (Abb. 7). Im Beispiel ergibt sich

$$F = m \frac{\Delta v}{\Delta t} = 97 \text{ 000 kg} \cdot \frac{69 \text{ ms}^{-1}}{21,8 \text{ s}} \approx 307 \text{ kN},$$

was sehr gut mit dem Literaturwert von 300 kN übereinstimmt [13]. Wie eine einfache Abschätzung zeigt, sind die Rollreibungs- sowie Luftwiderstandskraft bei der Betrachtung vernachlässigbar.

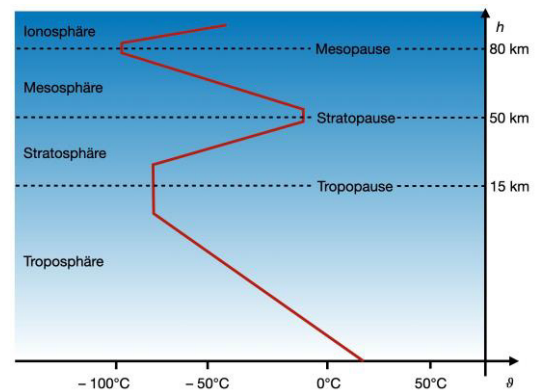


Abb. 4: Temperaturverlauf entsprechend der internationalen Standardatmosphäre

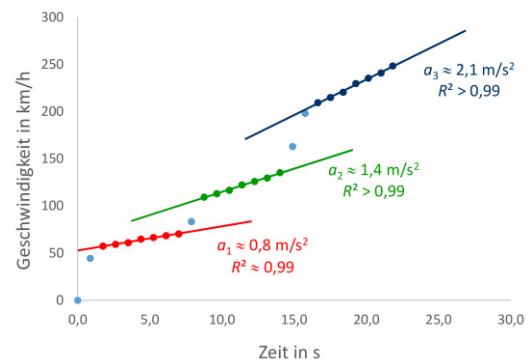


Abb. 5: Geschwindigkeitsverlauf beim Start mit eingezeichneten linearen Regressionen

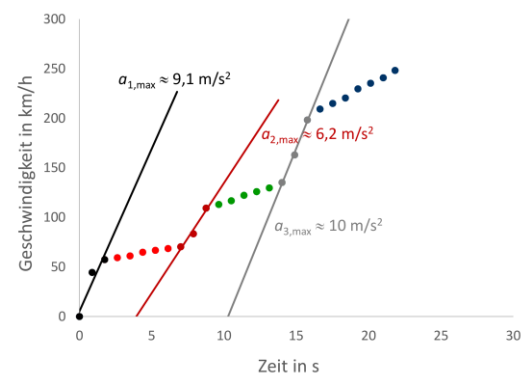


Abb. 6: Beschleunigungsspitzen zwischen den Phasen linearer Geschwindigkeitszunahme

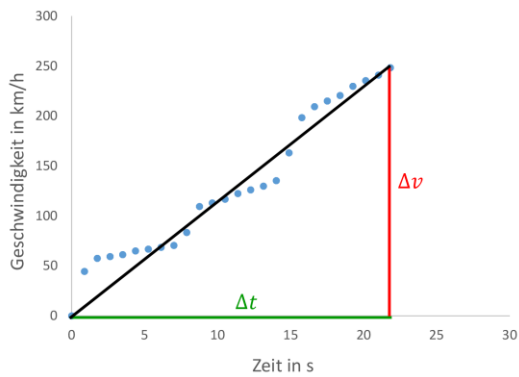


Abb. 7: Ermittlung der mittleren Beschleunigung über die Differenzen

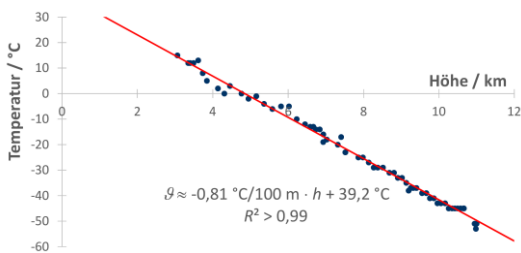


Abb. 8: Abhängigkeit der Temperatur von der Höhe, aufgezeichnet während des Steigflugs

4.2. Start 2: Bestimmung des Auftriebsbeiwerts im Moment des Abhebens

Zur experimentellen Bestimmung des Auftriebsbeiwerts im Moment des Abhebens wählen wir den Kraftansatz $F_A = F_g$, was c_a zu

$$c_a = \frac{2 \cdot m \cdot g}{\rho \cdot A_{Tr} \cdot v^2}$$

liefert. Somit wird neben den Konstanten aus Tab. 1 lediglich die Geschwindigkeit v während des Abhebens benötigt, die mühelos dem Bildschirmvideo entnommen oder live in der App beobachtet werden kann. Einsetzen der Zahlenwerte aus Tab. 1, der ermittelten Abhebegeschwindigkeit von $69 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, der Luftdichte $\rho = 1,21 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ (sie berücksichtigt die Höhe des Frankfurter Flughafens von 111 m über NN) liefert für das betrachtete Flugzeug einen Auftriebsbeiwert von 2,7. Dieses Resultat stimmt gut mit dem Literaturwert der Boeing 737 überein ($c_a = 2,47$), die ein vergleichbares Flugzeug darstellt [9].

4.3. Steigflug: Höhenabhängigkeit der Temperatur

Zur Analyse des Temperaturverlaufs in der unteren Atmosphäre muss nach dem Abheben des Flugzeugs die Temperatur in Abhängigkeit von der Höhe bis zum Erreichen der Reiseflughöhe notiert werden (natürlich bietet sich für die Analyse auch der Sinkflug an) [6]. Im untersuchten Beispiel wurde die Reiseflughöhe von etwa 11 km nach etwa 15 Minuten erreicht. Eine grafische Darstellung der Messwerte zeigt Abb. 8.

Erwartungsgemäß lässt sich die Temperaturabnahme gut mit einem linearen Zusammenhang beschreiben. Bei einem Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,98$ liefert die

Regression den Temperaturgradienten zu $-0,81 \text{ °C je } 100 \text{ m}$, was dem Wert der ICAO-Standardatmosphäre von $0,65 \text{ °C}/100 \text{ m}$ recht nahekommt.

4.4. Reiseflug: Auftriebsbeiwert, Schubkraft und Luftwiderstandsbeiwert

Die Abschätzung des Auftriebsbeiwerts auf Reiseflughöhe erfolgt analog zu Kapitel 4.2 unter Berücksichtigung der Reisefluggeschwindigkeit. Diese betrug beim beobachteten Flug $234 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ und führt auf $c_a \approx 0,77$ (der Literaturwert liegt bei 0,63 für eine Boeing 737 [9]). Dieses Ergebnis ist auf den ersten Blick überraschend, da der für den Startvorgang berechnete Wert etwa 3,5-mal so groß ist. Die Differenz hat ihren Ursprung in der Verwendung von Auftriebshilfen (Start- bzw. Landeklappen), welche a) die Flügelfläche vergrößern und b) zu einer stärkeren Umlenkung der Luft führen („vertikaler Impulsübertrag“). Die Vorteile eines größeren Auftriebsbeiwerts bei Start bzw. Landung sind offensichtlich: Das Flugzeug ist bereits bei geringeren Geschwindigkeiten flugfähig, was zu einer Verkürzung der benötigten Start- sowie Landebahnlänge führt.



Abb. 9: Mit Auftriebshilfen (Start- und Landeklappen) kann der Auftriebsbeiwert vergrößert werden [14].

Die Schubkraft ist nach Gleichung {5}

$$F_{\text{Schub}} = \frac{F_G}{E}$$

und lässt sich somit bei bekannter Gleitzahl sehr einfach bestimmen. Diese wird erst beim Sinkflug und somit im nachfolgenden Kapitel bestimmt, das Ergebnis der Abschätzung $E \approx 20$ nutzen wir aber bereits hier. Damit berechnet sich die Schubkraft zu

$$F_{\text{Schub}} = \frac{m \cdot g}{20} = \frac{97\,000 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ ms}^{-2}}{20} \approx 48 \text{ kN}$$

und beträgt somit ca. 1/6 der maximal möglichen Schubkraft.

Zur Berechnung des Strömungswiderstandskoeffizienten nutzen wir ebenfalls die Beziehung {5} und erhalten:

$$c_d = \frac{c_a}{E} = \frac{0,77}{20} \approx 0,039$$

Dieses Ergebnis stimmt exakt mit dem Literaturwert überein [10]. Zu beachten ist, dass sich dieser Strömungswiderstandsbeiwert auf die Fläche der Tragflügel bezieht und nicht – wie sonst eigentlich üblich – auf die angeströmte Querschnittsfläche.

4.5. Sinkflug: Ermittlung der Gleitzahl

Die Tatsache, dass im Sinkflug die Triebwerke i. d. R. auf Leerlauf gestellt werden und der Schub erst nach dem Ausfahren der Landeklappen wieder erhöht wird [15], ermöglicht eine sehr einfache Bestimmung der Gleitzahl. Hierzu notiert man die Höhe in Abhängigkeit der zurückgelegten Strecke seit Flugbeginn. Das Ergebnis ist in Abb. 10 grafisch veranschaulicht. Dazu wurde die zurückgelegte Strecke ab Start in die zurückgelegte Strecke nach Beginn der Betrachtung des Sinkflugs umgerechnet. Die Gleitzahl entspricht der reziproken Steigung des linear abfallenden Abschnitts, welche erneut regressionsanalytisch oder mittels Steigungsdreieck ermittelt werden kann. Für den betrachteten Airbus A321 ergibt sich die Gleitzahl zu 20, was den Angaben aus der Literatur entspricht [11].

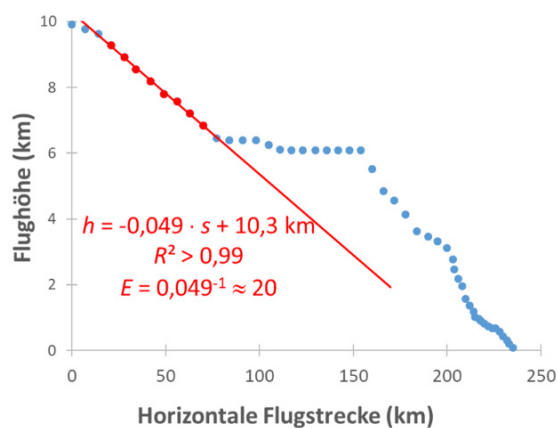


Abb. 10: Flughöhe in Abhängigkeit der horizontalen Strecke nach Beginn der Betrachtung

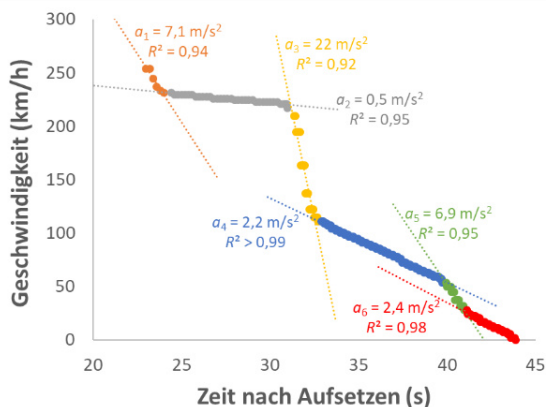


Abb. 11: Geschwindigkeitsverlauf während des Abbremsens

4.6. Landung: Analyse der Bremsbeschleunigung

Den zeitlichen Verlauf der Geschwindigkeit nach dem Aufsetzen auf der Landebahn zeigt die Abb. 11. Ganz ähnlich zum Start sind auch hier lineare Geschwindigkeitsverläufe, also Bereiche konstanter Bremsbeschleunigungen zu beobachten. Im Messbeispiel liegt die maximale Bremsbeschleunigung bei 2,2 g.

5. Zusammenfassung

Im Artikel wurde dargelegt, dass Smartphones nicht nur eine Messwerteerfassung mittels angeschlossener oder interner Sensoren ermöglichen, sondern auch das weltweite Auslesen verschiedener Sensoren. Dies erfolgte am Beispiel der App „Flightradar24“, welche physikalische Daten aller Flüge in Echtzeit anzeigt. Schülerinnen und Schüler können reale Daten selbst erfassen und auswerten sowie zahlreiche Größen in guter Übereinstimmung zur Literatur abschätzen. Dieses Vorgehen ermöglicht im besonderen Maße das Lernen im Kontext, in einem faszinierenden dazu und unter besonderer Berücksichtigung von selbst durchzuführender Analysen.

6. Literatur

- [1] Bezugsquellen der App „Flightradar24 – Flugradar“: App Store: <https://apple.co/3bcOhHF>; Google Play: <https://bit.ly/34AJQE6>
- [2] Internetenzyklopädie Wikipedia, Stichwort „Sinkflug“, [Sinkflug – Wikipedia](#)
- [3] Internetenzyklopädie Wikipedia, Stichwort „Fluggeschwindigkeit“: [Fluggeschwindigkeit – Wikipedia](#)
- [4] Internetenzyklopädie Wikipedia, Stichwort „Gleitzahl“: [Gleitzahl \(Flugzeug\) – Wikipedia](#)
- [5] Müller, A. (2011). Physik auf der Flugreise. In: PdN-Ph, 2, 36-48.
- [6] Vogt, P., Kasper, L., Kuhn, J. & Wilhelm, T. (2019). Smarte Physik. Physikalische Phänomene rund ums Fliegen mit Flightradar24. In: Physik in unserer Zeit 6 (50), S. 306-307.
- [7] [Lufthansa Airbus A321-271NX - Star Alliance Virtual](#)
- [8] https://www.bredow-web.de/Berlin_Tegel/Airbus_A321/Airbus_a321.html
- [9] P. Wolgast (2002). Flugzeugentwurf am Beispiel einer Boeing B737-300, Dipl.-Arbeit an der Hochschule für angewandte Wissenschaften Hamburg.
- [10] Zhang, M., Huang, Q., Liu, S. & Zhang, Y. (2019). Fuel Consumption Model of the Climbing Phase of Departure Aircraft Based on Flight Data Analysis. In: Sustainability 11 (16).
- [11] Weltner, K. (2016). Flugphysik. Sonderdruck des Kapitels 5 aus Band 2 „Physik des Fliegens, Strömungsphysik, Raketen Satelliten“ des „Handbuch des Physikunterrichts, Sekundarbereich I“.
- [12] www.dwd.de/lexikon, Stichwort Standardatmosphäre.
- [13] [CFM International CFM56 - Wikipedia](#)
- [14] Pixabay, Bildnr. 4580556; Pixabay License, freie kommerzielle Nutzung, kein Bildnachweis nötig (vgl. <https://pixabay.com/de/service/license/>)
- [15] <https://www.travelbook.de/fliegen/flugzeug-triebwerke-im-leerlauf>

Videostudie zum Einsatz von mathematischer Modellbildung und Videoanalyse - Einfluss der Methoden auf Argumentation und Schülervorstellungen -

Jannis Weber*, Thomas Wilhelm*

*Goethe-Universität Frankfurt, Max-von-Laue-Str. 1, 60438 Frankfurt a. M.
weber@physik.uni-frankfurt.de, wilhelm@physik.uni-frankfurt.de

Kurzfassung

Im Bereich der Newton'schen Mechanik sind vielfältige und hartnäckige Schülervorstellungen bekannt, die den Lernerfolg einer Unterrichtsmethode erheblich beeinflussen können. So verändern Schülervorstellungen in der Dynamik u. a. in unterschiedlicher Weise die Erfolgswahrscheinlichkeiten von Fragen, je nachdem ob von Kräften auf die Bewegung geschlossen werden muss oder andersherum. Während verschiedene Arten des Computereinsatzes zu einem erfolgreichen und adressatengerechten Unterricht führen können, ist allerdings noch wenig darüber bekannt, welche Schülervorstellungen durch unterschiedliche Arten des Computereinsatzes aktiviert werden und ob und inwiefern sich die Argumentationsstrukturen der eingesetzten Methode auf die Argumentationsstrukturen der Schüler*innen übertragen.

Als Teil einer Gesamtstudie zum Einsatz von mathematischer Modellbildung und Videoanalyse zur Vertiefung der ersten beiden Newton'schen Gesetze wird in diesem Artikel beleuchtet, ob sich die zugrundeliegende Argumentationsrichtung der beiden Methoden auf die Schüler*innen überträgt und ob die beiden Methoden unterschiedliche Schülervorstellungen aktivieren. Die Ergebnisse der Analyse von Videos von $N = 45$ Schüler*innen deuten darauf hin, dass die Argumentationsrichtungen im Gespräch zwar unterschiedlich oft gewählt werden und auch unterschiedlich schwierig sind, dies von der Methode aber nicht beeinflusst wird. Ein Unterschied zwischen den Methoden ließ sich aber im Hinblick auf die aktivierten Schülervorstellungen erkennen.

1. Einleitung

Im Bereich der Mechanik gibt es viele besonders hartnäckige Schülervorstellungen, die sich durch die Nähe dieses Themas zu der Alltagswelt der Schüler*innen über Jahre gefestigt haben [1]. Diese Schülervorstellungen beeinflussen den Lernprozess der Schüler*innen, wodurch es für eine Lehrkraft wichtig ist, einerseits die häufigsten Schülervorstellungen zu kennen und andererseits zu wissen, welche Schülervorstellungen durch den Unterricht aktiviert werden [2]. Computereinsatz kann dabei helfen, Schulunterricht zu gestalten, der Schülervorstellungen positiv verändern kann [3].

Beispielhaft kann dies an der Vorstellung begründet werden, dass eine Kraft in Bewegungsrichtung wirken muss, damit sich etwas überhaupt bewegen kann. Diese Vorstellung stammt aus der Alltagswelt und ist naheliegend, da in vielen Alltagsbewegungen eine konstante Kraft ausgeübt werden muss, um eine konstante Geschwindigkeit aufrecht zu erhalten (z. B. beim Fahrrad- oder Autofahren). Die Reibungskräfte, die zu einem Kräftegleichgewicht führen, sind nicht direkt ersichtlich. Dieses Problem bleibt bestehen, wenn im Unterricht Idealsituationen überbetont werden, die sich häufig gerade durch Reibungsfreiheit auszeichnen. Lernende haben einerseits Schwierigkeiten sich in diese Idealsituationen hineinzusetzen

und übertragen durch eine gefühlte Kluft zwischen Physikunterricht und Realität [3] die gelernten Konzepte nicht ausreichend auf Alltagsbewegungen. Andererseits wird die Bedeutung von Reibung, die der Schlüssel zu einer Newton'schen Interpretation von Alltagsbewegungen ist, so nicht ausreichend verstanden. Computereinsatz kann hier eine Hilfe darstellen, wie komplexe Bewegungen mit Reibungseinflüssen aufbereitet und analysiert oder modelliert werden können.

Die unterschiedlichen Arten des Computereinsatzes aktivieren möglicherweise unterschiedliche Schülervorstellungen, die den Lernprozess beeinflussen. Um dies zu untersuchen, wird – als Teil einer Gesamtstudie zum Einsatz von mathematischer Modellbildung und Videoanalyse in der Dynamik der gymnasialen Oberstufe – in der hier vorgestellten Teilstudie auf Argumentationen und Schülervorstellungen eingegangen.

2. Theoretischer Hintergrund

Die Aktivierung von Schülervorstellungen hängt vom Kontext, der Lernumgebung, der Formulierung einer Frage oder Aufgabe, der Unterrichtsmethode etc. ab [5-8]. Im Bereich der Mechanik gibt es bereits einige Untersuchungen zu dem Thema. Es wurde u. a. systematisch untersucht, inwiefern die Kraftrichtung relativ zur Bewegungsrichtung [9; 10] die Aktivierung

von Schülervorstellungen beeinflusst. Auch bei anderen Konzept- und Kontextänderungen konnten Einflüsse auf Schülervorstellungen nachgewiesen werden [11-15].

Just et al. haben im Bereich der Dynamik verschiedene Einflüsse von Testitems auf die Lösungswahrscheinlichkeiten bei Proband*innen untersucht, indem sie einzelne Charakteristika der Items systematisch verändert haben [16]. Unter anderem wurde betrachtet, ob es einen Einfluss auf die Erfolgswahrscheinlichkeit einer Aufgabe hat, ob von den bekannten Kräften auf die Bewegung geschlossen wird oder andersherum. Innerhalb von Fragen zum ersten Newton'schen Gesetz bei sich mit konstanter Geschwindigkeit bewegendem Objekt ist es für Schüler*innen leichter, von den wirkenden Kräften auf die Bewegung zu schließen, als von der Bewegung auf die wirkenden Kräfte [16]. Die Autoren begründen das damit, dass bei Bekanntsein einer konstanten Geschwindigkeit die Schülervorstellung aktiviert wird, dass eine Kraft in Bewegungsrichtung wirken muss, damit sich überhaupt etwas bewegen kann. Dies führt dann zu der falschen Annahme, dass die Summe aller wirkenden Kräfte, also die resultierende Kraft, ungleich null ist. Wenn aber bekannt ist, dass diese Summe aller Kräfte null ist, wird eher die Vorstellung aktiviert, dass sich nichts ändert, wenn keine Kraft wirkt. Das Nichtvorhandensein einer Änderung wird dann auf die Geschwindigkeit übertragen, sodass es häufiger zu der korrekten Antwort kommt, dass die Geschwindigkeit dann konstant ist. Die Argumentationsrichtung spielt also insbesondere beim Zusammenhang zwischen Kräften und Bewegung eine Rolle. Dies wiederum hängt mit den aktivierten Schülervorstellungen zusammen [16]. Nicht erforscht ist bisher, ob die Argumentationsrichtungen auch in einem offenen Gespräch eine unterschiedliche Schwierigkeit besitzen und ob eine Richtung von Lernenden für die Argumentation bevorzugt verwendet wird.

Mathematische Modellbildung und Videoanalyse zeichnen sich gerade durch eine unterschiedliche Argumentationsrichtung aus [17]. Beim Modellieren von Bewegungen wird von den Kräften ausgegangen und diese begründen die Beschleunigung und darauf folgend die weiteren kinematischen Größen des Objekts. Die Videoanalyse geht wiederum von kinematischen Größen (beginnend beim Ort) aus, aus denen die Beschleunigung berechnet wird. Von der Beschleunigung kann dann auf die Summe aller Kräfte geschlossen werden. Auch wenn es zu beiden Methoden bereits Studien gibt, ist unklar, ob und wie sich diese unterschiedlichen Argumentationsrichtungen auf die Argumentationen von Schülerinnen und Schülern auswirken. Zudem ist unklar, ob durch die Methoden unterschiedliche Schülervorstellungen aktiviert werden, die den Lernerfolg beeinflussen.

3. Forschungsinteresse

Da es für Schüler*innen einen Unterschied macht, in welcher Richtung zwischen Kräften und Bewegung

argumentiert wird und dies an den aktivierten Schülervorstellungen liegen könnte, ist zu wenig darüber bekannt, inwiefern unterschiedliche Arten des Computereinsatzes diese Schülervorstellungen beeinflussen. Wie diskutiert, unterscheiden sich die mathematische Modellbildung und die Videoanalyse zudem in der zugrundeliegenden Argumentationsrichtung.

In diesem Artikel sollen also die Forschungsfragen diskutiert werden, welche Argumentationsrichtung Schüler*innen bei der Diskussion über physikalische Größen selbstständig häufiger wählen (1) und welche Richtung dabei erfolgreicher ist (2). Außerdem ist von Interesse, inwiefern die beiden besprochenen Arten des Computereinsatzes sich in der Aktivierung von Schülervorstellungen unterscheiden (3).

4. Forschungsdesign

Um die Forschungsfragen zu beantworten, wurde für beide Methoden eine Intervention konzipiert. Schulklassen der E-Phase (11. Jahrgangsstufe) von hessischen Gymnasien wurden in die Goethe-Universität Frankfurt a. M. eingeladen und klassenweise zu den Interventionen zugeteilt (siehe Abb. 1). Die etwa vierstündigen Interventionen unterschieden sich dabei nur in der Art des Computereinsatzes und verliefen sonst analog.

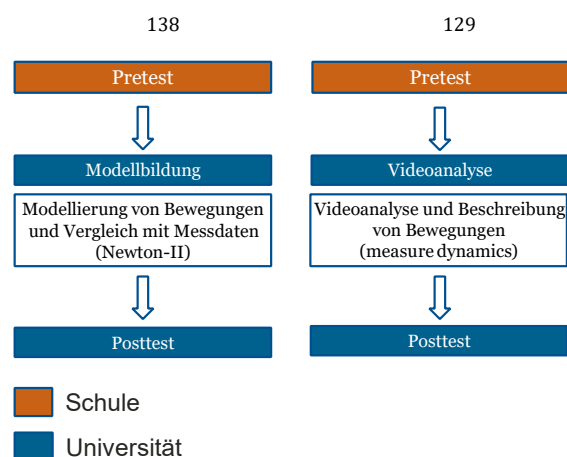


Abb.1: Studiendesign

In beiden Fällen wurden vier Experimente durchgeführt, die zu Beginn der jeweiligen Arbeitsphase durchgeführt wurden. Während der Interventionen wurden von einigen Schüler*innen ($N = 45$) während der Arbeitsphasen ca. 50-minütige Bildschirmvideos aufgenommen. Zusätzlich wurden gleichzeitig die Gespräche während der Partnerarbeit aufgezeichnet, sodass insgesamt die Arbeitsweise analysiert werden kann. Da die hier dargestellte Untersuchung Teil einer Gesamtstudie zum Einsatz von mathematischer Modellbildung und Videoanalyse ist, wurde zudem vor und nach der Intervention ein Test durchgeführt, in dem Konzeptverständnis, kognitive Belastung, Interesse am Fach Physik und weitere Variablen erhoben wurden. Vorläufige Ergebnisse dieses Tests werden in [18] berichtet.

Die Videos wurden in einem der vier durchgeführten Versuche angefertigt – einem schiefen Wurf mit einer Stahl- und einer Styroporkugel. Der Vergleich der beiden Kugeln dient der Einschätzung der Relevanz von Luftreibung. Die Gruppe der Modellbildung modelliert die wirkenden Kräfte, um dann Aussagen über die kinematischen Größen zu treffen und diese mit Realdaten zu vergleichen, während die Gruppe der Videoanalyse die Messdaten erzeugt und analysiert, um dann auf die wirkenden Kräfte zu schließen. Im Zentrum steht in beiden Fällen der Zusammenhang zwischen den Kräften und der Bewegung.

Für die Inhaltsanalyse der Videos wurde ein Kategoriensystem erstellt, welches die für die Forschungsfragen relevanten Aussagen systematisch darstellen und ordnen soll (siehe Tab. 1). Die Kategorien wurden dabei deduktiv aus der Theorie abgeleitet. Die Werte für Cohen's Kappa nach Brennan & Prediger [19] basieren auf einer 80 %-igen Überlappung der Codes und wurden durch die doppelte Kodierung von ca. 20 % des Datenmaterials und dem Vergleich der beiden Beurteiler gewonnen.

| Dimension | Dynamik | Argumentation | Schülervorstellungen |
|---------------|-------------------|-------------------------------------|---|
| Kappa | .82 | .72 | .83 |
| Subkategorien | Kraft zu Bewegung | Argumentation auf höherer Ebene | Es muss eine Kraft in Bewegungsrichtung wirken. |
| | Bewegung zu Kraft | Argumentation auf gleicher Ebene | Eine Kraft setzt sich erst nach einiger Zeit durch. |
| | | Argumentation auf niedrigerer Ebene | Der Effekt einer Kraft verpufft nach einer Zeit. |
| | | Antwort ohne Argumentation | Kraft ist eine universelle Wirkungsfähigkeit. |
| | | | (weitere) |

Tab.1: Relevante Kategorien für die Inhaltsanalyse der Videos.

5. Ergebnisse

5.1. Argumentation

Um zu beurteilen, welche Argumentationsrichtung Schüler*innen präferieren, wenn sie Kräfte und Bewegung argumentativ verknüpfen, werden zunächst die in die Subkategorien der Dimension „Dynamik“ kodierten Stellen quantitativ ausgewertet. Ausgewertet wurden dabei die Gespräche während der Beantwortung der Abschlussaufgabe des Versuchs. In dieser Aufgabe soll über die Eigenschaften der Summe aller Kräfte, der Beschleunigung und der Geschwindigkeit in x- und y-Richtung entschieden werden. Die

Schüler*innen können dabei frei diskutieren, die Reihenfolge der Größen ist in den jeweiligen Gruppen aber entsprechend der Argumentationsrichtung der Methode angeordnet. In der Gruppe der Modellbildung wird also erst nach den Kräften gefragt, während in der Videoanalyse zuerst die Geschwindigkeit diskutiert wird.

Die Aussagen der Schüler*innen werden nach den Gruppen unterschieden (siehe Tab. 2). Erkennbar ist, dass in beiden Gruppen häufiger die Kräfte genutzt wurden, um die Bewegung zu begründen als andersherum. Auffällig ist zudem ein Unterschied in dem Anteil richtiger Argumentationen. Von Kraft zur Bewegung zu argumentieren, scheint auch im offenen Gespräch leichter zu fallen als die Alternative.

| | Modellbildung | Videoanalyse | Gesamt (davon richtig) |
|-------------------|---------------|--------------|------------------------|
| Kraft zu Bewegung | 8 | 12 | 20 (85 %) |
| Bewegung zu Kraft | 5 | 7 | 12 (58 %) |
| Gesamt | 13 | 19 | 32 (75 %) |

Tab.2: Anzahl kodierter Elemente pro Gruppe in den Kategorien der Dynamik.

Weiterhin gibt es keinen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen. Die Gruppe der Videoanalyse scheint insgesamt häufiger Kräfte und Bewegung argumentativ zu verknüpfen, wobei dies vor allem auf eine Zweiergruppe zurückzuführen ist, die viel diskutierte, das allgemeine Bild aber sonst nicht verzerrt.

Da es verschiedene kinematische Größen gibt, die in einer logischen Abfolge verknüpft sind, können diese mit in die Analyse einbezogen werden. Dazu werden alle Argumentationen einbezogen, die eine der physikalischen Größen begründen, egal ob überhaupt eine Begründung geliefert wird und welcher Art diese Begründung ist. Begründung auf höherer Ebene heißt dabei, dass eine kinematische Größe mit einer anderen Größe begründet wird, welche sich nach Abb. 2 auf einer höheren Ebene befindet. Dabei kann auch die Geschwindigkeit mit bspw. auch mit der Summe aller Kräfte begründet werden, ohne dass auf die Beschleunigung eingegangen wird. Ein Überspringen von Ebenen ist also möglich und wurde von den Proband*innen auch getan. Analog verhält sich die Begründung auf niedrigerer Ebene. Eine Größe kann auch durch reine Beschreibung (gleiche Ebene) oder gar nicht begründet werden.

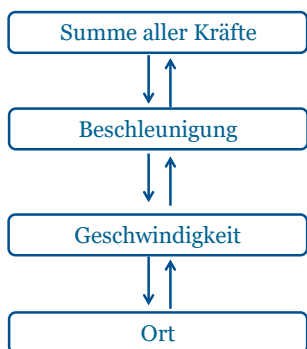


Abb.2: Ebenen der Argumentation.

Festzustellen ist zunächst, dass in den meisten Fällen gar nicht oder auf gleicher Ebene begründet wird (siehe Tab. 3). Der Fall, dass eine Größe mit einer anderen begründet wird, ist eher selten, was womöglich daran liegt, dass ein tiefergehendes Verständnis über die Zusammenhänge nötig ist, um diese argumentativ zu verknüpfen. Bei den Fällen, bei denen dies getan wurde, lässt sich abermals beobachten, dass häufiger auf der höheren Ebene argumentiert wird und diese Argumentation wieder erfolgreicher ist. Erneut gibt es keinen Unterschied zwischen den Gruppen, was die Arten der Argumentationen angeht.

| | Modellbildung | Videoanalyse | Gesamt (davon richtig) |
|----------------------------------|---------------|--------------|------------------------|
| Begründung auf höherer Ebene | 10 | 15 | 25 (88 %) |
| Begründung auf gleicher Ebene | 21 | 16 | 37 (68 %) |
| Begründung auf niedrigerer Ebene | 10 | 10 | 20 (55 %) |
| Antwort ohne Begründung | 35 | 47 | 82 (70 %) |
| Gesamt | 76 | 88 | 164 (70 %) |

Tab.3: Anzahl kodierter Elemente pro Gruppe in den Kategorien der Argumentation (inklusive kinematischer Größen).

5.2. Schülervorstellungen

Von den aus der Theorie bekannten Schülervorstellungen wurden in dem in der Intervention analysierten Versuch nur einige von den Proband*innen genannt. Die relevantesten Schülervorstellungen werden in Tab. 4 dargestellt. Die häufigste Schülervorstellung ist, dass eine Kraft in Bewegungsrichtung wirken muss, damit sich ein Objekt überhaupt bewegen kann. Das ist nicht verwunderlich und es wurde bereits diskutiert, dass diese Schülervorstellung speziell für manche Aufgaben schwierigkeiterzeugend ist. Diese Schülervorstellung scheint in der Gruppe der Modellbildung häufiger aktiviert worden zu sein,

während es bei den anderen Vorstellungen keine Unterschiede zwischen den Gruppen zu geben scheint. In der letztgenannten Schülervorstellung ist der prozentuale Unterschied zwar noch größer, verliert durch die geringen Zahlen aber an Aussagekraft. Ein Erklärungsansatz für den Unterschied in der erstgenannten Schülervorstellung ist, dass beim Modellieren Kräfte aktiv eingegeben werden müssen. Wenn sich die Stahlkugel in x-Richtung mit einer konstanten Geschwindigkeit bewegt, sind Schüler*innen geneigt, dennoch eine Kraft zu modellieren, können diese aber weder benennen noch in einer mathematischen Formel ausdrücken. Sie sehen im Laufe der Aufgabe dann, dass das Modell gerade ohne diese Kraft zur Realität passt. Es ist ein kognitiver Konflikt vorhanden. In der Gruppe der Videoanalyse wird von der in x-Richtung nicht vorhandenen Beschleunigung zwar auch darauf geschlossen, dass keine Kraft in x-Richtung wirkt, hier müssen die Proband*innen aber nicht aktiv modellieren. Der kognitive Konflikt ist als geringer einzuschätzen.

| Vorstellung | Modellbildung | Videoanalyse | Gesamt |
|--|---------------|--------------|--------|
| Es muss eine Kraft in Bewegungsrichtung wirken. | 34 | 17 | 51 |
| Kraft ist eine universelle Wirkungsfähigkeit. | 13 | 10 | 23 |
| Eine Kraft braucht eine Zeit, bis sie sich durchsetzen kann. | 7 | 6 | 13 |
| Der Effekt einer Kraft verpufft nach einer Zeit. | 7 | 2 | 9 |

Tab.4: Anzahl der kodierten Stellen pro Gruppe in den aufgetretenen Schülervorstellungen.

Fraglich ist nun, ob dieser stärkere kognitive Konflikt zu einer Änderung der Vorstellung bei den Proband*innen führt. Ein Hinweis kann das Testinstrument liefern, man betrachtet den Anteil von Schüler*innen in beiden Gruppen, der in mindestens einem der Items entsprechend der Vorstellung antwortet, dass eine Kraft in Bewegungsrichtung wirken müsse. Es ist erkennbar, dass sich der Anteil derer, die im Sinne dieser Schülervorstellung antworten, in der Gruppe der Modellbildung signifikant reduziert und im Nachtest auch geringer ist als der in der Videoanalyse (siehe Abb. 3). Es könnte also sein, dass der genannte kognitive Konflikt zu einer Reduktion der Schülervorstellung führt.

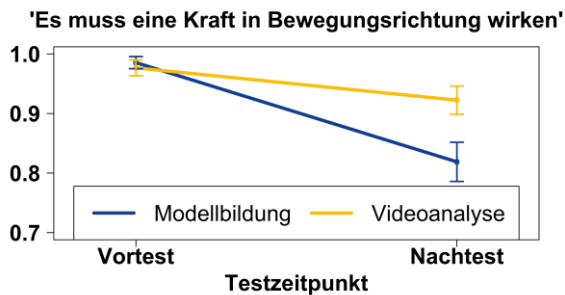


Abb. 3: Anteil an Schüler*innen, die im Test mindestens einmal so antworten, dass dies auf eine Aktivierung der Schülervorstellung zurückzuführen ist, dass eine Kraft in Bewegungsrichtung wirken muss, damit sich etwas bewegen kann (mit Standardfehler).

Nach Just et al. [16] ist diese Schülervorstellung hauptverantwortlich für die Schwierigkeit, bei einer gleichförmigen Bewegung zu erkennen, dass die Summe aller Kräfte null ist. Das verwendete Testinstrument enthält eine Subskala, die vier Items enthält, bei denen bei Bekanntsein einer konstanten Geschwindigkeit auf die Kräfte geschlossen werden soll. In dieser Subskala müsste sich dann bei der Gruppe der Modellbildung ein stärkerer Lernzuwachs einstellen (Abb. 4). In der Tat zeigt eine ANCOVA ($F(1,264) = 4,19$), dass sich die Nachtestergebnisse bei Kontrolle des Vortests signifikant ($p < 0,05$) unterscheiden. Das stützt die Hypothese, dass eine der Hauptschwierigkeiten in diesen Aufgaben die genannte Schülervorstellung ist.

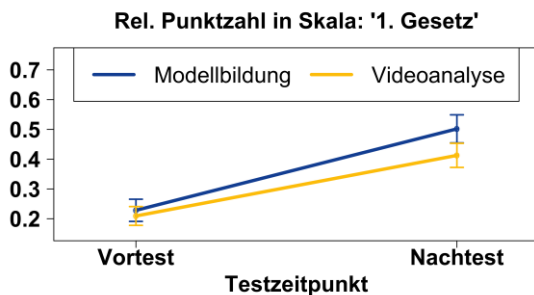


Abb.4: Anteil richtiger Antworten im Test im Inhaltsbereich „1. Newton'sches Gesetz“ mit 95 %-Konfidenzintervall.

6. Diskussion

Die gefundenen Ergebnisse, dass Schüler*innen bei der Argumentation von wirkenden Kräften zur Bewegung erfolgreicher sind als in der anderen Richtung, bestätigen die Theorie. Bisher wurde dieser Zusammenhang nur bei Aufgaben zum ersten Newton'schen Gesetz beobachtet. In dem hier vorliegenden Fall kommt in x-Richtung ebenfalls das erste Newton'sche Gesetz zur Anwendung (bei der Stahlkugel) während es sich bei der y-Richtung um eine beschleunigte Bewegung handelt. Um dies mit der Theorie vergleichen zu können, wäre es nötig, den Unterschied zwischen den Teilbewegungen deutlicher herauszuarbeiten.

Die Analysemethode am Computer selbst scheint die Argumentationsrichtung nicht zu beeinflussen, was daran liegen kann, dass in beiden Interventionen in den Aufgaben auch in die jeweils andere Richtung argumentiert wurde, wenngleich die Methode eine inhärente Argumentationsrichtung besitzt. Diese überträgt sich aber nicht zwangsläufig auf die Lernenden. Einen Unterschied zwischen den Methoden scheint es aber im Bereich der Schülervorstellungen zu geben. Das häufigere Vorhandensein der Vorstellung, dass eine Kraft in Bewegungsrichtung wirken muss, in Kombination mit der stärkeren Reduktion dieser Vorstellung in der Gruppe der Modellbildung spricht dafür, dass der auftretende kognitive Konflikt in diesem Fall lernförderlich ist. Es gibt viele Forschungen zu Konzeptwechselstrategien und die gefundenen Ergebnisse sollen nicht als verallgemeinerbar für den generellen Umgang mit Schülervorstellungen gesehen werden. Ob eine Konfliktstrategie erfolgreich oder sogar hinderlich ist, hängt u. a. von der Art der Vorstellung ab. Da es hier um eine Vorstellung geht, die nahezu jede/r Schüler*in in gewissen Kontexten häufig äußert, könnte die Strategie hier erfolgreicher als bei selteneren Schülervorstellungen sein. Außerdem ging es hier nicht um die Einführung eines neuen Themas, sondern um die Vertiefung eines bereits behandelten Themas.

Die Daten der Auswertung der Videos basieren auf der Analyse von $N = 45$ Schüler*innen, die in 21 Gruppen zusammengesetzt waren (drei Dreiergruppen) und sind kaum generalisierbar. Um statistisch abgesicherte Ergebnisse zu erhalten, müsste die Untersuchung mit weiteren Schüler*innen durchgeführt werden. Dennoch können die Ergebnisse einen Anhaltspunkt für eine Bestätigung von bereits bekannten Erkenntnissen sein und Anlass für eine weitere Untersuchung bieten.

7. Ausblick

Für den vorliegenden Artikel wurden die Videos quantitativ analysiert. Um weitere Einblicke in die Arbeitsweise der Proband*innen zu erhalten, soll eine qualitative Analyse folgen. Ziel dieser ist es, die größten Schwierigkeiten beim Arbeiten mit der Software zu identifizieren und die Arbeitsweise von erfolgreichen mit weniger erfolgreichen Schüler*innen zu vergleichen, um Empfehlungen für den Einsatz und die Weiterentwicklung der Software zu geben.

8. Literatur

- [1] Schecker, H.; Wilhelm, T. (2018): Schülervorstellungen in der Mechanik. In: Schecker, H., Wilhelm, T., Hopf, M., Duit, R. (Hrsg.). Schülervorstellungen und Physikunterricht. Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis, Springer Spektrum, Berlin.
- [2] Schecker, H.; Duit, R. (2018): Schülervorstellungen und Physiklernen. In: Schecker, H., Wilhelm, T., Hopf, M., Duit, R. (Hrsg.): Schüler-

- vorstellungen und Physikunterricht. Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis, Springer Spektrum, Berlin.
- [3] Wilhelm, T. (2005): Konzeption und Evaluation eines Kinematik/Dynamik-Lehrgangs zur Veränderung von Schülervorstellungen mit Hilfe dynamisch ikonischer Repräsentationen und graphischer Modellbildung. Studien zum Physik- und Chemielernen. Band 46. Berlin: Logos-Verlag.
- [4] Schecker, H. (1985): Das Schülervorverständnis zur Mechanik. Eine Untersuchung in der Sekundarstufe II unter Einbeziehung historischer und wissenschaftstheoretischer Aspekte, Dissertation. Universität Bremen.
- [5] Wodzinski, R. (1996): Untersuchungen von Lernprozessen beim Lernen Newtonscher Dynamik im Anfangsunterricht. Münster: Lit Verlag.
- [6] Brown, D.; Hammer, D. (2008): Conceptual change in physics. In: Vosniadu, S. (Hrsg.): International Handbook of Research on Conceptual Change. New York: Routledge, S. 127-154
- [7] diSessa, A. A. (1988): Knowledge in pieces. In: G Forman, G.; Pufall, P. B. (Hrsg.): Constructivism in the Computer Age, Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Publishers, S. 49-70
- [8] Minstrell, J. (1992): Facets of students' knowledge and relevant instruction. In: Duit, R.; Goldberg, F.; Niedderer, H.: Research in Physics Learning: Theoretical Issues and Empirical Studies - Proceedings of an International Workshop, University of Bremen, March 4-8, Kiel: IPN, S. 110-128
- [9] Palmer, D. (1997): The effect of context on students' reasoning about forces. In: International Journal of Science Education, 19, S. 681-696
- [10] Rosenblatt, R.; Heckler, A. F. (2011): Systematic study of student understanding of the relationships between the directions of force, velocity, and acceleration in one dimension. In: Physical Review Physics Education Research, 7, 020112
- [11] Lemmer, M. (2013): Nature, cause and effect of students' intuitive conceptions regarding changes in velocity. In: International Journal of Science Education, 35, S. 239-261
- [12] Ferreira, A.; Lemmer, M.; Gunstone, R. (2019): Alternative conceptions: turning adversity into advantage. In: Research in Science Education, 49, S. 657-678
- [13] Twigger, D.; Byard, M.; Driver, R.; Draper, S.; Hartley, R.; Hennessy, S.; Mohamed, R.; O'Malley, C.; O'Shea, T.; Scanlon, E. (1994): The conception of force and motion of students aged between 10 and 15 years: an interview study designed to guide instruction. In: International Journal of Science Education, 16, S. 215-229
- [14] Bao, L.; Hogg, K.; Zollman, D. (2002): Model analysis of fine structures of student models: an example with Newton's third law American. In: Journal of Physics, 70, S. 766-778
- [15] Maloney, D. (1984): Rule-governed approaches to physics-Newton's third law. In: Physics Education, 19, S. 37-42
- [16] Just, A.; von Aufschnaiter, C.; Vorholzer, A. (2021): Effects of conceptual and contextual task characteristics on students' activation of mechanics conceptions. In: European Journal of Physics, 42, 025702
- [17] Weber, J.; Wilhelm, T. (2020): Eine vergleichende Untersuchung zur Newton'schen Mechanik. In: Habig, S. (Hrsg.): Naturwissenschaftliche Kompetenzen in der Gesellschaft von morgen, Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Wien 2019, Band 40, 2020, S. 375-380
- [18] Weber, J.; Wilhelm, T. (2020): Computereinsatz in der Newton'schen Mechanik – Vergleich von Modellbildung und Videoanalyse. In: Physik und ihre Didaktik in Schule und Hochschule (Phydid A), 19(1), S. 43-56
- [19] Brennan, R.; Prediger, D. (1981): Coefficient Kappa: Some Uses, Misuses, and Alternatives. In: Educational and Psychological Measurement, 41(3), S. 687-699

Smart Textiles in MINT-Fächern – Elektronik mit Nadel und Faden

Andrea Ehrmann*, Guido Ehrmann⁺

* Fachhochschule Bielefeld, Fachbereich Ingenieurwissenschaften und Mathematik, 33619 Bielefeld, Deutschland, ⁺ Virtual Institute of Applied Research on Advanced Materials (VIARAM)
andrea.ehrmann@fh-bielefeld.de

Kurzfassung

Smart Textiles, auch als intelligente Textilien bezeichnet, bieten in der Schule sowie im Bachelorstudium neue Möglichkeiten, motorische Fähigkeiten mit Elektronik-Kenntnissen zu verbinden. Die meisten Smart Textiles gehören zu den E-Textiles, den elektronischen Textilien, die beispielsweise leitfähige Garne als Datenleiter enthalten oder leitfähige textile Flächen als Druck- oder Dehnungssensoren. Hinzu kommen textilbasierte oder textilintegrierte Sensoren und Aktoren, eine interne oder externe Kommunikation und eine Batterie oder eine ähnliche Energiequelle. Die Datenverarbeitung geschieht normalerweise über textilintegrierte Microcontroller oder Miniatur-Computer. Solche E-Textiles bieten die Möglichkeit, „typisch weibliche“ Interessen, wie Nähen und Textilien, mit „typisch männlichen“ Wissensbereichen wie Elektronik und Programmierung zu verbinden. Sie können in Schule und Hochschule genutzt werden, um solche althergebrachten Klischees zu überwinden, und den Schüler(inne)n und Student(inn)en helfen, sich über die häufig unbewusst selbst gesetzten Grenzen hinwegzusetzen.

1. Einleitung

„Smarte“ oder intelligente Textilien können auf ihre Umgebung reagieren, indem sie beispielsweise ihre Form bei Temperaturänderungen verändern, ihre Farbe bei UV-Bestrahlung variieren oder auch Vitaldaten messen und den Nutzer beispielsweise über EKG, Puls oder Atemfrequenz informieren [1-3]. Manche dieser Reaktionen lassen sich beispielsweise durch Phasenwechselmaterialien (Phase Change Materials, PCM), stimuli-responsive Polymere oder funktionelle Beschichtungen erreichen [4-6]. Die meisten intelligenten Textilien sind heutzutage jedoch elektronische Textilien (E-Textiles), d. h. elektronische Bauteile werden in unterschiedlichem Maße integriert [7-9].

Dies bietet die Chance, Schüler(innen) und Student(inn)en mit Physik im Nebenfach spielerisch an elektronische Fragestellungen heranzuführen. E-Textiles enthalten typischerweise Sensoren und Aktoren, eine interne und externe Kommunikation, eine Batterie oder eine andere Energiequelle sowie eine Datenverarbeitung [1]. Viele dieser Bauteile wurden erst in den letzten Jahrzehnten entwickelt, manche lassen sich teilweise oder vollständig auf textile Materialien übertragen, während andere, wie z. B. ein Baustein zur Datenverarbeitung, mit zunehmender Miniaturisierung zumindest immer besser in Textilien integriert werden können [10]. Daneben lassen sich interdisziplinär auch Themen der Sensorik, Messtechnik, Programmierung etc. ansprechen.

Dieser Artikel gibt einen Überblick über häufig genutzte Bauteile und macht Vorschläge, welche Kenntnisse sich die Schüler(innen) und Student(inn)en hierdurch aneignen können.

2. Grundlegende Elektronik-Kenntnisse

Eine der Grundlagen für E-Textiles sind zumindest rudimentäre Kenntnisse über Schaltkreise. Dazu gehören beispielsweise die Erkenntnis, dass ein Strom nur fließen kann, wenn der Schaltkreis geschlossen ist, dass die meisten Bauteile entsprechend zwei oder sogar mehr Anschlüsse haben, dass Leuchtdioden (LEDs) und Batterien in der richtigen Richtung angeschlossen werden müssen, usw.

Elektrische Schaltkreise lassen sich in Smart Textiles durch Aufnähen oder Aufsticken von leitfähigen Garnen oder auch Litzen integrieren. Eine andere Möglichkeit besteht darin, Leiterbahnen in Textilien mit einzustricken, wie in Abb. 1 zu sehen [7]. Diese handwerklichen Techniken sind typischerweise nicht allen Schüler(inn)en und Student(inn)en geläufig, zumindest das Nähen kann aber rasch in den Grundzügen erlernt werden. Alternativ lässt sich eine Zusammenarbeit mit einem Textilkurs vereinbaren.

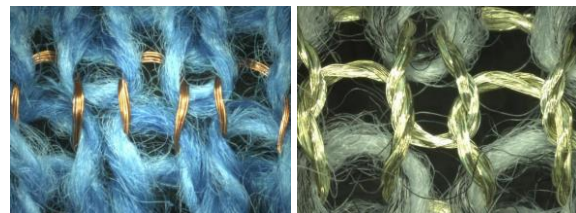


Abb. 1: Leitfähige Garne in Gestrickten. (links) Kupfer-Litze; (rechts) silberbeschichtetes Polyamid-Garn. Aus Schwarz-Pfeiffer, A.; Obermann, M.; Weber, M. O.; Ehrmann, A. (2016) Smarten up garments through knitting. IOP Conf. Series Mater. Sci. Eng. 141, 012008. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/141/1/012008>, im Original veröffentlicht unter einer CC-BY-Lizenz <http://creativecommons.org/licenses/by/3.0>.

Diese einfachen Grundlagen bieten bereits die Möglichkeit, über Themen wie Leitfähigkeit zu sprechen, den elektrischen Widerstand mit einem Multimeter zu messen, den Unterschied zwischen Metallen, Halbleitern und Isolatoren zu diskutieren usw.

Einen Schritt weiter geht die Diskussion, weshalb beispielsweise an einen solchen Schaltkreis angeschlossene LEDs schwächer leuchten, wenn die Textilien (nach dem Herausnehmen der Batterien) gewaschen wurden. Für die Beantwortung dieser Frage müssen bereits materialwissenschaftliche Grundlagen mit einbezogen werden, wenn darüber gesprochen wird, in welcher Weise sich feine Silberbeschichtungen auf Chemiefaser-Garnen beim Waschen verändern und was die Oxidation der Oberfläche für die Leitfähigkeit bedeutet.

Neben dem Schaltkreis selbst sind natürlich weitere Bauelemente notwendig, um Smart Textiles zu erstellen. Im einfachsten Fall sind das beispielsweise eine Batterie, die sich in einer textilen Tasche aus leitfähigem Gewebe unterbringen lässt, und eine oder mehrere LEDs, die mit dem leitfähigen Garn bzw. der Litze kontaktiert werden. Dies kann u. a. durch Annähen mit einem leitfähigen Faden per Hand oder sogar mit einer Haushaltsnämaschine geschehen, wie in Abb. 2 zu sehen.

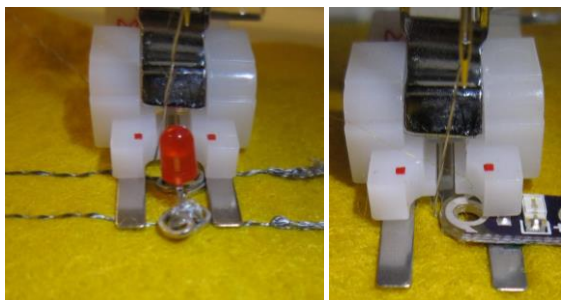


Abb. 2: Annähen herkömmlicher sowie textilspezifischer LEDs mit der Nähmaschine.

Beim Annähen mit der Nähmaschine, aber auch per Hand, werden die Anschlussdrähte bedrahteter LEDs vorher rundgebogen, um sie gut annähen zu können, wie in Abb. 3 dargestellt. Durch die Nutzung von Zangen mit verschiedenen Spitzenformen bietet sich die Möglichkeit, einen Anschlussdraht in eine runde Form zu biegen und den anderen in eine drei- oder viereckige Form, um beim Aufnähen die Polarität der LED erkennen zu können.



Abb. 3: Rundgebogene Anschlussdrähte einer bedrahteten LED.

Neben den o. g. textilspezifischen LEDs, die inzwischen von mehreren Herstellern erhältlich sind, gibt es viele weitere Bauteile, die speziell für die Integra-

tion in Smart Textiles die Möglichkeit bieten, nicht nur durch Löten, sondern vor allem durch Annähen kontaktiert zu werden (Abb. 4).



Abb. 4: Hauptplatine, Analog-digital-Wandler und LED-Modul (von links nach rechts) aus einem Toolkit für E-Textiles. Aus Garbacz, K.; Stagun, L.; Rotzler, S.; Semenec, M.; von Krshiwoblozki, M. (2021) Modular e-textile toolkit for prototyping and manufacturing. Proceedings 68, 5. DOI: <https://doi.org/10.3390/proceedings2021068005>, im Original veröffentlicht unter einer CC-BY-Lizenz.

3. Weitere Beispielprojekte

In physikalischer Hinsicht deutlich komplizierter sind Messungen des Widerstands eines leitfähigen Gestricks (Abb. 5) während einer Dehnung. Hier findet bereits der Übergang von einem einzigen leitfähigen Garn oder Draht zu einem komplexen Widerstands-Netzwerk statt. In der Literatur findet man Vorschläge für Ersatzschaltbilder verschiedener Gestrückbindungen [12-14].

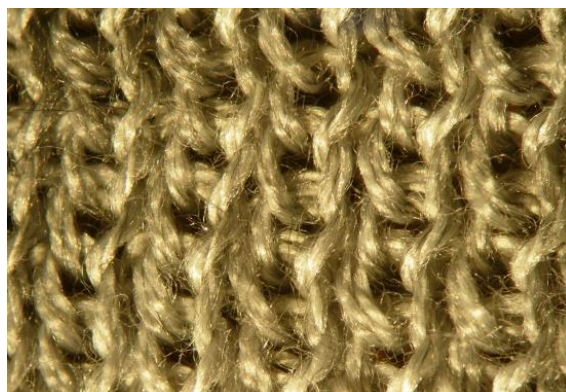


Abb. 5: Gestrück aus leitfähigem Edelstahl-Fasergarn. Aus Schwarz-Pfeiffer, A.; Obermann, M.; Weber, M. O.; Ehrmann, A. (2016) Smarten up garments through knitting. IOP Conf. Series Mater. Sci. Eng. 141, 012008. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/141/1/012008>, im Original veröffentlicht unter einer CC-BY-Lizenz <http://creativecommons.org/licenses/by/3.0>.

Dehnt man ein solches Gestrück nun, verändern sich die Übergangswiderstände zwischen sich umschlingenden Garnen an den Kontaktpunkten, und damit lässt sich das Gestrück als Dehnungssensor nutzen, um beispielsweise einen Atemsensor zu bauen.

Zudem müssen messtechnische Punkte berücksichtigt werden – so funktioniert die Kontaktierung eines nur teilweise leitfähigen Garnes mit den Prüfspitzen eines Multimeters nicht. Stattdessen können Klemmen an beiden Seiten angebracht werden, die einen großflächigen Kontakt vermitteln und so über viele leitfähige und nicht leitfähige Garne mitteln, wie in Abb. 6 zu sehen.

Hinzu kommen weitere Fragestellungen, angefangen bei der nach der richtigen Messgröße (hier: elektrischer Widerstand) bis zur Position der Messung. Auch die Auswertung der Daten ist nicht unbedingt trivial und bietet die Möglichkeit, den Umgang mit Excel oder einem anderen Programm zur graphischen Darstellung von Messdaten zu üben. Dabei können auch scheinbar simple Fragestellungen trainiert werden, wie die nach der Auswahl des richtigen Diagrammtyps, um eine äquidistante Aufteilung der x-Achse zu gewährleisten, was erfahrungsgemäß oft Probleme bereitet.

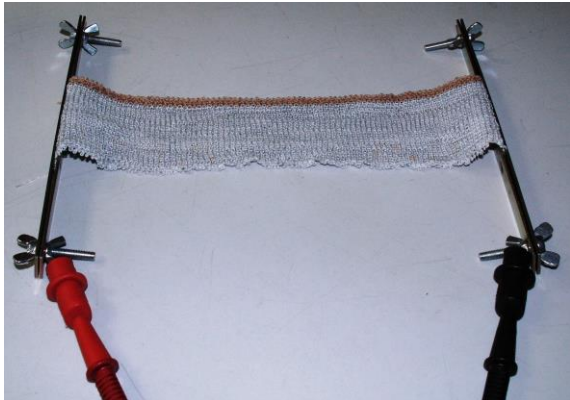


Abb. 6: Kontaktierung eines leitfähigen Gestricks aus Edelstahl-Fasergarn mit Klemmen, an die die Prüfspitzen des Multimeters angeschlossen werden.

Nutzt man entsprechende im Internet oder in Smart-Textile-Büchern zu findende Vorlagen, können auch textile Drucksensoren und viele weitere Sensoren mit einfachen Mitteln selbst hergestellt werden. Je nach benötigtem Material sind manche dieser Versuche jedoch nur mit einem größeren Budget umzusetzen, wenn beispielsweise leitfähige Reißverschlüsse, leitfähige Klettverschlüsse oder auch zahlreiche Textil-LEDs benötigt werden.

4. Erfahrungen im Bachelor-Studium

Die hier berichteten Erfahrungen wurden in verschiedenen Bachelor-Studiengängen gemacht, angefangen von textilbezogenen Ingenieursstudiengängen über Modegestaltung bis hin zu Apparativer Biotechnologie, Wirtschaftsingenieurwesen, Mechanik, Maschinenbau und regenerative Energien. Je nach Studiengang und potentieller vorheriger handwerklicher Ausbildung verfügten die Studierenden über sehr unterschiedliche Vorkenntnisse. Während manche bereits mit komplizierten elektrischen Schaltungen vertraut waren, stellten die Grundlagen der Elektrotechnik und Elektronik für andere Studierende absolutes Neuland dar.

Bei der Team-Bildung in den gemischt besetzten Smart-Textiles-Kursen stellten sich zwei verschiedene Strömungen heraus: Viele der ganz am Anfang des elektrotechnischen Verständnisses stehenden Studierenden blieben lieber unter sich, da ihnen vermutlich der Unterschied im Wissensstand zu den anderen Studierenden zu groß erschien. Andererseits

bildeten sich aber auch zahlreiche sehr gemischte Teams mit klar verteilten Kenntnissen – während einige Studierende bereits ein gutes Verständnis von Elektronik, Schaltkreisen, elektrischen Bauteilen u. ä. hatten, hatten andere mehr Erfahrungen mit dem Nähen bzw. allgemein mit Handarbeiten.

Interessanterweise führte dies oft dazu, dass sich gemischtgeschlechtliche Gruppen bildeten, da sich die männlichen Studenten häufig eher in der Rolle der Personen mit Elektronik-Vorkenntnissen sahen, während viele Studentinnen hier eher ihre Erfahrungen mit Handarbeiten einbrachten. Auch in diesen Gruppen konnte aber beobachtet werden, dass die Studierenden nicht die Aufgaben entsprechend ihrer vermeintlichen oder realen Stärken verteilten, sondern bereit waren, in beiden Richtungen voneinander zu lernen, und sich oft ein gewisser Ehrgeiz zeigte, ebenfalls das zu können, was die anderen bereits konnten.

Im Normalfall waren die physikalischen Grundlagen für die Studierenden nicht um ihrer selbst willen interessant, sondern als Mittel zum Zweck. Es war daher wichtig, dass alle ein klares praktisches Ziel hatten, das sie nur erreichen konnten, wenn sie sich die notwendigen physikalischen bzw. elektrotechnischen Grundlagen aneigneten. Es gab jedoch auch immer wieder Ausnahmen, wenn Studierende Dinge verstanden, die sie überraschten – angefangen von der Erkenntnis, weshalb eine LED nur leuchten kann, wenn ein Schaltkreis geschlossen ist, bis hin zu der Erfahrung, dass die Anschlussdrähte einer LED nicht nur zufällig unterschiedliche Längen haben.

5. Zusammenfassung

Smart Textiles bzw. intelligente Textilien bieten in der Schule und im Bachelor-Studium ganz neue Möglichkeiten, motorische Fähigkeiten mit Elektronik-Kenntnissen zu verbinden. Die Kombination von Handarbeiten mit physikalischen bzw. elektrotechnischen Grundlagen fördert nicht nur das Lernen dieser Grundlagen gegenüber dem trockenen Lernen von Formen. Sie erlaubt es auch, „typisch weibliche“ Interessen wie Nähen und Textilien mit „typisch männlichen“ Wissensbereichen wie Elektronik und Programmierung zu verbinden. Auf diese Weise können Smart Textiles genutzt werden, diese Klischees zu überwinden, und Schüler(innen) und Student(inn)en über die häufig unbewusst selbst gesetzten Grenzen hinüberhelfen.

6. Literatur

- [1] Schwarz, A.; van Langenhove, L.; Guermontprez, P.; Deguillemont, D. (2010) A roadmap on smart textiles. In: *Textile Progress* 42, 99-180. DOI: <https://doi.org/10.1080/00405160903465220>
- [2] Cherenack, K.; van Pieteron, L. (2012) Smart textiles: Challenges and opportunities. In: J.

- Appl. Phys. 112, 091301. DOI:
<https://doi.org/10.1063/1.4742728>
- [3] Koncar, V. (2016) Introduction to smart textiles and their application. In: *Smart Textiles and Their Application*, 1st ed.; Koncar, V., Ed.; Woodhead Publishing: Cambridge, UK, 1–8
- [4] Mondal, S. (2008) Phase change materials for smart textiles – an overview. *Appl. Thermal Eng.* 28, 1536-1550. DOI:
<https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2007.08.009>
- [5] Rosenholm, J.; Tsitsilianis, C. (2019) Review of stimuli-responsive polymers in drug delivery and textile application. *Molecules* 24, 2547. DOI:
<https://doi.org/10.3390/molecules24142547>
- [6] De Falco, F.; Guarino, V.; Gentile, G.; Cocca, M.; Ambrogi, V.; Ambrosio, L.; Avella, M. (2019) Design of functional textile coatings via non-conventional electrofluidodynamic processes. *J. Coll. Interf. Sci.* 541, 367-375.
- [7] Schwarz-Pfeiffer, A.; Obermann, M.; Weber, M. O.; Ehrmann, A. (2016) Smarten up garments through knitting. *IOP Conf. Series Mater. Sci. Eng.* 141, 012008. DOI:
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/141/1/012008>
- [8] Rahemtulla, Z.; Hughes-Riley, T.; Dias, T. (2021) Vibration-sensing electronic yarns for the monitoring of hand transmitted vibrations. *Sensors* 21, 2780. DOI: 10.3390/s21082780
- [9] Ehrmann, G.; Ehrmann, A. (2021) Electronic textiles. *Encyclopedia* 1, 13. DOI:
<https://doi.org/10.3390/encyclopedia1010013>
- [10] Ehrmann, G.; Ehrmann, A. (2020) Suitability of common single circuit boards for sensing and actuating in smart textiles. *Communications in Development and Assembling of Textile Products* 1, 170-179. DOI:
<https://doi.org/10.25367/cdatp.2020.1.p170-179>
- [11] Garbacz, K.; Stagun, L.; Rotzler, S.; Semeneč, M.; von Krshiwoblozki, M. (2021) Modular e-textile toolkit for prototyping and manufacturing. *Proceedings* 68, 5. DOI:
<https://doi.org/10.3390/proceedings2021068005>
- [12] Zhang, H.; Tao, X. M.; Yu, T. X.; Wang, S. Y. (2006) Conductive knitted fabrics as large-strain gauge under high temperature. *Sensors Actuators A Phys.* 126, 129-140. DOI:
<https://doi.org/10.1016/j.sna.2005.10.026>
- [13] Li, L.; Wan, K. M.; Wan, S. H.; Chung, W. Y.; Wong, K. S. (2009) A resistive network model for conductive knitting stitches. *Text. Res. J.* 80, 935-947. DOI:
<https://doi.org/10.1177/0040517509349789>
- [14] Liu, S.; Liu, Y. P.; Li, L. (2019) The impact of different properties of knitting elements on the resistive properties of conductive fabrics. *Text.*
- Res. J. 89, 881-890. DOI:
<https://doi.org/10.1177/0040517518758003>

Physik und Wein

- Eine Experimentierreihe (auch ohne Alkohol) -

Lutz Kasper*, Patrik Vogt⁺

* Pädagogische Hochschule Schwäbisch Gmünd, Abteilung Physik,

⁺ Institut für Lehrerfort- und -weiterbildung Mainz

lutz.kasper@ph-gmuend.de, vogt@ilf.bildung-rp.de

Kurzfassung

In diesem Beitrag werden Fragen im Kontext der Alltagsphysik experimentell untersucht. Inhalte sind u. a. die Bestimmung der Schallgeschwindigkeit mithilfe des Plopp-Geräuschs beim Entkorken einer Weinflasche sowie mit verschiedenen geformten (Wein-)Gläsern, die Bestimmung des Drucks in einer Sektflasche, die Mechanik von Korkenziehern, die Verwandlung eines bereits ausgebauten Rotweins zu einem Blanc de Noirs, der Vergleich verschiedener Möglichkeiten des schnellen Dekantierens sowie weitere optische und akustische Phänomene an Weingläsern. Die vorgestellten Experimente folgen zwar dem üblichen Fortgang einer Weinprobe, können aber auch ohne den Einsatz von Wein gut in den Physikunterricht integriert werden.

1. Einleitung

Physik und Wein? Gerät hier die Kontextorientierung nicht doch auf Abwege? Zugegeben, Wein sollte im Schulkontext eine zurückhaltende Rolle spielen. Und auch als Physiklehrkraft will man vielleicht zum Feierabend einmal mit ganz „undienstlicher“ Absicht einen Wein genießen. Und doch schließt das nicht aus, mit (noch) wachem Verstand, geübten Blick und der notwendigen Neugierde die Physik auch hier im Alltag zu entdecken. Wie so oft ergeben sich aus solchen Beobachtungen faszinierende Fragen und Vermutungen, die nach weiteren Experimenten verlangen. Einen Einblick in einige experimentelle „Nachwirkungen“ solcher Beobachtungen wird im Folgenden gegeben. Die meisten der hier vorgestellten Experimente sind – zumindest in Varianten – auch ganz alkoholfrei in der Schule durchführbar. Insofern lädt der Beitrag nun zu einer Weinprobe in 10 Experimenten ein.¹

2. Öffnen von Flaschen

2.1. Druck in Sektflaschen

Mit Hilfe einer Hochgeschwindigkeits-Videoanalyse eines aus einer Sektflasche herausschießenden Korkens soll der vorherrschende Überdruck infolge der bei der Gärung entstandenen Kohlensäure abgeschätzt werden. Die zwischen Korken und Flaschenhals wirkende Reibungskraft ist zu berücksichtigen.

2.1.1. Aufbau und Durchführung

Das selbständige Herausschießen eines Korkens aus einer Sektflasche wird mit dem Hochgeschwindigkeitsmodus einer Digitalkamera (1000 fps, z. B. Casio Exilim EX-ZR700) aufgezeichnet.

In der Regel reicht der in der Flasche herrschende Druck nicht aus, um die Haftreibungskraft zu überwinden. Daher wird der Korken nach Beginn der Aufnahme etwas per Hand gelöst und das Ende des Flaschenhalses auf dem Korken mit einem Stift markiert.

Zur Bestimmung der zwischen Flaschenhals und Korken wirkenden Reibungskraft wird der Plastikkorken durchbohrt und ein Haken mit Kontermutter entsprechend der Abb. 1 angebracht. Um die maximale Haftreibungskraft zu ermitteln, wird die Flasche mit dem präparierten Korken komplett verschlossen und im Anschluss durch lotrechtes Nachobenziehen mit einem geeigneten Kraftmesser (z. B. 250 N) entkorkt (Abb. 2). Um die Reibungskraft möglichst exakt zu bestimmen, bietet es sich infolge der sehr schnell ablaufenden Bewegung an, diesen Vorgang ebenfalls zu videografieren (240 fps). Im Versuchsbeispiel (Rotkäppchen Sekt, trocken) ergab sich die Haftreibungskraft zu $F_{R,max} = 190 \text{ N}$.

Zur Ermittlung der beim selbständigen Entkorken vorliegenden Haftreibungskraft wird der Korken bis zur Markierung eingeführt und analog verfahren. Hierbei ergab sich eine Haftreibungskraft von 75 N.



Abb. 1: Präparierter Sektkorken

¹ Eine deutlich größere Auswahl an Experimenten wird von den Autoren in dem Buch „Physik & Barrique – Eine Weinprobe in

33 Experimenten“ vorgestellt, das 2022 bei Springer Spektrum erscheinen wird.



Abb. 2: Bestimmung der Haftreibungskraft

2.1.2. Auswertung des Experiments

Bei einer zurückgelegten Strecke von $\Delta s \approx 0,06$ m und der dafür benötigten Zeit $\Delta t = 4$ ms ergibt sich die Beschleunigung zu:

$$a = \frac{2 \cdot \Delta s}{\Delta t^2} = 7500 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Danach bewegt sich der Korken mit einer näherungsweise konstanten Geschwindigkeit von 26 m/s weiter (Abb. 3 und Abb. 4). Dieser Wert stimmt größenordnungsmäßig gut mit dem in [1] angegebenen Wert von 21 m/s überein.



Abb. 3: Stroboskopaufnahme der Bewegung, dargestellt mit der Software „measure Dynamics“

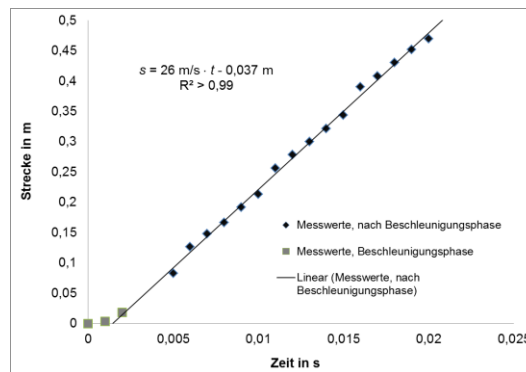


Abb. 4: Weg-Zeit-Diagramm des Sektkorkens

Die Tatsache, dass der Korken sich nicht selbständig löst, ermöglicht eine Abschätzung des Drucks nach oben. Es gilt:

$$p_{\max} = \frac{F_{R,\max}}{\pi \cdot R^2} \approx 7 \text{ bar}$$

(Haftreibungskraft bei komplett verschlossener Flasche $F_{R,\max} = 190$ N, Innendurchmesser des Flaschenhalses $R = 9,4$ mm). Möchte man den Absolutdruck in der Flasche angeben, so muss zu dem Überdruck von 7 bar noch der Atmosphärendruck von etwa 1 bar addiert werden.

Zur Abschätzung des Drucks nach unten, wird die Reibungskraft vernachlässigt. Mit der aus der Videoanalyse bestimmten Beschleunigung a und der Korkenmasse $M = 7 \cdot 10^{-3}$ kg gilt:

$$p_{\min} = \frac{F_B}{\pi \cdot R^2} = \frac{M \cdot a}{\pi \cdot R^2} \approx 2 \text{ bar}$$

Um den tatsächlich vorhandenen Druck zu berechnen, muss die Gesamtkraft berücksichtigt werden, die der Summe aus Reibungskraft und beschleunigender Kraft entspricht²:

$$p = \frac{F_R + F_B}{\pi \cdot R^2} = \frac{F_R}{\pi \cdot R^2} + p_{\min} \approx 4,7 \text{ bar}$$

Da laut Richtlinie der Europäischen Union Qualitätsschaumwein (also Sekt) bei 20 °C einen auf Kohlendioxid zurückzuführenden Überdruck von mindestens 3,5 bar aufweisen muss [2], erscheint das Ergebnis der Abschätzung plausibel.

2.2. Entkorken mit kraftumformenden Einrichtungen

In Korkenziehern werden nicht selten die Hebelgesetze zur Verringerung der notwendigen Kraft genutzt. Dabei kommen neben weiteren Mechanismen wie z. B. die schiefe Ebene (in Spindeln) grundsätzlich zwei Arten der Hebel zur Anwendung, der einseitige Hebel (Abb. 5) sowie der zweiseitige Hebel (Abb. 6). Für beide Hebelarten gilt die so genannte Goldene Regel der Mechanik: Was du an Kraft sparst,

² Der Einfluss der Gewichtskraft kann bei der Betrachtung des Beschleunigungsvorgangs vernachlässigt werden ($F_g = M \cdot g \approx 0,07$ N). Außerdem wird für die Abschätzung vereinfachend davon ausgegangen, dass die gemessene Reibungskraft während der gesamten Beschleunigungsphase konstant ist. Tatsächlich liegt

die Gleitreibungskraft beim Entkorken durchgängig über 60 N, sodass die Vereinfachung keine großen Abweichungen herbeiführt.

musst du an Weg hinzulegen. Damit ist der „Hubweg“ gemeint. Bezogen auf die Hebelarmlängen gilt für beide Hebelarten die Produktgleichheit der zusammengehörenden Hebelarmlängen (L_1 ; L_2) und Kräfte (F_1 ; F_2):

$$F_1 \cdot L_1 = F_2 \cdot L_2$$

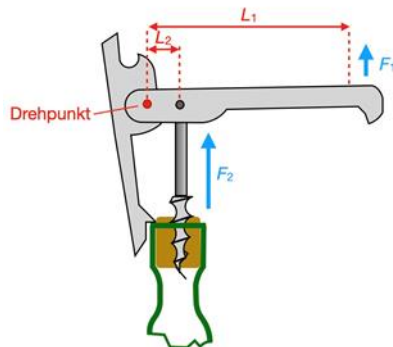


Abb. 5: Einfacher Korkenzieher nach dem Prinzip des einseitigen Hebels

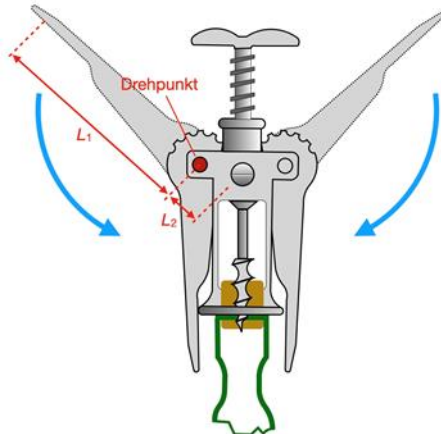


Abb. 6: Flügelkorkenzieher mit zweiseitigem Hebel (Zusätzlich kommt hier eine Zahnstange zur Anwendung.)



Abb. 7: Präparierter Flügelkorkenzieher als „Lastkran“: Rechts ist die Gleichgewichtssituation hergestellt.

Mühelessen lassen sich mit dem „Korkenzieher-Kran“ Lasten heben. In einem Experiment mit dem Flügelkorkenzieher werden mit drei Federkraftmessern die Kräfte bestimmt, die an beiden Hebelarmen und an der Korkzieherspirale wirken (Abb. 7). Gleichzeitig lassen sich die Wege an den Hebelarmen und der „Hubweg“ einfach bestimmen. Das Verhältnis dieses Hebelweges zum Hubweg entspricht in guter Näherung dem Verhältnis von „Zugkraft“ und „Hebelarmkraft“ und beträgt für den hier verwendeten Korkenzieher ca. 5:1. Dieses Verhältnis kann dann auch auf den „Ernstfall“ angewendet werden, nämlich das Herausziehen eines Korkens mit einer Kraft von nur ca. 55 N mit Flügelkorkenzieher im Vergleich zu den etwa 275 N mit einfachem Spindelkorkenzieher³.

2.3. Bestimmung der Schallgeschwindigkeit beim Entkorken

Das gut vernehmbare Geräusch kennt vermutlich jeder: Plopp – und draußen ist der Korken. Warum klingt es gerade so? Wovon hängt der Klang ab und welche Informationen lassen sich daraus gewinnen?

Der Vorgang des Korkziehens wird begleitet von Reibung zwischen Kork und Innenwand des Flaschenhalses sowie von schnellen Änderungen des Gasdrucks im Flaschenhals. Dabei entstehen Töne verschiedener Frequenzen. Fasst man die Gas-Säule im Flaschenhals als einseitig geschlossenes Resonanzrohr auf, dann würde man bevorzugte Resonanzfrequenzen erwarten. Tatsächlich zeigt das Frequenzspektrum einer entsprechenden Tonaufnahme charakteristische Peaks (Abb. 8).



Abb. 8: Screenshot eines Frequenzspektrums beim Korkziehen; hier verwendete iOS-App: Spektroskop [9]

Einseitig geschlossene Resonanzröhren („gedackte Pfeifen“) weisen am geschlossenen Ende einen Schwingungsknoten, am offenen Ende einen Schwingungsbauch auf. Für die Grundschwingung ergibt sich daraus, dass eine Viertel-Wellenlänge in die Resonanzröhre passt (Abb. 9). Daraus ergibt sich als Frequenz der Grundschwingung:

$$f_0 = \frac{1}{4L} \cdot c_{\text{Gas}}$$

(L : Länge der Luftsäule, c_{Gas} : Schallgeschwindigkeit des Gases im Flaschenhals)

³ Der Wert wurde als Mittelwert in einer Messreihe mithilfe eines an einem Korkenzieher angebrachten Kraftmessers bestimmt.

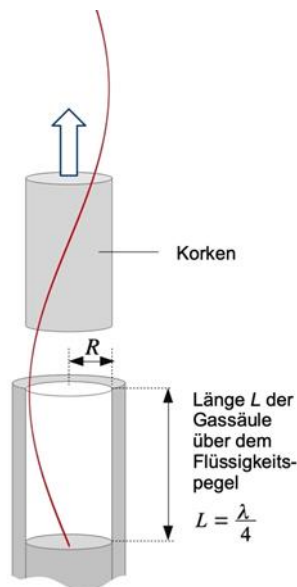


Abb. 9: Wellenlänge des Resonanztons beim Korkenziehen

Für das Restgas im Flaschenhals soll die vereinfachende Annahme gemacht werden, dass es sich um Luft handelt. Eine genauere Analyse setzte die Berücksichtigung des Alkoholdampf-Anteils in diesem Volumen voraus. Vergleichende Experimente mit Wasser gefüllten Flaschen lassen aber die diese Vereinfachung als gerechtfertigt erscheinen. Für c_{Gas} kann somit c_{Luft} eingesetzt werden.

Allerdings sollte für eine bessere Abschätzung der Schallgeschwindigkeit die Länge der schwingenden Luftsäule um die Mündungskorrektur ΔL ergänzt werden. In diese geht der Radius r des oberen Endes des Flaschenhalses ein. Für die Mündungskorrektur wird hier folgender Wert (vgl. [6]) eingesetzt:

$$\Delta L = 0,61r$$

Damit kann die Schallgeschwindigkeit beim Korkenziehen bestimmt werden:

$$c_{\text{Luft}} = 4f(L + \Delta L)$$

Eine Beispielmessung an einer 6 cm langen Gassäule und einem Innendurchmesser des Flaschenhalses von 2 cm am oberen Ende ergab eine Resonanzfrequenz von 1254 Hz. Setzt man die Werte für die korrigierte Länge ein, erhält man eine Schallgeschwindigkeit von 332 m/s. Die für dieses Experiment bestimmte Umgebungstemperatur von 23 °C lässt theoretisch eine Schallgeschwindigkeit von 345 m/s erwarten [8]. Der relative Fehler liegt somit in der Größenordnung von etwa 4 %, was für ein solch einfaches Experiment akzeptabel ist.

Für Unterrichtszwecke ist das Korkenziehen natürlich nicht gut geeignet. Jedoch reicht es für die Abschätzung der Schallgeschwindigkeit völlig aus, das „Plopp“-Geräusch mit dem aus der Flaschenöffnung schnippenden Finger zu erzeugen. Dafür wird die Flasche mit Wasser aufgefüllt. Der Alkoholdampf-Anteil kann vollkommen unberücksichtigt bleiben. Außerdem lassen sich die Längen der Luftvolumina im

Flaschenhals variieren. Bei einer solchen systematischen Abänderung der Länge L wurden jeweils die folgenden Resonanzfrequenzen durch „Finger-Ploppen“ ermittelt:

| L in m | f in Hz | c_{Luft} in m/s |
|----------|-----------|--------------------------|
| 0,03 | 2355 | 340 |
| 0,04 | 1740 | 321 |
| 0,05 | 1488 | 334 |
| 0,06 | 1225 | 324 |
| 0,07 | 1058 | 322 |
| 0,08 | 952 | 328 |

Tabelle 1: Messwerte der Resonanzfrequenzen beim „Fingerploppen“ an einem Flaschenhals mit verschiedenen Längen der Gassäule sowie die jeweils daraus berechnete Schallgeschwindigkeit

Die Raumtemperatur bei der Durchführung betrug 24 °C. Die theoretisch erwartete Schallgeschwindigkeit ergibt sich damit zu 345,6 m/s (vgl. [7]). Der mittlere relative Fehler beträgt somit ca. 5 %.

3. Einschenken und Belüften

3.1. Der Venturi-Ausgießer

Eine Konstruktion, wie sie in dem hier beschriebenen Weinausgießer genutzt wird, wurde erstmals 1797 durch G. B. Venturi entwickelt und heißt deshalb auch Venturi-Düse. Man setzt diese als Ausgießer einfach auf die geöffnete Weinflasche und muss sich um die Sauerstoffzufuhr – so das Verkaufsargument – nicht weiter kümmern. Das entscheidende Merkmal erkennt man beim genauen Hinsehen: Der Wein muss beim Ausschenken durch eine Verengung fließen, an deren engster Stelle sich eine kleine Öffnung nach außen befindet (Abb. 10).

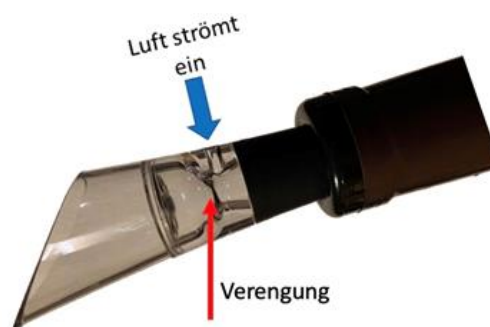


Abb. 10: Handelsüblicher Weinausgießer mit Venturi-Düse

Aus der Voraussetzung der Volumenerhaltung und der weiteren Annahme, dass sich die Dichte des Weins beim Einschenken nicht ändert, ergibt sich eine Gesetzmäßigkeit, die als Kontinuitätsgesetz bezeichnet wird. Für eine inkompressible Flüssigkeit,

die in einem Rohr durch zwei Stellen unterschiedlicher Querschnitte A_1 und A_2 mit den Geschwindigkeiten v_1 und v_2 strömt, gilt:

$$A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2 \quad \text{bzw.} \quad \frac{A_1}{A_2} = \frac{v_2}{v_1}$$

Das Verhältnis zweier Strömungsquerschnitte ist gleich dem umgekehrten Verhältnis der zu diesen Querschnitten gehörenden Strömungsgeschwindigkeiten.

Genau das wird in diesem Weinausgießer ausgenutzt. Die Verengung im Ausgießer sorgt also für eine hohe Strömungsgeschwindigkeit. Diese wiederum führt uns zu einer weiteren Gesetzmäßigkeit, nämlich dem Zusammenhang zwischen Druck und Strömungsgeschwindigkeit: Der Druck ist in einer strömenden Flüssigkeit um so kleiner, je größer die Strömungsgeschwindigkeit an dieser Stelle ist. Quantitativ wird diese Tatsache durch die *Bernoulli-Gleichung* (ohne Einfluss der Schwerkraft) beschrieben:

$$p + \frac{1}{2} \rho v^2 = \text{konstant}$$

Dabei ist p der statische Druck, den eine Drucksonde für ein tangential vorbeiströmendes Medium misst. Der Ausdruck $0,5 \cdot \rho v^2$ mit der Dichte ρ des Mediums gibt den Staudruck an.

Aus der Bernoulli-Gleichung ergibt sich, dass der statische Druck in einem strömenden Medium um so geringer ist, je größer die Strömungsgeschwindigkeit wird. Auf diese Weise ist es möglich, dass an der Verengung der Druck verringert und durch die genau an der engsten Stelle eingebrachte Öffnung Umgebungsluft angesaugt wird. Die angesaugte Luft sorgt für den Druckausgleich und „perlt“ dabei in den strömenden Wein hinein. Damit ist das Ziel einer besseren Belüftung erreicht. Eine Prüfung der Effektivität dieser Belüftungsmethode kann hier jedoch nur als empirische Studie angeregt werden.

3.2. Einschenken ohne Malheur!

Gelegentlich gelingt das Einschenken nicht ohne Malheur! Besonders ärgerlich, wenn es ein Rotwein ist, der auf das weiße Tischtuch tropft. Aber ist das Kleckern Ungeschick oder Gesetzmäßigkeit?



Abb. 11: Gewünschte Strömung ins Glas hinein (links) und unerwünschte Strömung entlang des Flaschenhalses (Mitte und rechts)

Beim Einschenken aus der Flasche lassen sich zwei Strömungen beobachten (Abb. 11). Die gewünschte Strömung bringt den Wein ins Glas, während eine unerwünschte Strömung entlang der äußeren Glasoberfläche am Flaschenhals verläuft. Das Verhältnis dieses Strömungsmusters hängt dabei von mehreren

Faktoren ab. Ein entscheidender ist die Fließgeschwindigkeit. Hier hilft beherztes Einschenken. Ein weiterer Faktor ist die Geometrie der Kante des Flaschenhalses. Größere Krümmungsradien wirken sich hier begünstigend für das Kleckern aus. Abhilfe können spezielle scharfkantige Ausgießer schaffen. Schließlich sind auch die Benetzungseigenschaften des hydrophilen Glases schuld am Malheur. Hier kann das Umwickeln des oberen Flaschenhalses mit Tesafilm helfen, dessen Eigenschaften im Vergleich zum Glas eher hydrophob sind.

4. Anstoßen und weitere Phänomene

4.1. Akustische Schwebung mit Weingläsern

4.1.1. Theoretischer Hintergrund

Eine spezielle Form der Überlagerung von Schallwellen ist die akustische Schwebung. Sie entsteht immer dann, wenn sich mindestens zwei Schwingungen mit geringem Frequenzunterschied überlagern. Der beobachtbare Höreindruck entspricht dann einem Ton, dessen Lautstärke periodisch variiert. Sind die Amplituden der Ausgangstöne gleich, so geht die Lautstärke zwischen den Maxima auf null zurück (vollkommene Schwebung, Abb. 12), bei ungleichen Amplituden kommt es zu einer sogenannten unvollkommenen Schwebung (Abb. 13).

Die Anzahl der Lautstärkeänderungen pro Sekunde bezeichnet man als Schwebungsfrequenz f_s , welche von den Ausgangsfrequenzen f_1 und f_2 abhängt und dem Betrag ihrer Differenz entspricht ([4], [5]). Es gilt also: $f_s = \Delta f = |f_1 - f_2|$

Die Frequenz des hörbaren Tons entspricht dem Mittelwert der Ausgangsfrequenzen, was in dem hier beschriebenen Experiment jedoch nicht betrachtet werden soll.

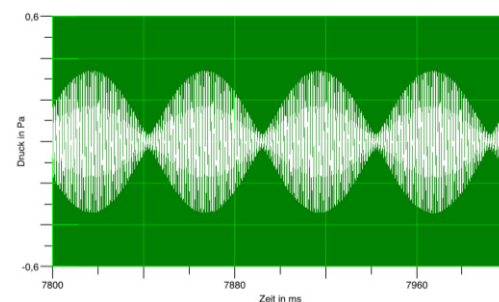


Abb. 12: Oszillogramm einer näherungsweise vollkommenen Schwebung

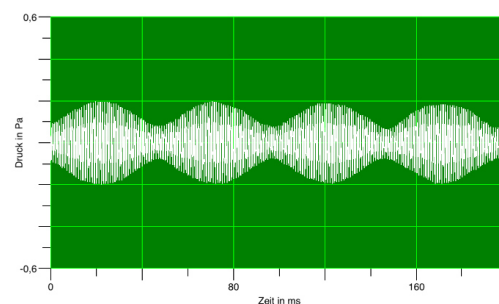


Abb. 13: Unvollkommene Schwebung

4.1.2. Aufbau und Durchführung

Zur Untersuchung der Schwebungsfrequenz kommen im Physikunterricht meist zwei Stimmgabeln zum Einsatz, wobei eine der beiden Stimmgabeln durch ein angehängtes Massestück absichtlich „verstimmt“ wird. So entsteht ein geringer Frequenzunterschied und es kommt zu einer akustischen Schwebung. Möchte man das Experiment von den Schülerinnen und Schülern als Hausaufgabenversuch durchführen lassen, so bietet sich die Verwendung von Weingläsern an. Zwei Weingläser des gleichen Modells sind nie vollkommen identisch und besitzen somit leicht unterschiedliche Frequenzen. Folglich müssen die Weingläser zur Erzeugung einer akustischen Schwebung nicht einmal unterschiedlich befüllt werden und können z. B. durch leichtes Anschlagen mit einem Löffel zum Schwingen gebracht werden.

Mit Hilfe eines Smartphones und einer geeigneten Tonanalyse-App (z. B. Schallanalysator [3]) kann die Schwebung visualisiert und sogar quantitativ ausgewertet werden (Abb. 14).



Abb. 14: Versuchsaufbau

4.1.3. Versuchsauswertung

Zur quantitativen Auswertung des Experiments bestimmt man zunächst nacheinander die Frequenzen der genutzten Gläser. Im Versuchsbeispiel waren dies 581 Hz bzw. 592 Hz (Abb. 15 und Abb. 16). Unter Berücksichtigung der oben formulierten Gesetzmäßigkeit würde man also erwarten, dass das überlagerte Signal in einer Sekunde 11-mal ein Lautstärkemaximum erreicht.

Zur Überprüfung kann ein Oszillogramm der Überlagerung dargestellt werden, welche man am einfachsten dadurch erreicht, indem man die beiden Gläser leicht aneinanderstößt. Wie in Abb. 17 zu sehen ist, erreicht das akustische Signal in 1,34 s 17-mal ein Lautstärkemaximum, was 12,7 Lautstärkeänderungen pro Sekunde entspricht. Beachtet man, dass für das Experiment nur einfachste Mittel genutzt wurden, liefert der Vergleich mit dem theoretischen Wert ein zufriedenstellendes Ergebnis.

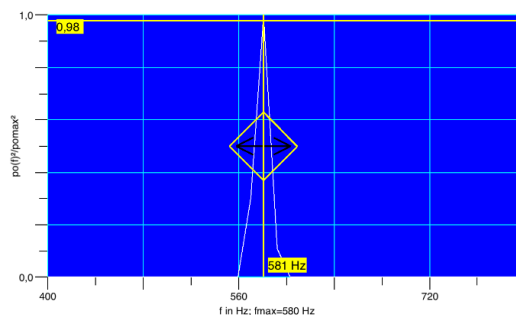


Abb. 15: Frequenzspektrum Weinglas 1

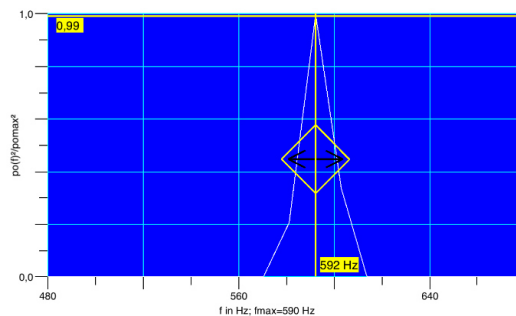


Abb. 16: Frequenzspektrum Weinglas 2

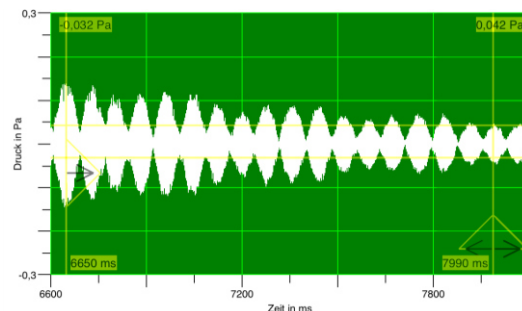


Abb. 17: Ermittlung der Schwebungsfrequenz

4.2. Blanc de Noirs mit infrarotem Licht!

Ein Blanc de Noirs (franz. „Weißer aus schwarzen“) ist ein Weißwein, der aus roten Trauben (meist Spätburgunder) hergestellt wird. Auch nach dem Ausbau zu einem Rotwein kann dieser jedoch unter Nutzung der IR-Fotografie gewissermaßen in einen Weißwein und somit zu einem Blanc de Noirs „verwandelt“ werden [12]. Hierbei wird ausgenutzt, dass das Licht des nahen Infrarotbereichs (780 nm bis 3 μ m) durch den Rotwein viel weniger stark gestreut wird als das sichtbare Licht (vgl. λ^4 -Gesetz der Rayleigh-Streuung). Wären unsere Augen also auch für infrarotes Licht empfindlich, könnten wir problemlos durch Rotwein hindurchschauen und er würde uns wie Weißwein erscheinen.

Die spektrale Empfindlichkeit des in handelsüblichen Digitalkameras genutzten CCD-Chips reicht von rund 400 bis 1100 nm (Abb. 18). Da das Licht des nahen Infrarotbereichs das Bild jedoch unscharf und kontrastärmer machen und die Farbwiedergabe verschlechtern würde, kommen in Digitalkameras Infrarotsperfilter zum Einsatz, welche Wellenlänge oberhalb von 700 nm unterdrücken (Abb. 19). Entfernt

man diesen Filter aus dem Strahlengang einer abgelegten Digitalkamera und nutzt zusätzlich einen Infrarotdurchlassfilter (Abb. 20), der vor das Objektiv gehalten oder aufgeschraubt wird, so ergibt sich eine preiswerte Möglichkeit zur digitalen Infrarotfotografie.

Ein Beispielbild eines tiefdunklen Rotweins, aufgenommen mit einem Infrarotdurchlassfilter von smardy (Grenzwellenlänge 720 nm) zeigt die Abb. 21 (rechts). Der oben beschriebene Effekt ist deutlich zu erkennen und der Rotwein scheinbar klar wie Wasser.

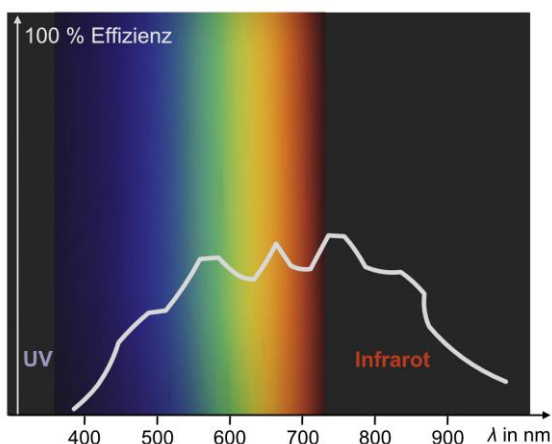


Abb. 18: Empfindlichkeitskurve von handelsüblichen CCD-Chips

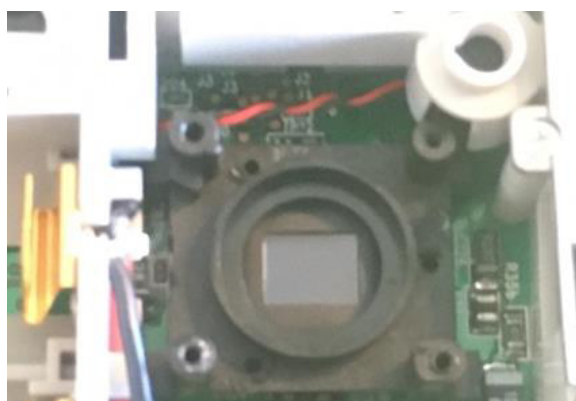


Abb. 19: Digitalkamera mit IR-Filter



Abb. 20: Infrarotdurchlassfilter, zum Aufschrauben auf das Kameraobjektiv



Abb. 21: Rotwein, aufgenommen mit sichtbarem Licht (links), IR und sichtbarem Licht (Mitte), nur IR (rechts)

5. Verschiedene Verfahren zur Schallgeschwindigkeitsbestimmung

5.1. Bestimmung der Schallgeschwindigkeit in Zylindergläsern

Eine Möglichkeit zur Bestimmung der Schallgeschwindigkeit in Luft, stellt die Untersuchung der Eigenfrequenz von Resonatoren dar. Hierzu können zum einen Röhren bzw. Pfeifen zum Einsatz kommen, die man als Quincke-Röhre behandelt, zum anderen Hohlräume, Weingläser oder Flaschen, die man als Helmholtzresonatoren ansieht (vgl. 5.2 und 5.3). Als gedackte Pfeifen eignen sich z. B. größere Gläser wie ein Bierkrug oder das in der Pfalz beheimatete „Schoppenglas“ mit einem Fassungsvermögen von 0,5 l („Pfälzer Röhre“, Abb. 22). Zum Auffinden seiner Resonanzfrequenz erzeugt man mit einer geeigneten App ein weißes Rauschen (Abb. 23) und bestimmt gleichzeitig, die vom Resonanzkörper verstärkte Frequenz (Abb. 24). Bei einer Glashöhe von $l = 0,15$ m, einem Glasradius von $R = 3,7$ cm und einer Raumtemperatur von 24 °C ergibt sich die Schallgeschwindigkeit in Luft zu:

$$l + \Delta l = \frac{\lambda}{4} = \frac{c}{4f}$$

Mit der Mündungskorrektur $\Delta l = 0,61R$ (nach Levine & Schwinger, [6]) und einer gemessenen Eigenfrequenz von 495 Hz erhält man

$$c = (l + 0,61R) \cdot 4f \approx 342 \frac{\text{m}}{\text{s}},$$

was sehr gut mit dem Literaturwert von 346 m/s überein [7].



Abb. 22: Versuchsaufbau zur Bestimmung der Schallgeschwindigkeit mit einem Pfälzer Schoppenglas

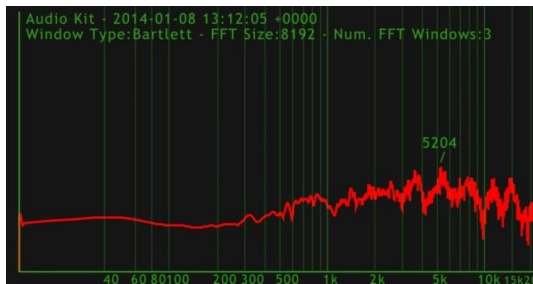


Abb. 23: Frequenzspektrum des weißen Rauschens ohne Resonanzröhre, aufgenommen mit Audio Kit [13]

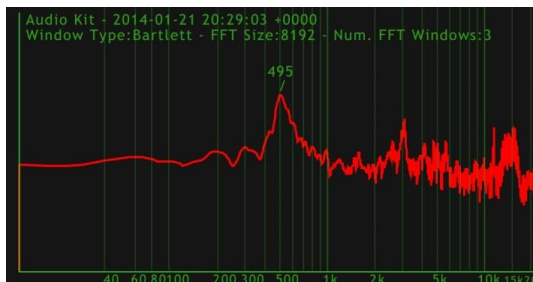


Abb. 24: Frequenzspektrum mit Resonanzröhre, aufgenommen mit Audio Kit

5.2. Bestimmung der Schallgeschwindigkeit in bauchigen Gläsern

Bei der Untersuchung eines Rotweinglases geht man analog vor (Abb. 25), nutzt bei der Auswertung jedoch die Beziehung für den Helmholtzresonator [8] mit der Korrektur $\Delta l = \frac{\pi}{4} R$:

$$f = \frac{c}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{A}{V \cdot (l + 2\Delta l)}}$$

Einsetzen der Zahlenwerte ($c = 345 \text{ ms}^{-1}$ (bei $\vartheta = 23 \text{ }^\circ\text{C}$), $R = 0,04 \text{ m}$, $V = 0,7 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$, $A = 5,03 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$, $l = 0$) liefert eine theoretische Eigenfrequenz des Resonators von 590 Hz, was gut mit dem Messwert von 601 Hz übereinstimmt.



Abb. 25: Ein Rotweinglas als Helmholtz-Resonator



Abb. 26: Die Resonanzfrequenz des verwendeten Rotweinglases beträgt 601 Hz, aufgenommen mit Audio Kit

5.3. (Wein-)Flaschen als Helmholtz-Resonatoren

Nachdem gezeigt ist, dass bauchige Weingläser als akustische Hohlraumresonatoren sehr gut der Helmholtz-Theorie genügen, können wir fragen, ob auch auf Weinflaschen diese Theorie anwendbar ist. Wenn es so wäre, dann müsste sich auch die typische beim Anblasen einer leeren Weinflasche hörbare Frequenz vorhersagen lassen.

Eine verbreitete Flaschenform ist die Bordeauxflasche (Abb. 27 b). Ihre Kennzeichen sind die so genannten Schultern und – hier von besonderem Interesse – der lange Flaschenhals mit konstantem Durchmesser. Für die Vorhersage der Frequenz soll die Flasche als Helmholtz-Resonator aufgefasst werden. Für die Grundfrequenz solcher Resonatoren mit langem Hals (im Vergleich zur Öffnung) gilt die folgende Gleichung ([10], S. 225):

$$f_0 = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{\pi \cdot R^2}{V \cdot L}}$$



Abb. 27: Modelle für Helmholtz-Resonatoren mit und ohne Hals

Dabei ist c die Schallgeschwindigkeit, für die hier (bei der Umgebungstemperatur von $25 \text{ }^\circ\text{C}$) 346 m/s eingesetzt werden. R ist der Radius der Flaschenöffnung und beträgt 1 cm . L als Länge des Flaschenhalses beträgt hier 8 cm . Das Volumen V einer Standardflasche beträgt $0,75 \text{ Liter}$.

Setzt man alle Größen in die Gleichung für die Frequenz ein, erhält man die theoretisch zu erwartende Grundfrequenz von $f_0 = 126 \text{ Hz}$. Zur experimentellen Überprüfung dieser Vorhersage wird wieder ein Smartphone oder ein anderes Gerät mit einer Mög-

lichkeit der Frequenzmessung benötigt. Das Frequenzspektrum der angeblasenen Bordeauxflasche ist in Abb. 28 gezeigt. Dort wird die Peak-Frequenz mit gerundet 117 Hz angegeben. Somit weist die theoretische Vorhersage einen relativen Fehler von etwa 8 % auf und die Helmholtz-Näherung ist damit auch für Weinflaschen ein akzeptables Modell.

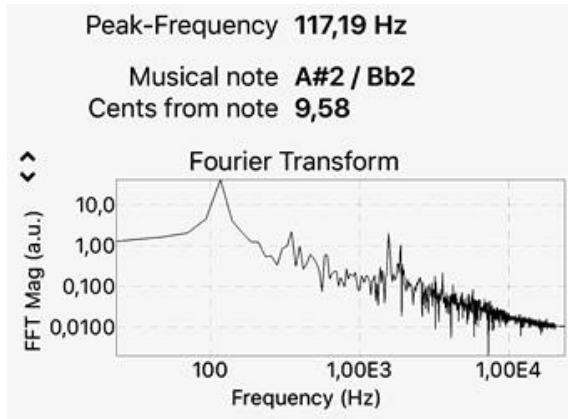


Abb. 28: Frequenzspektrum einer angeblasenen Weinflasche (App: Phyphox [11])

6. Literatur

- [1] Pommeranz, H.-P. (2008). Die explosive Kraft des Sektes. Begleitmaterial zur Fernsehsendung ECHT! vom 05.02.2008, mdr Fernsehen.
- [2] Amtsblatt der Europäisch. Verordnung (EG) Nr. 479/2008 des Rates vom 29. April 2008 über die gemeinsame Marktorganisation für Wein, zur Änderung der Verordnungen (EG) Nr. 1493/1999, (EG) Nr. 1782/2003, (EG) Nr. 1290/2005, (EG) Nr. 3/2008 und zur Aufhebung der Verordnungen (EWG) Nr. 2392/86 und (EG) Nr. 1493/1999. Verfügbar unter: <https://ogy.de/Physik-Wein-1> (Stand: 11/2014)
- [3] Schallanalysator, Downloadmöglichkeit: <https://ogy.de/SchallanaAndroid> (Android), <https://ogy.de/SchallanaiOS> (iOS)
- [4] Demtröder, W. (2013). Experimentalphysik 1. Mechanik und Wärme. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum.
- [5] Kuhn, J., Vogt, P. & Hirth, M. (2014). Analyzing the acoustic beat with mobile devices. In: The Physics Teacher 52, S. 248-249. (DOI: 10.1119/1.4868948)
- [6] Levine, H. & Schwinger, J. (1948). On the radiation of sound from an unflanged circular pipe. In: Phys. Rev. 73, 383.
- [7] Online-Rechner für die temperaturabhängige Schallgeschwindigkeit in Luft. Verfügbar unter: <http://www.sengpielaudio.com/Rechner-schallgeschw.htm> (05/2014)
- [8] Lüders, K., von Oppen, G. (2008). Bergmann · Schaefer – Lehrbuch der Experimentalphysik (Band 1). Berlin, New York: Walter de Gruyter.
- [9] Download der App *Spektroskop*: <https://itunes.apple.com/de/app/spektroskop/id517486614>
- [10] Trendelenburg, F. (1950). Einführung in die Akustik. Berlin / Göttingen / Heidelberg: Springer-Verlag
- [11] Phyphox, Downloadmöglichkeit: <https://phyphox.org/download/>
- [12] Mangold, K., Shaw, J. A. & Vollmer, M. (2015). Rotwein zu Wasser. Infrarotfotografie mit kommerziellen Digitalkameras. In: Phys. Unserer Zeit 1 (46), S. 12-16.
- [13] Downloadmöglichkeit der App „Audio Kit“: <https://apps.apple.com/de/app/audio-kit/id376965050>

Eignung von Wireless Sensoren in Experimentalphysik-Vorlesungen

Erik Kremser*, Patrick Sekyra*

*Technische Universität Darmstadt, FB Physik, Hochschulstraße 6, 64289 Darmstadt
erik.kremser@physik.tu-darmstadt.de, psek@gmx.net

Kurzfassung

In Experimentalphysik-Vorlesungen werden zahlreiche Versuche durchgeführt, die mit computerunterstützter Messwerterfassung ausgewertet werden. Kabelgebundene Sensoren begrenzen die Größe der Versuche und schränken die Bewegungsfreiheit, beispielsweise bei Messungen in rotierenden Systemen, ein. Werden mehrere Messgrößen gleichzeitig erfasst, kann ein Versuchsaufbau mit den oft gleichfarbigen Anschlussleitungen der Sensoren unübersichtlich werden. Durch den Einsatz von Wireless Sensoren kann diesen Schwierigkeiten begegnet werden.

Aufbauend auf den Untersuchungen im Rahmen der wissenschaftlichen Hausarbeit "Vergleich computerunterstützter Messwerterfassungssysteme für den Physikunterricht" [1] wurden auch Versuche der Experimentalphysik-Vorlesungen am Fachbereich Physik der Technischen Universität Darmstadt mit Wireless-Sensoren an Stelle von kabelgebundenen Sensoren und den dazu angebotenen kostenfreien Apps für mobile Endgeräte der Lehrgerätehersteller PHYWE, PASCO und VERNIER aufgebaut, durchgeführt und ausgewertet. Am Beispiel von ausgewählten Versuchen werden die Vor- und Nachteile beim Einsatz von Wireless-Sensoren vorgestellt.

1. Ausgangslage

Die computerunterstützte Messwerterfassung ist fester Bestandteil von Vorlesungen der Experimentalphysik. Bei Versuchen mit einer kurzen Durchführungszeit kann eine ausreichende Anzahl an Messwerten aufgezeichnet und anschließend umfangreich ausgewertet werden. Sehr lang dauernde Versuche können ohne beständige Aufmerksamkeit durchgeführt und die benötigten Messwerte zuverlässig registriert werden. Andererseits können Abhängigkeiten von einzelnen Parametern mit einer schnellen Folge entsprechender Versuchsdurchführungen und anschließender Darstellung der aufgenommenen Messwerte in Diagrammen mit unterschiedlich skalierten Achsen bzw. durch Fitten von Kurven an die Messdaten ermittelt werden. Hierbei wird von den Dozierenden der Vorlesungen der Experimentalphysik am Fachbereich Physik der Technischen Universität Darmstadt wertgeschätzt, dass die bisher genutzte Software diese Möglichkeiten bereitstellt und ein zeitaufwändiger und vom Lernprozess ablenkender Umweg über zusätzliche Software vermieden wird.

Auch im Physikunterricht findet computerunterstützte Messwerterfassung, nach Angabe der Lehrer*innen an Gymnasien im Großraum Frankfurt und zwei Regionen Bayerns, in Verbindung mit externen Sensoren zu 78% Verwendung [2]. Dass die computerunterstützte Messwerterfassung nicht öfter im naturwissenschaftlichen Unterricht eingesetzt wird, liegt zum großen Teil an der mangelnden Vorerfahrung der Lehramtsstudierenden im Studium [3]. So gaben über 65% der befragten Studierenden an, nie oder eher selten Erfahrungen mit

computerunterstützter Messwerterfassung und über 80% nie oder eher selten Erfahrung mit Smartphone-Experimente gesammelt zu haben (ebd.). Gerade die Erfahrungen im Studium wurden als ein wichtiger Faktor als Einfluss auf den Einsatz digitaler Medien in Lehr-Lern-Situationen identifiziert [4].

Am Fachbereich Physik der Technischen Universität Darmstadt wird computerunterstützte Messwerterfassung sowohl in den Vorlesungen Physik als auch im Grundpraktikum regelmäßig eingesetzt. Im Demonstrationspraktikum Physik für die Studierenden der Lehramtsstudiengänge, erhalten die Studierenden darüber hinaus die Möglichkeit computerunterstützte Messwerterfassung selbständig einzusetzen und die Nutzung gemeinsam zu reflektieren.

Sowohl in den Vorlesungen Physik als auch im Demonstrationspraktikum finden bisher kabelgebundene Sensoren über entsprechende Interfaces Anbindung an Notebooks, die auf den Experimentiertischen direkt neben dem Versuch platziert werden. Entsprechend werden die Versuche bisher auf die Größe der Experimentiertische und der Länge der Verbindungsleitungen zwischen Sensor und Interface und Interface zum Notebook beschränkt.

Im großen Physikhörsaal der Technischen Universität Darmstadt beträgt die Breite der Bühne 12 Meter. Versuche zur Kinematik könnten entsprechend groß ausgeführt und ohne Kameras von allen Anwesenden im Hörsaal beobachtet werden, wenn die Länge der Verbindungsleitungen zu den verwendeten Sensoren bzw. deren Handhabung dies nicht verhindern würden. Zusätzlich zur Einschränkung der Bewegungsfreiheit wirken in rotierenden Systemen die

Verbindungsleitungen zu den Sensoren mit Drehmomenten auf die zu untersuchende Bewegung ein, so dass die zu untersuchende Messgröße nicht unbeeinflusst gemessen werden kann. Beispielsweise wird die Zentripetalkraft bisher mit einem Kraftsensor im ruhenden System, am Experimentiertisch befestigt, gemessen. Um den Einfluss der Verdrillung des Fadens auf Grund der Rotation entgegenzuwirken, ist in diesem ein Kugellager integriert. Die auf diese Weise realisierten Messwerte sind allerdings nicht frei von Abweichungen, z.B. auf Grund der Reibung im Kugellager (vgl. Abb. 1).

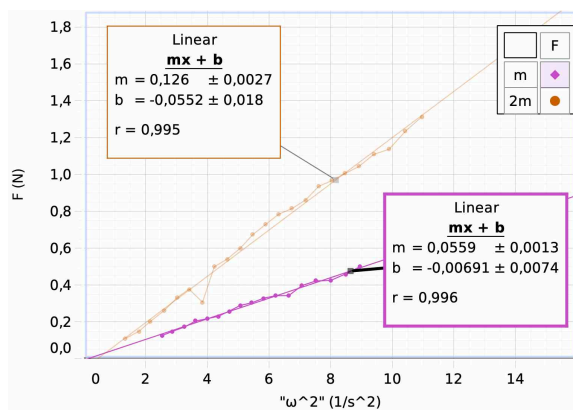


Abb.1: Zentripetalkraft in Abhängigkeit der quadrierten Winkelgeschwindigkeit. Deutlich zu sehen sind Abweichungen auf Grund der Verdrillung des Fadens zwischen Kraftsensor und Versuchswagen.

2. Vorgehensweise

Um die Vor- und auch Nachteile von Wireless-Sensoren in den Vorlesungen Physik in Erfahrung zu bringen, wurden zunächst ausgewählte Versuche aus der Versuchsdatenbank der Vorlesungsassistenten Physik der Technischen Universität Darmstadt an Stelle mit den bisher eingesetzten kabelgebunden Sensoren mit Wireless-Sensoren aufgebaut, durchgeführt und ausgewertet. Weiterhin wurden Versuche neu aufgebaut, wie sie bisher, auf Grund der o.g. Einschränkungen, nicht realisiert werden konnten. Hierzu standen Leihgaben der Lehrgerätehersteller Pasco Scientific (PASCO), PHYWE Systeme GmbH und Co. KG (PHYWE) und Vernier Software & Technology (VERNIER) zur Verfügung. Besonderes Augenmerk galt hier der Bedienung und dem Leistungsumfang der jeweils kostenfrei zur Verfügung gestellten Software für mobile Endgeräte, um die Möglichkeiten einer aktiven Einbindung der Studierenden in Lehr-Lern-Situationen abschätzen zu können. Zum Zeitpunkt der Durchführung der Versuche standen folgende Versionen der Software zur Verfügung: PASCO SPARKvue 4.3.0.10, PHYWE MeasureAPP 1.0.3.0 und VERNIER Graphical Analysis 4.4.10.0.0.

3. Erfahrungen mit Wireless-Sensoren in den Vorlesungen Physik an Beispielen

3.1. Versuche zur Kinematik

Bisher werden in den Vorlesungen Physik der Technischen Universität Darmstadt die Bewegungen von Gleitern auf der Luftkissenbahn mit Ultraschall-Sensoren erfasst und mit diesen die gleichförmige und gleichmäßig beschleunigte Bewegung analysiert. Die dabei zu vermessende Strecke ist von der Länge der Zuleitungen vom Interface zu den Sensoren abhängig. Mit dem Einsatz von Wireless-Sensoren sind diese Beschränkungen aufgehoben. Allerdings bedarf es, um die Gleiter über die gesamte Strecke auf der Luftkissenbahn ohne Aussetzer zu erfassen einer relativ zeitaufwändigen Justage. Bedingt durch die begrenzte Luftzufuhr ist die Zuladung der Gleiter beschränkt, so dass das Massenverhältnis der Stoßpartner nur in einem kleinen Bereich variiert werden kann. Hier sind Fahrzeuge, mit integrierten Bewegungs- und Kraft-Sensoren, auf entsprechenden Fahrbahnen im Vorteil, weil auf Grund ihrer robusten Ausführung deutlich größere Massenunterschiede der Stoßpartner realisiert werden können. Diese Fahrzeuge verfügen über eine Rollreibung, die an den Messwerten deutlich nachvollzogen werden kann. Von den Dozierenden wurde dies allerdings nicht als gravierender Nachteil gewertet. Durch die im Vergleich zur Luftkissenbahn einfachere Handhabung, der freieren Positionierung im Hörsaal und dem Wegfall des lauten Gebläses werden in zahlreichen Vorlesungen Physik der Technischen Universität Darmstadt die Fahrzeuge auf Fahrbahnen bevorzugt.

Mit den integrierten Sensoren in den Fahrzeugen können die Beschleunigungen bei Kollisionen, beispielsweise gegen eine Wand, aufgezeichnet werden. Durch Hinzufügen einer beim Aufprall verformbaren Aluminiumfolie kann so die Auswirkung einer Knautschzone auf die Beschleunigung des Fahrzeuges beim Aufprall verdeutlicht werden. Zusätzlich lässt sich ein Beschleunigungssensor als Modell für einen Insassen auf das Fahrzeug legen und mit einer Mullbinde als Modell eines Haltegurts bei der Kollision gegen eine Wand auffangen (Abb.2).



Abb.2: Vorbereitetes Fahrzeug (PASCO Smart Cart) mit einer gerollten Aluminium-Folie als Knautschzone und einer Mullbinde als Rückhaltesystem für den lose auf dem Fahrzeug liegenden Beschleunigungssensor als Modell eines Fahrzeug-Insassen.

Nacheinander werden die auf das Fahrzeug und den Beschleunigungssensor wirkenden Beschleunigungen ohne Sicherungsmaßnahmen, nur mit Mullbinde als Modell eines Haltegurtes, nur mit der Aluminium-Rolle als Modell einer Knautschzone und anschließend mit Mullbinde und Aluminium-Rolle durchgeführt. Hierbei kann die Wirksamkeit auf die Reduzierung der maximalen Beschleunigungen auf das Fahrzeug jeder einzelnen Maßnahme und die positive Wirkung der Kombination aus Knautschzone und Haltegurt, wie sie im Straßenverkehr für die Sicherheit der Fahrzeug-Insassen sorgt, an Hand eines Modellexperiments demonstriert werden (Abb.3). Mit den Integralen kann, im Rahmen der Auflösung und der beschränkten Abtastrate aufgrund der Anzahl der verwendeten Sensoren, nachvollzogen werden, dass die Flächen unter den Kurven gleich sind, d.h. der Kraftstoß jeweils konstant ist (wenn man die Beschleunigung mit der Masse des beschleunigten Körpers multipliziert).

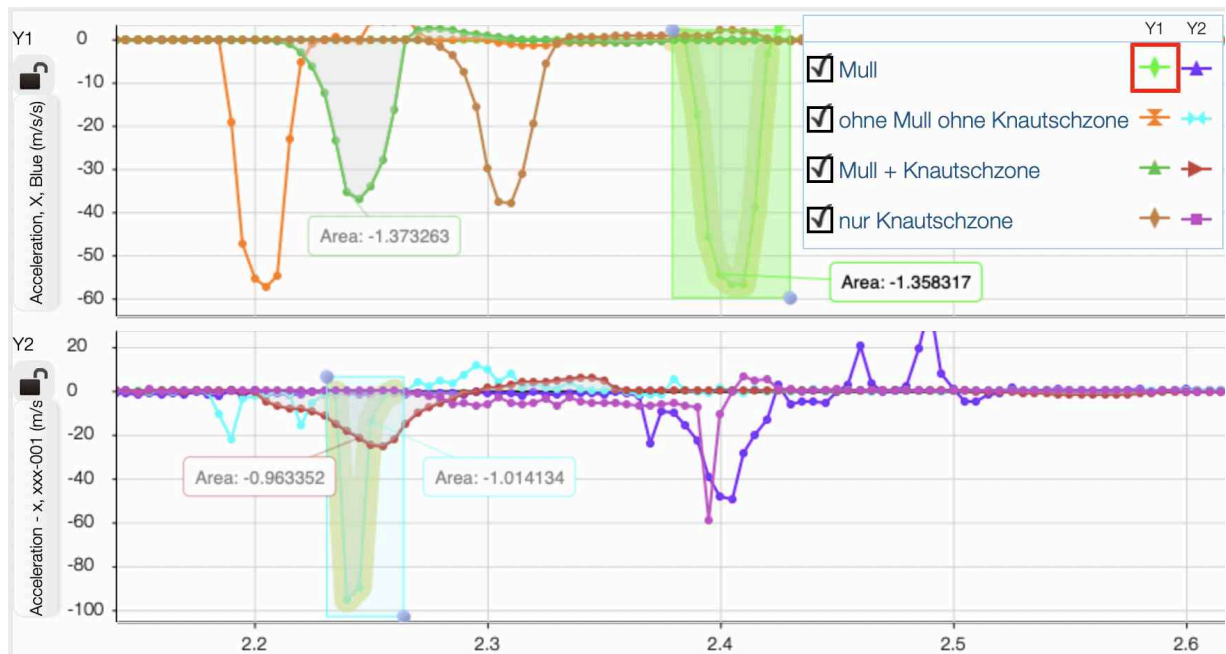


Abb.3: Beschleunigungen beim Aufprall eines Fahrzeuges (hier: PASCO Smart Cart) gegen eine Wand mit einer Mullbinde als Modell eines Haltegurtes und einer Aluminium-Rolle als Modell einer Knautschzone zur Verdeutlichung der Wirkung von Sicherheitseinrichtungen bei Fahrzeugen im Straßenverkehr.

Mit dem Beschleunigungssensor von PASCO, der in einer schützenden gummierten Hülle eingebaut und in dem auch ein Drucksensor verbaut ist, kann die Innenhöhe eines Gebäudes, beispielsweise die des Hörsaals, bestimmt werden. Hierzu wird dieser Sensor senkrecht geworfen, so dass er gegen die Hörsaaldecke prallt und anschließend auf den Boden des Hörsaals fällt. In Abb. 4 ist bei $t=1,5$ s die Ausholbewegung als Höhenänderung zu sehen (rot dargestellt) und die anschließende Beschleunigung des Sensors bei $t=1,9$ s (blau dargestellt). Durch den integrierten Drucksensor können nicht nur die gemessenen

Beschleunigungen grafisch dargestellt werden, sondern auch die dazugehörigen Höhen.

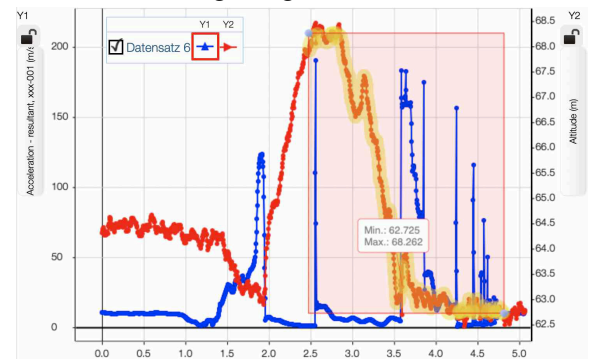


Abb.4: Bestimmung der Höhe des Hörsaals mit dem Beschleunigungssensor von PASCO. Mit dem eingebauten Drucksensor wird die Höhe berechnet (rot dargestellt). Mit den Beschleunigungsmaxima ($t=2,6$ s und $t=3,6$ s) (blau dargestellt) kann die Höhe zu etwa 5,5 m abgeschätzt werden.

Die Beschleunigungsspitze bei $t=2,6$ s resultiert aus dem Aufprall des Beschleunigungssensors mit der Hörsaaldecke und die Beschleunigungsspitze bei $t=3,6$ s aus dem Aufprall auf den Boden des Hörsaals. Anhand der zu diesen Zeitpunkten gemessenen Höhen kann aus deren Differenz die Höhe des Hörsaals bestimmt werden.

3.2. Messungen in rotierenden Systemen

Bei Verwendung eines Wireless-Sensors im rotierenden System wird die in Abb. 1 dargestellte Abweichung von den zu erwartenden Messwerten vermieden.

Darüber hinaus können andere Varianten des Versuchs realisiert werden, die nicht nur eine einfachere Versuchsdurchführung zulassen, sondern durch entsprechende Variation Untersuchungen zu weiteren Fragestellungen ermöglichen (Abb. 5).



Abb.5: Versuchsaufbau zur gleichzeitigen Messung von Zentripetal- und Zentrifugalkraft mit Sensoren von PASCO. Die Schwerpunkte der Testmassen befinden sich im jeweils gleichen Abstand zur Rotationsachse.

Auf einer rotierend gelagerten Schiene sind an zwei entgegengesetzt orientierten Kraftsensoren Massstücke gleicher Masse so montiert, dass die Massenschwerpunkte denselben Abstand zum Rotationsmittelpunkt einnehmen. Durch die unterschiedliche Orientierung der Kraftsensoren können die Zentripetalkraft und die Zentrifugalkraft gleichzeitig gemessen werden. Mit diesem Versuch lässt sich sehr gut zeigen, dass beide Kräfte dieselbe Größe, aber entgegengesetzte Richtung aufweisen, da deren Summe zu jedem Zeitpunkt der Messung null ergibt (Abb. 6).

Besonders positiv fällt der wesentlich gleichmäßigere Verlauf der Messwerte in Abhängigkeit der quadrierten Winkelgeschwindigkeit auf (vgl. Abb. 1).

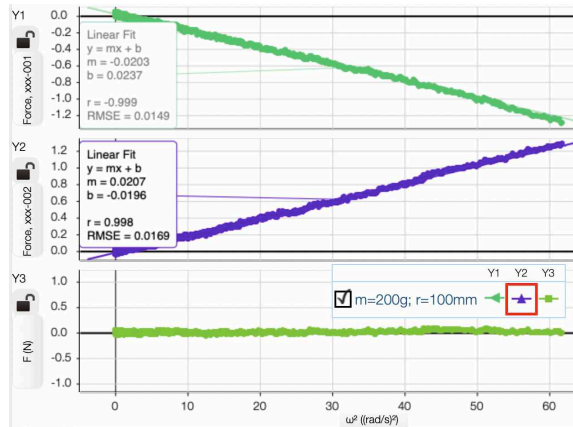


Abb.6: Messschrieb gleichzeitiger Messung der Zentripetalkraft (Diagramm oben), der Zentrifugalkraft (Diagramm in der Mitte) und der Summe beider Kräfte (Diagramm unten) in Abhängigkeit der quadrierten Winkelgeschwindigkeit mit PASCO SPARKvue

Dieser Versuch kann nun stufenweise um weitere Kraftsensoren erweitert werden, so dass die Zentripetal- bzw. Zentrifugalkraft in Abhängigkeit der Masse mit mehreren unterschiedlichen Massestücken an den Kraftsensoren gemessen werden kann. Da in den Vorlesungen der Experimentalphysik die Zeit für die Durchführung der Versuche oft relativ knapp bemessen ist, bietet es sich an, statt in einer Folge von Versuchen mit variiertem Parameter, die gewünschten Messungen in einem Versuch durchzuführen. So

kann in einem Versuchsaufbau mit vier unterschiedlichen Massen, die an den Kraftsensoren montiert alle denselben Abstand zum Rotationsmittelpunkt haben, deren Zentripetalkräfte gleichzeitig gemessen werden (Abb.7).

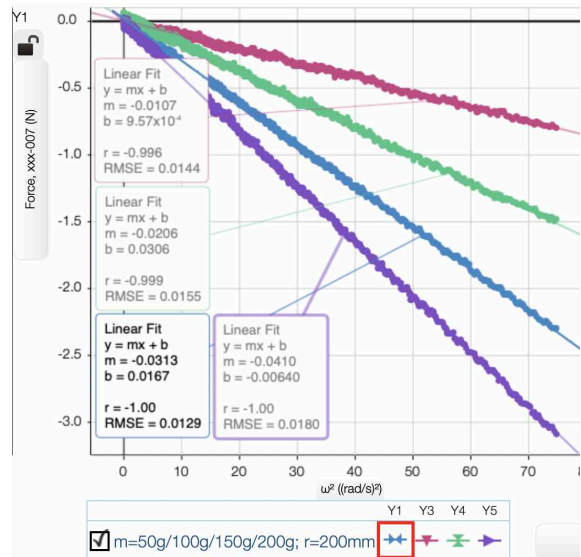


Abb.7: Diagramm in PASCO SPARKvue der Zentripetalkraft der Massen 50g, 100g, 150g und 200g im Abstand von 200mm zum Rotationsmittelpunkt aufgetragen in Abhängigkeit der quadrierten Winkelgeschwindigkeit.

Alternativ kann mit gleichen Massen die Abhängigkeit der Zentripetalkraft vom Abstand zum Rotationsmittelpunkt durch unterschiedliche Positionierung der Kraftsensoren bestimmt werden.

3.3. Übersichtlichkeit ohne Interfaces

Durch die fehlenden Zuleitungen und Interfaces können Versuchsaufbauten übersichtlicher gestaltet werden, wie beispielsweise der zur Untersuchung der Auf- und Entladung von Kondensatoren (Abb. 8). Für die freie Verdrahtung von Schaltkreisen sind die Krokodilklemmen der Spannungssensoren und Stromsensoren von Vernier sinnvoll, für den Einsatz in Schaltungen mit den Bauteilen der Gerätesammlungen in Schulen und Hochschulen allerdings nicht kompatibel.

Bei der Darstellung der Messwerte und den Möglichkeiten der Auswertung weisen die Apps deutliche Unterschiede auf. PHYWE measureAPP lässt die Verrechnung der Messwerte miteinander nur mit den vier Grundrechenarten ohne Berücksichtigung von Faktoren und Summanden zu. Weiterreichende Berechnungen, wie beispielsweise die Linearisierung der Stromstärke beim Entladen eines Kondensators mit der Logarithmusfunktion, sind nicht möglich. Für die Weiterverarbeitung der Messdaten müssen diese exportiert und in eine andere Software, die die gewünschten Darstellungs- und Verrechnungsmöglichkeiten zur Verfügung stellt, importiert werden. Diese Handlung lenkt vom Erkenntnisprozess des physikalischen Inhalts ab und kostet unnötig viel Zeit.

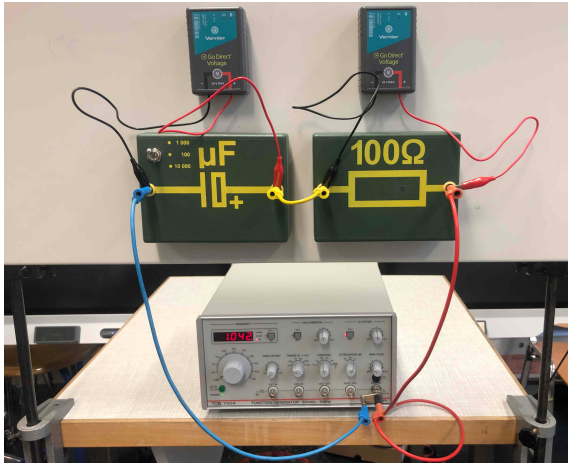


Abb.8: Aufladen und Entladen eines Kondensators am Beispiel der Sensoren von VERNIER.

VERNIER bietet mit der intuitiv zu bedienenden Software Graphical Analysis deutlich mehr Möglichkeiten der Darstellung der Messwerte, die jederzeit geändert und an die Bedürfnisse des Experimentierenden angepasst werden können. Die vordefinierten Funktionen der Weiterverarbeitung der Messwerte orientieren sich am Bedarf in Schulen. So stehen neben Potenz- und Winkelfunktionen auch Logarithmus-Funktionen und die erste und zweite Ableitung zur Verfügung, während die Integralfunktion fehlt. Für die jeweils vorgegebene Struktur der mathematischen Funktionen können Parameter eingegeben und die Messwerte ausgewählt werden, auf die diese Funktion angewendet werden soll. Durch wiederholte und kombinierte Anwendung von diesen Funktionen können solche Funktionen zusammengestellt werden, die nicht vorgegeben sind. Für komplizierte Formeln, wie beispielsweise der Berechnung der Höhenänderung aus der Druckänderung mit der internationalen Höhenformel, ist die Berechnung der gesuchten Größe möglicherweise sehr aufwändig (vgl. [1], S.23). Für die Darstellung der Stromstärke in logarithmierter Skalierung der Abb.9 mussten drei Größen (Größe der Stromstärke aus der gemessenen Spannung, dessen Betrag und Logarithmierung) in drei Berechnungen erfolgen. Die Anzeige der Parameter der eingezeichneten Näherungsfunktion ist am rechten Rand des Bereiches fixiert, der für die Näherungskurve herangezogen wurde und lässt sich nur vertikal verschieben, so dass immer ein Teil des Diagramms verdeckt wird.

Die umfangreichsten Auswertungsmöglichkeiten bietet die Software PASCO SPARKvue an. In einem Formeleditor steht eine große Auswahl an Funktionen bereit, die beliebig kombiniert werden können und den naturwissenschaftlichen Bereich abdecken.

3.4. Die Grenzen der Sensoren

Zur Demonstration des Wienschen Verschiebungsgesetzes wird bisher die Lichtintensität des Spektrums einer Halogenlampe mit einem Lichtsensor in Abhängigkeit vom Brechungswinkel aufgetragen. Dies hat den Vorteil, dass zu der jeweilig gemessenen

Lichtintensität auch die dazugehörige Farbe im Spektrum beobachtet werden kann. Besonderes Augenmerk liegt hierbei auf der Demonstration des breiten Bereichs im Infrarot. Die zu messende Lichtintensität ist für die Wireless-Sensoren allerdings zu gering, sodass eine vergleichende Messung mit unterschiedlichen Beleuchtungsstärken nicht möglich ist.

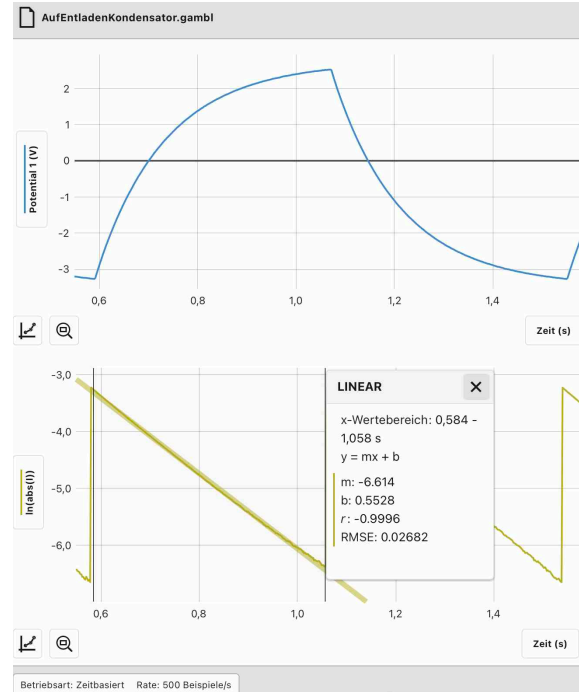


Abb.9: Linearisierte Darstellung der gemessenen Stromstärke mit der Software Graphical Analysis beim Auf- und Entladen eines Kondensators mit Sensoren von VERNIER.



Abb.10: Sensoren der PASPORT-Serie von PASCO können drahtlos mit dem AirLink Interface zusammen mit anderen Wireless-Sensoren genutzt werden, hier mit einem Licht-Sensor hoher Sensitivität zur Bestimmung der Lichtintensität in Abhängigkeit des Brechungswinkels des Lichtes einer Halogenlampe.

In diesem Fall bietet sich die Kombination von Wireless und kabelgebundenen Sensoren an. Dies ist bei PASCO und VERNIER in Verbindung mit deren Interfaces ohne zeitlichen Versatz möglich. Zusätzlich bietet PASCO mit dem AirLink Interface einen Wireless-Adapter für alle PASPORT-Sensoren an, die bisher kabelgebunden an Interfaces betrieben wurden. So ist es möglich, den Versuch mit einem extrem lichtempfindlichen Sensor weiterhin kabellos

übersichtlich aufzubauen und auf Grund der fehlenden Verbindungsleitungen einfacher bedienen zu können. (Abb. 10.)

Auf Grund der beschränkten Datenrate der Bluetooth-Verbindung zwischen Sensoren und Endgerät ist die maximale Abtastrate bei Verwendung eines Sensors auf 1 kHz begrenzt. Werden mehrere Sensoren verwendet, reduziert sich die Abtastrate entsprechend. Die Sensoren können auch per USB-Kabel an einen Rechner angeschlossen werden, jedoch konnten in diesem Fall Messdaten mit einem Sensor nur mit maximal 5 kHz abgetastet werden, so dass Messungen an Schwingkreisen eine entsprechende Dimensionierung der Bauteile erfordern.

3.5. Fächerübergreifende Versuche

Im Widerspruch zur alltäglichen Erfahrung scheint die Aussage in der Physik zu stehen, dass wenn man sich auf einer Horizontalen bewegt, keine Arbeit verrichtet, weil der zurückgelegte Weg und die wirkende Gewichtskraft senkrecht zueinander stehen. Hier bietet es sich an, die Bewegung des Körpers beim Gehen zu untersuchen. Hierzu wird mit einem Ultraschall-Bewegungssensor auf dem Kopf und einem Beschleunigungssensor an unterschiedlichen Stellen des Körpers die Bewegung einer Testperson analysiert.

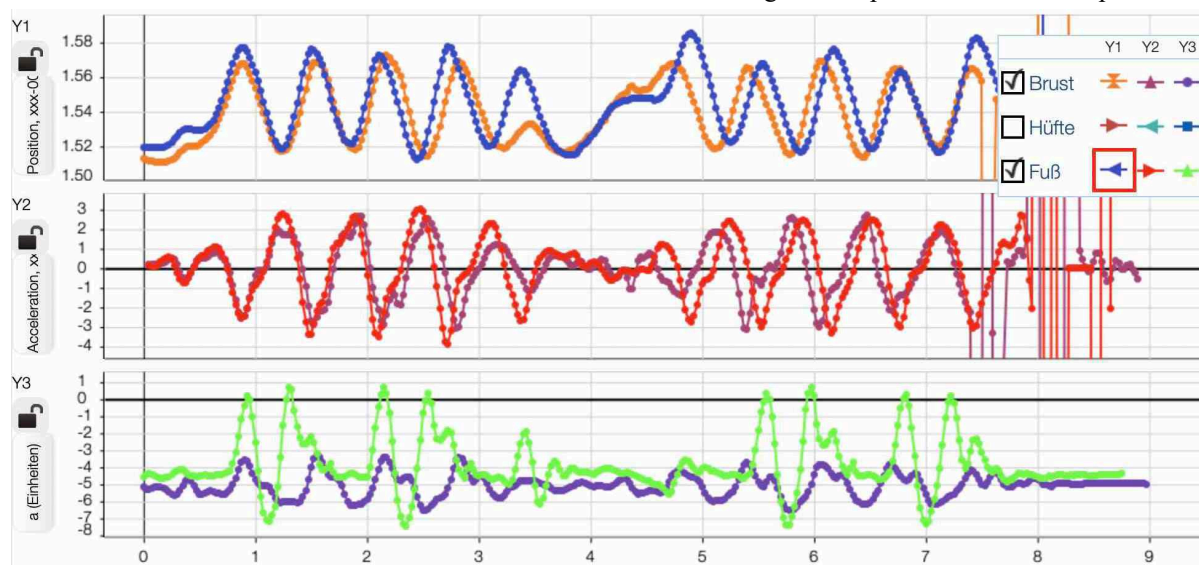


Abb.11: Analyse der Bewegung einer gehenden Testperson mit SPARKVue und Sensoren von PASCO. Im oberen Diagramm wird die Änderung der vertikalen Position des Kopfes, im mittleren Diagramm die vertikale Beschleunigung des Kopfes und im unteren Diagramm die Beschleunigung am Fußgelenk (grün) und auf Brusthöhe (lila) dargestellt.

In Abb.11 ist im oberen Diagramm zu beobachten, dass der Körper der Testperson bei jedem Schritt im Mittel um 6 cm gehoben wird. Diese Hubarbeit muss am Körper verrichtet werden. Das anschließende Fallen des Körpers muss vom Körper wieder abgebremst und in die entgegengesetzte Richtung beschleunigt werden (mittleres Diagramm). Im unteren Bereich des Diagramms kann nachvollzogen werden, dass die

auf einen Wireless Beschleunigungssensor, der an unterschiedlichen Körperregionen befestigt wurde, unterschiedliche Beschleunigungen wirken, die - bedingt durch innere Reibung und der Trägheit der Masse - unterschiedlich stark ausfallen. Die Arbeit die Gliedmaßen entsprechend gegen die Schwerkraft und der inneren Reibung zu bewegen muss ebenfalls von der gehenden Person aufgebracht werden. Somit ist nachvollziehbar, dass man, wenn man sich senkrecht zum Schwerfeld der Erde bewegt, Arbeit verrichten muss.

Auf Grund der positiven Erfahrungen im Rahmen zweier wissenschaftlicher Hausarbeiten ([5], [6]) zur Entwicklung von Experimenten im anwendungsbezogenen Physikunterricht, der sich am Alltag und der gewohnten Umgebung der Lernenden orientiert und neben den fachlichen auch sinnliche Erfahrungen in einem fächerübergreifenden Kontext ermöglicht, steht ein mobiles Küchenmodul zur Verfügung. Mit diesem werden im Hörsaal zahlreiche Experimente zur Thermodynamik und Energie mit Wireless-Sensoren durchgeführt, weil diese die notwendige Bewegungsfreiheit des Experimentierenden nicht einschränken. So können beispielsweise beim Vergleich unterschiedlicher Erwärmungsmethoden von Wasser die benötigten Temperatursensoren frei positioniert

werden.

In der Thermodynamik bieten sich u.a. die Untersuchungen der Gasgesetze an. Werden ein Temperatursensor und ein Drucksensor mit konstant gehaltenem Volumen in einem Gefrierschrank deponiert, kann durch Messung von Druck und Temperatur das Gesetz von Amontons bestätigt werden (vgl. [1], S.17).

3.6. Allgemeines

Die Apps, die die Nutzung der Wireless-Sensoren auf mobilen Endgeräten ermöglichen, sind alle intuitiv bedienbar und haben dadurch den Vorteil, dass sie von den Dozierenden und Assistierenden in den Vorlesungen Physik nach nur kurzer Einarbeitungszeit sicher genutzt werden können.

Ein großer und nicht zu unterschätzender Vorteil der Wireless-Sensoren ist, dass sie durch die integrierten Akkus bzw. Batterien keine Anbindung an das Stromnetz benötigen. Die Experimente können somit beliebig im Hörsaal positioniert werden oder ermöglichen Messungen außerhalb des Hörsaals, deren Messdaten live in diesen übertragen werden können.

4. Zusammenfassung und Ausblick

Mit Wireless-Sensoren können Versuche in den Vorlesungen übersichtlicher aufgebaut werden, weil keine zusätzlichen Interfaces mit entsprechenden Verbindungsleitungen zu den Sensoren den Beobachtenden vom eigentlichen Versuch ablenken. Die Unabhängigkeit von Verbindungsleitungen und Stromnetz erlaubt eine beliebige Positionierung im Hörsaal und eine freie Gestaltung der Versuche.

In den Vorlesungen Physik der Technischen Universität Darmstadt wird die Software PASCO SPARKvue bevorzugt, da bei einigen Experimenten umfangreiche Berechnungen bzw. aufwändigere Darstellungen der Messdaten benötigt werden.

Im Demonstrationspraktikum Physik stehen den Studierenden neben den Sensoren von PASCO mit der Software SPARKvue und dem AirLink Interface zur Integration der PASPORT-Sensoren, zusätzlich die Sensoren von Vernier zur Verfügung, weil sich die Software Graphical Analysis auf Grund der intuitiven Bedienung besonders für den Einsatz in Schulen anbietet. Durch das Kennenlernen beider Systeme wird den Studierenden die Möglichkeit gegeben, sich selbst einen Eindruck von beiden Systemen zu verschaffen und basierend darauf für den geplanten Einsatz gezielt auswählen zu können. Die Studierenden nutzen diese Systeme in ihren Unterrichtseinheiten, die sie, mit ihren Kommilitonen in der Rolle als Schüler*innen, durchführen. Bei den gemeinsamen Reflexionen der Unterrichtseinheiten werden sehr oft die Übersichtlichkeit der Versuche und die einfache Handhabung der Systeme von allen Beteiligten herausgehoben.

Laut der JIM-Studie besitzen 97% der Jugendlichen ein Smartphone [7]. Somit ist auch unter den Studierenden von einer hohen Verbreitung an Smartphones auszugehen. Die Software der gängigen Lehrgerätehersteller, die Wireless-Sensoren anbieten, stehen kostenfrei für mobile Endgeräte zur Verfügung. Somit sind neue Lehr-Lern-Szenarien denkbar, die die Studierenden aus der passiven Rolle bei den Demonstrationsexperimenten in die aktive Rolle der Durchführung von Versuchen bzw. der Auswertung und Bereitstellung von Messdaten versetzen. Die Messdaten, die von einem gerade durchgeführten Demonstrationsexperiment in den Vorlesungen Physik aufgenommen wurden, können von den Studierenden ausgewertet und diese Daten bzw. deren Analyse in den Vorlesungen oder Übungen präsentiert werden (vgl. [8]). Hierzu bedarf es eines Internetzugangs und bei der Nutzung der Sensoren von VERNIER eines Interfaces der LabQuest-Serie. Die Software

SPARKvue von PASCO bietet über den unabhängigen Austausch an Daten (hier als geteilte Sitzungen bezeichnet) auch geführte Sitzungen an, bei denen der Bildschirm einer Person mit den anderen Teilnehmenden geteilt wird, so dass auch Verarbeitungsprozesse präsentiert werden können.

Denkbar ist auch die Durchführung einer Messaufgabe als Vorbereitung für eine Vorlesung, in der die von den Studierenden erfassten Messdaten zur Erarbeitung eines physikalischen Sachverhaltes oder einer Gesetzmäßigkeit herangezogen werden (vgl. [8]).

Im Idealfall würden die Experimente in den Praktika mit computerunterstützter Messwerterfassung mit derselben App durchgeführt, so dass die Studierenden hierbei von den in den Vorlesungen und Übungen angeeigneten Fertigkeiten profitieren können.

5. Literatur

- [1] Sekyra, P. (2020). Vergleich computerunterstützter Messwerterfassungssysteme für den Physikunterricht. Wissenschaftliche Hausarbeit, Technische Universität Darmstadt, Url: https://www.physik.tu-darmstadt.de/media/fachbereich_physik/phys_studium/vorlesungsassistenz/wiss_hausarbeiten/WH-Vergleich-computerunterstuetzter-messwerterfassungssysteme_sekyra.pdf (Stand: 5/2021)
- [2] Wenzel, M., Wilhelm, T. (2015). Erhebung zum Einsatz Neuer Medien bei Physik-Gymnasiallehrern. In Groetzebauch, H. & Nordmeier, V. (Hrsg.), PhyDid B – Didaktik der Physik. Beiträge zur DPG Frühjahrstagung des Fachverbands Didaktik der Physik in Wuppertal 2015.
- [3] Finger, A., Thyssen, C., Laumann, D. & Vogelsang, C. (2020). Analyse von Einflussfaktoren auf den Einsatz digitaler Werkzeuge im naturwissenschaftlichen Unterricht. In S. Habig (Hrsg.), Naturwissenschaftliche Kompetenzen in der Gesellschaft von morgen, S. 182-185. Universität Duisburg-Essen, Url: https://www.gdcp-ev.de/wp-content/tb2020/TB2020_182_Finger.pdf (Stand: 5/2021).
- [4] Vogelsang, C., Finger, A., Laumann, D. & Thyssen, C. (2019). Vorerfahrungen, Einstellungen und motivationale Orientierungen als mögliche Einflussfaktoren auf den Einsatz digitaler Werkzeuge im naturwissenschaftlichen Unterricht. ZfDN, <https://doi.org/10.1007/s40573-019-00095-6> (Stand 5/2021).
- [5] Dietz, J. C. (2013). Physik in der Küche – ein Konzept, den Physikunterricht am Alltag der Lernenden zu orientieren. Wissenschaftliche Hausarbeit, Technische Universität Darmstadt, Url: <https://www.physik.tu->

- [darmstadt.de/media/fachbereich_physik/phys_studium/vorlesungsassistenz/wiss_hausarbeiten/2013_WH_Diezt_-_Physik_in_der_Kueche.pdf](https://www.uni-darmstadt.de/media/fachbereich_physik/phys_studium/vorlesungsassistenz/wiss_hausarbeiten/2013_WH_Diezt_-_Physik_in_der_Kueche.pdf) (Stand: 5/2021)
- [6] Käß, S. K. (2016). Physik in der Küche – Erarbeitung eines Konzeptes in der Sekundarstufe I für einen anwendungsbezogenen Physikunterricht. Wissenschaftliche Hausarbeit, Technische Universität Darmstadt, nicht veröffentlicht.
- [7] Feierabend, S., Rathgeb, T. & Reutter, T. (2019). Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest (2018). JIM-Studie 2018 - Jugend, Information, Medien. Basisuntersuchung zum Medienumgang 12- bis 19-Jähriger. Stuttgart: MPFS. Url: https://www.mpfs.de/fileadmin/files/Studien/JIM/2018/Studie/JIM2018_Gesamt.pdf (Stand: 5/2021)
- [8] Hütz, S., Staaks, S., Stampfer, C. & Heinke, H. (2018). Einsatz der App phyphox in Physikvorlesungen und -übungen. In: C. Maurer (Hrsg.), Qualitätsvoller Chemie- und Physikunterricht - normative und empirische Dimensionen. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Regensburg 2017. (S. 831). Universität Regensburg.

Qualitative Versuche zur Physik des Treibhauseffekts

Tim Ruhe*, Marcel Stachowiak*, Lena von Kolken*

*Experimentelle Physik 5, Technische Universität Dortmund
tim.ruhe@tu-dortmund.de

Kurzfassung

Der anthropogene Klimawandel und seine Folgen sind nicht zuletzt deswegen eine Herausforderung für Politik und Gesellschaft, weil die zugrunde liegenden physikalischen Gesetzmäßigkeiten der resonanten Absorption von Strahlung nicht trivial sind. Zwar existieren einige Versuche, die sich der Thematik annehmen, indem zum Beispiel die Temperaturänderung in Gasen mit und ohne erhöhten CO₂-Anteil unter Sonneneinstrahlung untersucht wird, jedoch funktionieren diese Versuche in der Praxis oft nur unzureichend. Der vorliegende Beitrag beschreibt eine etwas größer dimensionierte Variante dieser Versuche, die für eine bessere Sichtbarkeit der physikalischen Effekte mit computergesteuerter Messwerterfassung kombiniert werden und an der TU Dortmund in der Ausbildung von Lehrkräften eingesetzt werden soll. Darüber hinaus wird gezeigt, wie im Rahmen der entwickelten Versuche Anknüpfungspunkte an andere naturwissenschaftliche Fächer entstehen, wodurch z.B. die Rolle von Ozeanen oder Wäldern als CO₂-Senken qualitativ erfahrbar wird.

1. Einleitung

Der anthropogene Klimawandel und dessen mittlerweile auch im Alltag beobachtbare Auswirkungen sind eine zunehmende Herausforderung für Wissenschaft, Politik und Gesellschaft [1]. Der herausfordernde Charakter des Problems wird durch die hochgradig nicht-triviale Physik der resonanten Absorption und Emission von Strahlung verstärkt. So ist zum Beispiel nicht auf den ersten Blick einsichtig, weshalb Spurengase wie CO₂ oder Methan, deren Anteil in der Erdatmosphäre etwa 0,04% (CO₂), bzw. etwa 1800 ppb (Methan) beträgt, als Treibhausgase wirken, wohingegen Gase wie Sauerstoff oder Stickstoff, welche in der Erdatmosphäre in viel stärkerem Maße vorhanden sind, dies nicht tun.

Naturphänomene und deren Zusammenhänge sind ebenso im Perspektivrahmen Sachunterricht verankert, wie das Verhältnis von Mensch und Natur und die Frage, wie dieses Verhältnis auf nachhaltige Weise gestaltet werden kann. Darüber hinaus sollen die SuS bereits in der Primarstufe die Naturwissenschaften als Grundlage für einen verantwortungsvollen Umgang mit der Natur erkennen [2].

Da dem anthropogenen Treibhauseffekt in diesem Zusammenhang eine besondere Rolle zukommt, müssen LehramtskandidatInnen nicht nur für die Sekundarstufen I und II, sondern auch für den Sachunterricht in den physikalischen Grundlagen des Klimawandels geschult werden, um die Inhalte sowohl

physikalisch korrekt als auch altersgerecht vermitteln zu können. Die zugrunde liegenden Prinzipien können jedoch ohne Kenntnisse der Quantenmechanik nicht im Detail verstanden werden. Quantenmechanik allerdings ist nicht Teil der Ausbildung von Lehrerinnen und Lehrern im Sachunterricht. Aus diesem Grund müssen andere Ansätze gewählt werden, um die Physik des Treibhauseffekts zu vermitteln.

Qualitative Versuche, in Kombination mit Erklärungen auf Basis des Bohrschen Atommodells, bieten an dieser Stelle einen niedrigschwelligen Zugang zur Thematik, da auf diese Weise das physikalische Wissen konkretisiert werden kann. Ebenso kann das Phänomen der globalen Erwärmung im Rahmen eines Versuches klar und überzeugend dargestellt und physikalische Gesetzmäßigkeiten direkt erfahrbar gemacht werden. Darüber hinaus können im Rahmen eines Versuches Vorstellungen – insbesondere auch Fehlvorstellungen – überprüft und nachhaltige Eindrücke vermittelt werden [3].

Obwohl einige Versuche zum Treibhauseffekt und zur Auswirkung einer erhöhten CO₂-Konzentration auf die Umgebungstemperatur existieren, mussten die Autoren feststellen, dass diese in der Praxis oft nur unzureichend funktionieren.

Die zuvor genannten Versuche bestehen in der Regel aus zwei Behältern, z.B. Marmeladengläsern. Der Inhalt eines dieser Behälter weist eine erhöhte CO₂-Konzentration auf. Nachdem die Behälter

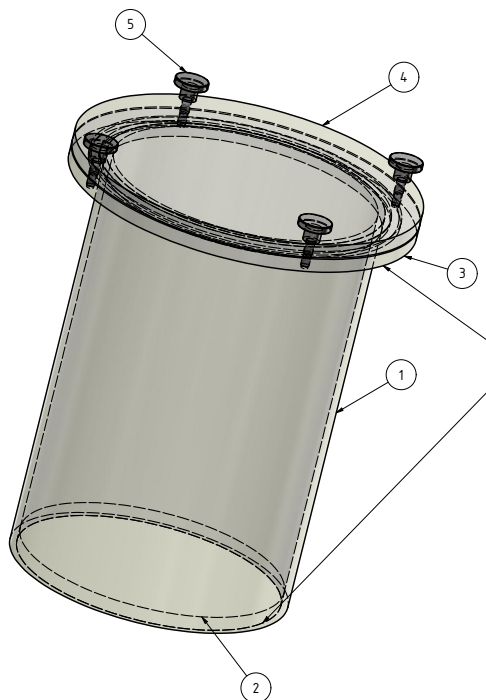


Abb.1: Skizze des verwendeten Behälters.

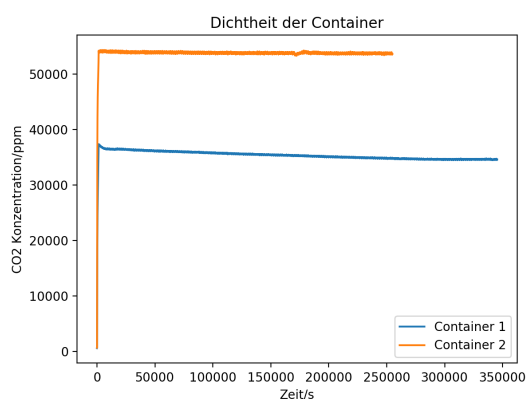


Abb.2: Messungen mit erhöhter CO₂-Konzentration, aber ohne zusätzliche Einflussfaktoren zur Überprüfung der Dichtheit der verwendeten Behälter.

Sonnenlicht oder Wärmestrahlung ausgesetzt wurden, soll eine Temperaturdifferenz zwischen beiden Behältern beobachtet werden, welche die Treibhauswirkung von CO₂ illustrieren soll. Leider war bei diesen eher kleinen Aufbauten die erreichte Temperaturdifferenz nicht oder nur bedingt aussagekräftig.

Durch die einfache Natur der Versuche konnten die einzelnen experimentellen Parameter, insbesondere die CO₂-Konzentration, nicht bestimmt werden, wodurch sich eine dezidierte Fehlersuche schwierig gestaltet. Da das Abdichten der Behälter häufig mit Knetmasse oder vergleichbaren Materialien durchgeführt werden soll, kommen mögliche undichte Stellen als weitere mögliche und – zumindest im Rahmen

dieser einfachen Aufbauten – nicht zu kontrollierende Fehlerquelle hinzu.

Dieses Papier stellt Versuche vor, die an den oben genannten Versuchsaufbau angelehnt Behälter mit größeren Volumina verwenden. Darüber hinaus werden moderne Methoden der elektronischen Messwerterfassung verwendet, um die experimentellen Parameter in Echtzeit zu überwachen. Die Versuche wurde an der TU Dortmund für den Einsatz in der Lehramtsausbildung entwickelt, konnten jedoch aufgrund der COVID-19 Pandemie noch nicht in Seminaren eingesetzt und erprobt werden.

Das vorliegende Papier ist folgendermaßen gegliedert: Abschnitt 2 beschreibt den Aufbau der Versuche inklusive der verwendeten Messinstrumente. In Abschnitt 3 werden ausgewählte Messreihen vorgestellt und diskutiert. Eine Zusammenfassung und ein Ausblick beschließen das Papier in Abschnitt 4.

2. Versuchsaufbau und verwendete Geräte

Abbildung 1 zeigt den verwendeten Versuchsaufbau. Das verwendete Plexiglasrohr hat eine Höhe von 30 cm und einen Durchmesser von 20 cm (außen) bzw. 19 cm (innen). Zwischen Deckel (4) und Ring (3) befindet sich eine zusätzliche Gummidichtung (nicht Teil der Skizze). Zur Befestigung der Messgeräte, insbesondere von Temperatur- und CO₂-Sensor, wurde der Deckel mit drei Bohrungen versehen. Der Durchmesser der Bohrungen wurde an die verwendeten CO₂-Sensoren angepasst.

Als CO₂-Sensor wurde der *Wireless CO₂-Sensor PS3208*¹ der Firma pasco verwendet, wohingegen für Temperaturmessungen der *Wireless Temperature Sensor PS3201*² (ebenfalls von der Firma pasco) benutzt wurde.

Die Messergebnisse wurden mit den Softwarepaketen Capstone [4] und SparVue [5] automatisch erhoben und im Anschluss separat ausgewertet. Allerdings kann der gewünschte Lerneffekt selbstverständlich auch mit anderen passenden Messgeräten und/oder anderer Software erzielt werden.

Das benötigte Kohlendioxid wurde über die Reaktion von Zitronensäure (C₆H₈O₇) mit Natriumhydrogencarbonat (NaHCO₃, Natron) in einem separaten Erlenmeyerkolben erzeugt und über einen Schlauch in den Container geleitet. Zwischen Erlenmeyerkolben und Container wurde zur besseren Unterbrechung der CO₂-Zufuhr ein Hahn installiert. Nach Erreichen einer bestimmten CO₂-Konzentration, respektive nach Ablauf einer bestimmten Zeit (typischerweise 5 bis 10 Minuten) wurde die CO₂-Zufuhr durch Schließen des Hahnes gestoppt und der Schlauch vom Erlenmeyerkolben getrennt. Das offene Schlauchende

¹ <https://www.pasco.com/products/sensors/wireless/ps-3208>

² <https://www.pasco.com/products/sensors/wireless/ps-3201>

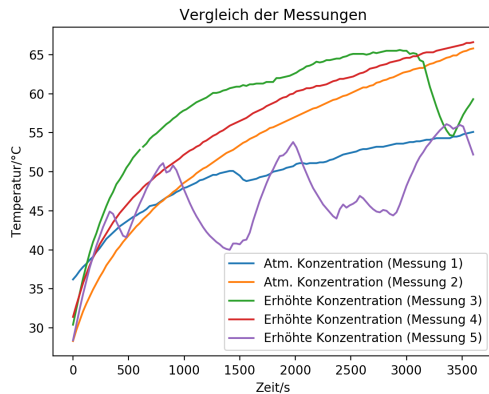


Abb.3: Vergleich von Messungen mit atmosphärischer (Messungen 1 und 2) und erhöhter CO_2 -Konzentration (Messungen 3 bis 5).

wurde zusätzlich mit einem passenden Stopfen verschlossen.

Abbildung 2 zeigt den Verlauf der CO_2 -Konzentration ohne weitere Einflussfaktoren als Funktion der Zeit. Der analysierte Zeitraum beträgt dabei etwa 97 h (Container 1) bzw. etwa 69 h (Container 2). Man erkennt deutlich, dass die CO_2 -Konzentration, zwar mit der Zeit abnimmt, die Abnahme über den Zeitraum einer typischen Messung zur Temperaturerhöhung bei erhöhtem CO_2 -Gehalt (etwa 1 bis maximal 2 h), aber klein ist, und der CO_2 -Gehalt über diesen Zeitraum somit in guter Näherung als konstant angenommen werden kann. Bei längeren Messintervallen können die Werte aus Abb. 2 als Referenzwerte benutzt werden.

3. Ausgewählte Ergebnisse

Im Rahmen des vorliegenden Papiers sollen die Ergebnisse dreier separat durchgeführter Analysen vorgestellt und diskutiert werden. Die erste Messung befasst sich mit der tatsächlichen Messbarkeit der zu veranschaulichenden Effekte (Temperaturerhöhung bei erhöhter CO_2 -Konzentration) [6], während die zweite Analyse die Möglichkeit der Nutzung des Versuchsaufbaus zur Illustration der Rolle von Ozeanen als globalen CO_2 -Senken verdeutlicht.

Eine dritte Analyse beschäftigt sich mit dem fächerübergreifenden Einsatz des Versuchsaufbaus und untersucht den Einfluss von Grünpflanzen auf den CO_2 -Gehalt sowie die Sichtbarmachung der Tag-Nacht-Schwankungen des CO_2 -Gehalts, welche durch die Pflanzenatmung hervorgerufen werden [7].

3.1. Messung der Temperaturerhöhung bei erhöhter CO_2 -Konzentration

Abbildung 3 zeigt den Vergleich zweier Messungen mit atmosphärischer- mit drei Messungen mit erhöhter CO_2 -Konzentration. Um eine möglichst gute Absorption der Sonnenstrahlung und deren Umwandlung in Infrarot-Strahlung zu gewährleisten, wurden die Innenseiten des Containers zu etwa einem Drittel

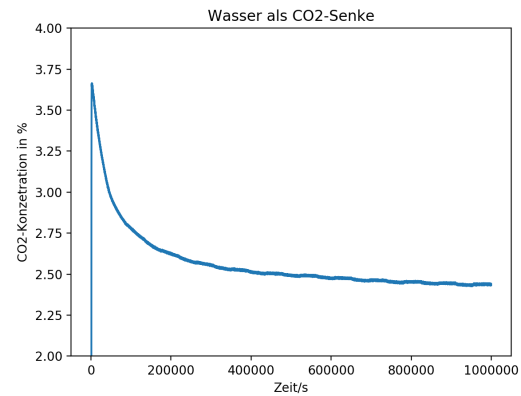


Abb.4: CO_2 -Konzentration als Funktion der Zeit mit Wasser im Behälter.

mit einer schwarzen Gummimatte abgedeckt. Während der Messungen wurde der Container seitlich gelagert um eine möglichst große Fläche der Sonneneinstrahlung auszusetzen.

Die Messungen bei atmosphärischer CO_2 -Konzentration (Messungen 1 und 2) sind in blau und in orange dargestellt. Messwerte die bei einem erhöhten CO_2 -Gehalt aufgenommen wurden (Messungen 3, 4 und 5) sind in grün, rot und violett dargestellt. In allen Fällen wurden die Daten über einen Zeitraum von etwa einer Stunde aufgenommen. Man erkennt deutlich, dass bei Messungen mit einem erhöhten CO_2 -Gehalt höhere Endtemperaturen erreicht werden. Darüber hinaus ist zu erkennen, dass die Temperatur bei erhöhten CO_2 -Konzentrationen zu Beginn der Messungen stärker ansteigt. Der kurzfristige Abfall der Temperatur in Messung 3 kann durch eine externe Störung erklärt werden, durch die das Messgerät kurzzeitig aus der Halterung gerissen wurde. Im Gegensatz zu den Messungen 1 bis 4 wurde Messung 5 bei unterschiedlichen Witterungsbedingungen aufgenommen. Der Einfluss vorbeiziehender Wolken auf die Messdaten ist als kurzfristiger Temperaturabfall im anschließendem Anstieg deutlich erkennbar. Die Messunsicherheit des Temperatursensors beträgt $\pm 0,5^\circ\text{C}$ [8] und ist damit deutlich kleiner als die beobachteten Temperaturunterschiede.

3.2. Ozeane als CO_2 -Senken

Für die in Abb. 4 gezeigte Messreihe wurde vor der CO_2 -Zufuhr Wasser in den Plexiglas Container gegeben, um die Aufnahme von CO_2 durch die Ozeane und deren Rolle als globale Kohlenstoffsenken zu verdeutlichen. Die Messung wurde über einen Zeitraum von etwa 10 Tagen durchgeführt.

Man erkennt, dass nach einem steilen, durch die Zufuhr von CO_2 verursachten Anstieg die CO_2 -Konzentration bis zur Zeit $t = 10^5$ s zunächst stark abfällt. Für größere Zeiten ist der Abfall der Konzentration zwar geringer aber ebenfalls deutlich zu erkennen. Daraus lässt sich schließen, dass die Rolle von Ozeanen als Kohlenstoffsenke durch diesen Versuch

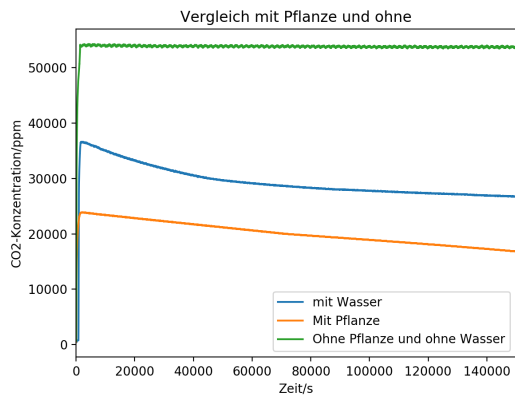


Abb.5: Vergleich der Messungen mit Grünpflanzen (orange) zu den Messungen mit Wasser (blau) und ohne äußere Einflüsse (grün).

qualitativ gezeigt werden kann. Ebenso lässt sich folgern, dass eine Messzeit von 48 bis 72 Stunden ausreichend ist, um den gewünschten Effekt sichtbar zu machen.

3.3 Pflanzenatmung und Rolle von Grünpflanzen als CO₂-Senke

Neben Ozeanen sind auch Grünpflanzen wichtige Kohlenstoffsenken. Um die Rolle von Grünpflanzen beim Abbau von CO₂ in der Erdatmosphäre zu verdeutlichen, wurden zwei Pflanzen der Art *Chlorophytum Comosum* (Grünlilie) in die Container eingebracht. Für die Dauer des Versuches wurden die Pflanzen ohne Unterbrechung mit Speziallampen beleuchtet, um einen stetigen Abbau von CO₂ durch Photosynthese zu gewährleisten. Um weitere äußere Einflüsse, insbesondere Tageslicht, weitgehend abzuschirmen, wurde der gesamte Aufbau in einem fensterlosen und für die Dauer des Versuches bis auf die Speziallampen abgedunkelten Raum untergebracht.

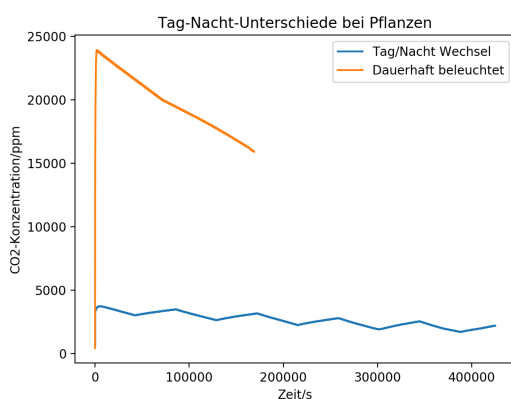


Abb.6: Vergleich des CO₂-Gehalts als Funktion der Zeit mit Grünpflanzen im Behälter bei kontinuierlicher Beleuchtung (orange) und bei künstlichem Tag-Nacht-Rhythmus (blau).

Abbildung 5 zeigt den Verlauf der CO₂-Konzentration im Behälter als Funktion der Zeit. Die Messung ohne zusätzliche Komponenten (leerer Behälter) ist grün dargestellt, wohingegen die

Messungen mit Wasser, bzw. einer Pflanze, blau respektive orange dargestellt sind. Man erkennt, dass bei der Anwesenheit einer Pflanze im Behälter die CO₂-Konzentration gegenüber einem Behälter ohne Pflanze abnimmt. Dieses Verhalten kann auf die Atmungsaktivität der Pflanze und die dadurch verursachte Aufnahme von CO₂ zurückgeführt werden. In der Praxis sollte bei der Durchführung der Versuche darauf geachtet werden, dass die CO₂-Konzentration Werte von etwa 2 bis 3% nicht übersteigt, da Pflanzen bei zu hohen CO₂-Konzentrationen unter Umständen ihren Optimalitätsbereich verlassen und die CO₂-Aufnahme einstellen.

Im Vergleich der Graphen für Wasser und Pflanzen wird deutlich, dass bei Anwesenheit einer Pflanze der Abfall der CO₂-Konzentration deutlich linearer verläuft.

Neben den Versuchen zur Rolle von Pflanzen als Kohlenstoffsenken können mit dem Aufbau in einem fächerübergreifenden Ansatz auch Versuche zum Tag-Nacht-Rhythmus der Pflanzenatmung durchgeführt werden. Zu diesem Zweck wurden die Pflanzen einem Wechsel von Beleuchtung und Dunkelheit im 12 Stunden Rhythmus ausgesetzt.

Die Ergebnisse der Messungen sind in Abb. 6 gezeigt. Ergebnisse, die bei einer dauerhaften Beleuchtung erzielt wurden, sind orange dargestellt, wohingegen Ergebnisse, die mit einem künstlichen Tag-Nacht-Rhythmus gewonnen wurden blau dargestellt sind. Die periodischen Schwankungen des blauen Graphen sind deutlich erkennbar. Man erkennt darüber hinaus die stetige, jedoch im Vergleich zur dauerhaften Beleuchtung deutlich langsamere, Abnahme der CO₂-Konzentration. Die unterschiedlichen Ausgangskonzentrationen sind eine Folge der während der Versuche gewonnenen Erkenntnisse. Um möglichst deutliche Effekte zu erzielen wurden in einer ersten Messreihe zunächst relativ hohe CO₂-Konzentrationen gewählt. Es zeigte sich allerdings, die Pflanzen bei zu hohen CO₂-Konzentrationen den Optimalitätsbereich verlassen und Zellatmung und CO₂-Aufnahme einstellen. Aus diesem Grund wurde in folgenden Messungen eine geringere Anfangskonzentration gewählt.

Neben der Veranschaulichung der Zellatmung, können die Ergebnisse dieses Versuchs auch verwendet werden, um die saisonal schwankende CO₂-Konzentration in der Erdatmosphäre (Keeling Kurve) zu besprechen. Die periodischen Schwankungen des atmosphärischen CO₂-Gehaltes werden zum großen Teil auf das verstärkte Pflanzenwachstum auf der Nordhalbkugel im Nordsummer zurückgeführt [9]. Da Messungen über einen Zeitraum von mehreren Monaten in Hochschulseminaren und im Schulunterricht nicht praktikabel sind, können die grundlegenden Zusammenhänge auf diese Weise in zeitlich komprimierter Form erfahrbar gemacht werden.

Die Messunsicherheit des CO₂-Sensors wird vom Hersteller mit $\pm 5\%$ (1000 bis 10.000 ppm) bzw.

$\pm 10\%$ (10.000 bis 50.000 ppm) angegeben [10]. Aufgrund der in der Regel starken Abweichungen der Anfangs- und Endkonzentration, lassen sich lediglich die periodischen Schwankungen der CO₂-Konzentration im Tag-Nacht-Rhythmus potentiell als Folge der Messunsicherheiten erklären. Da mit den vorgestellten Versuchen lediglich qualitative Zusammenhänge veranschaulicht werden sollen, wird auf einer tiefergehenden Diskussion der Unsicherheiten verzichtet. Im Falle einer *quantitativen* Untersuchung dieses Zusammenhangs, sollte ein möglicher Einfluss der Messunsicherheit allerdings berücksichtigt werden.

4. Zusammenfassung und Ausblick

Der anthropogene Klimawandel ist aufgrund der komplexen physikalischen Zusammenhänge nicht nur eine Herausforderung für die Gesellschaft, sondern auch für die Physikdidaktik. In diesem Papier wurden Ansätze vorgestellt, wie die physikalischen Gesetzmäßigkeiten der resonanten Absorption und Emission von Strahlung auch ohne Kenntnisse der quantenmechanischen Zusammenhänge in qualitativen Versuchen vermittelt werden können. Die Versuche wurden für den Einsatz in der Lehrerbildung (Sachunterricht Primarstufe) konzipiert, können aber aufgrund ihrer qualitativen Natur auch im Schulunterricht eingesetzt werden.

Es konnte gezeigt werden, dass durch die angestrebten Zusammenhänge der Temperaturerhöhung bei erhöhter CO₂-Konzentration sowie die Rolle von Ozeanen und Pflanzen als globale Kohlenstoffsinken verdeutlicht werden können. Darüber hinaus konnte gezeigt werden, dass auch die Tag-Nacht-Schwankungen der Pflanzenatmung mit Hilfe des diskutierten Versuchsaufbaus untersucht werden kann. Aufgrund ihres interdisziplinären Charakters eignen sich die Versuche auch für den Einsatz in fächerübergreifenden Seminaren, z.B. mit der Biologie oder der Geographie.

Aufgrund der COVID-19-Pandemie und den damit verbundenen Einschränkungen konnten die Versuche noch nicht bzw. nur in sehr begrenztem Ausmaß in den Seminaren eingesetzt werden. Dies soll nach Möglichkeit im Wintersemester 2021/22 nachgeholt werden.

Darüber hinaus sollen weitere, auf dem gleichen Aufbau basierende, Versuche, z.B. zur Rolle der Albedo oder zur Temperaturabhängigkeit der Löslichkeit von CO₂ in Wasser, entwickelt werden. Mit einem geeigneten Messgerät, z.B. einem pH-Meter kann darüber hinaus gezeigt werden, dass die Ozeane durch die bei der Aufnahme von CO₂ entstehende Kohlensäure versauern. Die Eignung solcher Messungen für die Lehrerbildung soll in weiterführenden Arbeiten ebenfalls untersucht werden.

5. Literatur

- [1] Latif, Mojib (2010): Die Herausforderung globaler Klimawandel. In: Perspektiven der Wirtschaftspolitik 11 (2010), S. 4-12.
- [2] Homepage der Gesellschaft für die Didaktik des Sachunterrichts (GDSU): http://www.gdsu.de/wb/media/upload/pr_160212a.pdf (Stand 05/2021)
- [3] Kircher, Ernst; Girwidz, Raimund; Fischer, Hans E.: Physikdidaktik. 4. Auflage, Berlin: Springer Spektrum, 2020, S. 264-270.
- [4] Homepage der Firma pasco: <https://www.pasco.com/products/software/caps-tone> (Stand 05/2021)
- [5] Homepage der Firma pasco: <https://www.pasco.com/products/software/sparkvue> (Stand 05/2021)
- [6] Stachowiak, Marcel (2019): Kalibrationsmessungen an Plexiglascontainern zur Vorbereitung von Versuchen zum Treibhauseffekt. Dortmund: Technische Universität Dortmund, Didaktik der Physik, Bachelorarbeit (unveröffentlicht), 2019.
- [7] Von Kolken, Lena (2021): Pflanzen als CO₂-Senken. Dortmund: Technische Universität Dortmund, Didaktik der Physik, Masterarbeit (unveröffentlicht), 2021.
- [8] Wireless Temperature Reference Guide: https://d2n0lz049icia2.cloudfront.net/product_document/Wireless-Temperature-Sensor-Manual-PS-3201.pdf (Stand 05/21)
- [9] Keeling, Charles D. et al. (1976): Atmospheric carbon dioxide variations at Mauna Loa Observatory, Hawaii. In: Tellus 28 (6) (1976), S. 538-551.
- [10] Wireless CO₂ Sensor Reference Guide: https://d2n0lz049icia2.cloudfront.net/product_document/Wireless-CO2-Sensor-Manual-PS-3208.pdf (Stand 05/21)

Vergleich computerunterstützter Messwerterfassungssysteme für den Physikunterricht

Patrick Sekyra, Erik Kremser

Technische Universität Darmstadt, FB Physik, Hochschulstraße 6, 64289 Darmstadt
psek@gmx.de, erik.kremser@physik.tu-darmstadt.de

Kurzfassung

Im Rahmen einer wissenschaftlichen Hausarbeit an der TU Darmstadt für das Lehramt an Gymnasien bestand die Möglichkeit verschiedene computerunterstützte Messwerterfassungssysteme zu vergleichen. Dabei konnten durch eine Reihe unterschiedlicher Experimente, die typisch für die Schulphysik sind, Vergleichskriterien erarbeitet werden, die letztlich zu einem Bewertungsschlüssel führten, um die zur Verfügung stehenden Messwerterfassungssysteme zu bewerten. Zur Verfügung standen dazu die Hersteller Pasco Scientific (Pasco), PHYWE Systeme GmbH und Co. KG (Phywe) und Vernier Software & Technology (Vernier). Ermittelt wurde durch die Nutzwertanalyse eine Rangfolge der jeweiligen Messwerterfassungssysteme mit Schwerpunkt auf den Physikunterricht in der Schule, wobei durch die Auswahl der jeweiligen Software darauf geachtet wurde, dass die Nutzung mobiler Geräte und somit auch die Nutzung der Messwerterfassungssysteme durch die Schüler_innen möglich ist.

1. Einleitung

Die computerunterstützte Messwerterfassung ist für die Schule eine Bereicherung. Experimente können in Echtzeit gemessen und graphisch ausgewertet werden und es bieten sich eine Vielzahl von Möglichkeiten zur Darstellung an. Einige Experimente wären ohne die computerunterstützte Messwerterfassung nicht denkbar oder schwer umsetzbar. Zusätzlich bieten kabellose Sensoren weitere Einsatzmöglichkeiten, etwa im Freien und unabhängig von der Stromversorgung in Verbindung mit mobilen Endgeräten.

Für einen Vergleich muss zunächst ein Schwerpunkt gesetzt werden, der hier für den Physikunterricht in der Schule gewählt wurde. Damit werden bewusst die Experimente im Physikunterricht der Schule fokussiert, wo zwei spezielle Herausforderungen an die Messwerterfassungssysteme auftreten, nämlich einerseits der Gebrauch durch Schüler_innen, die keinen täglichen Kontakt mit den Systemen haben und deshalb eine einfache und intuitive Benutzeroberfläche benötigen und andererseits die Anforderung, durch die Auswertung der Experimente einen Mehrwert im Sinne des Lernerfolgs (Erkenntnisgewinnung) der Schüler_innen zu produzieren.

2. Die Messwerterfassungssysteme

Zum Vergleich standen für die Arbeit die aktuellen drahtlosen Sensoren der Lehrgerätehersteller zur Verfügung, die in der Umgebung in Südhessen am häufigsten verwendet werden [1]: Pasco Scientific (Pasco), PHYWE Systeme GmbH und Co. KG (Phywe) und Vernier Software & Technology (Vernier). LD Didactic GmbH (Leybold) hatte dem Vergleich zugestimmt, konnte aber aufgrund der Pandemie-Situation letztlich nicht rechtzeitig die Sensoren

für die beabsichtigten Experimente (siehe Kapitel 3) liefern. Die Messwerterfassungssysteme verwenden jeweils eine eigene Software, von der es unterschiedliche Ausführungen gibt. Da Experimente nicht nur von den Lehrkräften, sondern auch von den Schüler_innen mit den eigenen mobilen Geräten durchgeführt werden können, wurden im Zuge der Arbeit hauptsächlich die kostenlosen Software-Optionen der Hersteller verwendet. Folglich soll die Software auch die Betriebssysteme mobiler Geräte (besonders Smartphones) unterstützen, da sie bei Schüler_innen häufiger vorhanden sind als beispielsweise Laptops oder Tablets [2] und der Transport, sowie die Flexibilität mobiler Geräte die Vielseitigkeit und Spontaneität der Experimente erhöhen können. Zusätzlich eröffnet es den Schüler_innen die Möglichkeit mit ihren eigenen mobilen Geräten selbstständig Messungen durchzuführen und auszuwerten. Die ausgewählten Software-Optionen waren schließlich: Pasco's SPARKvue (Version 4.3.0.10), Phywe's Measure-APP (Version 1.0.3.0) und Vernier's Graphical Analysis 4 (Version 4.10.0.0).

Um die Messwerterfassungssysteme besser vergleichen zu können, stand eine Auswahl an Sensoren zur Verfügung, mit denen Experimente aus verschiedenen Jahrgangsstufen und Themengebieten der Physik durchgeführt werden können. Folgende Sensoren wurden für die Experimente benötigt: Beschleunigungssensor, Bewegungssensor, Drehbewegungssensor, Drucksensor, Kraftsensor, Lichtsensor, Magnetfeldsensor, Spannungssensor, Stromsensor, Temperatursensor.

3. Die Experimente

Um die Sensoren vergleichen zu können, werden sie in typischen Schulexperimenten aus der Physik getestet. Im Sinne eines Vergleichs sollen möglichst viele verschiedene Sensoren verglichen werden, da im Schulalltag des Physikunterrichts auch Experimente verschiedener Teilgebiete der Physik durchgeführt werden müssen (die Vielzahl verschiedener Sensoren und Experimente bedingt sich somit gegenseitig). Somit wurden Experimente aus den vier Teilbereichen der Physik ausgewählt (Mechanik, Optik, Elektrizitätslehre und Wärmelehre). Es sollten hauptsächlich solche Experimente ausgewählt werden, für die der Einsatz computerunterstützter Messwerterfassungssysteme nötig ist oder zumindest einen klaren Vorteil bietet. Die einzelnen Experimente inklusive der Ergebnisse lassen sich in diesem Artikel nicht alle darstellen, deshalb soll hier auf die Arbeit selbst verwiesen werden, wo alle neun Experimente inklusive Skizzen und Auswertung dokumentiert sind [3].

Exemplarisch sei hier ein Experiment zur Aufzeichnung von Bewegungen dargestellt (siehe Skizze in Abb. 1 und Foto des Aufbaus in Abb. 2), bei dem die Bewegung eines Wagens auf einer Aluminiumfahrbahn untersucht wurde, indem ein Bewegungssensor (Ultraschallsensor) und ein Beschleunigungssensor gleichzeitig zur Datenerfassung verwendet wurden.

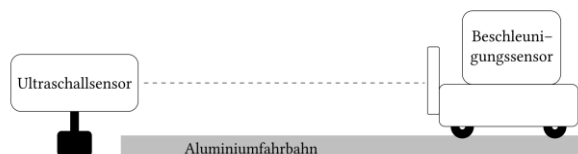


Abb. 1: Skizze des Versuchsaufbaus zur Bewegung eines Wagens auf einer Aluminiumbahn.

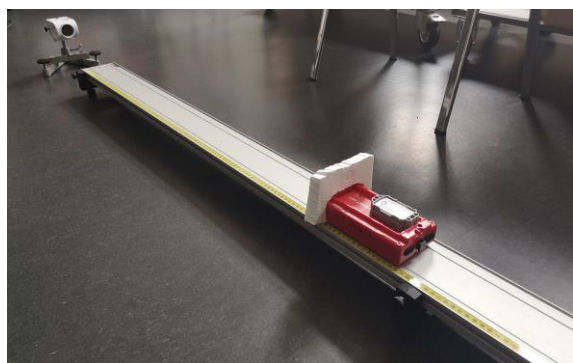


Abb. 2: Foto des Aufbaus zur Bewegung eines Wagens auf einer Aluminiumbahn mit den Sensoren von Pasco.

Der Wagen wurde von Hand beschleunigt und auch wieder abgebremst und die Messwerte der beiden Sensoren konnten durch Funktionen innerhalb der Software (Differentiation, bzw. Integration) verglichen werden (siehe Abb. 3 und Abb. 4).

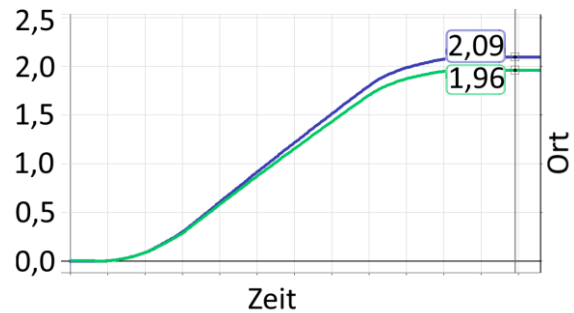


Abb. 3: Graphen des Vergleichs der Messwerte des Bewegungssensors (blau) mit den berechneten (zweimalige Integration) des Beschleunigungssensors (grün) im s-t-Diagramm aus SPARKvue mit den Sensoren von Pasco (Schriftgröße nachträglich angepasst zur besseren Sichtbarkeit). Markiert sind die Endpunkte und somit die Strecke, die der Wagen insgesamt zurückgelegt hat.

Eine auf der Aluminiumbahn verklebte Skala diente als zusätzlicher Vergleich zur Strecke, die vom Wagen während der Messung zurückgelegt wurde. Dort konnte die Strecke von 2,10 m abgelesen werden. Der Bewegungssensor misst eine Strecke von 2,09 m und der Beschleunigungssensor nach zweimaliger Integration 1,96 m. Der Bewegungssensor misst demnach die Strecke sehr akkurat, der Beschleunigungssensor allerdings nur sehr ungenau und ist zudem sehr sensibel für kleine Abweichungen im Aufbau.

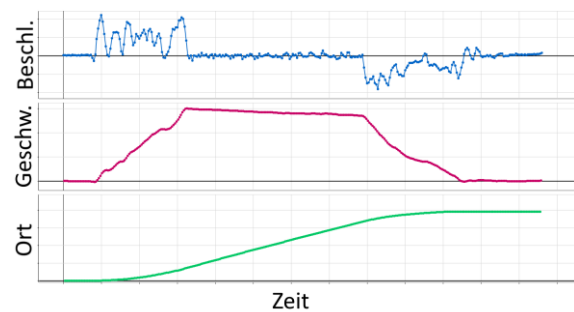


Abb. 4: Graphen mit den Messwerten des Beschleunigungssensors im a-t-Diagramm (oben, blau) und den durch Integration berechneten Größen Geschwindigkeit (v-t-Diagramm, mittig, rot) und Ort (s-t-Diagramm, unten, grün) aus SPARKvue mit den Sensoren von Pasco (Schriftgröße nachträglich angepasst zur besseren Sichtbarkeit).

Abgesehen vom Tarieren der Bahn ist dieser Versuch durch die kabellosen Sensoren sehr leicht aufzubauen und durchzuführen. Die Möglichkeiten zur Auswertung innerhalb der jeweiligen Software führten zu einigen Vergleichskriterien (siehe nächsten Abschnitt bezüglich Vergleichskriterien).

4. Die Vergleichskriterien

Die Vergleichskriterien, die durch die Experimente herausgestellt wurden, sollen im Folgenden vorgestellt und erläutert werden. Dabei wird zwischen Kriterien, die direkt mit den Sensoren zusammenhängen und solchen, die sich aus den Möglichkeiten der Software ergeben, unterschieden. Vergleichskriterien ergeben sich dann, wenn sie bei der Messwerterfassung der zuvor durchgeführten Experimente einen Vor- oder Nachteil bewirkten.

4.1. Sensor-Kriterien

Die Vergleichskriterien der Sensoren ergeben sich im Wesentlichen aus deren Hardwarekomponenten und somit aus den Spezifikationen der einzelnen Sensoren. Darunter fielen die folgenden Kriterien.

4.1.1. Handhabung

Unter Handhabung soll das Vorhandensein von Gewinden und Löchern zur Befestigung verstanden werden. Zusätzlich wird das Verhalten der LEDs beim Ein- und Ausschalten und bei bestehender Bluetooth-Verbindung der Sensoren verglichen. Dabei wird nur unterschieden, ob die LEDs entsprechende Lichtzeichen geben.

4.1.2. Akkulaufzeit

Die Akkulaufzeit wird nur für diejenigen Sensoren verglichen, die keine austauschbaren Batterien haben. Dabei gilt als Kriterium nur, dass die Akkus im Dauerbetrieb einen ganzen Schultag (etwa acht Stunden) betrieben werden können. Dies ist insofern von Relevanz, als dass die Akkus nach dem Einsatz an einem Schultag wieder aufgeladen werden können - ein zwischenzeitliches Laden ist nicht nötig.

Das Verwenden von Batterien gegenüber wiederaufladbaren Akkus hat Vor- und Nachteile [4]. Batterien halten länger ihre Ladung, tolerieren Temperaturschwankungen besser – insbesondere tolerieren sie höhere und niedrige Temperaturen im Vergleich zur Raumtemperatur besser – und benötigen keinen Zugang für ein Ladekabel, was die Abdichtung gegen eindringende Flüssigkeiten erleichtert. Allerdings müssen zum Auswechseln Batterien gekauft und auch korrekt entsorgt werden. Das bedeutet, dass Batterien bei den Sensoren am sinnvollsten sind, deren Einsatz besonders hohe oder tiefe Temperaturen erwarten lässt und die gegebenenfalls Spritzwasser oder anderen Flüssigkeiten ausgesetzt werden müssten. Temperatursensoren sollten demnach mit einer Batterie statt eines Akkus betrieben werden, was beim Temperatursensor von Vernier aber nicht der Fall ist.

4.1.3. Bluetooth-Reichweite

Für die Reichweite der Bluetooth-Verbindung gilt als Kriterium, dass die Verbindung zum Sensor innerhalb eines geschlossenen Raumes (Größe vergleichbar mit typischen Klassenraum in der Schule) nicht abreißt. Dazu wurde Raum 118 im Gebäude S|113 der TU Darmstadt genutzt. Der Raum hat 40 Sitzplätze (Seminarraum) und eine Fläche von 110,86 m².

4.1.4. Auflösung

Die Auflösung eines Sensors ist die kleinste messbare Differenz, die der Sensor noch auflösen kann. Sie wird direkt aus den Messwerten der Sensoren bestimmt. Je kleiner der Wert ist, desto vielseitiger kann der Sensor eingesetzt werden, wobei die Auflösung erst dann relevant wird, wenn die zu messende Messgröße sich in der Größenordnung der Auflösung des Sensors befindet.

4.1.5. Messunsicherheit

Die Messunsicherheit ist ein wesentliches Merkmal eines Sensors und entscheidet über die Zuverlässigkeit eines Messwertes. Einige der Sensorhersteller haben Messunsicherheiten für manche ihrer Sensoren in den Spezifikationen angegeben, für die Arbeit wurden aber nur Daten verwendet, die direkt mit den Sensoren ermittelt wurden. Dazu werden Messwerte von Messgrößen aufgezeichnet, die konstant bleiben, was einer Wiederholungsmessung entspricht und somit eine statistische Methode [5] zur Ermittlung der Messunsicherheit ist. Unter der Annahme einer Normalverteilung [6] wird die zweifache Standardabweichung 2σ bestimmt, also der Bereich, in dem 95,45 % der Messwerte liegen. Es werden immer die ersten 500 Messwerte zur Auswertung verwendet und dann die Standardabweichung mit einem Tabellenkalkulationsprogramm bestimmt. Sofern es möglich ist, wird die Messung mit einer veränderten, aber wiederum konstanten Messgröße wiederholt und ebenfalls die Messunsicherheit bestimmt. Damit soll festgestellt werden, ob die Messunsicherheit auch vom Wert der Messgröße abhängt.

4.1.6. Messbereich

Der Messbereich ist für die Gestaltung eines Experiments von großer Bedeutung, da er festlegt, in welchem Intervall sich die Messgrößen befinden dürfen. Um die Sensoren nicht zu beschädigen, wurden die Messbereiche der einzelnen Sensoren nicht durch ein Experiment ermittelt, sondern von den Herstellerangaben in den Spezifikationen übernommen.

4.1.7. Abtastrate

Die Abtastrate ist für die Sensoren bis zu einer maximalen Abtastrate einstellbar, wobei allerdings kein Nachteil darin besteht die höchstmögliche Abtastrate einzustellen – abgesehen vom Datalogging, bei dem eine erhöhte Abtastrate den Datenspeicher schneller füllt. Da die Abtastraten auch von der Datenübertragungsart abhängig sind, wurde hierbei zwischen kabelloser und kabelgebundener Übertragung unterschieden.

4.1.8. Datalogging

Sensoren, die auch als Datenlogger fungieren, können Messwerte aufzeichnen und in ihrem internen Speicher abspeichern, bis sie durch eine Software heruntergeladen werden. So ist zur Datenaufzeichnung kein Endgerät nötig, was für Experimente im Freien oder Langzeit-Experimente (beispielsweise Temperaturmessung über die ganze Nacht) hilfreich sein kann.

4.2. Software-Kriterien

Die Vergleichskriterien der Software ergeben sich aus den jeweils spezifischen Möglichkeiten, die Messwerte darzustellen und direkt auszuwerten. Darunter fielen die folgenden Kriterien.

4.2.1. Anforderungen

Die Anforderungen der Software-Optionen an das Betriebssystem der Endgeräte sind gegebenenfalls eine Einschränkung für die Benutzung mit den vorhandenen Geräten. Besonders problematisch fiel hier die Anforderung der Software MeasureAPP von Phywe auf, die Mac-Betriebssysteme und ältere Versionen von Windows oder iOS nicht unterstützt.

4.2.2. Schwuppdizität

Die Schwuppdizität bezeichnet die gefühlte Geschwindigkeit eines Programms (oder Rechners) und ist eine Wortneuschöpfung von Carsten Meyer, die durch das c't Magazin geprägt wurde [7]. Im Kontext der Arbeit diente der Begriff vor allem der Abgrenzung des bereits bei den Sensoren verwendeten Begriffs der Handhabung und drückt aus, wie einfach die jeweilige Software zu bedienen ist und wie intuitiv die Software – von Kopplung der Sensoren bis zur Messwertaufzeichnung – zu verwenden ist. Da die Messwertaufzeichnung auch von Schüler_innen durchgeführt werden soll und somit auch auf Smartphones genutzt wird, ist eine einfache Oberfläche mit einfacher Bedienung vorteilhaft (beispielsweise möglichst wenige Funktionen in Menüs und Untermenüs verborgen).

4.2.3. Darstellungsvielfalt

Unter Darstellungsvielfalt sollen alle Möglichkeiten der Software-Optionen verstanden werden, die Messwerte darzustellen, die zur Durchführung und besonders zur Auswertung der Experimente benötigt wurden oder aufgefallen sind. Die unterschiedlichen Möglichkeiten sind im Anhang in Tab. 2 zusammengefasst, wobei ein „ja“ bedeutet, dass die entsprechende Software diese Funktion anbietet und ein „nein“ bedeutet, dass die Funktion nicht vorhanden ist. Es werden nicht nötigerweise alle Möglichkeiten für die Auswertung oder Darstellung eines Experiments benötigt, aber diese Möglichkeiten (und gegebenenfalls weitere, die in der Arbeit nicht aufgefallen sind) können im Physikunterricht benötigt werden und bieten deshalb einen Mehrwert bei der Darstellung und Auswertung.

4.2.4. Berechnete Größen

Die berechneten Größen ermöglichen die Eingabe von Funktionen, um aus Messgrößen andere physikalische Größen zu berechnen oder auch, um Umrechnungen umzusetzen. Damit ist es auch möglich Offsets zu korrigieren oder Achsen zu skalieren (beispielsweise logarithmische Skalierung).

4.2.5. Teilen von Daten (Data-Sharing)

Unter Umständen (beispielsweise für die Präsentation von Gruppenarbeitsergebnissen) ist es nötig, dass auf-

gezeichnete Sensordaten von einem Gerät auf ein anderes übertragen werden. Das kann entweder - wie beispielsweise bei Pasco - durch eine Live-Übertragung oder durch ein einfaches Kopieren der Sensordaten geschehen.

4.2.6. Praktisches

Unter „Praktisches“ soll alles in einem Kriterium zusammengefasst werden, was als hilfreich oder nützlich innerhalb der Software aufgefallen ist (aus Gründen der besseren Übersicht). Unter diesen Punkt fallen folgende Kriterien: Anzeige des momentanen Akku- oder Batterie-Ladezustandes; Sensoren werden nach Distanz zum Endgerät sortiert gelistet; Automatische Kopplung zum Sensor, der sich am nächsten befindet; Lehrmaterial (Arbeitsblätter) innerhalb der Software; Graphen können direkt als Bilddateien exportiert werden; Sensoridentifizierung innerhalb der Software (beispielsweise durch klare Benennung).

Diese Kriterien beeinflussen nicht die Darstellung oder Umsetzbarkeit eines Experiments, sind aber besonders im Schulunterricht sehr hilfreich, wie beispielsweise die Sensoridentifizierung oder die Näherungskopplung, wenn in Kleingruppen mit vielen gleichen Sensoren gearbeitet wird, damit es nicht zu Kopplungen der Geräte einer anderen Gruppe kommt.

4.3. Kosten

Die Kosten eines Messwertaufzeichnungssystems sind für Schulen ein entscheidender Faktor, da die Ausgaben gerechtfertigt werden müssen.

5. Bewertungsschlüssel

Aus den Bewertungskriterien, die im vorangegangenen Kapitel gesammelt wurden, sollte ein Bewertungsschlüssel für die Messwertaufzeichnungssysteme entwickelt werden. Es handelt sich um eine große Anzahl an Kriterien mit wiederum mehreren Aspekten, die einerseits unterschiedlich gewichtet werden müssen und andererseits keine einheitlichen Größen – auch keine einheitliche Bewertungsmethode – verwenden. Der Bewertungsschlüssel soll schließlich jedem Messwertaufzeichnungssystem eine Zahl zuweisen, mit der – möglichst objektiv – eine Rangfolge aufgestellt werden kann, die für Dritte dennoch transparent bleibt. Dazu eignet sich die Nutzwertanalyse.

5.1. Die Nutzwertanalyse

Die Nutzwertanalyse ist als Bewertungsverfahren in der Lage durch die Vergleichskriterien (siehe Abschn. 4) jedem Messwertaufzeichnungssystem einen Wert (Gesamtnutzwert) zuzuweisen, mit dessen Hilfe sich die Systeme in eine Rangfolge bringen lassen. Die optimale Wahl ist dann durch die Alternative gegeben, die den höchsten Nutzwert erreicht. Genaueres zur Nutzwertanalyse findet sich in der Arbeit und in der Literatur [8] [9] [10] [11].

5.2. Gewichtung

Die Gewichtungsfaktoren erlauben es Schwerpunkte zu setzen. Sie dienen somit dem Hervorheben bestimmter Kriterien, indem sie deren Kriterienbewertung mit einem größeren Anteil in die Nutzwertanalyse eingehen lassen. Gewichtungsfaktoren sind immer subjektiv und auch, wenn versucht wurde, die gewählten Gewichtungsfaktoren durch die Erkenntnisse aus den Experimenten zu begründen, ist dies nur ein Versuch, einen objektiven Orientierungspunkt zu erhalten und keineswegs als Anspruch einer tatsächlichen Objektivität zu interpretieren.

5.3. Bewertung der einzelnen Kriterien

Die Bewertung der Kriterien erfolgte relativ, also stets auf die Alternative bezogen, die bei diesem Kriterium am besten bewertet wurde. So ist sichergestellt, dass alle Kriterien gleich stark in die Nutzwertanalyse eingehen und nur durch die Gewichtungsfaktoren gewichtet werden (die Bewertungsskala war bei allen Kriterien identisch). Für die Bewertung der Kriterien musste außerdem noch unterschieden werden, ob sich das Kriterium aus untergeordneten Aspekten zusammensetzt oder nicht. Wenn es untergeordnete Aspekte gab, wurden diese einzeln bewertet und anschließend durch eine Nutzwertanalyse (mit eigenen Gewichtungsfaktoren) berechnet. Die Ergebnisse (Nutzwerte) dieser untergeordneten Nutzwertanalysen wurden dann auf den besten (höchsten) Nutzwert bezogen, damit daraus die endgültige Bewertung des Kriteriums auf der 10er-Skala ermittelt werden konnte. Damit ist die beste Alternative mit einer zehn auf der 10er-Skala bewertet und die anderen Alternativen relativ dazu.

Die Bewertung erfolgte dann folgendermaßen: Kriterien, zu denen es messbare Werte gibt, wurden relativ auf den besten Wert bezogen und so in einer 10er-Skala ausgedrückt. Kriterien, die entweder erfüllt sind oder nicht, wurden mit einer zehn auf der 10er-Skala bewertet, wenn sie erfüllt sind und mit einer null, wenn sie nicht erfüllt sind. Kriterien, die teilweise erfüllt, die aber nicht messbar sind, wurden anhand der Erfahrungen aus den Experimenten bewertet. Diese Bewertung anhand der Erfahrungen aus den Experimenten ist subjektiv und bezieht sich auf die Vorstellungen des Verfassers.

6. Bewertung der Systeme

Es können nun alle Kriterienbewertungen und die jeweiligen Gewichtungen in einer Tabelle zusammengefasst (siehe Tab. 1) und so der Nutzwert jeder Alternative berechnet werden. So ergibt sich eine Rangfolge der Messwerterfassungssysteme, bei der das System von Pasco als die beste Alternative hervorgeht (Nutzwert von 8,84), gefolgt von Vernier (Nutzwert von 8,31) und schließlich Phywe (Nutzwert von 7,22).

Der theoretische maximale Nutzwert, den ein Messwerterfassungssystem hätte erreichen können, wäre ein Nutzwert von 10,00, da die Bewertungen der einzelnen Kriterien durch die 10er-Skala so angelegt wurden, dass eine höhere Wertung als 10,00 nicht möglich ist. Zusätzlich zum Gesamt-Nutzwert könnten nur die Kriterien der Sensoren (siehe Abschn. 4.1) oder nur die Kriterien der Software (siehe Abschn. 4.2) betrachtet werden (in Tab. 1 ebenfalls angegeben). In diesem Fall zeigt sich allerdings kein Unterschied zu der Rangfolge, die sich durch den Gesamt-Nutzwert ergibt.

6.1. Sensibilitätsanalyse

Die aus der Nutzwertanalyse hervorgebrachte Rangliste kann nun als Entscheidungshilfe bei der Auswahl eines Messwerterfassungssystems dienen, wobei zu berücksichtigen ist, dass nicht jede Person mit den gewählten Gewichtungsfaktoren übereinstimmen würde. Um die Subjektivität, die in die Gewichtungsfaktoren eingeflossen ist, zu überprüfen, kann nun eine Sensibilitätsanalyse durchgeführt werden. Dabei werden die Gewichtungsfaktoren variiert und somit neue Nutzwerte bestimmt, die mit den Nutzwerten der ursprünglichen Gewichtungsfaktoren verglichen werden können. Das Ergebnis der Nutzwertanalyse gilt dann als empfindlich, wenn sich die Rangfolge der Alternativen bei einer solchen Variation ändert und als robust, wenn sie sich nicht ändert [12].

Zur Überprüfung der Sensibilität der Gewichtung sollen die folgenden beiden Variationen durchgeführt werden:

1. Alle Kriterien werden identisch gewichtet (Pasco mit Nutzwert von 8,90, Phywe mit Nutzwert von 6,81, Vernier mit Nutzwert von 8,00),
2. Alle Gewichtungsfaktoren werden invertiert (Pasco mit Nutzwert von 8,98, Phywe mit Nutzwert von 6,17, Vernier mit Nutzwert von 7,51).

In beiden Fällen bleibt die Rangfolge unverändert und – wie zu erwarten – ändert sich nur der Wert der Nutzwerte und auch deren Differenz. Somit kann die Nutzwertanalyse mit der vorgenommenen Gewichtung als robust eingestuft werden und die Gewichtung bevorzugt keines der Messwerterfassungssysteme.

| Kriterien | Gewichtung | Pasco | Phywe | Vernier |
|--------------------------------|------------|-------------|-------------|-------------|
| Handhabung | 5 % | 10 | 6,17 | 6,88 |
| Akkulaufzeit | 6 % | 10 | 10 | 10 |
| Bluetooth-Reichweite | 7 % | 10 | 10 | 10 |
| Auflösung | 7 % | 8,63 | 4 | 10 |
| Messunsicherheit | 3 % | 7,85 | 4,28 | 10 |
| Messbereich | 10 % | 10 | 9,68 | 8,81 |
| Abtastrate | 9 % | 9,42 | 8,58 | 10 |
| Datalogging | 3 % | 10 | 5 | 0 |
| Anforderungen | 7 % | 10 | 4,62 | 8 |
| Schwuppdizität | 10 % | 3 | 10 | 7,5 |
| Darstellungsvielfalt | 10 % | 10 | 6,39 | 9,4 |
| Berechnete Größen | 8 % | 10 | 2 | 8 |
| Data-Sharing | 4 % | 10 | 2,5 | 4 |
| Praktisches | 1 % | 6,67 | 8,89 | 10 |
| Kosten | 10 % | 7,86 | 10 | 7,36 |
| Nutzwert | | 8,84 | 7,22 | 8,31 |
| Nutzwert der Sensorkriterien | | 4,79 | 3,91 | 4,43 |
| Nutzwert der Softwarekriterien | | 3,27 | 2,31 | 3,15 |

Tab 1: Nutzwertanalyse der drei Messwertaufzeichnungssysteme.

7. Fazit

Die Nutzwertanalyse stellte das System von Pasco als das unter den berücksichtigten computerunterstützten Messwerterfassungssystemen zu bevorzugende Messwerterfassungssystem heraus (Tab. 1), da dessen Software den größten Funktionsumfang bereitstellt und die Sensoren den Anforderungen der Experimente stets genügten. Auch das System von Vernier konnte einen ähnlich hohen Nutzwert erreichen, wobei der Funktionsumfang der Software und der Sensoren im Vergleich zu Pasco etwas geringer ausfiel. Das System von Phywe erreichte dagegen einen geringeren Nutzwert, was sich auch durch den deutlich geringeren Funktionsumfang der Software erklärt.

Dieses Ergebnis deckt sich auch mit meinen Erfahrungen während des Aufbaus der Experimente: Bei der Ausgestaltung habe ich häufig die Sensoren genutzt um schnell meinen Aufbau zu überprüfen (beispielsweise um die passende Lichtquelle mit entsprechender Beleuchtungsstärke auszuwählen) und dabei bevorzugt die Messwerterfassungssysteme von Pasco oder Vernier verwendet. Dabei fiel auf, dass ich für Experimente mit komplizierteren Berechnungen eher die Software von Pasco und zur schnellen Aufzeichnung von Messgrößen eher die Software von Vernier bevorzugte.

Das ideale computerunterstützte Messwerterfassungssystem müsste die Vorteile der betrachteten Systeme verbinden. Dabei sind vor allem Funktionsumfang und Übersichtlichkeit nicht leicht zu vereinen – das ist aber gerade für den Physikunterricht in der Schule relevant, da hier die Systeme von Schüler_innen verwendet werden. Die Integration von internen Sensoren der mobilen Geräte halte ich dabei für einen zusätzlichen Anreiz, die Systeme auch außerhalb des Unterrichts zu nutzen und so die Möglichkeiten und den Umgang mit der Software kennenzulernen. Schüler_innen könnten, beispielsweise beim Sport, Messwerte mit ihren mobilen Geräten aufzeichnen, die sie dann in der nächsten Unterrichtsstunde mit der Klasse diskutieren möchten. Das eröffnet neue Unterrichtskonzepte und Möglichkeiten einen Alltagsbezug und Bezug zur Lebenswelt der Schüler_innen herzustellen. Zudem kann spekuliert werden, dass interne Sensoren in den mobilen Geräten in Zukunft häufiger und besser werden und so stünden im Physikunterricht viele Sensoren bereits durch die mobilen Geräte der Schüler_innen zur Verfügung.

8. Literatur

- [1] Wenzel, M.; Wilhelm, T. (2015): Erhebung zum Einsatz Neuer Medien bei Physik-Gymnasiallehrern. In: PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung / Fachverband Didaktik der Physik der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (DPG) 2015.
- [2] Feierabend, S.; Karg, U.; Rathgeb, T. (2016): JIM-Studie 2016: Jugend, Information, (Multi-)Media; Basisstudie zum Medienumgang 12- bis 19-Jähriger in Deutschland. Stuttgart. URL: http://www.mpfs.de/fileadmin/files/Studien/JIM/2016/JIM_Studie_2016.pdf (Stand 9/2020).
- [3] Sekyra, P. (2020): Vergleich computerunterstützter Messwerterfassungssysteme für den Physikunterricht. Wissenschaftliche Hausarbeit, Technische Universität Darmstadt. URL: https://www.physik.tu-darmstadt.de/media/fachbereich_physik/phys_studium/vorlesungsassistenz/wiss___hausarbeiten/WH-Vergleich-computerunterstuetzter-messwerterfassungssysteme_sekyra.pdf (Stand 5/2021).
- [4] Leuthold, S., Hrsg. (2006): Batterien und Akkus: Das sollten Sie wissen! Fragen und Antworten zu Batterien, Akkus und Umwelt. Stand: Juli 2006. Ratgeber / Umweltbundesamt.
- [5] Krystek, M., Hrsg. (2012): Berechnung der Messunsicherheit: Grundlagen und Anleitung für die praktische Anwendung. 1. Aufl. Beuth Praxis Messwesen. Berlin: Beuth, 2012. ISBN: 978-3-410-20932-4.
- [6] Adunka, F. (2007): Messunsicherheiten: Theorie und Praxis. 3. Aufl. Essen: Vulkan-Verl., 2007. ISBN: 978-3-8027-2205-9.
- [7] Meyer, C. (1998): Vollgestopfter Muskelprotz: Power Mac G3/300: Der Ausstattungs-Overkill. In: c't 9 (1998), S. 50–51.
- [8] Bechmann, A. (1978): Nutzwertanalyse, Bewertungstheorie und Planung: Zugl.: Hannover, Habil.-Schr., 1977. Bd. 29. Beiträge zur Wirtschaftspolitik. Bern: Haupt, 1978. ISBN: 3-258-02694-7.
- [9] Dreyer, A. (1975): Nutzwertanalyse als Entscheidungsmodell bei mehrfacher Zielsetzung. 1975.
- [10] Kühnapfel, J. B. (2019): Nutzwertanalysen in Marketing und Vertrieb. 2. Aufl. 2019. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2019. ISBN: 9783658251642. DOI: 10.1007/978-3-658-25164-2.
- [11] Zangemeister, C. (1976): Nutzwertanalyse in der Systemtechnik: Eine Methodik zur multidimensionalen Bewertung und Auswahl von Projektalternativen. 4. Aufl.
- [12] Kühnapfel, J. B. (2017): Vertriebscontrolling: Methoden im praktischen Einsatz. 2. Auflage. Wiesbaden: Springer Gabler. ISBN: 9783658138974. DOI: 10.1007/978-3-658-13897-4.

Anhang

| | <i>SPARKvue</i> | <i>MeasureAPP</i> | <i>Graph. Analysis 4</i> |
|---|-----------------|-------------------|--------------------------|
| Mehrere Koordinatensysteme | ja | nein | ja |
| Automatische Skalierung | ja | ja | ja |
| Abszissenachse Messgröße wählen | ja | ja | ja |
| Bereiche vergrößern | ja | ja | ja |
| Anzeige der Messwerte als Zahlenwert | ja | ja | ja |
| Anzeige der Messwerte in Tabelle | ja | ja | ja |
| Messwerte als Punkte oder verbunden | ja | ja | ja |
| Unterschiedliche Messgrößen für Abszissenachse in verschiedenen Koordinatensystemen auswählen | nein | nein | ja |
| Mehrere Koordinatensysteme gemeinsam skalieren | ja | nein | nein |
| Mehrere Messgrößen in einem Koordinatensystem | ja | ja | ja |
| logarithmische Achsenskalierung | nein | nein | nein |
| Skalierung der Schriftgröße | nein | nein | ja |
| Näherungsgleichungen einfügen | ja | nein | ja |
| Farbe der Graphen anpassen | ja | nein | nein |
| Einheit der Messgröße anpassen | ja | nein | nein |

Tab. 2: Kriterien-Aspekte der Darstellungsvielfalt.

Entwicklung eines Didaktikpraktikums für Physik-Lehramtsstudierende, ein Zwischenstand

Katharina Stütz, Ronny Nawrodt

Physik und ihre Didaktik, Universität Stuttgart, 70569 Stuttgart
k.stuetz@physik.uni-stuttgart.de

Kurzfassung

In ihrem späteren Beruf als Physiklehrkräfte sollen die Studierenden Experimente fachlich und fachdidaktisch reflektiert aufbauen und in einen Unterrichtsverlauf einbetten können. Um dieses Ziel zu erreichen haben wir innerhalb der fachdidaktischen Ausbildung der Lehramtsstudierenden ein neues Konzept für ein Didaktikpraktikum entwickelt und umgesetzt. Genutzt wird dafür das Modell der Didaktischen Rekonstruktion. Die einzelnen Abschnitte und ihre Verknüpfungen der Didaktischen Rekonstruktion und das so entstandene Konzept werden in diesem Artikel vorgestellt und an Beispielen verdeutlicht. Ein erster Testlauf des Didaktikpraktikums ist abgeschlossen und soll in diesem Artikel analysiert werden. Die Ergebnisse einer Studierendenbefragung werden präsentiert.

1. Einleitung

Betrachtet man aktuelle physikalische Forschung so steht das Experiment im Zentrum des wissenschaftlichen Arbeitens. Aus diesem Grund, und weil einem Experiment im Physikunterricht eine große kognitive Bedeutung zugeschrieben wird [1], sind Experimente auch für den Physikunterricht von zentraler Bedeutung. Nach Tesch et al. [2] ist beim Einsatz von Experimenten im Unterricht ein besonderes Augenmerk auf die Vor- und Nachbereitung zu richten. Die Vermittlung des dafür benötigten Wissens sollte also einen zentralen Punkt in der Ausbildung zukünftiger Physiklehrkräfte einnehmen. In den letzten Jahren hat zusätzlich der Einsatz digitaler Medien im Physikunterricht an Bedeutung gewonnen. So wird von der Kultusministerkonferenz [3] beispielsweise die Verwendung der digitalen Messwerterfassung im Physikunterricht konkret erwähnt. Dieses Teil des Professionswissen einer angehenden Physiklehrkraft [4] rund um Experimente sollen die Studierenden an vielen deutschen Universitäten in einem Didaktikpraktikum, auch Demonstrationspraktikum genannt, erlangen. Darin besteht der Fokus meist auf der Planung, dem Aufbau und der unterrichtsähnlichen Präsentation nach dem Microteaching-Ansatz [5] schultypischer Demonstrationsexperimente. Neben der Ähnlichkeit in der Lernzielformulierung gleichen sich die Konzepte auch in der groben Strukturierung in einen praktischen und einen seminarähnlichen Teil [6,7].

Ziel dieses Beitrages ist es nun nach dem von Theyßen abgewandelten Modell der Didaktischen Rekonstruktion [8,9] für die Hochschullehre ein Konzept für ein Demonstrationspraktikum zugeschnitten auf die Lehramtsstudierenden der Universität Stuttgart in einem ersten Iterationsschritt zu entwickeln.

Die einzelnen Bestandteile und das so entstandene Konzept sollen innerhalb dieses Beitrags vorgestellt werden. Der Ablauf des ersten Testlaufs wird präsentiert und analysiert.

2. Entwicklung eines Konzepts anhand einer didaktischen Rekonstruktion

Bei der Didaktischen Rekonstruktion handelt es sich um ein von Kattmann et al. entwickeltes Modell um Unterrichtsgegenstände zu entwickeln [8]. Dabei werden die inhaltliche Analyse, die Schülerperspektive und die didaktische Strukturierung in einem fachdidaktischen Tripletts miteinander in Beziehung gesetzt. Theyßen nutzte dieses Modell in der Hochschullehre für die Entwicklung eines Konzepts für ein Physikpraktikum für Studierende der Medizin [9]. Nach ihrem Vorbild möchten wir nun dieses Modell (Abb. 1) nutzen um ein Konzept für ein Didaktikpraktikum zu erarbeiten.

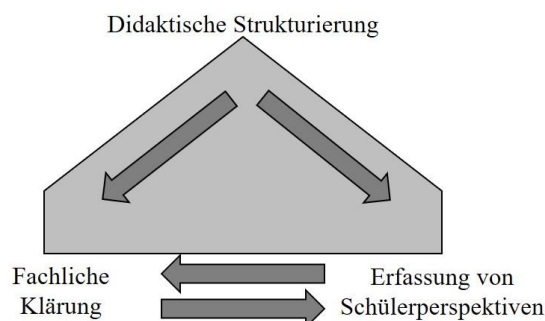


Abb.1: Darstellung des Modells der Didaktischen Rekonstruktion als fachdidaktisches Tripletts aus Fachlicher Klärung, Erfassung der Schülerperspektiven und Didaktischer Strukturierung [8].

2.1. Die Fachliche Klärung – Lernziele, Inhalte und Methoden

Die Lernziele eines Didaktikpraktikums beruhen auf dem benötigten Wissen und den schulspezifischen experimentellen Kompetenzen, die für den späteren reflektierten Einsatz von Experimenten im Schulunterricht nötig sind. Das Wissen ist Bestandteil des Professionswissens einer Physiklehrkraft. Im deutschsprachigen Raum wird dieses in die Bereiche des Physikalischen Fachwissens, des Erziehungswissenschaftlichen Wissens und des Physikdidaktischen Wissens unterteilt. Nach Webersen et al. [4] lässt sich das hier zentrale Physikdidaktische Wissen in weitere acht Facetten unterteilen (Abb. 2). Für die Entwicklung eines Konzepts für ein Didaktikpraktikum rückt hier die Facette „Experimente und die Vermittlung eines angemessenen Wissenschaftsverständnisses“ in den Fokus. Diese Facette enthält dabei sowohl das Wissen über den Einsatz von Experimenten im Unterricht als auch das Wissen über das angemessene Anordnen, Durchführen und Auswerten von Experimenten im Unterricht. Die schulspezifischen experimentellen Kompetenzen wurden von Jasmin Andersen [10] für die Neukonzeption eines spezifischen Anfängerpraktikums für Lehramtsstudierende als Lernziele zusammengefasst. Darin heben sich die Lernziele für Lehramtsstudierende besonders in der Verwendung schultypischer Messtechnik und Software von den allgemeinen Lernzielen eines Anfängerpraktikums ab. Universitäten, die bereits ein Didaktikpraktikum durchführen, haben ihre Lernziele



Abb.2: Darstellung des Modells zum Professionswissen einer Physiklehrkraft [4].

bereits formuliert. Diese wurden exemplarisch für vier Universitäten analysiert und mit den genannten theoretischen Quellen verglichen. Einen Ausschnitt aus dieser Analyse ist in Tabelle 1 dargestellt. Es ist zu erkennen, dass sich nach dieser Analyse kein durchgehendes Bild von Lernzielen für ein Didaktikpraktikum abzeichnet. Eine weitere Untersuchung scheint hier also angebracht. Die Physikalischen Themen, die im Praktikum behandelt werden, orientieren sich zunächst an dem in Baden-Württemberg gültigen Bildungsplan aus dem Jahr 2016 [11]. In der späteren didaktischen Strukturierung wird unter den geltenden Rahmenbedingungen eine genauere Fokussierung auf einzelne Themen getroffen. Für die Gestaltung einer wirkungsvollen Lernumgebung wurden verschiedene Forderungen und Methoden zusammengetragen und

| Lernziele des Didaktikpraktikums | Professions wissen | Exp. Kompetenz | TU Darmstadt | Uni Mainz | Uni Potsdam | KIT |
|--|--------------------|----------------|--------------|-----------|-------------|-----|
| Die Studierenden ... | | | | | | |
| ... kennen die geltenden Sicherheitsvorschriften für die Durchführung von Experimenten im Schulunterricht. | | | X | X | | X |
| ... können Experimente für den Schulunterricht durchführen. | X | | X | X | | X |
| ... können Experimente lernziel- und schülerorientiert präsentieren. | | | | X | X | X |
| ... können Schülerinnen und Schüler beim Experimentieren adäquat unterstützen. | | | | | X | X |
| ... können die physikalischen Hintergründe eines Experiments schülergerecht vermitteln. | | | X | | X | |
| ... beherrschen den kompetenten Umgang mit schultypischen Lehrgeräten und Experimentiermaterialien | | X | | X | | X |
| ... können Experimente für den Schulunterricht strukturieren. | | | X | X | | |
| ... sind in der Lage, Schulversuche unter didaktischen Gesichtspunkten zu planen. | X | | | | X | X |
| ... können Experimente für den Schulunterricht aufbauen. | | | X | X | | |
| ... können Experimente lernziel- und schülerorientiert auswählen. | X | | | X | X | |
| ... können Experimente in digitaler Form protokollieren. | | X | X | | | X |
| ... kennen verschiedene Verfahren zur Datenanalyse. | | X | X | | | X |

Tab.1: Analyse der Lernziele für ein Didaktikpraktikum. Untersucht wurden darin die Lernziele der TU Darmstadt, der Universität Mainz, der Universität Potsdam und des Karlsruher Institut für Technologie (KIT). Verglichen wurden diese Lernziele mit dem dafür benötigten Professionswissen [4] und den experimentellen Kompetenzen [10].

| Bachelorsemester | | | | |
|------------------|-----------------------------|-----------------------------------|---|---|
| 1. | Experimentalphysik I + II | Mathematische Methoden der Physik | Bildungs- Wissenschaftliches Begleitstudium | |
| 2. | | | | |
| 3. | Experimentalphysik III + IV | Hauptseminar | | Physikalisches Praktikum LA I |
| 4. | | | | Physikalisches Praktikum LA II |
| 5. | Experimentalphysik V | Theoretische Physik I | | Fachdidaktik I |
| 6. | Vertiefungsmodul LA I | Theoretische Physik II | | Fachdidaktik II |
| | | | Bachelorarbeit | |
| Mastersemester | | | | |
| 1. | | Fachdidaktik III A | Praxissemester | Bildungs- Wissenschaftliches Begleitstudium |
| 2. | Vertiefungsmodul LA II | Fachdidaktik III B | | |
| 3. | Wahlmodul I | Physikalisches Praktikum LA III | | |
| 4. | Wahlmodul II | Physikalisches Praktikum LA IV | Masterarbeit | |

Abb.3: Darstellung des Modulplans des gymnasialen Lehramtsstudiums Physik an der Universität Stuttgart.

auf das Praktikum übertragen. Betrachtet man gemachte Lernprozessuntersuchungen und bezieht diese auf ein physikalisches Praktikum, so ergibt sich als erste Forderung die „langsam zunehmende Kompliziertheit der Aufgaben“ [9, S. 70]. Eine zweite Forderung ergibt sich aus der von Hattie [12] verfassten Metastudie zu erfolgreichen Methoden im Unterricht. Darin hebt er die Wichtigkeit von ausreichendem, aufgabenzentriertem, sorgfältigem und klarem Feedback immer wieder deutlich hervor. Nach dem Ansatz des Scaffoldings [13] sollte diese gezielte Unterstützung mit der Zeit abnehmen. Nur so können die Studierenden zunehmend an Selbstständigkeit und Selbstvertrauen gewinnen. Der Ansatz des Cognitive Apprenticeship [14] schlägt zusätzlich eine detaillierte Demonstration jedes einzelnen Schrittes vor. Die Studierenden haben so die Möglichkeit die einzelnen Bestandteile vom Profi zu lernen und nachzumachen bevor sie sie selbstständig durchführen müssen. Als letzte Methode wird für die Konzipierung dieses Seminars der Microteaching-Ansatz [5] verwendet. Darin soll das Unterrichten in einer kleineren, geschützten Umgebung geübt und besprochen werden.

Um die so analysierten Lernziele, Inhalte und Methoden eines Demonstrationspraktikums zu verifizieren wird eine Delphi-Studie zur Ermittlung von Expertenmeinungen durchgeführt. Die Ergebnisse zu einem dazu erstellten offenen Fragebogen werden aktuell mit einer Qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring [15] ausgewertet. Aus den Ergebnissen soll dann ein geschlossener Fragebogen erstellt werden.

2.2. Ermittlung der Lernerperspektive

Das gymnasiale Lehramtsstudium im Fach Physik ist an der Universität nach dem Bachelor-Master-System strukturiert. Dabei befinden sich die Fachdidaktikmodule, in denen das Didaktikpraktikum abgehalten wird, im sechsten Bachelorsemester und im ersten und zweiten Mastersemester (Abb. 3).

In den physikalischen Fachvorlesungen werden die fachlichen Grundlagen zu den Themen der Mechanik, Elektro- und Thermodynamik, Optik, Atom- und Kernphysik und der Molekül- und Festkörperphysik behandelt. Es wird an dieser Stelle davon ausgegangen, dass diese Inhalte verstanden wurden und eingesetzt werden können. Das Physikalisches Praktikum für Lehramt (Teil 1 und 2) wird an der Universität Stuttgart nach dem Modell von Westphal durchgeführt [16]. Nach dem Positionspapier aller Physik-Fachschaften [17] soll darin eine allgemeine Experimentierkompetenz, korrektes Dokumentieren und der Transfer von theoretischem Wissen in die Praxis erlernt werden. Um das Niveau der erreichten experimentellen Kompetenz nach dem Anfängerpraktikum zu untersuchen soll das ausgearbeitete Bewertungsmodell von Bauer et al. [18] und der daraus entwickelte Beobachtungsbogen verwendet werden. In einer Prä-Post-Untersuchung kann so zusätzlich untersucht werden, in welchem Grad die Studierenden ihre experimentelle Kompetenz während dem Praktikum verbessern können.

Ebenfalls vor dem Didaktikpraktikum nehmen die Studierenden an dem Modul der Fachdidaktik 1 teil. Darin werden die Grundlagen der Fachdidaktik Physik behandelt. Neben den Zielen des Physikunterrichts, den aktuellen Bildungsstandards und den Sozialformen wird auch der Einsatz von Experimenten im Unterricht praxisnah behandelt.

Um zusätzlich die studentischen Ziele für das Didaktikpraktikum zu erfassen wurden die Studierenden (6 im Wintersemester 2020/21 und 9 im Sommersemester 2021) vor dem Besuch des Praktikums dazu befragt. Diese überschneiden sich zum großen Teil mit den Lernzielen aus der fachlichen Klärung (Tab. 2).

2.3. Rahmenbedingungen

Für das Didaktikpraktikum stehen an der Universität Stuttgart die Module der Fachdidaktik II und III zur

| Ziele | Stimmen |
|---|---------|
| Das Aufbauen von Experimenten erlernen. | 9 |
| Den Umgang mit Experimenten erlernen. | 5 |
| Verschiedene Experimente kennenlernen. | 4 |
| Lernen, wie man Experimente sinnvoll im Unterricht einsetzt. | 3 |
| Das Planen von Experimenten erlernen. | 3 |
| Das Präsentieren von Experimenten erlernen. | 3 |
| Die Experimentellen Fähigkeiten verbessern. | 3 |
| Die „Geräteangst“ verlieren. | 2 |
| Das Auswählen von Experimenten für den Unterricht erlernen. | 2 |
| Den Umgang mit elektronischen Geräten verbessern. | 2 |
| Eine bessere Vorbereitung für den späteren Beruf. | 2 |
| Die Experimentellen Fähigkeiten in einen schulischen Kontext bringen. | 1 |
| Mit der Physiksammlung vertrauter werden. | 1 |
| Das Modifizieren von Experimenten erlernen. | 1 |
| Das physikalische Verständnis vertiefen. | 1 |
| Die Bedeutung von Experimenten für den Unterricht verstehen. | 1 |

Tab.2: Ergebnisse der Erhebung der studentischen Ziele für das Didaktikpraktikum im Wintersemester 2020/2021 und im Sommersemester 2021. Insgesamt haben 15 Studierende daran teilgenommen.

Verfügung. Mit einer Arbeitszeit von wöchentlich 2 (3 Leistungspunkte) bzw. 6 Stunden (9 Leistungspunkte) ist der zur Verfügung stehende zeitliche Rahmen also stark eingeschränkt.

Betrachtet man die vergangenen vier Semester (SoSe 2019, WiSe 2019/2020, SoSe 2020, WiSe 2020/2021) so melden sich im Durchschnitt 20 Studierende bei dieser Lehrveranstaltung an. Die Studierenden setzen sich dabei hauptsächlich aus den Lehramtsstudierenden des Fachs Physik zusammen. Studierende der Technikpädagogik und des Ergänzungsmasters (Studierende mit einem Bachelor in Mathematik) besuchen diese Veranstaltung ebenfalls. Diese stellen aber nur einen kleinen Teil der Studierendenschaft dar.

Räumlich stehen uns für die Durchführung des Praktikums ein kleiner Seminarraum mit der angrenzenden Sammlung und der große Raum des Schülerlabors zur Verfügung. Diese Sammlung wird seit einigen Jahren stetig erweitert und enthält eine Vielzahl an schultypischen Experimentiermaterialien. Das Material der Sammlung ist allerdings in der Hinsicht begrenzt, dass es viele Geräte nur in einzelner oder doppelter Ausführung gibt. Eine parallele Durchführung eines Experiments von allen Studierenden ist so also ausgeschlossen.

Für die Betreuung des Praktikums stehen, momentan und in der zukünftigen Planung, ein Professor und ein bis zwei Promovierende zur Verfügung. Dabei ist

auch zukünftig die Beschäftigung von wissenschaftlichen Hilfskräften zur zusätzlichen Unterstützung nicht vorgesehen.

2.4. Didaktische Strukturierung

Das Konzept des Didaktikpraktikums wird zuallererst mit dem Konzept des physikalischen Praktikums LA I und II verknüpft [19]. Dies bedeutet, dass beispielsweise die Auswahl der Experimente zu den bereits vorhandenen im physikalischen Praktikum passen muss. Auch das Aufbauen erster Experimente in den Sammlungsräumen des Didaktikpraktikums wird im physikalischen Praktikum bereits geübt.

Um der wachsenden Relevanz der digitalen Medien angemessen zu begegnen sehen wir für die Behandlung des digitalen Physikunterrichts ein gesondertes Seminar vor. Um eine fachliche Steigerung zu erreichen soll zusätzlich eine Unterteilung in die physikalischen Inhalte der Sekundarstufe I und II erfolgen. Um diese Unterteilung umsetzen zu können wird die Dreiteilung wie folgt vorgenommen:

- Das analoge Didaktikpraktikum zu Inhalten der Sekundarstufe I findet im Modul der Fachdidaktik II statt. Somit stehen diesem Praktikum ein Umfang von wöchentlich zwei Stunden zur Verfügung.
- Ein Seminar zum digitalen Physikunterricht findet in Teil A des Moduls der Fachdidaktik III statt. Auch hier steht ein wöchentlicher Umfang von wöchentlich zwei Stunden zur Verfügung. Ein erstes Konzept für dieses Praktikum wurde bereits vorgestellt [20].
- Das abschließende Didaktikpraktikum zu Inhalten der Sekundarstufe III findet dann in Teil B der Fachdidaktik III statt. Dafür stehen vier wöchentliche Stunden zur Verfügung. Ein mögliches Konzept wird dafür aktuell erarbeitet und erprobt.

In erster Instanz ist das Didaktikpraktikum in einen praktischen und einen seminarähnlichen Teil gegliedert. In einem abwechselnden Rhythmus haben die Studierenden so die Möglichkeit zu Experimentieren und die so entstandenen Aufbauten den anderen Mitgliedern ihrer Gruppe zu präsentieren. Zusätzlich trägt diese Strukturierung dazu bei, dass in kurzen Zeitintervallen immer wieder Feedback zu den Experimenten und den Präsentationen gegeben werden kann. Um inhaltlich alle Themen der Sekundarstufe I abdecken zu können werden in jedem bis jedem zweiten Turnus die Experimente eines anderen physikalischen Themas behandelt.

Wie bereits im Abschnitt zu den Rahmenbedingungen erläutert ist die gegebene Sammlung nicht auf eine parallele Bearbeitung eines identischen Versuchsaufbaus ausgelegt. Um das vorhandene Experimentiermaterial und den Platz optimal nutzen zu können werden die 20 Studierenden deshalb in zwei gleich große Gruppen geteilt. Zusätzlich können die Studierenden aus einer großen Auswahl möglicher

| Inhalt einer kompletten Versuchsdokumentation | |
|--|--|
| 1. Physikalisches Ziel des Experiments | 9. Fehlerabschätzung |
| 2. Fachdidaktisches Ziel bzw. Funktion des Experiments | 10. Einschätzung möglicher Gefährdungen |
| 3. Klassifikation des Experiments (qualitativ/quantitativ, Demo-/Schülerexperiment, Unterrichtsphase, Einzelversuch/Versuchsreihe) | 11. Nötige Vorkenntnisse der Schülerinnen und Schüler |
| 4. Einordnung in den Bildungsplan | 12. Mögliche Schülerschwierigkeiten beim Experimentieren |
| 5. Materialliste | 13. Schülervorstellungen, die hier relevant sind |
| 6. Fotos des Versuchsaufbaus | 14. Beschreibung eines möglichen Unterrichtsverlaufs |
| 7. Knappe Aufbauanleitung mit Tipps und Tricks | 15. Physikalische oder Fachdidaktische Fragestellungen, die über das Experiment hinausgehen oder das Verständnis weiter vertiefen. |
| 8. Beispielhafte Auswertung | |

Tab.3: Auflistung des Inhalts einer kompletten Versuchsdokumentation. Nur die hervorgehobenen Teile werden bei jeder Dokumentation gefordert. Die anderen Teile werden mit wöchentlicher Abwechslung bearbeitet.

Experimente wählen. So erreichen wir zusätzlich, dass sie eine Vielzahl von Experimenten sehen und kennenlernen.

Zu jedem dieser Experimente erhalten die Studierenden passende Versuchsanleitungen. Um die Komplexität im Laufe des Semesters langsam zu steigern sind diese zunächst kleinschrittig und umfangreich und am Ende nur noch recht kurz. Erreicht werden kann dies auch durch eine zunehmende Abstrahierung der Beschreibung des Experiments. Im ersten Schritt wird das Ziel des Experiments genau beschrieben und ein Foto des fertigen Versuchsaufbaus zur Verfügung gestellt. Im letzten Schritt erhalten die Studierenden lediglich eine Beschreibung eines Unterrichtsverlaufs ohne Experiment. Zusätzlich zu der Beschreibung des Experiments enthält die Versuchsanleitung eine komplette didaktische Beurteilung des Experiments, z.B. die Einbettung in den Bildungsplan, die Zusammenfassung relevanter Schülervorstellungen und Formulierung eines möglichen Unterrichtsverlaufs. Diese physikdidaktischen Punkte rund um ein Experiment werden zunächst, nach dem Ansatz des Cognitive Apprenticeship, ausführlich vorgegeben und dann einzeln, Woche für Woche, von den Studierenden gefordert.

Aus der Forderung nach einer authentischen Arbeitsumgebung ergeben sich für die Strukturierung gleich mehrere Schlussfolgerungen. Zum einen arbeiten die Studierenden alleine statt in Partnerarbeit, wie es sonst in einem Praktikum üblich ist. Zum anderen verzichten wird bei der Dokumentation auf eine ausführliche Auswertung und Fehlerrechnung. Die Dokumentation orientiert sich dabei an dem Aufbau einer klassischen Aufbauanleitung. Wird diese gewissenhaft von den Studierenden erstellt kann sie im späteren Beruf von großem Nutzen sein. In diesen Aufbauanleitungen dokumentieren die Studierenden zusätzlich ihre Ergebnisse zu den wöchentlich wechselnden physikdidaktischen Fragestellungen. Zu dem ein oder anderen Zeitpunkt müssen die Studierenden so alle für ein Experiment relevanten Punkte bearbeiten (Tab. 3). Korrekturgelesen werden diese Aufbauanleitungen zunächst von den Betreuern. Da das Korrigieren von Aufgaben einen großen Teil des späteren Berufes einnimmt wollen wir den Studierenden auch

hier die Möglichkeit geben darin Erfahrungen zu sammeln. Auch das geschieht nur exemplarisch.

Im seminarähnlichen Teil des Praktikums bekommt jeder der Studierenden die Möglichkeit ein Experiment vor der Gruppe zu präsentieren. Dabei wird nach dem Ansatz des Microteachings [?] ein möglicher Unterricht simuliert. Im Anschluss wird dieser mögliche Unterricht in der Gruppe besprochen und unter fachlichen und fachdidaktischen Gesichtspunkten diskutiert.

3. Aktueller Stand und Analyse

Aufgrund der aktuellen Corona-Pandemie und unseren räumlichen Gegebenheiten konnten in diesem Testlauf (WiSe 2020/2021) nur insgesamt 16 Studierende teilnehmen. Beim Experimentieren selbst musste auf eine strenge Hände- und Oberflächenhygiene geachtet werden. Die größte Auswirkung hatte die Corona-Pandemie auf den seminarähnlichen Teil des Praktikums. Dieser musste unter diesen Umständen komplett digital stattfinden. Das Micro-Teaching wurde unter diesen Umständen in der Form des Fernunterrichts abgehalten.

Doch auch unter diesen Umständen war die Rückmeldung der Studierenden durchweg positiv. Einzig der Umfang der Betreuung wurde kritisiert. So wurde uns mehrfach zurück gemeldet, dass die Studierenden am Anfang der Experimentierphase zunächst wenig bis keine Betreuung wünschen. Auch die Steigerung der Komplexität innerhalb der Versuchsanleitungen wurde als zu schwach empfunden.

Um das so entstandene Konzept zu evaluieren wird aktuelle eine Untersuchung zur experimentellen Kompetenz [18] und eine Untersuchung zum Fachdidaktischen Wissen durchgeführt.

4. Literatur

- [1] Hodson, D. (1993): Re-thinking old ways: towards a more critical approach to practical work in school science. In: Studies in Science Education, Nr. 22, S. 85-142. <http://dx.doi.org/10.1080/03057269308560022> (Stand 05/2021)

- [2] Tesch, Maike; Duit, Reinders (2004): Experimentieren im Physikunterricht – Ergebnisse einer Videostudie. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, Jg. 10, S. 51-69.
- [3] Kultusministerkonferenz (2016): Strategie der Kultusministerkonferenz „Bildung in der digitalen Welt“ (in der Fassung vom 07.12.2017).
Url: https://www.kmk.org/fileadmin/pdf/PresseUndAktuelles/2018/Digitalstrategie_2017_mit_Weiterbildung.pdf (Stand 05/2021)
- [4] Webersen, Yvonne; Riese, Josef; Reinhold, Peter (2013): Modellierung fachdidaktischen Wissens angehender Physiklehrkräfte. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, Jg. 22, S. 7-30.
- [5] Allen, Dwight W.; Eve, Arthur W. (1968): Microteaching. In: Theory into practice, Volume 7, Issue: The Analysis of teaching. S. 181-185.
- [6] Boczianowski, Franz; Müller, Marc; Westphal, Nico (2012): Das Demonstrationspraktikum der Humboldt-Universität zu Berlin – eine offene Lehrveranstaltung. In: Didaktik der Physik – Frühjahrstagung – Mainz 2012.
- [7] Kellner, Jan (2009): Aufbau einer Learn-Management-Plattform zur Vorbereitung auf das physikalische Demonstrationspraktikum. Url: https://www.physik.tu-darmstadt.de/media/fachbereich_physik/phys_studium/vorlesungsassistentz/wiss_hausarbeiten/2009_WH_Kellner_Aufbau_Learn-Management-Plattform_Demopraktikum.pdf (Stand 05/2021)
- [8] Kattmann, Ulrich; Duit, Reinders; Gropengießer, Harald; Komerek, Michael (1997): Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion – Ein Rahmen für naturwissenschaftsdidaktische Forschung und Entwicklung. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften; Jg. 3, Heft 3, S. 3-18.
- [9] Theyßen, Heike (2000): Ein Physikpraktikum für Studierende der Medizin. Darstellung der Entwicklung und Evaluation eines adressatenspezifischen Praktikums nach dem Modell der Didaktischen Rekonstruktion. In: Studien zum Physiklernen, Band 9, Berlin: Logos Verlag Berlin GmbH.
- [10] Andersen, Jasmin (2020): Entwicklung und Evaluation eines spezifischen Anfängerpraktikums für Lehramtsstudierende im Fach Physik. Url: https://macau.uni-kiel.de/servlets/MCR-FileNodeServlet/macau_derivate_00002448/Jasmin_Andersen.pdf (Stand 05/2021)
- [11] Baden-Württemberg Ministerium für Kultus, Jugend und Sport (2016): Fachplan Physik. In: Bildungsplan des Gymnasiums, Bildungsplanheft 3/2016, Reihe G, Nr. 24. Stuttgart: Necker-Verlag GmbH. Url: http://www.bildungsplaene-bw.de/Lde/Startseite/BP2016BW_ALLG/BP2016BW_ALLG_GYM_PH (Stand 05/2021)
- [12] Zierer, K (2014): Hattie für gestresste Lehrer. Kernbotschaften und Handlungsempfehlungen aus John Hatties „Visible Learning“ und „Visible Learning for Teachers.“ Hohengehren: Schneider-Verlag.
- [13] Puntambekar, Sadhana; Kolodner, Janet L. (2004): Toward Implementing Distributed Scaffolding: Helping Students Learn Science From Design. In: Journal of Research in Science Teaching, Vol. 42, No. 2, S. 185-217.
- [14] Collins, Allan; Brown, John Seely; Newman, Susan E. (1987): Cognitive Apprenticeship: Teaching the craft of reading, writing, and mathematics. In: Center for the Study of Reading. Technical Reports, No. 403.
- [15] Mayring, Philipp (2010): Qualitative Inhaltsanalyse. In: Mey, Günther; Muck, Katja (Hrsg.): Handbuch Qualitative Forschung in der Psychologie. Wiesbaden: VS, S. 604.
- [16] Westphal, Wilhelm H. (1974): Physikalisches Praktikum. Eine Sammlung von Übungsaufgaben mit einer Einführung in die Grundlagen des physikalischen Messens. 13. Auflage. Braunschweig: Friedr. Vieweg + Sohn.
- [17] Zusammenkunft aller Physik-Fachschaften (2017): Positionspapier zu Lernzielen für Grund- oder Anfängerpraktika der Physik. Url: https://zapfev.de/resolutionen/sose17/Praktika/PosPapier_Praktika.pdf (Stand 05/2021)
- [18] Bauer, Anna B.; Reinhold, Peter; Sacher, Marc D. (2020): Entwicklung eines Bewertungsmodells zur handlungsorientierten Messung experimenteller Kompetenz (Physik)Studierender. In: PhyDid B – Didaktik der Physik – Beiträge zur Frühjahrstagung, S. 389-396
- [19] Kemmler, Richard; Stütz, Katharina; Kübler, Harald; Nawrodt, Ronny (2020): Konzeptionelle Verbindung des Physikalischen Praktikums mit den Fachdidaktikmodulen von Lehramtsstudierenden. In: PhyDid B – Didaktik der Physik – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung, S. 419-422
- [20] Stütz, Katharina E.; Nawrodt, Ronny (2020): Konzeption und Aufbau eines Didaktikpraktikums zur Digitalisierung für Lehramtsstudierende. In: PhyDid B – Didaktik der Physik – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung, S. 429-436.

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.

Didaktische Ansätze für Quantum Random Number Generators (QRNG)

Stefan Aehle*, Holger Cartarius*

*AG Fachdidaktik der Physik und Astronomie, Friedrich-Schiller-Universität Jena, 07743 Jena
stefan.aehle@uni-jena.de

Kurzfassung

Im Vormarsch der Quantentechnologien 2.0 sehen Enthusiasten und Medien den Quantencomputer an vorderster Front – auch, wenn dessen Entwicklung noch in den Kinderschuhen steckt. Viel greifbarer dagegen sind erste Errungenschaften der Quantensensorik und -kryptografie, wie die Erzeugung echter Zufallszahlen mittels quantenoptischer Zufallsgeneratoren (QRNGs). Diese schaffen es sich ganz bestimmte quantenmechanische Phänomene zu Nutze zu machen und sind inzwischen auch kommerziell verfügbar. Da sie auch relativ einfach zu erklären sind, können sie sich eignen, um Schülerinnen und Schülern Quantum Randomness näher zu bringen. Eine solche Betrachtung führen wir hier durch.

1. Einleitung

Trotz steigender Relevanz der Quantentechnologien 2.0 für Wirtschaft, Gesellschaft und Forschung, fällt es den Themen der modernen Physik häufig noch schwer, Einzug in den aktuellen Schulunterricht zu halten. Zweifellos ist es nicht zuletzt der fremdartigen Natur der Quantenphysik und der ihr fehlenden Alltagsnähe geschuldet, dass der Einstieg in Themen wie Quantencomputing, Quantensensorik und -kryptografie sich für viele Lernenden und Lehrenden schwierig gestaltet. Es ist das Akzeptieren der „Lücke“, die sich zwischen „beobachtbarer Realität und wohldefiniertem mathematischem Formalismus“ auftut und die Frage nach der Herkunft der Quantum Randomness [1], die schon den Gründervätern der Quantenphysik Kopfzerbrechen bereitete und auch heute noch viele Fragen aufwirft. Ein anschaulicher, jedoch selten didaktisch berücksichtigter Inbegriff jener Quantenzufälligkeit liegt im Kern einer der bereits heute weitverbreitetsten Quantentechnologien überhaupt: Quantum Random Number Generators (QRNGs) – Quantenzufallsgeneratoren. Dessen mögliche Eignung als didaktisches Beispiel wird im Folgenden vorgestellt. Genau in diesem Sinn eines Beispiels, das als Motivation für die Auseinandersetzung mit den Eigenheiten der Quantenphysik dienen kann, wollen wir das Thema verstehen. Didaktische Ansätze, die sich mit den weiterführenden Themen beschäftigen sind z.B. der milq-Ansatz aus Braunschweig [2], Seminare im Physiklehrstudium [3], Projekte mit digitalen Medien und Virtual-Reality-Unterstützung [4], neue Konzepte zur Quantendidaktik [5], der Didaktik von Quantencomputern [6], und fertige Experimentiersets [7].

2. Anschluss an den Lehrplan

Tatsächlich scheint der QRNG aufgrund seiner einfachen Bauweise und dem vergleichsweise geringen Umfang an nötigen Vorkenntnissen – auch themen- und fächerübergreifend – prädestiniert für Einsteigerformate: Neben der üblichen Positionierung am Rande eines traditionellen Oberstufen-Physikkurses, hat der QRNG möglicherweise das Potential, zum Beispiel im Mittelpunkt einer Projektarbeit zu Quantentechnologien 2.0 zu stehen und echten, greifbaren Alltagsbezug herzustellen. Mit der Veröffentlichung des ersten Smartphones mit eingebautem QRNG-Chip im Mai 2020 könnten Schülerinnen und Schüler die Technik schon bald in der Hosentasche mit sich tragen [8, 9]. Wie nachfolgend geklärt wird, braucht es fast nichts außer einen Ansatz zur Funktionsweise einer LED, der über die klassische Vorstellung hinaus geht, um das Prinzip QRNG nachzuvollziehen. Thematisch lässt sich dabei vor allem der quantenphysikalische Messprozess untersuchen, aber auch fächerübergreifend zur Statistik, Informatik und anderen mathematisch-technischen Bereichen arbeiten.

3. Was sind echte Zufallszahlen?

Zufallszahlen sind Zahlen, die in einem Prozess generiert werden, dessen Ergebnis zufällig und damit anschließend nicht zuverlässig reproduzierbar ist. Ob eine beliebige Zahl in einem solchen Prozess entstammt, ist unmöglich festzustellen, sodass es eine ganze Zahlenfolge braucht, um die Zufälligkeit zu untersuchen. Aber wie lässt sich Zufall messen? Aus Shannons Informationstheorie [10] ist bekannt, dass eine unendliche Zahlenfolge genau dann zufällig ist,

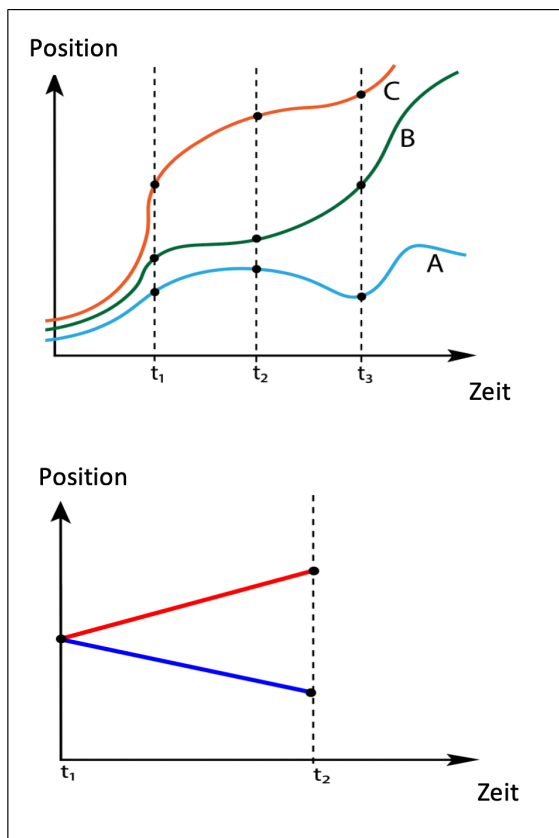


Abb.1: Vergleich eines klassischen (oben) und quantenphysikalischen (unten) Zufallsprozesses. In einem klassisch-chaotischen System laufen die Trajektorien bei minimalen Unterschieden in den Anfangsbedingungen exponentiell auseinander. Nimmt man nur zu bestimmten Zeiten t neue Werte auf, registriert man Zahlen, die in hoher Qualität Zufallszahlen repräsentieren können (Pseudo-Zufallszahlen). Im Gegensatz dazu entwickelt sich ein quantenphysikalischer Zustand zwar auch rein deterministisch in der Zeit, wenn man jedoch den Ort (oder eine andere Variable) feststellen will, führt man eine Messung durch und jeder Wert, der mit einer Wahrscheinlichkeit ungleich Null im Zustand vorkommt kann gemessen werden. Dies geschieht zufällig und unterliegt *keinem* deterministischen Prozess. Führt man Messungen in gewissen Zeitabständen aus, erhält man echte Zufallszahlen. Die Abbildung enthält nur zwei von prinzipiell unendlich vielen Möglichkeiten.

wenn auch deren Informationsgehalt unendlich ist, sie sich also nicht ohne Informationsverlust komprimieren lässt und sich Ziffern in immer neuen Kombinationen fortsetzen. In der Realität ist es aber unpraktisch, unendliche Zahlenfolgen zu prüfen, da die meisten Anwendungsbereiche nur endliche Zeit und Leistung aufbringen können, um Daten zu verarbeiten. Trotzdem haben sie den Anspruch *echte* Zufallszahlenfolgen zu verwenden. Es bleibt nur die Untersuchung endlicher Zahlenfolgen auf statistische Eigenschaften, die sie in der Theorie mit unendlichen Zufallszahlen gemein haben. Die eigentliche Messung des Zufalls gestaltet sich aber schwierig: Be-

trachtet man beispielsweise die Folge $A = 1101011000$ und die Folge $B = 1111111111$, so würde man wohl intuitiv Folge A als die „zufälliger“ von beiden erklären. Tatsächlich ergeben sich aber beide Zifferkombinationen als gleichwahrscheinlich. In der Praxis werden stattdessen möglichst große Datenmengen auf Korrelationen und Muster innerhalb der Folge überprüft. Eine ganze Batterie an stochastischen Testinstrumenten, wie die Statistical Test Suite des Nationalen Instituts für Standards und Technologie (NIST) [11] der Vereinigten Staaten, müssen zuverlässige Zufallszahlengeneratoren durchlaufen, um als sich solche einen Namen zu machen.

4. Zufallsgeneratoren

Random Number Generators (RNGs) lassen sich auf verschiedene Art und Weise nach ihrer Funktion oder Anwendung unterscheiden. Wesentliche Unterschiede ergeben sich für unsere Zwecke aber in den verschiedenen Methoden Zufälligkeit zu erzeugen, beziehungsweise sich natürliche Zufälligkeit zu Nutze zu machen. Zwei grundlegende Kategorien sind klassische RNGs, die auf chaotischer Entwicklung klassisch-physikalischer Systeme beruhen, und quantenphysikalische Zufallsgeneratoren, also QRNGs, die die fundamentalen Wesenszüge von Quantensystemen auskosten (vgl. Abb. 1). Dem hier vorgestellten QRNG gelingt dies auf so anschauliche Weise, dass es durchaus denkbar wäre, dessen Funktionalität im schulischen Physikunterricht zu untersuchen. Was alle RNGs miteinander verbindet, ist das Ziel, echte Zufallszahlen zu erzeugen, also keine Tendenzen oder Korrelationen zu erhalten, und möglichst schnell große Datenmengen auszugeben. Klassische RNGs schaffen das nach heutigem Stand sehr gut – sie erzeugen vieler Orts zuverlässig riesige Datenraten, sind flexibel einsetzbar und werden sogar standardmäßig zur Verschlüsselung von Kommunikation genutzt. Einerseits gibt es software-basierte Pseudo-RNGs, die aus einem sogenannten Seed value (Startwert) nach einem bestimmten Algorithmus eine Zufallszahl generieren – und das nach immer gleichem Muster: same input = same output. Die so generierten Werte sind natürlich alles andere als zufällig, sodass ein Dritter, der entweder Startwert oder Algorithmus kennt, das System problemlos manipulieren kann. Pseudo-RNGs eignen sich also nur für Anwendungen, die auf echten Zufall verzichten können (z.B. Animationen, Spiele, etc.).

Andererseits gibt es klassisch-physikalische RNGs, welche komplexe makroskopische Prozesse nutzen, deren Dynamik aufgrund ihrer chaotischen der Natur kaum oder nur sehr schwer vorherzusagen sind – beispielsweise das Auslesen technischen Rauschens in Elektronikbauteilen oder das Ziehen von Zahlen aus einer Lotto-Trommel. Schon minimale Veränderungen in den Anfangsbedingungen lenken das chaotische Verhalten des Systems zu unvorhersehbaren Ergebnissen, was es einem Dritten fast unmöglich macht,

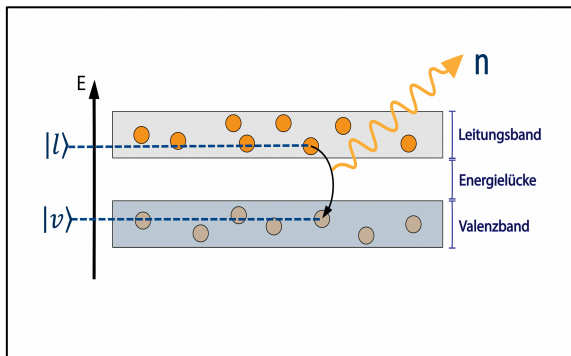


Abb.2: Übliche Darstellung des Elektronenübergangs von einem Zustand $|l\rangle$ im Leitungsband zu einem Zustand $|v\rangle$ im Valenzband unter Aussendung eines Photons. Tatsächlich findet eine Zeitentwicklung statt, bei der die Aufenthaltswahrscheinlichkeit des Elektrons im Valenzband „nur“ steigt. Wann es tatsächlich im Valenzband auftaucht, und ein Photon detektiert werden kann, unterliegt dem quantenphysikalischen Messprozess, der rein zufällig ist.

Sicherheitslücken zu erkennen. Nichtsdestotrotz taugen klassisch-physikalische RNGs nicht für alle Anwendungen: So chaotisch der Vorgang auch sein mag – makroskopisch bleibt es ein deterministischer Prozess, der mit genug Rechenleistung oder Zeit letztlich berechnet, zurückverfolgt und vorhergesagt werden kann. Außerdem gibt es oft Probleme in der Modellierung und Kontrolle solcher Prozesse, sodass selbst der Nutzer nicht nachvollziehen kann, ob sich schon systematisch bestimmte Verzerrungen der Werte ergeben. Trotz ihrer Nachteile finden klassische Zufallsgeneratoren Anwendung in vielen Bereichen, teils auch, weil es bisher an Alternativen mangelte: Glücksspiele in Lotterien, numerische Simulationen in der Naturwissenschaft (siehe Monte-Carlo-Methode [12]), und, wie bereits erwähnt, auch in der Kryptographie zur Verschlüsselung von Bankgeschäften und allen anderen Arten von digitaler Kommunikation.

Die einzige Alternative zu klassischen Zufallsprozessen und damit auch die einzige Möglichkeit, echte Zufälligkeit zu nutzen bieten QRNGs. Sie basieren auf der intrinsischen Zufälligkeit der Quantenphysik, die theoretisch und experimentell seit Anfang des 20. Jahrhunderts immer wieder bestätigt wurde. Die Zufallsnatur des Quantenobjekts erlaubt es, sich einfache Prozesse zu Nutze zu machen und deren Wahrscheinlichkeitsverteilung zu modellieren, um so auch auf Verzerrung zu überprüfen. Darüber hinaus zeigen die Bell-Ungleichungen, dass es keine „versteckten Parameter“ gibt, keine Unsicherheiten im Quantensystem, die ein Dritter unbemerkt erschließen kann. Wird der Prozess gestört, ändert sich das Ergebnis instantan. Auch die Praxistauglichkeit hat sich durch den technischen Fortschritt und Forschung im Bereich der Quantentechnologien der letzten Jahrzehnte immens verbessert. Der im folgenden Beispiel vorge-

stellte QRNG ist im Format nicht größer als ein Schuhkarton, verwendet Standard-Elektronikbauteile, und lässt sich per USB an jedes beliebige Computersystem anschließen. Andere Bauarten schaffen es inzwischen sogar, Smartphones mit QRNG-Chips auszustatten und echten Quantenzufall in Verbrauchershände zu bringen.

5. Beispiel eines QRNG

5.1. Bau und Funktion

Der 2010 an der Ludwig-Maximilians-Universität München entwickelte Quantenzufallsgenerator [13], der an dieser Stelle exemplarisch als didaktisch gut geeignete Umsetzung vorgestellt werden soll, basiert grundsätzlich auf der Zufälligkeit der Photonenemission einer LED-Lichtquelle. Das kompakte Gerät besteht nur aus einer LED, die im Einzel-Photonen-Bereich leuchtet, sowie einem einzelnen Photonendetektor. Nach den fundamentalen Gesetzmäßigkeiten der Quantenoptik folgt die Wahrscheinlichkeitsverteilung der Anzahl der emittierten Photonen bei konstanter Lichtintensität in einem bestimmten Messintervall – analog zum Kernzerfall – einer Poisson-Verteilung um einen Mittelwert. Einer geraden Anzahl an Photonen pro Zeitintervall ordnet man dabei eine „0“ zu, während eine ungerade Anzahl als „1“ interpretiert wird. Im Normalfall ist die Poisson-Verteilung aber insbesondere für kleine Zeitabstände unsymmetrisch, was letztlich dazu führen würde, dass „0“ und „1“ nicht gleichwahrscheinlich auftreten und so eine Tendenz der relativen Häufigkeiten in die ein oder andere Richtung (auch Bias genannt) aufträte. Durch Besonderheiten im Zusammenspiel von Quelle, Detektor und Ausleseelektronik ergeben sich speziell für dieses Modell bestimmte Totzeiteffekte, die diese Poisson-Verteilung aber so modifizieren, dass jeweils gerade und ungerade Anzahlen an Photonen gleichermaßen ohne signifikante Tendenz detektiert werden können [13]. So ergibt sich nach dem Auslesen tatsächlich eine zufällige Zahlenfolge aus Nullen und Einsen, die auf der Quantennatur von Elektronenübergängen in einer LED beruht.

5.2. Quantenphysik des Zufallsgenerators als greifbares didaktisches Element

Betrachtet man den Vorgang der Lichterzeugung einer LED im Detail, wird deutlich, warum im Münchner Aufbau von echter Quantum Randomness ausgegangen werden kann. Das klassische Bild der Funktionsweise einer LED erklärt das Verhalten des Elektrons als Teilchen, das vom Leitungsband in das energetisch tiefere Valenzband fällt und dabei Energie in Form eines Photons freisetzt. Die Rekombination von Elektronen und „Löchern“ zwischen den n- und p-dotierten Siliziumschichten wird auch im Physikunterricht modellhaft angeführt, um so den Elektronenübergang als zeitlich kontinuierlichen, klassischen Prozess zu veranschaulichen (s. Abb. 2). Jedoch lässt sich der Vorgang – mit entsprechender Vorbereitung

sogar in schulischen Kontexten – auch quantenmechanisch beschreiben: Das Elektron befindet sich nach Übergang in den p-dotierten Teil der Grenzschicht zu jedem beliebigen Zeitpunkt t entweder im Zustand des Leitungsbands $|l\rangle$ oder schon im Zustand des Valenzbands $|v\rangle$. Beide Zustände $|l\rangle$ und $|v\rangle$ befinden sich in Superposition und sind vor einer eindeutigen Messung gleichwahrscheinlich. Unter Berücksichtigung des emittierten Photons liefert die Zeitentwicklung der Schrödinger-Gleichung also:

$$|\Psi(t)\rangle = a(t)|l\rangle|n=0\rangle + b(t)|v\rangle|n=1\rangle$$

Erst die Messung verrät, ob ein Photon zum Zeitpunkt t existiert ($|n=1\rangle$) oder nicht ($|n=0\rangle$). Dementsprechend bestimmt die Aufenthaltswahrscheinlichkeit des Elektrons den Ausgang der tatsächlichen Messung. Die Wahrscheinlichkeiten mit denen $|l\rangle$ und $|v\rangle$ gemessen werden ändern sich typischerweise mit der Zeit und ergeben sich aus:

$$|\langle n=1|\Psi(t)\rangle|^2 = |b(t)|^2$$

$$|\langle n=0|\Psi(t)\rangle|^2 = |a(t)|^2$$

Besonderes Augenmerk lenkt diese Herangehensweise auf den quantenmechanischen Messprozess und die eigentliche Zufallsnatur quantenphysikalischer Prozesse. Ohne unbedingt auf Begrifflichkeiten wie Verschränkung oder Unschärfe eingehen zu müssen, kann so auch im Schulunterricht Anreiz geschaffen werden, Quantenphysik anhand alltäglicher Objekte zu untersuchen. Das Entwicklerteam des im Beispiel vorgestellten QRNGs begründet mit ebenjener quantenmechanischen Perspektive die Echtheit und Zuverlässigkeit ihrer Zufallszahlen.

5.3. Weiterführende Aspekte der technischen Umsetzung

Nachdem ein Photon von der LED ausgesendet wurde, trifft es auf einen Photoelektronenvervielfacher (PTM), der die Messung in Form eines elektrischen Pulses in der Größenordnung weniger Nanosekunden weiterleitet. Das analoge Signal durchläuft einen Verstärker und wird in einer nachfolgenden Diskriminator-Schaltung in ein digitales umgewandelt. Die Diskriminator-Schaltung kann zwei Messereignisse nur dann auseinanderhalten, wenn diese mindestens die zeitliche Breite eines einzelnen Pulses getrennt voneinander eintreffen. Somit entstehen Totzeiten, die in anderen Versuchen eher unerwünscht sind, an dieser Stelle aber die Poisson-Verteilung statistisch optimieren und so auch hohe Zählraten mit vernachlässigbareren Bias erlauben. Um systematisch die grobe Funktionalität des QRNGs zu überprüfen, führt im vorgestellten Modell ein FPGA-Logikchip bereits on-board erste statistische Tests an Zahlenfolgen von 1 Mbit pro Minute durch. So kann schon vorab Kontinuität des stochastischen Prozesses und Qualität der zufälligen Bits gewährleistet werden, bevor das Ergebnis des Vorgangs über USB in einen

Computer eingespeist wird. Ein solcher QRNG ist damit in der Lage, Zufallszahlen mit einer Rate von 50 Mbit pro Sekunde zu erzeugen, die auch alle gängigen statistischen Tests (STS des National Institute of Standards and Technology, DieHarder-Tests) eindeutig bestehen.

6. Ausblick

Wir haben hier eine Umsetzung eines QRNG vorgestellt, die aufgrund ihres einfachen Auftretens des quantenphysikalischen Zufallsprozesses besonders geeignet ist als alltagsrelevantes Beispiel im Unterricht eingeführt zu werden. Andere, ähnlich unkomplizierte QRNG-Bauweisen nutzen statt eines PMT beispielsweise den CMOS-Bildsensor eines Smartphones oder die CCD einer Digitalkamera [14]. So konnten sogar noch höhere Zufalls-Bitraten von 1.25 Gbits mit noch einfacheren Mitteln erreicht werden. Mit dem Umbau von Elementen weit verbreiteter Unterhaltungselektronik wie diesen, ist es prinzipiell jedermann mit dem nötigen Know-how möglich, diese Art von Quantentechnologie exemplarisch nutzbar zu machen. Es ist also möglich, auch ohne hochspezialisierte, quantenoptische Gerätschaften wie Einzelphotonenquellen, Strahlteiler und Detektoren quantenphysikalische Prozesse anzuwenden. Damit sei nicht gesagt, dass ein solches Projekt grundsätzlich im schulischen Rahmen umsetzbar ist, jedoch macht es dessen Konzeption und theoretische Hintergründe greifbarer und alltagsrelevanter als beispielsweise die des Quantencomputings.

Gleichzeitig bedeutet das auch, dass der kommerzielle Gebrauch von QRNG-Technologie technisch ausreift und auch in kleineren Maßstäben an gesellschaftlichem Interesse gewinnt. So werden jetzt neben dem ersten Smartphone mit QRNG-Chip auch zahlreiche Computerkomponenten vermarktet, die dem QRNG zum Hausgebrauch befähigen [15]. Dabei geht es meist nicht um Anwendungen für Forschungszwecke, sondern vor allem um Cyber-Security und Verschlüsselung von Daten. Um einschätzen zu können, ob das echte Vorteile gegenüber herkömmlichen, klassischen Verfahren mit sich bringt, ist grundlegendes Verständnis der quantenphysikalischen Hintergründe gefragt – ein weiterer Grund, QRNGs in den Physikunterricht von heute einzubauen.

7. Literatur

- [1] Heusler S, Schlummer P, Ubben MS (2021): The Topological Origin of Quantum Randomness. *Symmetry*, 13(4):581.
- [2] Müller R, Wiesner H (2002): Teaching Quantum Mechanics on an Introductory Level. *American Journal of Physics* 70, 200.
- [3] Scheiger P, Nawrodt R, Cartarius H (2020): Interaktive und aktivierende Lehrkonzepte in der Theoretischen Physik. In: *PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-*

- Frühjahrstagung Bonn; Nordmeier V, Grötzebauch H (Eds.)
- [4] Schlummer P, Lauströer J, Schulz-Schaeffer, Abazi A, Schuck C, Pernice W, Heusler S, Laumann D (2020). MiReQu: Mixed Reality Lernumgebungen zur Förderung fachlicher Kompetenzentwicklung in den Quantentechnologien. In: PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung; Nordmeier V, Grötzebauch H (Eds.)
- [5] Bitzenbauer P, Meyn JP (2020): A new teaching concept on quantum physics in secondary schools. In: Physics Education 55(5) 055031
- [6] Pospiech, G (2021): Quantencomputer & Co.: Grundideen und zentrale Begriffe der Quanteninformatik verständlich erklärt, Springer Spektrum.
- [7] quTools Homepage: https://qutools.com/quantenkoffer_science-kit/ (Stand 5/2021)
- [8] Simons H (2020): Samsung Galaxy A Quantum is a phone with a quantum security chip. Android Authority, Url: <https://www.androidauthority.com/samsung-galaxy-a-quantum-1118992/> (Stand 5/2021)
- [9] Byford S (2021): Samsung's Galaxy Quantum 2 has quantum cryptography built in. The Verge, Url: <https://www.theverge.com/2021/4/13/22381321/samsung-galaxy-quantum-2-announced-qrng-cryptography-chip> (Stand 5/2021)
- [10] Heise W, Quattrocchi P (1995): Informations- und Codierungstheorie: Mathematische Grundlagen der Daten-Kompression und -Sicherung in diskreten Kommunikationssystemen. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- [11] Heruley-Smith D, Hernandez-Castro J (2017): Quam Bene Non Quantum: Bias in a Family of Quantum Random Number Generators.
- [12] Binder K, Heermann D (2010): Monte Carlo Simulation in Statistical Physics. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- [13] Fürst H, Weier H, Nauerth S, Marangon D, Kurtsiefer C, Weinfurter H (2010): High speed optical quantum random number generation. In: Optics Express, Vol. 18, Issue 12, S. 13029-13037.
- [14] Sanguinetti B, Martin A, Zbinden H, Gisin N (2014): Quantum random number generation on a mobile phone. In Physical Review X 4.
- [15] ID Quantique Whitepaper zum QRNG-Produkt: <https://www.idquantique.com/random-number-generation/overview/> (Stand 5/2021)

Ermittlung von Anforderungen an künftige Quanten-Fachkräfte

- Zwischenbericht aus der Delphi-Studie -

**Franziska Gerke (VH Greinert)¹, Rainer Müller¹, Philipp Bitzenbauer², Malte S. Ubben³,
Kim-Alessandro Weber⁴**

¹TU Braunschweig, Institut für Fachdidaktik der Naturwissenschaften, ²FAU Erlangen, Physikalisches Institut, ³WWU Münster, Institut für Didaktik der Physik, ⁴LU Hannover, Institut für Quantenoptik
f.greinert@tu-braunschweig.de

Kurzfassung

Mit den *neuen* Quantentechnologien, den QT 2.0, ergeben sich spezielle Anforderungen an die Fachkräfte, die mit diesen arbeiten werden. Ziel der vorgestellten Delphi-Studie ist die Ermittlung von Kompetenzen für und Anforderungen an die künftigen Quanten-Fachkräfte. Damit bilden die Ergebnisse dieser Delphi-Studie die Basis für die Entwicklung eines Competence Frameworks im europäischen Quantum Flagship Projekt QTedu CSA. Darüber hinaus liefert die Delphi-Studie Einschätzungen zu Begriffs- bzw. Definitionsschärfung sowie Prognosen zur künftigen Relevanz der einzelnen Säulen der QT 2.0, also Quantencomputing, Quantensimulation, Quantensensorik/Metrologie und Quantenkommunikation, sowie auch den Enabling Technologies.

Vorgestellt werden in diesem Beitrag vorwiegend die aktuellen Zwischenergebnisse der ersten Hauptrunde, die auf denen einer Pilotrunde aufbauen, und die in einer abschließenden Befragungsrunde bewertet und ergänzt werden sollen.

1. Einleitung und Ziel

Die Anwendungen der Quantenphysik unterliegen einem Wandel, sie erlangen aus der Grundlagenforschung heraus zunehmend Marktreife und gewinnen damit sowohl national¹ als auch international² an Relevanz, eine intensive Vernetzung von Natur- und Ingenieurwissenschaften erfolgt³. In diesem Prozess ist die Einigung auf einen Kompetenzrahmen für die Ausbildung von Fachkräften in der Quantentechnologie, welcher gleichermaßen die Anforderungen von Industrie und Wissenschaft abbildet, von besonderer Bedeutung. Das Flagship-Projekt QTedu CSA⁴ hat die Entwicklung eines solchen Kompetenzrahmens für Europa zum Ziel.

Die hier vorgestellte Delphi-Studie schafft eine empirische Basis zur Unterstützung der Entwicklung dieses Kompetenzrahmens. Im Rahmen einer Delphi-Studie werden iterativ in aufeinander aufbauenden Befragungsrunden Expertenmeinungen aus Industrie und Wissenschaft erhoben, von den Experten präzisiert und bewertet. Im Fokus stehen dabei die Sammlung und Ordnung von Kompetenzen im Kontext von Quantentechnologien.

Vorherige Ergebnisse wurden bereits vorgestellt, von ersten Ergebnissen nach der qualitativ angelegten Pi-

lotrunde [1] über die Folgerungen für die erste Hauptrunde [2] bis hin zu wenigen ersten Ergebnissen der ersten Hauptrunde [3]. In diesem Beitrag wird über den Zwischenstand nach der Pilotrunde und der ersten von zwei Hauptrunden berichtet mit Fokus auf den iterativen Fragenentwicklungen über die Runden und Ausblick auf die Ergebnisse der zweiten Hauptrunde

2. Methodik

2.1. Delphi-Methode

Welche Kompetenzen werden die Fachkräfte im Bereich der Quantentechnologien künftig benötigen? Die Klärung dieser Frage erfordert das Einholen der Meinungen und Einschätzungen einer möglichst großen und breit gestreuten Expertengruppe aus denen ein Konsens abgeleitet werden kann. Ein solcher Konsens erscheint notwendig, um entsprechende Ausbildungsangebote aber auch Zertifizierungen und Standards zu etablieren. Dies scheint im Bereich der Quantentechnologien besonders wichtig, weil das Fachgebiet noch sehr jung ist und bisher keine breiten Erfahrungen zu Vermittlungsaspekten vorliegen.

Für dieses Forschungsanliegen bietet sich methodisch eine Delphi-Studie an (vgl. z. B. [4, S. 33]; [5]), bei der aus zunächst vorwiegend qualitativen Aussagen

¹ s. z. B. BMBF: Quantentechnologien: quantentechnologien.de

² s. z. B. Quantum Flagship: qt.eu

³ s. z. B. Quantum Valley Lower Saxony: qvl.de

⁴ Coordination and support action for Quantum Technology Education: qt.eu/about-quantum-flagship/projects/education-coordination-support-actions/

im Studienverlauf schließlich quantitative Einschätzungen gesammelt werden können ([4, S. 36]).

Die Delphi-Methode zeichnet sich durch einen iterativen Befragungs- und Feedbackprozess aus. Dabei werden jeweils die Ergebnisse der vorherigen Befragungsrunde an die Teilnehmenden zurückgespiegelt und beeinflussen so die nachfolgende Befragungsrunde durch die Darbietung zusätzlicher Informationen und Kontexte (vgl. [4, S. 49 f.]). Die hier berichtete Studie wurde dreistufig angelegt, wie in Abb. 1 dargestellt.

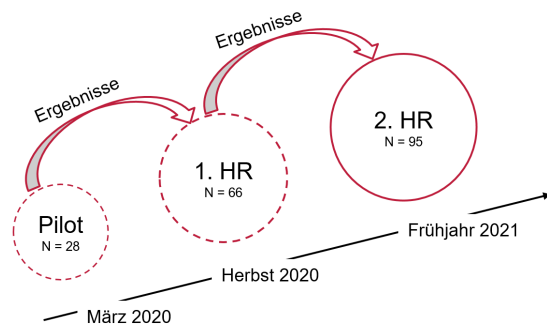


Abb. 1: Schematik der vorliegenden Delphi-Studie. Das Expertenpanel ist in der Pilotrunde kleiner und die Fragen sind noch teilweise offen gehalten, dargestellt durch den kleineren Kreis mit gestricheltem (offenen) Rand. Hingegen sind die Fragen in der zweiten Hauptrunde (nahezu vollständig) geschlossen, der "Kreis" der Experten deutlich größer. Über Feedback werden die Hauptrunden jeweils durch die vorhergehende Runde iterativ beeinflusst.

2.2. Datenanalyse

Die Auswertung der in der Delphi-Studie erhobenen Daten hat die Aggregation von Ansichten und Bündelung von Aussagen zum Ziel, die im nachfolgenden Fragebogen zur Präzisierung und Bewertung vorgelegt werden. Durch den iterativen Prozess beeinflusst die Aufbereitung der Daten und ihre Einarbeitung in den nächsten Fragebogen die Studie maßgeblich.

Zur Analyse der Daten wurden, je nach Runde, Verfahren nach verschiedenen Schwerpunkten herangezogen. Die Pilotrunde war durch vorwiegend offene Fragen geprägt. Entsprechend lag der Fokus auf qualitativen Methoden wie der qualitativen Inhaltsanalyse [6]. Zur Analyse von Freitextantworten wurde die Software MaxQDA⁵ in Version 12 genutzt. Ein Fünftel der Antwortdatensätze wurden mit Hilfe eines Kodiermanuals von einem zweiten, unabhängigen Beurteiler kodiert. Die Beurteilerübereinstimmung kann im Fachjargon nach Landis und Koch [7] als "almost perfect" ($\kappa > 0,8$) bezeichnet werden.

Im Verlauf der Studie verschob sich der Schwerpunkt dann zu den quantitativen Methoden wie der deskriptiven Statistik. Zudem bieten Diverging Stacked Bar Charts [8] anschauliche Übersichten über Bewertungen und Einschätzungen. Ein Beispiel wird in Abschnitt 3.3 mit Abb. 4 vorgestellt.

⁵ maxqda.com

2.3. Teilnehmende

Die Teilnehmenden wurden über Netzwerke des Quantum Flagship wie das QCN, Newsletter, das QuIC und weitere Listen interessierter Personen geworben. Der Aufruf wurde zudem über den Flagship-Account auch auf Twitter und LinkedIn geteilt.

In allen drei Runden wurden mit denselben Fragen die beruflichen Hintergründe ermittelt. Aus der Pilotrunde konnten 28 Antworten ausgewertet werden. Diese Personen haben vorwiegend einen wissenschaftlichen Hintergrund mit Lehranteilen, während Industrie, IT und Anwendung kaum vertreten waren. Dieses Verhältnis hat sich in den beiden Hauptrunden verschoben, von ca. 85:15 zu etwa 65:35.

Die Teilnehmendenzahl der ersten Hauptrunde ist mit 66 mehr als doppelt so hoch wie in der Pilotrunde, die der zweiten Hauptrunde liegt sogar bei 95. Dabei sind Teilnehmende aus rund 30 verschiedenen Ländern, hauptsächlich aus der EU, vertreten.

Alle Angaben zur zweiten Hauptrunde sind vorläufig und sollen einen groben Eindruck geben, die Auswertung steht noch aus.

3. Darstellung ausgewählter Ergebnisse

Nachfolgend werden exemplarisch drei Ergebnisse der Studie im Kontext des Delphi-Prozesses dargestellt. Dabei wird besonders die Entwicklung über die drei Befragungen erläutert, also der Umgang mit den Ergebnissen der vorherigen Runde.

3.1. Begriff Quantum Awareness: Kritik und Alternativen

Im Flagship-Kontext wurde der Begriff Quantum Awareness genutzt, um das Grundverständnis für Quantentechnologien zu beschreiben, welches künftige Fachkräfte mitbringen sollten. Dieser Begriff wurde daher auch in der Pilotrunde verwendet, um nach dem Verständnis dieses Begriffes zu fragen. Allerdings wurde er von einzelnen Teilnehmenden kritisiert, da der Begriff auch im Kontext von Esoterik verwendet würde.

Deshalb wurde in der ersten Hauptrunde erfragt, ob der Begriff beibehalten oder doch zu einem anderen gewechselt werden sollte. Für die Beibehaltung stimmten 29 Teilnehmende, während ebenfalls 29 Befragte alternative Begriffe vorschlugen. Die mehrfach genannten Vorschläge wurden dann in die zweite Hauptrunde zur Abstimmung gegeben.

Mit rund einem Drittel der Stimmen wird Quantum Literacy favorisiert, vor Quantum Knowledge oder Quantum Technology Awareness. Ein Festhalten an Quantum Awareness wurde nur noch von einem kleinen Teil der Teilnehmenden befürwortet, Quantum Readiness konnte nicht überzeugen. Der Begriff Quantum Literacy wird etwa an der Durham University in der Gruppe um Nita [9] bereits verwendet.

3.2. Sammlung von Kompetenzen für ein Competence Framework

Aus der Pilotrunde ergaben sich mittels der qualitativen Inhaltsanalyse der Antworten auf Freitextfragen vier zentrale Bereiche. Diese werden die mit Ankerbeispielen in Abb. 2 dargestellt und in [2, 3] ausführlich diskutiert.

In der ersten Hauptrunde wurde diese Übersicht zur Inspiration in eine vorstrukturierte Frage gegeben. Diese Frage besitzt eine dreischrittige Struktur in Anlehnung an Häußler et al. [10]. Mit der Frage wird die Erhebung konkreter Kompetenzen forciert. Dazu sollten die Teilnehmenden einen Teilbereich nennen, auf den sie sich konzentrieren, und für diesen Kompetenzen unter drei Aspekten angeben: neben der eigentlichen Kompetenz auch wofür diese benötigt wird und auf welchem Level. Dabei war noch zu unterscheiden, ob „User“ oder „Developer“ betrachtet werden, also Grundkenntnisse zur Anwendung oder vertiefte Kenntnisse zur Entwicklung benötigt werden.

Eine Beispielantwort, die auch in der Frage zur Verfügung gestellt wurde, zeigt Tab. 1. Sie kann zusammengesetzt gelesen werden als „Die Kompetenz des Verständnisses von Qubitoperationen ist nützlich für das Erstellen von Quantenalgorithmien und das dabei benötigte Expertiselevel für User entspricht vertieften

Grundkenntnissen über das Qubit-Konzept und die Auswirkungen verschiedener Operatoren auf formal-logischer Ebene.“

In der ersten Hauptrunde wurden 180 solcher Kompetenzen für 55 Teilbereiche genannt. Diese wurden inhaltlich kategorisiert und sortiert. Eine Zuordnung der Teilbereiche zu den vier Bereichen aus der Pilotrunde wird in [3] diskutiert.

Die kategorisierten (Teil-)Antworten wurden zu neuen oder übergreifenden Bereichen sortiert und Zusammenhänge von mehrfach kodierten Antworten abgebildet. Dabei hat sich die Kollaborations- und Planungssoftware Miro⁶ durch die hohe Flexibilität zur Anordnung von Objekten als sehr nützlich erwiesen. Abb. 3 zeigt anhand ausgewählter Sortierungs- und Anordnungsiterationen den Prozess der Frameworkentwicklung, bei dem sich neben den sieben Feldern auch die Grobstruktur aus den drei Bereichen theoretischer Hintergrund, praktischer Hintergrund und Quantentechnologien, also den konkreten Anwendungen, herausgestellt hat.

Auf dieser Basis sowie mit weiterem Experteninput konnte im Projekt QTedu-CSA die Beta-Version des Competence Framework for Quantum Technologies abgeleitet werden. Als Vorlage diente dabei DigCompEdu⁷, das europäische Digital Competence Framework for Educators.

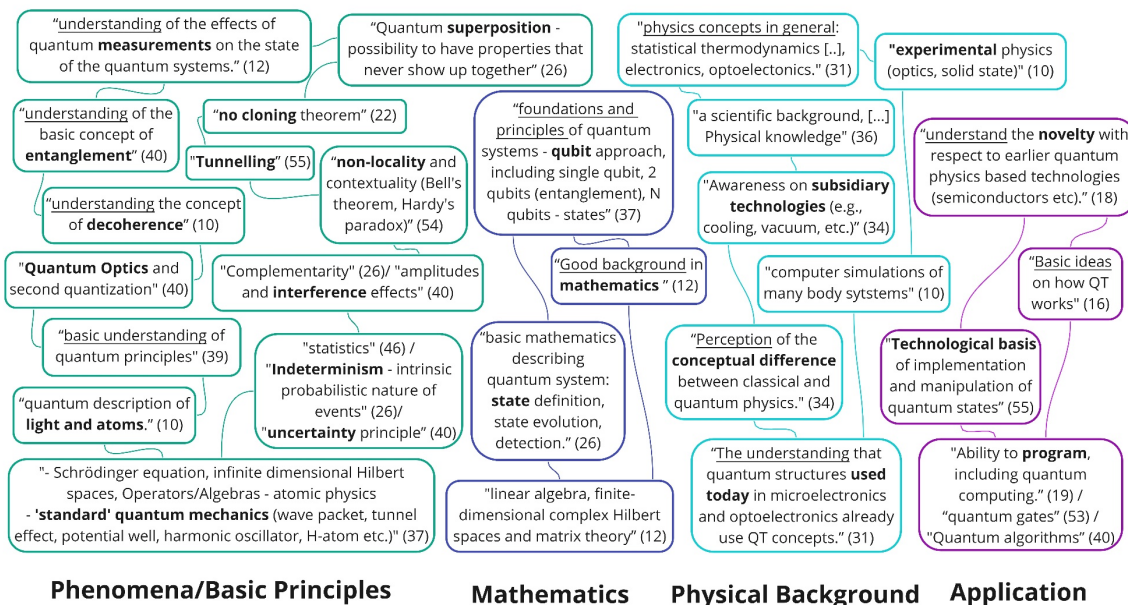


Abb. 2: Überblick über die in der Pilotrunde genannten Kompetenzen. Aus der Inhaltsanalyse ergaben sich die vier Kategorien, von denen die Phänomene/Grundlagen am häufigsten vertreten waren, die Mathematik deutlich weniger, die physikalischen Hintergründe wiederum etwas mehr und die Anwendungen auch noch eher wenig. Dargestellt sind einige Ankerbeispiele zur Verdeutlichung.

| competence | useful for | needed level of expertise |
|---|------------------------------------|--|
| understanding of qubit operations [...] | composing quantum algorithms [...] | U: deeper basic knowledge of the qubit concept and the effects of different operators on a formal-logical level. [...] |

Tab. 1: Beispielantwort für die vorstrukturierte Frage zur Kompetenzerhebung in der ersten Hauptrunde.

⁶ miro.com/de/index/

⁷ ec.europa.eu/jrc/en/digcompedu

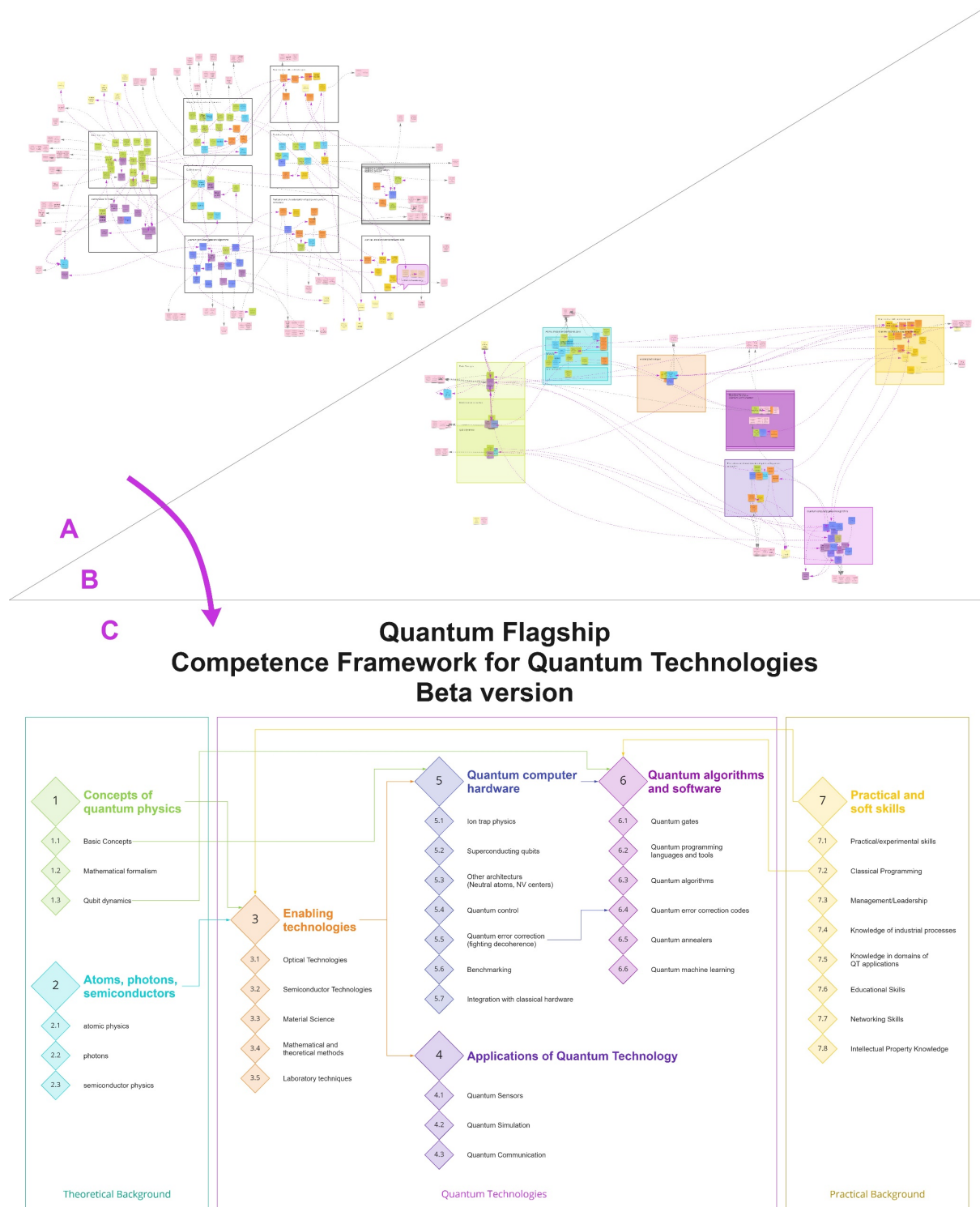


Abb. 3: Entwicklungsprozess der Betaversion des Competence Frameworks (C), angefangen bei einer Sortierung/Rekategorisierung (A) über eine Anordnung/Clusterung (B) bis zur fertigen Betaversion (C), basierend auf Antworten aus der ersten Hauptrunde in Miro. Die bunten Notizzettel (kleine Quadrate) enthalten jeweils einen Antwortteil, der zuvor kategorisiert wurde. Die zugehörige Kategorie wird durch die Farbe der Zettel angegeben. Antwortteile, die zu einer Antwort gehören, werden durch Verbindungslinien einander zugeordnet oder mit Überlapp direkt nebeneinander gruppiert.

Abb. 3 zeigt auch die Übersichtsseite der Beta-Version mit der oben beschriebenen Grobstruktur der drei Bereiche und den sieben zugehörigen Feldern, die sich aus den vorherigen Kategorien ergeben haben. Zu jedem dieser sieben Felder gibt es Unterpunkte,

die auf den hier nicht dargestellten Detailseiten des Frameworks weiter ausgeführt und durch Ankerbeispiele in Form von Zitaten aus der ersten Hauptrunde erläutert werden.

Die meisten der identifizierten und im Framework aufgeführten Bereiche sind sehr fachspezifisch, weshalb sich zur Überarbeitung Experteninterviews anboten. Diese wurden Ende März/Anfang April 2021 durchgeführt und werden hier nicht weiter diskutiert. Abschließend liegt der Schwerpunkt unserer Delphi-Studie in der zweiten Hauptrunde auf dem Kompetenzbereich 7 des Competence Frameworks (vgl. Abb. 3), nämlich den Practical and soft skills. Dieser Fokus ist dadurch zu begründen, dass dieser Bereich sich durch seine große Spannweite und Offenheit bei gleichzeitigem Mangel an konkreten Experten in Bezug auf Softskills für Quantenfachkräfte auszeichnet und so eine sinnvolle Ergänzung zur Methode bietet.

Die Teilnehmenden wurden aufgefordert, sich eine Stelle für eine Quanten-Fachkraft vorzustellen und zu beschreiben. Für diese waren dann die ermittelten Aspekte der Practical and soft skills zu bewerten und ggf. zu ergänzen. Eine Clusteranalyse und Auswertung anhand der beschriebenen Berufsbilder steht noch aus, insgesamt wurden die aufgeführten Punkte jedoch bereits tendenziell bestätigt.

Zudem wurde in der ersten Hauptrunde eine starke Fokussierung auf Quantencomputing festgestellt. Diesem Bereich wurden mehr als doppelt so viele Antworten zugeordnet als den anderen drei großen Bereichen (Sensing/Metrology, Communication, Simulation) zusammen. In der Beta-Version des Competence Frameworks ist dies durch zwei Bereiche zum Computing und einen zu den anderen Anwendungsfeldern erkennbar. Diese Schwerpunktsetzung wurde von der Community aber kritisch betrachtet.

In der zweiten Hauptrunde wurde daher nach einer favorisierten Verteilung des Lehraufwandes mit Anwendungsbezügen auf die vier großen Bereiche gefragt. Die Antworten fielen sehr unterschiedlich aus, von starken Fokussierungen im Computing, aber auch in anderen Bereichen, bis hin zu völliger Gleichverteilung. Eine so starke Schwerpunktsetzung wie in der Betaversion konnte damit nicht gestützt werden.

Anhand weniger Ergänzungen aus der finalen Delphi-Runde und dem Input aus den Experteninterviews wurde im Mai 2021 die überarbeitete „Version 1.0“ des Competence Frameworks auf der Projektwebsite des QTedu CSA⁸ vorgestellt – diesmal ohne den starken Computing-Fokus.

3.3. Relevanzeinschätzungen für Quantentechnologien

Einen weiteren Teil der Delphi-Studie bildet die Erhebung von Prognosen zur künftigen Relevanz von Quantentechnologien. In der Pilotrunde wurde eine Einschätzung der Relevanz heute und in 5-10 Jahren erfragt, jeweils für den eigenen Bereich, Industrie,

Wissenschaft und Gesellschaft. Besonders für die Industrie wurde eine deutliche Steigerung der Relevanz prognostiziert, siehe auch [3].

Diese Einschätzung wurde zum Anlass, in der ersten Hauptrunde genauer nachzufragen, wie die erwartete Entwicklung in der Industrie für die einzelnen Technologiebereiche aussieht. Die zu bewertenden Zeiträume wurden dieses Mal auf die nahe Zukunft, also in 5-10 Jahren, und die langfristige Entwicklung konkretisiert. Ein Grund dafür waren Angaben aus der Pilotrunde, die etwa dem Quantencomputing in naher Zukunft noch keine so große Bedeutung einräumen, in diesem Bereich aber das größte Potential sahen. Zudem ist jetzt der Zeitpunkt, die Ausbildung von Fachkräften für in 5-10 Jahren zu planen und zu beginnen, um dann, wenn die Technologien in der Industrie wirklich relevant werden, nicht mit einem Fachkräftemangel konfrontiert zu werden.

Abb. 4 zeigt die Einschätzungen aus der ersten Hauptrunde. Deutlich zu erkennen ist, dass Quantencomputing zunächst nicht so relevant eingeschätzt wird, langfristig aber schon, hier liegt die größte erwartete Verschiebung vor. Während in naher Zukunft der Fokus in den Bereichen Sensing/Metrologie, Kommunikation und Enabling Technologies erwartet wird, holt der Simulationsbereich langfristig auf, Computing wird sogar, gemeinsam mit der Kommunikation, langfristig am häufigsten als sehr wichtig eingeschätzt.

Für die zweite Hauptrunde wurden Statements formuliert, die obige Beobachtungen und weitere Aussagen zur künftigen Entwicklung im Bereich der Quantentechnologien enthalten. Zudem wurden ausgewählte Zitate aus der ersten Hauptrunde aufgegriffen, die auffällige Meinungen enthalten. Beispielsweise wurde geäußert, dass langfristig alle Bereiche ihre Relevanz verlieren, da sie überholt oder adaptiert werden. Bereits in der ersten Hauptrunde wurde von 6-21 % der Teilnehmenden für die einzelnen Bereiche abnehmende Relevanz prognostiziert, besonders für die Sensorik, aber auch für Simulation und Enabling Technologies. Ein anderes Zitat thematisiert die Rolle der Kommunikation. Es heißt, dieser Bereich bleibe ein nur im akademischen Feld interessanter Bereich, für die Anwendung sei die Quanten-Schlüssel-Verteilung (QKD) nur unnötig teuer im Vergleich zu anderen Post-Quantum-Krypto-Systemen.

Die Bewertung dieser Aussagen soll genaueren Aufschluss darüber liefern, welche Entwicklungen erwartet werden und somit Anhaltspunkte für Schwerpunkte bei der Aus- und Fortbildung liefern. Für eine größere Aussagekraft sollten die Teilnehmenden zusätzlich angeben, wie sicher oder unsicher sie sich mit den Einschätzungen sind. Die Auswertung der Daten aus der zweiten Hauptrunde steht noch aus.

⁸ qt.eu/about-quantum-flagship/projects/education-coordination-support-actions/

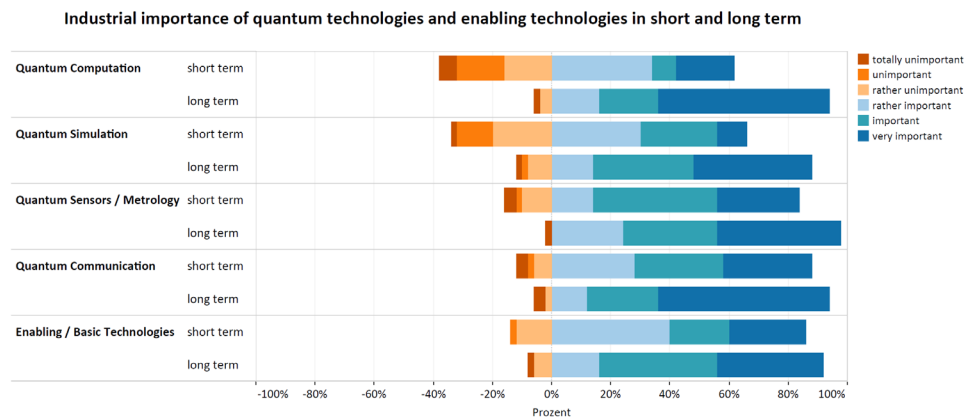


Abb. 4: Einschätzungen zur Relevanz von Quantentechnologien für die Industrie in naher Zukunft (5-10 Jahre) und langfristige aus der ersten Hauptrunde, dargestellt als Diverging Stacked Bar Charts, d. h. die Balken sind normiert und an der Nulllinie so ausgerichtet, dass die eine Skalenhälfte, eher bis sehr unwichtig, auf der linken Seite und die andere Skalenhälfte, eher bis sehr wichtig, auf der rechten Seite liegen.

4. Ausblick

Die vorgestellte Delphi-Studie hat bereits einige interessante Ergebnisse geliefert und mit der Auswertung der zweiten Hauptrunde werden noch einige weitere hinzukommen. Inwieweit die ermittelten Prognosen eintreten werden und ob sich tatsächlich der Begriff Quantum Literacy durchsetzen wird, wird sich erst in einigen Jahren zeigen.

Doch können die Ergebnisse schon heute genutzt werden, um die Quantenausbildung voran zu treiben. Das Competence Framework bietet bereits einen Ansatz zur Planung von Aus- und Fortbildungsprogrammen. In Zukunft sind noch weitere Dimensionen des Frameworks zu entwickeln. Neben der aktuellen vorwiegend inhaltlichen Ebene eine mit Kompetenzleveln zu den jeweiligen Bereichen. Zudem sind Schwerpunkte und Auswahlen für spezielle Berufsprofile, also gewissermaßen „Wege durch das Netzwerk“, geplant.

Die Delphi-Methode hat sich bei diesem Vorhaben bereits bewährt. Durch den iterativen Prozess konnten Kritiken und Alternativen diskutiert, sowie Angaben und Prognosen erfasst werden, welche in der letzten Runde weiter bewertet werden können. Aber auch danach wird der Prozess der Entwicklung des Competence Frameworks keineswegs abgeschlossen sein. Durch die eher noch zunehmende Dynamik des Feldes ist eine regelmäßige Überarbeitung und Ergänzung notwendig.

5. Literatur

- [1] Gerke, F., Müller, R., Bitzenbauer, P., Ubben, M. und Weber, K.-A. (2020). Quantum Awareness im Ingenieurwesen: Welche Kompetenzen werden in der Industrie von morgen gebraucht? Erste Ergebnisse einer Delphi-Studie. *PhyDid B*, Bonn 2020, S. 437-443, phydid.physik.fu-berlin.de/index.php/phydid-b/article/view/1034
- [2] Gerke, F., Müller, R., Bitzenbauer, P., Ubben, M., & Weber, K.-A. (2021). "Requirements for

future Quantum Workforce"-Delphi-Studie: Ergebnisse der Pilotrunde. *GDCP Tagungsband, Band 41, online Jahrestagung 2020*, S. 709-12, gdcp-ev.de/wp-content/tb2021/TB2021_709_Gerke.pdf

- [3] Gerke, F., Müller, R., Bitzenbauer, P., Ubben, M., und Weber, K.-A. (2021). Requirements for future quantum workforce – a Delphi study. *Journal of Physics: Conference Series*, eingereicht.
- [4] Häder, M. (2009): Delphi-Befragungen: Ein Arbeitsbuch. VS Verlag für Sozialwissenschaften, GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden, DOI: [10.1007/978-3-531-91926-3](https://doi.org/10.1007/978-3-531-91926-3)
- [5] Clayton, M. J. (1997): Delphi: a technique to harness expert opinion for critical decision-making tasks in education. In *Educational Psychology*, 17 (4), 373-86, DOI: [10.1080/0144341970170401](https://doi.org/10.1080/0144341970170401)
- [6] Mayring, P. (2015): Qualitative Inhaltsanalyse. Beltz Verlagsgruppe, Weinheim.
- [7] Landis, J. und Koch, G. (1977): The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. *Biometrics*, 33(4), 159-74, DOI: [10.2307/2529310](https://doi.org/10.2307/2529310)
- [8] Robbins, N. und Heiberger, R. (2011): Plotting Likert and other rating scales. In: *Proceedings of the 2011 Joint Statistical Meeting*, 1058-66
- [9] Nita, L., Smith, L. M., Chancellor, N. und Cramman, H. (2021). The challenge and opportunities of quantum literacy for future education and transdisciplinary problem-solving. *Research in Science & Technological Education*. DOI: [10.1080/02635143.2021.1920905](https://doi.org/10.1080/02635143.2021.1920905)
- [10] Häußler, P., Frey, K., Hoffmann, L., Rost, J. und Spada, H. (1980). Physikalische Bildung: Eine curriculare Delphi-Studie Teil II. IPN-Arbeitsberichte Nr. 42, Kiel.

Förderung

This study is part of a project that has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 951787.



Vorstellung des Studienreformforums Bisherige Arbeit und aktuelle Beiträge

Ahmad Aljanazrah^{*}, Alexander Altland[†], Janice Bode[¶], Stefan Brackertz⁺, André Bresges[%], Michael Buchhold[†], Sascha Delitzscher[#], Franziska Egbers[#], Thomas Friedrich[#], Jeanette Gehlert^{*}, Philipp Jaeger[‡], Daniela Kern-Michler[~], Fabian Kruse[#], Manuel Längle[°], Amr El Miniawy[∞], Franz-Josef Schmitt^{#,‡}, Thilo Schönemann[#], Stephanie Wagner[◊], Wanda Witte[△], Jörn Weissenborn[#]

^{*}Birzeit University Palestin

[†]Universität zu Köln, Institut für Theoretische Physik

[¶]Institut für Theoretische Physik, Westfälische Wilhelms-Universität Münster

⁺Universität zu Köln, Fachschaft Physik

[%]Universität zu Köln, Institut für Physikdidaktik

[#]Technische Universität Berlin, Institut für Physikalische Chemie

^{*}Universität Hamburg, Fakultät für Rechtswissenschaften

[‡]Department of Physics and Astronomy University of Manitoba und Fachgruppe Physik, Fakultät 4, Bergische Universität Wuppertal

[~]ZaPF e.V., c/o Goethe Universität Frankfurt, Raum __.208

[°]Universität Wien, Studierendenvertretung Physik, Boltzmanngasse 5 1090 Wien

[∞]Humboldt-Universität zu Berlin, Fachschaftsinitiative Physik

[‡]Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Institut für Physik

[◊]Humboldt-Universität zu Berlin, ZaPF

[△]Universität Rostock, Fachschaft Physik

ajanazrah@birzeit.edu, alexal@thp.uni-koeln.de, janice.bode@uni-muenster.de, sbracker@smail.uni-koeln.de, andre.bresges@uni-koeln.de, buchhold@thp.uni-koeln.de, orga@studienreform-forum.de, orga@studienreform-forum.de, friedrich@chem.tu-berlin.de, jeanette.gehlert@studium.uni-hamburg.de, jaeger@jdpd.de, kern-michler@posteo.de, fabian.kruse@tu-berlin.de, manuel.laengle@univie.ac.at, amr.el.miniawy@physik.hu-berlin.de, schmitt@physik.tu-berlin.de, orga@studienreform-forum.de, stephanie.wagner@hu-berlin.de, wanda.witte@uni-rostock.de, orga@studienreform-forum.de

Kurzfassung

Das Studienreform-Forum befasst sich einerseits mit der systematischen Dokumentation konkreter Studienreformen und Studienreform-Vorhaben, andererseits mit Grundsatzfragen der Studienreform. Beides zusammen bildet die Grundlage zur Weiterentwicklung von Studiengängen.

Im Jahr 2020 hat das Studienreform-Forum erneut zur Einsendung von Beiträgen zu diesen Fragen aufgerufen. Angesichts der Pandemie wurde dieser Aufruf verlängert und parallel eine Initiative zur Dokumentation und Auswertung der Lehre unter Pandemiebedingungen gestartet, deren Ergebnisse mittelfristig mit den übrigen Beiträgen in Bezug gesetzt werden sollen.

Dieser Artikel dokumentiert die auf den Call for Papers eingesandten Beiträge.

1 Einleitung

Das Studienreform-Forum beschäftigt sich mit der Dokumentation, Analyse und Reflexion von Studiengangsreformen und den damit verbundenen Kontroversen. Die Initiative entstand vor dem Hintergrund, dass Studienreformen zwar an nahezu allen Hochschulstandorten teilweise sehr sorgfältig mit großem persönlichem Engagement vorangetrieben werden, es aber bisher kaum Austausch oder gar hochschuldidaktische Forschung dazu gibt. Um dies zu verändern, bringt das Studienreform-Forum Menschen zusammen, die Erfahrungen mit der Gestal-

tung von Studiengängen haben, solche, die konkret nach Antworten und Ideen suchen, und solche, die Studiengangsentwicklung beforschen.

Ein Format hierfür ist die Einreichung von Praxisberichten zu Reformen oder Reformideen einerseits und von Beiträgen, die Grundsatzfragen der Weiterentwicklung von Physikstudiengängen beleuchten, andererseits.

Der Call for Papers 2020/21 [1] greift die Kontroversen der Podiumsdiskussion von der DPG Frühjahrstagung 2019 [2] auf. Eine offene Frage war seinerzeit, was Restriktionen wie Klausurversuchsbe-

schränkungen, Klausurzulassungen etc. eigentlich bewirken und ob sie wirklich notwendig sind.

U.a. mit dieser Frage waren auch die Kolleg*innen des Projektes EducationZen konfrontiert, einem Projekt zur Reform der Mathematik für Naturwissenschaftler*innen an der TU Berlin. Ziel des Projektes war die Entwicklung eines neuen Tutorienformats, das mit möglichst wenigen solcher Restriktionen auskommend dafür sorgen sollte, dass die Studierenden Feedback bekommen, das tatsächlich nützlich ist und mit dem auch tatsächlich gearbeitet wird. Gleichzeitig wurden die didaktischen Grenzen der Digitalisierung in diesem Projekt schon vor Corona erprobt.

Während die Berliner Kolleg_innen weitreichende Änderung des gesamten Tutoriumsbetriebs implementierten, blieb der äußere Rahmen klar gesteckt; an den Prüfungen und der Verortung im Gesamtstudium wurde nichts verändert. Im Gegensatz dazu berichten Kölner Kollegen von einem Pilotversuch, der ebenfalls auf eine tiefere Auseinandersetzung der Studierenden mit dem Stoff der Übungen zielt, aber beim Prüfungsformat ansetzt. Der Ansatz war dabei, die Vorteile von mündlichen und schriftlichen Prüfungen zu verbinden, wobei auch möglichst wenig Gründe für Prüfungsangst übrig bleiben sollten.

Gemeinsam ist beiden Reformprojekten, dass sie mehr als herkömmliche Formate darauf ausgerichtet sind, Feedback im Vorfeld der Prüfung für den Lernprozess fruchtbar zu machen und Rezept-artiges Lernen zu verringern. Beide Projekte setzen darauf, dass Studierende nicht alles mit sich selbst abmachen, sondern mit- und voneinander lernen.

Mit der Frage, warum dies oft nicht klappt, warum Studierende zu Beginn ihres Studiums die aktive Bezugnahme, das neugierige Nachfragen zu oft verlernen, setzt sich der Essay „Warum ‚Haben Sie noch Fragen?‘ zu keinen Fragen führt“ auseinander. Er ist eine scharfe Kritik an der in der Studieneingangsphase vermittelten Universitätskultur gefolgt von einer Sammlung kritisch gewürdiger Ansätze, es besser zu machen.

Weniger die Studieneingangsphase und was darin schief gehen kann, aber ebenfalls die Wissenschaftskultur betrifft ein Plädoyer für die systematische Überarbeitung aller Lehrveranstaltungen und insbesondere der Praktika zur ganzheitlichen Implementierung der Ideen und Kultur von Open Data.

2. EducationZen – Ein Studienreformprojekt in der Mathematik für Chemikerinnen und Chemiker an der TU Berlin – invertierte Tutorien, ein Zulassungskriterium zur Klausur und Studierende, die eine Probeklausur korrigieren.

Ein Beitrag von Franz-Josef Schmitt

Als Zusatzdatei zu diesem Beitrag ist das Poster „Teilinvertierte Tutorien in der Mathematikausbildung für Chemikerinnen und Chemiker“ von F.-J. Schmitt, T. Schönemann, F. Kruse, S. Delitzscher,

F. Egbers, J. Weissenborn A. Aljanazrah, T. Friedrich verfügbar.

Ende 2012 haben wir an der Technischen Universität Berlin das Studienreformprojekt EducationZen ins Leben gerufen, das Ende 2016 abgeschlossen und in die Regellehre implementiert wurde. Die Kernidee dieses Projektes war es, in der Mathematik für Chemikerinnen und Chemiker ein flexibles Stufensystem einzuführen, innerhalb dessen sich Studierende selbst einschätzen können und Stufe für Stufe die Geheimnisse der Mathematik erklimmen. Dabei sollten Sie perfekt durch den Stoff geführt werden und quasi automatisiert in das nächste Level geschickt werden, wenn sie den Stoff hinreichend verstanden hatten. Zu diesem Zweck benötigt man hinreichendes feedback, ob denn der Stoff einer Stufe bereits vollständig verstanden wurde, also am besten Aufgaben, die freiwillig und wissbegierig gelöst werden, automatisch korrigiert werden und den Studierenden dann das passende feedback zu ihrem Leistungsstand geben. Die Idee war zunächst, dies über eine Plattform geschehen zu lassen. Deshalb wurden in der ersten Förderperiode des von der TU Berlin finanzierten Studienreformprojektes EducationZEN auch einige Mittel in die Entwicklungsarbeit einer Internetplattform gesteckt, die sich jedoch weder der hinreichenden Funktionalität, noch der Akzeptanz seitens der Studierenden erfreuen konnte, um das gewünschte Ziel zu erreichen. Dies trieb uns damals an, uns etwas Neues auszudenken, wollten wir doch nicht mit einem gescheiterten Projekt abschließen – und es zwang uns, unser Konzept einer Art „Nürnberger Trichter“ im Internet noch einmal komplett neu zu denken. Das war, in der Retrospektive, eine positive Entwicklung.

Natürlich lag das Geheimnis guter Lehre, die flexibel gestaltet ist und Studierende selbst ermächtigt, ihren Lernfortschritt zu gestalten, nicht in einer Onlineplattform, die in Konkurrenz zu bereits existierenden Plattformen wie Khan Akademie, zahllosen Youtube Videos, Mathewikis oder Flash-Seiten mit teilweise ausgereiften automatisch korrigierten Matheaufgaben ins Netz gestellt wird.

Wir erkannten, dass der Schlüssel vielleicht darin bestand, ein vergleichsweise starres System der Mathematikausbildung, wie sie zu dieser Zeit an der TU Berlin in der Chemie praktiziert wurde, aufzubrechen und den Studierenden neue Optionen zu geben, mit viel mehr Flexibilität, viel mehr Eigenverantwortung, aber auch klar definierten Anforderungen, zur Klausur überhaupt zugelassen zu werden und diese dann auch zu meistern. Wir mussten als Coaches auftreten und nicht als entfremdete vorlesende Dozenten, ansprechbar sein und multiple Analogien und Bilder im Kopf haben, wie wir den Studierenden die mathematischen Probleme anschaulich vermitteln konnten, um ein tiefes Verständnis zu schaffen. Wir mussten sie motivieren, selbst zu üben, wie Musiker, die auf einen Auftritt hinfiebern und begeistert sind von den Rockstars, die sie vorher auf der Bühne

gesehen haben. Unser Ziel war es, dass die Studierenden in Eigenverantwortung das nötige Rüstzeug lernen, um bestens präpariert zu sein, dies aber ohne einen externen Zeit- und Leistungsdruck, der ihnen die eigene Mündigkeit raubt. Dafür wollten wir sie beim Üben und beim Verständnis der Mathematik unterstützen.

Zu diesem Zweck wurde deshalb zunächst ein neues Tutorium mit neuen Aufgaben entwickelt, in dem die Studierenden unter unserer Aufsicht ihre freiwilligen Hausaufgaben lösen konnten. Dabei sollten die Aufgaben auch an der ein oder anderen Stelle einen stärkeren Bezug zur Chemie oder Physik bieten, damit die Sinnhaftigkeit der Notwendigkeit, die Mathematik zu erlernen, besser begriffen wurde. Mehrdimensionale Optimierungsprobleme, Wegintegrale in der Thermodynamik und Differentialgleichungssysteme zur Beschreibung der Photosynthese wurden somit beispielsweise zum Bestandteil der Übungen. Ziel war es, dass alle Studierenden alle Aufgaben auch wirklich gerechnet haben, bevor sie in die Klausur gehen.

Im ersten Durchlauf funktionierte dies jedoch noch nicht so recht. Möglicherweise aus historischen Gründen hatten die Studierenden nicht wirklich die Absicht, die fakultativen Aufgaben zu rechnen. Unser neu geschaffenes Tutorium blieb leer, die neuen Aufgaben blieben unbearbeitet. Wir sahen also ein, dass es so ganz freiwillig an dieser Stelle nicht weitergehen würde.

Deshalb wurde ein 80% Zulassungskriterium ersonnen, das unter Absegnung durch die Ausbildungskommission und bei erstaunlich hoher Akzeptanz seitens der Studierendenschaft (die Zulassungshürde selbst wurde sogar positiv evaluiert) verlangte, dass 80% der Hausaufgaben richtig gerechnet sein mussten, bevor jemand in die Klausur treten durfte. Da diese Hürde, gerade in der Mathematik, quasi unüberwindlich scheint, wurde jedoch vereinbart, dass neben den Sondertutorien, in denen die Studierenden direkt rechnen und auch nach der Lösung fragen konnten und sich quasi so die Lösung ggf. auch von uns in die Hand diktieren lassen konnten, auch Korrekturen der bereits abgegebenen Hausaufgaben möglich sind, beliebige Fragen gestellt werden konnten (was ja selbstverständlich sein sollte) und erst die letzte Abgabe schlussendlich für das Zulassungskriterium gewertet wird. Die Hausaufgaben konnten somit jederzeit im Semesterverlauf abgegeben werden und auch die Korrekturen derselben jederzeit nachgereicht werden. Es wurde lediglich eine Deadline gesetzt, die hinreichend Zeit für die finalen Korrekturen bieten musste, denn wie zu erwarten, war besonders in der kurzen Zeit vor der Deadline der Korrekturaufwand, also die Flut der Abgaben, immens. Mit diesem Verfahren waren wir ein gutes Stück weiter. Die Rechenübungen waren plötzlich voll und es etablierte sich ein völlig neuartiges Tutoriengefühl. Nur wenn sehr allgemeine Fragen, die für alle von Interesse waren, gestellt wurden, stellte

sich überhaupt mal jemand an die Tafel, sonst rechneten alle in Gruppen von bis zu einem Dutzend Studierenden emsig vor sich hin, meldeten sich, wenn keiner am Tisch mehr die Lösung wusste und warteten bis die Dozierenden, die zwischen den Tischen hin und her sprangen, Zeit für die gestellten Fragen und hoffentlich eine anschauliche Lösung parat hatten. Wurde diese Zeit zu lang, so drehte man sich auch mal zum Nachbartisch um, worauf die Dozierenden merkten, dass sie gar nicht mehr so unbedingt gebraucht wurden, hatten wir doch eine Übungsgruppenkultur, die in der Veranstaltung abhanden gekommen war, wieder neu geschaffen.

Doch wurde hier wiederum die Schwierigkeit offenbar, dass manche Studierende aus zeitlichen Gründen vielleicht daran gehindert waren, unsere Rechenübungen zu besuchen. Immer wieder kamen auch Studierende mit alten Blättern, so dass die Übungsgruppen vor allem gegen Ende des Semesters zu zerfasern drohten, weil quasi jeder eine eigene individuelle Frage zu irgend einer alten Aufgabe hatte. Deshalb rechneten wir alle Hausaufgaben mit leicht abgewandelten Aufgabenstellungen als Übungsaufgaben alle einmal vor – aber auf dem Tablet als screencast, auf YouTube, so dass alle Studierenden jederzeit die Musterlösung zu ihrer Aufgabenkategorie im Internet Schritt für Schritt an der Tafel vorgerechnet nachvollziehen konnten. Ich lernte erst zu dieser Zeit, dass dieses Konzept, im Unterricht live zu rechnen und sich die Arbeit der Dozierenden an der Tafel zu Hause im Internet anzusehen, als „inverted classroom“, also invertierter Klassenraum, bezeichnet wurde. Wir hatten also einen invertierten Klassenraum mit einem Pool von fast 200 Lehrvideos geschaffen [3]. Da dies nicht die ganze Veranstaltung betraf, sondern nur die Tutorien, die Vorlesung aber erhalten blieb, sprachen wir fortan von den teilinvertierten Tutorien in der Mathematik für Chemikerinnen und Chemiker [4,5,6,7].

Um den Studierenden nicht nur die eigenen Fehler, sondern auch die Fehler ihrer Kommilitonen und Kommilitoninnen sichtbar zu machen, wurde schlussendlich ein Verfahren eingeführt, das Prof. Marc Ihle an der Hochschule Karlsruhe entwickelt hatte und dafür mit einer Fellowship des Stifterverbands für die Hochschullehre ausgezeichnet wurde (wie auch wir in den Folgejahren), das sogenannte peer marking. An einem Termin der Rechenübungen wurden nicht einfach Hausaufgaben gerechnet, sondern eine ausgeteilte Probeklausur. Anschließend wurden die pseudonymisierten Blätter eingesammelt, kopiert und jeweils drei davon zufällig an die Studierenden des teilnehmenden Tutoriums verteilt. Diese korrigierten dann mit einer vorgegebenen Musterlösung emsig die Abgaben ihrer Kommilitoninnen und Kommilitonen und erkannten neben ihren eigenen Fehlern die Fehler, die sie nicht selbst aber andere gemacht hatten. Insbesondere lernten sie, Aufgaben auch wirklich schrittweise zu überprüfen, um beispielsweise Folgefehler zu verstehen und die

inhärente Logik einer Rechnung auch wirklich nachzuvollziehen. Ein netter Nebeneffekt der peer marking Veranstaltung war, dass es nach Ende des Termins keine Abgaben für die Tutorinnen und Tutoren zu korrigieren gab. Es konnte einfach der erreichte Punktestand aller drei studentischen Korrekturen gemittelt werden und dies wurde den Studierenden als Ergebnis „ihres Übungsblattes“ mitgeteilt, natürlich mit der Option, nachzukorrigieren, falls die 80% nicht erreicht waren. Die Studierenden hatten sich dazu also gegenseitig selbst korrigiert.

Das System schien uns dabei beliebig skalierbar. Nichts würde wirklich dagegen sprechen, in jedem Tutorium nach dem peer marking Prinzip zu verfahren. Dies haben wir jedoch aus Gründen des Respekts vor der eigenen Verantwortung als Dozierende (aus mir bis heute nicht wirklich eingängigen Gründen) am Schluss doch nicht durchgeführt und an den übrigen 11 von 12 Terminen die 100 Abgaben in 50 Arbeitsstunden (verteilt auf 5 Tutorinnen und Tutoren sowie mich als Übungsleiter) selbst korrigiert, während ein peer marking Termin über 2 Stunden von 2 Tutoren betreut werden konnte und fast ohne Korrekturen auskam (bis auf die nachgereichten Nachkorrekturen für das 80% Kriterium).

Diese dreifaltige Neugestaltung, die Einführung neuer Rechenübungen mit neuen praxisnahen Aufgaben und Lehrvideos zu allen Aufgaben, die Einführung eines hohen Zulassungskriteriums für die Klausur mit der Möglichkeit der Korrektur bereits abgegebener, aber fehlerhafter Blätter und die Probeklausur, die sich die Studierenden gegenseitig anhand einer Musterlösung selbst korrigierten, führte schließlich dazu, dass im Sommersemester 2014 die Quote der nicht bestanden Klausuren von über 50% auf schmale 10% fiel. Statt der Hälfte des Kurses sind also nur noch ein paar wenige vereinzelte Studierende durch die Klausur gefallen. Gleichzeitig hatte sich die Durchschnittsnote des ganzen Kurses von 3,3 auf 2,3 verbessert.

Dies klingt nach fantastischen Zahlen. Man muss aber fairerweise auch sagen, dass statt wie üblich 95% nur noch 55% des Jahrgangs überhaupt zur Klausur angetreten sind. Die anderen hatten eben das hohe Zulassungskriterium nicht gemeistert oder sich von den Stufen, die sie zunächst erklimmen mussten, abschrecken lassen. Unter dem Strich hat sich also die Absolutzahl der Studierenden, die erfolgreich im ersten Anlauf die Klausur bestanden haben, nur marginal verbessert. Ein deutlicher Unterschied aber war, dass die Studierenden, die nicht angetreten und durchgefallen sind, natürlich auch nicht in den 2. Prüfungsversuch gerutscht sind und somit nicht unter dem psychischen Druck standen, bald heraus geprüft zu werden. Der Erfolg dieses Studienreformprojekts begründet sich jedoch noch anders. Es hängt zwar alles stark davon ab, dass auch wirklich mit Vehemenz und viel Aufwand mit den Studierenden an den Aufgaben gearbeitet wird, Lehrvideos aufgezeichnet werden und Probeklausuren ab-

gehalten werden, bei denen in einem neuartigen Lehrmodell mit Blättertausch 100 Studierende von 2 Dozierenden dirigiert werden müssen. Es hängt davon ab, dass man bereit ist, wieder und wieder falsche Aufgaben anzustreichen und zu korrigieren und ausführlich zu erklären, warum die Aufgaben denn immer noch fehlerhaft sind und wie der richtige Lösungsweg ausgesehen hätte, und es hängt vor allem davon ab, dass man in der heißen Phase am besten jederzeit für die Studierenden (z.B. per mail) erreichbar ist. Aber der Erfolg lohnt sich. Denn ein System der Angst, in dem eine Klausur von mehr als der Hälfte des Kurses im ersten Anlauf nicht geschafft wird, wird in ein System der Selbstermächtigung transformiert, in dem die Studierenden flexibel arbeiten und selbst entscheiden, wann sie für die Klausur präpariert sind. Den Beweis dafür erbringen sie anhand einer Abgabe von 80% richtiger Hausaufgaben. Die Studierenden konnten sich darüber hinaus herausuchen, wann sie die Hausaufgaben rechnen. Sie konnten sich dafür eine direkte Hilfestellung holen und sie wurden nicht dafür bestraft, beliebig viele Fehler zu machen. Sie konnten ihre Fehler korrigieren und konnten die Klausur dann auch noch in einer Probeklausur „erleben“. Wenn sie selbst zufällig Fehler, für die sie eigentlich anfällig gewesen wären, doch nicht gemacht haben, dann aber zufällig genau diese Fehler bei ihren Kommilitoninnen und Kommilitonen korrigieren durften, lernten sie noch einmal etwas Neues hinzu. Die Studierenden mussten schlussendlich sich lediglich während der echten Klausur innerhalb von 120 Minuten auf den Punkt profilieren. Diese Anforderung blieb. Die Klausur, die zweimal im Semester abgehalten wurde, war dann der Prüfstein, dem man sich sehenden Auges nähern musste, wie immer. Die Flexibilität bei der Bearbeitung, die direkten Hilfestellungen, die Notwendigkeit der iterativen Auseinandersetzung und der klar kommunizierte Anspruch zur Zulassung und zum Bestehen der Klausur, waren schlussendlich die essentiellen Elemente, die die Lehrveranstaltung auf das Niveau gehoben haben, das erwachsenen Studierenden auch gebührt.

Leider wurde ich selbst nur diese vier Jahre lang mit der Leitung von EducationZEN und der Übungen in der Mathematik für Chemikerinnen und Chemiker betraut und wechselte dann in ein anderes Projekt. Seitdem wurde die Veranstaltung inzwischen wieder ein bisschen stärker formalisiert, erlaubt nicht beliebig viele Abgaben, setzt für jedes Blatt eine deadline und arbeitet nicht mehr mit dem gegenseitigen Korrigieren. In den Regelbetrieb übernommen ist jedoch das teilinvertierte Konzept mit den Rechenübungen und Lehrvideos.

Das Konzept der teilinvertierten Lehre habe ich an der TU Berlin auf zahlreiche weitere Veranstaltungen übertragen, vor allem auch Praktika oder studienzentrierte Zusatzmodule im freien Wahlbereich wie das mehrfach preisgekrönte Modul

„iGEM-Synthetische Biologie“, doch davon an anderer Stelle mehr [8,9,10].

3. Erklärvideos als Prüfungsleistung: Ein Pilotversuch

Ein Beitrag von Alexander Altland, Stefan Brackertz, André Bresges, Michael Buchhold

3.1. Hintergrund

Bedingt durch die Covid-19-Pandemie sind wir mit der Herausforderung konfrontiert, den erfolgreichen Abschluss von Lehrveranstaltungen über elektronische Prüfungsformen zu regeln. Dies hat zur Definition verschiedener Formate virtuell durchgeführter schriftlicher Prüfungen (e-Klausuren) geführt. Allen gemein ist, dass sie (z.T. unüberwindbare) Probleme im Hinblick auf Täuschungsanfälligkeit/Eingriff in die Privatsphäre Studierender/Datenschutz mit sich bringen. Abgesehen von den Herausforderungen bei der Umsetzung virtueller Prüfungen verschärfte die Pandemie aber auch grundsätzliche Probleme klassischer Prüfungsformate. Beispielsweise führte eine stark eingeschränkte Alltagskommunikation der Studierenden, sowohl untereinander als auch mit den Dozierenden, zu verstärkter Verunsicherung und zu einer Erhöhung des wahrgenommenen Prüfungsstressses.

Die krisenbedingt gemachten Erfahrungen und angestoßenen Entwicklungen sind Anlass, grundsätzlich über das Potential alternativer Prüfungsformen nachzudenken. Denn: Seit der Einführung der Bachelor- und Master-Studiengänge bilden schriftliche Klausuren eine fast exklusive Stütze unseres Prüfungssystems. Mündliche Prüfungen (vormals Vordiplom) sind außer für die Praktika weitgehend verschwunden und auch Seminare gibt es in den Anfangssemestern kaum.[11] Eine aktive Auseinandersetzung mit Wissenschaft und ihrer Kommunikation wird weitgehend den Übungsgruppen überlassen. Wir entlassen so Studierende auf der Basis einer auf vorwiegend schriftliche Formate reduzierten Wissensabfrage. Umgekehrt, aus Sicht der Studierenden wird mit diesem Prüfungs- und Bewertungssystem „Bulimielernen“ (effizientes aber nicht nachhaltiges Lernen eines großen Stoff-Repertoires) wenn nicht gefördert, so doch zu einer Strategie aufgewertet, mit der man durch das Studium kommen kann.

Ein Pilotversuch mit einer alternativen, medialen Prüfungsform zeigt: Sie funktioniert, sie kommt bei den Studierenden gut an und sie zeigt unerwartet großes Potential.

3.2. Ein alternatives Format

Im WS 20/21 haben wir in der Kursvorlesung „Moderne Mathematik für das Physikstudium“ von Studierenden erstellte Lösungsvideos zu mathematischen Aufgaben als neue Form des Leistungsnachweises verwendet. Es handelt sich um eine Wahlpflichtveranstaltung mit ca. 40 TeilnehmerInnen, typischerweise 3. Semester, weitgehend hochmotiviert (Wahlpflicht/Studium Integrale, keine Pflicht-Ver-

anstaltung). Die Vorlesung wurde in Form von Videos, begleitet durch 1x/Woche ‚flipped classroom‘ abgehalten. Daneben fand ein klassischer Übungsbetrieb statt, bei dem Studierende jede Woche in Gruppen einen Aufgabenzettel bearbeitet und abgegeben haben. Dieser wurde darauf in der Folgewoche korrigiert zurückgegeben und in der Übung besprochen.

Den Studierenden wurde die Prüfungsaufgabe gestellt, die Lösung eines der letzten drei Übungsblätter der VL sowohl schriftlich als auch in einem selbst erstellten Video von nicht mehr als 60 min zu präsentieren. Abgabe als Gruppe (bis zu drei Mitglieder) war erlaubt, die Länge der Videos sollte etwa 15 Minuten je Gruppenmitglied betragen. Bewertungskriterien: 50% inhaltliche Korrektheit, 25% formale Korrektheit und Verwendung adäquater mathematischer Sprache, 25% Verständlichkeit und Vollständigkeit der Erklärung. An die technische Umsetzung gab es keinerlei Vorgaben und sie wurde nicht in die Bewertung mit einbezogen. Bei Team-Abgaben wurde vorausgesetzt, dass alle Mitglieder vertreten und deren Eigenleistung erkennbar ist. Aufgrund des sich unvorhersehbar verschärfenden Infektionsgeschehens im Herbst 2020 wurde das Format erst spät in der VL konzipiert, besprochen und angekündigt.

Ziel war es nicht, eine konventionelle Klausur in ein online-Format zu übertragen, was nicht nur einen erheblichen Mehraufwand, sondern auch einen Keim gegenseitigen Misstrauens durch bereits genannte Absicherungsmaßnahmen mit sich gebracht hätte. Stattdessen wurde ein Prüfungsformat gewählt, das den Studierenden während der Pandemie einerseits mehr Spielraum zur Bearbeitung gewährt und andererseits Motivation schafft, indem es einen Zeitgeist trifft, in dem Kommunikation immer stärker per Online-Posting und -Video stattfindet.

Eine traditionelle mündliche Prüfung wurde hauptsächlich aus zwei Gründen verworfen: (1) Anders als Klausuren lassen klassische mündliche Prüfungen keine Verteilung der Arbeitsbelastung der Dozierenden via Vorkorrektur durch Übungsleiter*innen zu. (2) Mündliche Prüfungen schaffen eine ähnliche Prüfungssituation wie klassische Klausuren und stellen somit auch (gerade durch die Isolation in der Pandemie) einen erheblichen Stressfaktor dar.

Die Erfahrungen mit dem neuen Format sind überraschend eindeutig positiv. Aus Sicht des Dozenten kombiniert das Format Vorteile der mündlichen und schriftlichen Prüfung. Es versetzt Studierende einerseits in die Situation, die Sachverhalte und Hintergründe auf konzeptioneller Ebene zu erklären und fragt andererseits auch ganz spezifisch klassische Rechenschritte und solche zur formalen Problemlösung ab. Umgekehrt haben sich anfangs befürchtete Schwächen des Formates in der Praxis nicht gezeigt: Das Format bietet zwar prinzipiell die Möglichkeit für Täuschungsversuche, da das Vorgetragene fremd gescriptet sein kann. Bei einer geeigneten Aufgaben-

stellung, die zu einem 30-60 minütigen Video führt, erkennt man im Vergleich zu einer Klausur durch die ganzheitliche Präsenz der Studierenden allerdings sehr genau, wie tief Wissen verinnerlicht wurde. Als ‚Abschlussprojekt‘ für eine Vorlesung liefert die Videoabgabe einen weitreichenden Einblick in den Entwicklungs- und Wissensstand der Studierenden, der für Lehrende sehr wertvoll ist.

Im Gegensatz zu einer herkömmlichen mündlichen oder schriftlichen Prüfung fördert die Videoabgabe nicht die Strategie, möglichst viel Inhalt in möglichst kurzer Zeit auswendig zu lernen. Stattdessen zielt sie auf die Vertiefung einzelner Aspekte. Die Wahlmöglichkeit aus einem Portfolio von Aufgaben fördert dennoch auch eine aktive Auseinandersetzung mit den Themen, die am Ende nicht bearbeitet werden.

Die TeilnehmerInnen hatten zum Zeitpunkt der Abgabe bereits >50% anspruchsvoller Übungszettel gelöst. Vor diesem Hintergrund bestand bei den Dozenten keinerlei Bedenken die Prüfungsleistung auf Basis einer erfolgreichen Videolösung anzuerkennen, obwohl mit dem Format noch keine Erfahrungen vorlagen.

3.3. Was macht das neue Format mit den Studierenden?

Ein wahrnehmbarer und weitreichender Effekt dieser Prüfungsform ist der Rollentausch der Studierenden: heraus aus der konventionellen, passiven Situation des (mündlich oder schriftlich) ‚Abgefragt-werdens‘, hinein in die aktive, gestalterische Rolle, in der ein zu bewertendes Produkt erzeugt wird. Diese Rolle ist konzeptionell nicht nur näher an die spätere Arbeitsweise einer ausgebildeten PhysikerIn angelehnt, in der globale Wissensabfragen kaum sondern vielmehr prozessbezogenes Können eine Rolle spielen. Zudem hat sie auch psychologische Auswirkungen, die dazu beitragen, dass diese Prüfungsform im Gegensatz zu Klausuren und mündlichen Prüfungen, zum großen Teil stress- und angstfrei abläuft.

In der aktiven Rolle können Studierende sich innerhalb eines vorgegebenen Zeitfensters so viel Zeit nehmen wie sie ihrer Ansicht nach benötigen, um ihr Produkt fertigzustellen. So bestimmen sie beispielsweise selbst die Qualität, die Stärken und die Schwerpunkte ihres Lösungsvideos und vor allem, wann es fertig ist und abgeschickt werden kann. Damit werden zwei wichtige Stressfaktoren, die Vorstellung, mit den Prüfungsfragen ‚kalt erwischt zu werden‘ und für die richtige Prüfungslösung nur einen Versuch unter Zeitdruck zu haben, vollständig aus dem Konzept eliminiert.

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die (mit Abgaben in der Gruppe noch weiter geförderte) Beschäftigung mit der Frage, welche Aufgaben aus dem Pool denn eigentlich in den Videos vorgestellt werden sollen. Darüber nachzudenken oder zu diskutieren, wo im Studium welcher Schwerpunkt gelegt wird und was man wie sehr vertiefen will, kommt anderweitig im

stark verschulten Anfang des Bachelor-Studiums zu kurz. Zu lernen, Entscheidungen dieser Art zu treffen, ist nicht nur ein wichtiger Grundgedanke des Studiums, sondern führt auch dazu, dass sich Studierende einen Überblick über die Landkarte der behandelten Themen verschaffen.

Vor allem bei Studierenden, die in Gruppen abgegeben haben, wurde eine sehr positive Auseinandersetzung mit der eigenen Arbeit festgestellt: Die Videos wurden vor der Abgabe ausführlich diskutiert und mehreren Revisionen unterzogen. An die Stelle von „durchgefallen“ in der Prüfung trat so „noch nicht reif für die Abgabe: Minute XY müssen wir nochmal überarbeiten“ vor der Prüfung. Anders als bei der gemeinsamen Vorbereitung auf eine klassische Prüfung lassen sich solche Debatten unter Studierenden angesichts eines Zwischenproduktes viel leichter führen und entstehen quasi automatisch. Damit wurden Feedback-Loops, die bei der Erarbeitung von z.B. Bachelorarbeiten oder der Auswertung von Praktikumsversuchen teilweise automatisch stattfinden, auf den Übungsbetrieb übertragen.

Dies lässt sich auf naheliegende Weise weiter ausbauen: Eine als Prüfungsleistung erstellte Videoabgabe ist ein Produkt, das über die Prüfung hinaus einen Nutzen haben kann. An die Stelle der konventionellen Besprechung von Übungsaufgaben an der Tafel kann z.B. das Diskutieren von Übungsvideos anderer Studierender treten. Dies steigert nicht nur die Motivation, ein gutes Produkt zu erstellen, sondern legt allen Beteiligten intuitiv nahe, dass es nicht nur um eine Bewertung ihrer Arbeit, sondern um deren Verbesserung geht. So zielt der Prozess nicht nur darauf ab, aus Fehlern zu lernen; Studierende machen insgesamt mehr aus dem Feedback der ÜbungsleiterInnen und diese sind auf natürliche Weise eher gehalten, ein mehr auf Weiterentwicklung als auf Bewertung gerichtetes Feedback zu geben.

Das Format bietet insgesamt sicher noch mehr Potenzial als im ersten Durchlauf zur Geltung gekommen ist. Eine aktuell zur Disposition stehende Weiterentwicklung besteht etwa darin, Übungsaufgaben aus dem Semester auszubauen und in einer Poster-session am Semesterende zu präsentieren. Die Bewertungsgrundlage ist dann ein Video, das das Poster erläutert. Dies stellt insofern eine Erweiterung des aktuellen Konzepts dar, als dass Poster über die Übungsaufgabe hinaus auch eine Einordnung des Themas, eine Erläuterung der verwendeten Methode und weitere Elemente eines ‚bigger picture‘ umfassen. So können in dieser Prüfungsform bereits wichtige Aspekte des wissenschaftlichen Diskurses im kleinen Rahmen geübt werden.

3.4. Erfahrung aus der Korrektur

Eine unerwartete und in unseren Augen bemerkenswerte Beobachtung ist, wie sehr sich die einzelnen Lösungsvideos unterscheiden. Die Vorlesung wurde zum größten Teil von Studierenden desselben, aus

Sicht des Dozenten und der TutorInnen kommunikativen und gut (online) vernetzten Jahrgangs belegt. Dennoch und trotz identischer und klar umrissener Prüfungsaufgaben, treten individuelle Ansätze zur Lösung, unterschiedliche Schwerpunkte, sowie die individuellen Fähigkeiten der Prüflinge in jedem Video sehr klar zutage. (Hypothese: nicht gekennzeichnete Zusammenarbeit ist in diesem Format sehr unwahrscheinlich bzw. leicht erkennbar.)

Die Videos bringen in erstaunlicher Varianz „konzeptionelles Verständnis“, das typischerweise in mündlichen Prüfungen abgefragt wird, und „Präzision in der Rechnung“, wie es typisch für schriftliche Prüfungen ist, zum Ausdruck. Das Format eignet sich somit, um beide Kompetenzen in einer Prüfung gemeinsam abzufragen. Stärken und Schwächen treten dabei durch die Präsenz der Studierenden sichtbarer zutage als beispielsweise bei den klassischen Klausuren. Sie können dann nach der Auswertung auch mit den Studierenden explizit besprochen (oder zumindest angemerkt) werden.

Das Interesse der Studierenden an einem solchen Feedback zur eigenen Performance war sehr hoch. Das liegt zum Teil auch sicherlich an der Neuheit des Formats aber auch an dem Interesse, „wie ist mein Produkt angekommen, wo kann ich nachsteuern?“ Dieses Nachsteuern war in unserem Fall allerdings nach Abgabe des Videos nicht vorgesehen. Hier bestehen Ausbaumöglichkeiten: So kann man künftig statt eines singulären Videos am Semesterende bereits in Übungsgruppen mit Videos arbeiten und deren Feedback in das Abschlussprojekt einfließen lassen.

Eine zeitliche Beschränkung der Videolänge ist klar von Vorteil und wird empfohlen. Aus praktischer Sicht begrenzt sie deutlich den Zeitaufwand aller Beteiligten (Studierende und KorrektorInnen). Andererseits liefert eine Beschränkung auch eine Herausforderung an die Studierenden. So sind sie mit der Frage konfrontiert, welche Inhalte man erklären sollte und welche man dagegen vernachlässigen kann. Die vorgegebene Länge kann somit einen Hebel liefern, um den Fokus weg von mechanischen „Ausführungsaufgaben“ (z.B. Ableitungen im Detail zu diskutieren) und hin zu prozessbezogenen Erklärungen zu lenken. Eine solche Steuerung setzt allerdings voraus, dass die optimale Erklärung, bzw. die Balance zwischen zu vielen und zu wenigen Details vorher (z.B. in den Übungsgruppen) besprochen wurde. Aus unserer Erfahrung kann in künftigen Durchläufen die Länge der Videos noch weiter verkürzt werden. Beispielsweise sollte eine geübte Gruppe für ein Erklärungsvideo für ein konventionelles, wöchentliches Übungsblatt in einer vergleichbaren Vorlesung (Mathematik oder Theoretische Physik) nicht mehr als 20-30 Minuten benötigen. Bei kleineren Projekten oder beispielsweise bei einer kombinierten Prüfung, bei der ein Videoprojekt nur einen Teil ausmacht sind durchaus auch kürzere Videos denkbar.

Die angesprochene Varianz der Lösungen kann jedoch gerade für unerfahrene KorrektorInnen eine Herausforderung bei der Bewertung darstellen. Der dadurch bedingten Unsicherheit („Soll ich jetzt den halben Punkt abziehen oder nicht?“) sind wir damit begegnet, dass alle Videos von mindestens zwei KorrektorInnen unabhängig bewertet wurden. Voneinander abweichende Ergebnisse wurden anschließend diskutiert und ein Konsens gebildet. Die Erfahrungen der KorrektorInnen waren von Anfang an durchweg positiv, das Verfahren zu Beginn aber sehr zeitaufwändig. Mit der Zeit entwickelte sich aber Routine und die Bewertung ging zuletzt schnell. Auch hier bietet sich ein Übungsbetrieb an, in dem TutorInnen bereits während des laufenden Semesters mit Videos arbeiten. So können sie einerseits Feedback an die Studierenden geben und andererseits eine Bewertungsgrundlage etablieren, wie es auch bei klassischen Übungsaufgaben der Fall ist.

3.5. Validität, Reliabilität und Objektivität

Wie auch die bereits etablierten Prüfungsformate muss jedes neue Format zunächst unter Beweis stellen, dass es die Standardanforderungen an eine Prüfung erfüllt. Es muss valide, reliabel und objektiv sein.[12]

Dementsprechend mussten wir uns im Vorfeld in den Gremien – zu Recht – einigen kritischen Anfragen stellen. Diesen sind wir in unserem Pilotversuch besonders sorgfältig nachgegangen:

Nach ausführlicher Rückfrage bei allen Beteiligten (KursteilnehmerInnen, Dozent, TutorInnen, Fachschaft und Didaktik) wurden die Bewertungen ausnahmslos als fair eingestuft. Dazu mag man nun denken: „Wahlpflicht-Veranstaltung, ambitionierte Dozierende, interessierte Studierende: Woher soll da ein Konflikt kommen? Glück gehabt.“ Allerdings: Die Bewertung von Video-Prüfungen ist in vielen Bildungsbereichen inzwischen Standard geworden und empirisch erforscht.[13] Sie eignet sich besonders gut zur Feststellung sogenannter prozessbezogener Kompetenzen: Wenn also nicht (nur) das Ergebnis einer Operation bewertet werden soll, sondern auch der Lösungsprozess, der zu diesem Ergebnis geführt hat. Damit stellen Video-Prüfungen ein ergänzendes Gegenstück zu vielen anderen elektronischen Prüfungen (insbesondere Multiple-Choice) dar. Das macht sie für die Hochschulbildung besonders interessant. Ein weiterer Vorteil ist, dass die Prüflinge an Gesicht und Stimme eindeutig identifiziert werden können und dass ein klassisches Abschreiben nicht möglich ist. Geübten Korrektorinnen (sog. Kodiererinnen) fällt schnell auf, ob eine fremde Lösung vorgelesen wird.

Gerade weil es bei unserem Format entscheidend auch um die ganzheitliche Präsenz der Studierenden ging und verschiedene KollegInnen ohne Erfahrung in einem vergleichbaren Format beteiligt waren, war die Frage der Reliabilität tendenziell kritisch. Um diese bei Video-Prüfungen sicherzustellen, erge-

ben sich aus der empirischen Untersuchung folgende Regeln:

- 1) Es ist ein Kodierleitfaden zu entwickeln, der einfach und transparent, ggf. an Beispielen darstellt, ob die einzelnen Lösungen in die Kategorien sehr gut bis mangelhaft fallen.
- 2) Der Kodierleitfaden wird mit mehreren Prüferinnen gemeinsam entwickelt und abgestimmt (vier-Augen-Prinzip).
- 3) Die Länge des Videos ist klar limitiert, ähnlich wie es auch für die Klausurzeit gilt.
- 4) Jede Lösung wird von 2 KodiererInnen bewertet (auch hier vier-Augen-Prinzip). Hier ist die Limitierung der Länge des Videos essentiell, um den Workload gering zu halten.
- 5) Die Intercoder-Reliabilität, d.h. ob verschiedene KorrektorInnen dasselbe Video ähnlich bewerten, ist mit einem statistischen Maß (üblich: Cohen's Kappa) zu prüfen.

Aufgaben, die schlecht formuliert sind oder bei denen der Kodierleitfaden nicht ausreichend ist, fallen durch einen schlechten Kappa-Wert auf. Hier können die Verantwortlichen gezielt nachsteuern.

Bis auf die statistische Kontrolle wurden diese Prinzipien wie beschrieben in unserem Versuch berücksichtigt. Für künftige Durchläufe kann dies aber noch systematischer geschehen. Es gibt dazu auch Softwarelösungen, die beispielsweise einen automatisierten Workflow implementieren.

3.6. Feedback der Studierenden

Die Sicht der Studierenden lässt sich am besten anhand einiger Originalzitate wiedergeben:

- „... mir hat es sehr viel Spaß gemacht, ein Lösungsvideo aufzunehmen. Ich konnte mich selbst besser reflektieren, ob ich den Stoff wirklich verstanden hab. Die Zeit war auch gut, weil es außerhalb der Klausurenphase war. Im Vergleich zu ‚komischen‘ Online Klausuren, fand ich die Lösungsvideos machen, viel angenehmer. Das Mangel bei Online Klausuren ist denke ich auch dazu ein Problem. Ich finde das ziemlich privat über Zoom eine Klausur zu schreiben und je nach dem meine Wohnung genauer zu zeigen (?) Ich könnte mir auch vorstellen, dass ein Lösungsvideo gestalten auch von allen Themen einer Vorlesung besser ist, als eine Online Klausur. Die Motivation war definitiv vorhanden.“
- „... die Videos sind zwar aufwendig gewesen haben aber dafür mehr Spaß gemacht im Gegensatz zur normalen Klausur-Vorbereitung. Dadurch dass wir die Abgaben vor der richtigen Klausurenphase hatten war es machbar die innerhalb einer Woche zu bearbeiten und für die jetzigen Wochen ist es auch angenehmer für ein Fach weniger zu lernen. Zudem hat man die Themen/Aufgaben die man vorgestellt hat auch wirklich verstanden weil man alles in der Gruppe mehrmals durchgesprochen hat. Alles in einem fand

ich die Idee sehr gut, würde gerne öfters Videoabgaben als Klausurersatzleistung haben soweit es möglich ist.“

- „...die Videos zu machen war eine sehr gelungene Abwechslung zu der standard Routine der Klausurphase und hat die zudem auch noch um einiges entspannt. Außerdem hat mir die Art die Aufgaben zu erklären gefallen, indem man die Rechenschritte motivieren & erklären muss habe ich mich selbst auch viel ausführlicher im eigenen Verständnis geprüft als es z.B. in einer klassischen Klausurvorbereitung der Fall wäre. Videoabgaben als Klausurersatzleistungen wären mir auch zukünftig sehr willkommen“
- „mir hat die die Produktion des Videos auch sehr viel Spaß gemacht. Eine Woche war auch ein gutes Zeitfenster dafür. (...) Was schon mehrmals erwähnt wurde aber mich auch sehr sehr sehr gefreut hat war, dass man sich um die Videos noch außerhalb der Klausurphase kümmern konnte. Das nahm viel Stress aus der Klausurphase raus. Außerdem bin ich ein Klausurphobiker und schaffe es jedes Semester viele Punkte durch Flüchtigkeitsfehler zu verlieren. Das ist bei den Videos zwar nicht unmöglich aber deutlich schwieriger.

Von der Motivation her war natürlich viel weniger Druck vorhanden. Dieser wurde aber durch die Abwechslung und auch durch das gegenseitige Anspornen mit meinen Kommilitonen deutlich kompensiert falls nicht sogar überboten. Zudem waren wir für die Note unseres Partners mitverantwortlich wodurch wir ihm eine gewisse Rechenschaft schuldig waren. Das kann in den ersten Semestern vielleicht durch Unzuverlässigkeit nach hinten losgehen kann aber genauso gut bei Kommilitonen, die man inzwischen zu guten Freunden zählt bzw. schon seit Jahren kennt umso mehr motivieren.

Was die Hand aufs Herz angeht... muss ich mir eingestehen, dass ich definitiv zwar das Thema wofür wir das Video gemacht haben drauf habe. Die anderen Themen hingegen hätte ich mir dann wahrscheinlich für die Klausur nochmal angeschaut und somit noch mehr vertieft. Ich weiß allerdings nicht in welchem Ausmaß das i-Tüpfelchen nach der Klausur noch relevant ist. Meistens nehme ich das Grundverständnis schon aus den Übungen und Übungsgruppen mit und in der Klausurvorbereitung wird eher auswendig gelernt und Routine mit den verschiedenen Aufgabenstellungen entwickelt, wovon bei mir zumindest nach den Klausuren wieder viel verloren geht. Was in den Kontext auch erwähnenswert ist, ist dass wir ja auch das Semester über wie für unseren Studiengang üblich Woche für Woche Übungsblätter abgeben mussten, wodurch wir uns ja auch mit den anderen Themen auseinander setzen mussten.“

3.7. Fazit

Videos oder allgemein multimedial erstellte Eigenleistungen bieten sich unabhängig von und auch nach der aktuellen Covid-19-Pandemie als interessante Alternative bzw. Ergänzung zur traditionellen schriftlichen Prüfung an. Sie trainieren gleichzeitig komplementäre Fähigkeiten wie die Darstellung komplexer Inhalte, Kommunikation, ggfs. Teamarbeit und ihre technische Umsetzung. Abhängig von der Wahl der Aufgabenstellung müssen keine Abstriche im inhaltlich-wissenschaftlichen Anspruch in Kauf genommen werden. Neben der Lösung von Aufgabenblättern sind take-home exams mit einer breiteren Wissensabfrage, Programmierprojekte, die ‚Journal Club‘-artige Darstellung wissenschaftlicher Literatur oder die Lösung mehrstufiger komplexerer Aufgaben („case studies“) denkbare Varianten.

Ein aus Sicht der Studierenden elementarer Aspekt ist, dass fast alle Prüfungen innerhalb des Studiums relevant für die Abschlussnote sind. Dies führt bei einem Teil der Studierenden zu ausgeprägtem Prüfungsstress, teilweise sogar Angst in der Klausurphase als periodisch wiederkehrendes Dauerproblem im Studium.[14] Die aktive Rolle der Studierenden beim Erstellen einer Videolösung, vor allem bei der Zeiteinteilung kann den Stressfaktor erheblich reduzieren. Dies trägt zur Entspannung der Prüfungsphase bei und fördert einen positiven Lerneffekt. Dieser Aspekt wird vom Feedback der Studierenden besonders bestätigt.

Nach unseren Erfahrungen mit diesem Pilotprojekt sind Videoprojekte nicht nur eine funktionierende Alternative zu konventionellen Klausuren. Sie zeichnen auch ein sehr viel differenzierteres Bild der Fähigkeiten und des Wissensstands der Studierenden als ursprünglich erwartet oder gar erhofft. Sie können typische Situationen von Prüfungsstress oder -angst entschärfen und fördern eine aktive, konstruktive und so auch differenzierte Auseinandersetzung mit der Prüfungsstoff. Dabei vereinen sie gleichzeitig Aspekte von schriftlicher und mündlicher Prüfung. Insgesamt steckt in dieser alternativen Prüfungsformen sehr viel Potential, das über die obligatorische Leistungskontrolle und Benotung der Studierenden hinausreicht.

4. Warum „Haben Sie noch Fragen?“ zu keinen Fragen führt

Ein Beitrag von Stephanie Wagner und Manuel Längle entstanden nach einem Arbeitskreis zu hybrider Lehre auf der Zusammenkunft aller Physikfachschaften des deutschsprachigen Raumes (ZaPF) im Sommersemester 2021.

Die meisten Studierenden kennen die Situation zu gut. Wir sitzen in der Vorlesung und plötzlich stellt die Lehrperson die Frage: „Haben Sie noch Fragen?“ und wir fühlen uns wie ein Reh im Scheinwerferlicht. Die Schreckstarre setzt ein und den Hörsaal überfällt eine durchdringende Stille. Die Gesichter

der Mitstudierenden sind vollkommen blank und lassen auf keine Emotionen mehr schließen. Erst das Fortfahren der Lehrperson – „Gut, wenn es keine Fragen gibt, mach ich jetzt weiter“ – lässt den Hörsaal wieder zum Leben erwachen. Diese Stille ist für viele zum Alltag an der Universität geworden. Sie bedeutet entweder, dass es nichts Unverstandenes gibt, oder, dass zwar Fragen offen sind, aber nicht ausgesprochen werden. Dementsprechend wird über das Unverstandene einfach hinweggegangen. Nun stellt sich die Frage, wie es gelingen kann, sich über Unverstandenes zu verständigen, statt darüber hinwegzugehen.

Das Ausbleiben von Nachfragen bewirkt meistens Frustration auf beiden Seiten, bei Lehrpersonen wie bei Studierenden. Da Lernprozesse nicht ohne Nachfragen funktionieren, ist es essenziell darüber nachzudenken, warum der Aufforderung für Fragen nicht nachgekommen wird.

Die Gründe sind vielfältiger Natur. Zum einen ist da die gefühlte Sanktionierung von Unwissen, entweder von den Lehrenden – „Die Lehrperson hält mich dann sicher für blöd!“ – oder den Studierenden – „Die Person stellt immer so unnötige Fragen“. Gleichzeitig ist es auch so, dass in Massenveranstaltungen, besonders in den ersten Semestern, Fragen zwar irgendwo erwünscht sind, gleichzeitig aber doch oft übergangen, abgetan, unzureichend beantwortet oder nicht ernstgenommen werden, da Lehrpersonen unter dem Eindruck stehen, ihren Stoff durchbringen zu müssen und daher keinen so großen Wert darauf legen, ob die Studierenden auch tatsächlich verstanden haben, was gerade geschieht. Auch, dass Studierende mit einem vermeintlich vollständigen Wissenskanon konfrontiert werden, hilft nicht, und vermittelt stattdessen die Annahme, dass sie sich nur besser hätten vorbereiten müssen, um mitzukommen. Nicht ohne Grund ist in vielen Erstsemesterveranstaltungen von Fachschaften eine der Schlüsselbotschaften an die Studierenden: „Stellt Fragen! Wenn ihr die Frage habt, dann hat sie der restliche Hörsaal auch. Lehrpersonen freuen sich und eure Mitstudierenden freuen sich.“ Auch die Struktur einer Vorlesung, erst einmal mit sämtlichem Wissen bombardiert zu werden, dieses nicht einordnen zu können und danach die Vorlesung nacharbeiten zu müssen, sorgt dafür, dass erst bei der Nacharbeitung, welche oft erst in der Klausurphase passiert, Fragen aufkommen.

Wie es eine Lehrperson auf den Punkt gebracht hat: „Studierenden wird abtrainiert, Fragen zu stellen. Um das zu ändern, müssen wir es Ihnen wieder beibringen“. Die Lösung für dieses Problem muss in einem Wandel der Lehr- und Lernkultur an den Universitäten liegen.

Ein anderes passendes Zitat dazu: „In einer Vorlesung können die Studierenden entweder konsumieren oder stören.“ Während Studierende in den ersten Semestern des Studiums voller Fragen stecken, auf-

grund derer sie das Studienfach schließlich auch gewählt haben, werden die Fragen im Laufe der Zeit immer weniger. Vielleicht müsste Studierenden gar nicht beigebracht werden, Fragen zu stellen, wenn es ihnen zu Beginn nicht abgewöhnt worden wäre.

Die Wissenschaft dreht sich primär um Unverstandenes und das Nachgehen von ungeklärten Fragen. In Studium und Ausbildung angehender Wissenschaftler:innen wirkt es jedoch häufig so, als sei jede Frage geklärt und das vorhandene Wissen nur dazu da, um es unhinterfragt einzusaugen. Wir begreifen Fragen als Chance für Lernprozesse und wollen hier einige Gründe für Schweigen nennen und damit verbunden Ansätze, um Diskussion zu fördern, welche an verschiedenen Orten entwickelt wurden. Hierbei handelt es sich um eine nicht vollständige Sammlung von unterschiedlichen Ideen und Konzepten, welche bei der ZaPF besprochen wurden.

4.1. Radikale Änderung des Modus' einer Veranstaltung

Wer zu viele Fragen stellt, geht irgendwann mindestens einem Teil des Hörsaals auf die Nerven und wird als Störfaktor für den Verlauf der Veranstaltung wahrgenommen, gemäß des Mottos: Ein naturwissenschaftliches Grundstudium ist dafür da, Wissen vermittelt zu bekommen, nicht um zu diskutieren, dafür ist kein Platz. Inverted Classroom Konzepte sind gerade in Zeiten der Pandemie bei vielen Lehrenden und Studierenden sehr beliebt geworden. Eine Möglichkeit, eine Vorlesung zu ersetzen, wäre beispielsweise eine kürzere Version einer Vorlesung aufzunehmen, die Aufzeichnungen in Kleingruppen zu schauen und in regelmäßigen Pausen über das Verstandene und Unverstandene zu reflektieren. Tatsächlich braucht es dafür eigentlich keine neuen Medien. Manche Lehrenden haben die Kunst des ausführlichen Tafellöschens so sehr gemeistert, dass dieses den Zweck einer kurzen Diskussionspause ebenso erfüllt.

4.2. Kleingruppen und Pausen, um Fragen zu finden

Eine sinnvollere Frage als „Gibt es noch Fragen?“ könnte „Welche Fragen gibt es noch?“ sein, denn es gibt immer Fragen. Wenn es noch keine Fragen gibt, dann haben Studierende noch nicht genug über den behandelten Stoff nachgedacht. Hier kann es hilfreich sein, kurze Pausen zu machen, im Optimalfall in Kleingruppen mit dem Auftrag über das gerade Besprochene zu diskutieren. An manchen Universitäten wird dies als Murmelgruppe bezeichnet. Erst indem im Gespräch und im Versuch gegenseitig Dinge erklärt werden, zeigen sich oft die eigenen Verständnislücken. Außerdem sorgt diese Methode dafür, aus einer „Ich“-Frage eine „Wir“-Frage zu machen. Damit outet sich eine studierende Person, die eine Frage stellt, nicht als unwissend, sondern nimmt die Rolle einer vertretenden Person mit dem Mandat, eine Gruppe zu vertreten, an.

4.3. Schlechtes Gewissen als Grund für Schweigen

Das Design von Übungsgruppen spielt eine maßgebliche Rolle dabei, ob dort aktiver Austausch stattfindet oder nicht. Müssen Studierende beispielsweise eine gewisse Anzahl von Beispielen abgeben/ankreuzen und bekommen dies nicht hin, führt dies zu Abschreiben, um die nötige Punktzahl zu erreichen. Wenn Studierende jedoch ein Beispiel abgeschrieben haben, so werden sie keine Fragen zu diesem Beispiel mehr stellen, denn schließlich hätten sie es ja schon verstanden haben müssen. Gleichzeitig haben sie es offensichtlich nicht verstanden, da sie es abschreiben mussten. Wird nicht abgeschrieben, so schämen sich Studierende oft dafür, die Beispiele nicht hinbekommen zu haben und Fragen deshalb nicht nach, vermeintlich im Gefühl, als einzige nichts verstanden zu haben. Herausragend gute und empathische Lehrende können dem entgegensteuern, indem sie eine wertschätzende Atmosphäre schaffen, dies gelingt jedoch nicht allen. Zielführend wäre es in solchen Lehrveranstaltungen, eine Trennung der Lern- und Prüfungssituation herbeizuführen, indem beispielsweise Klausurzulassungen abgeschafft werden, wie es bereits mancherorts der Fall ist, zum Beispiel in Wien.

Ein ähnliches Phänomen kann zum Teil auch bei einem Inverted Classroom Konzept beobachtet werden, bei dem Studierende ein schlechtes Gewissen aufgrund ihrer unzureichenden Vorbereitung haben und keine Fragen stellen. Deshalb ist es besonders bei diesen Konzepten wichtig zu wissen, wie viel Material den Studierenden zumutbar ist.

4.4. Selbst Fragen stellen

Eine andere Möglichkeit ist, dass Lehrende selbst Fragen formulieren, die sie erwarten würden oder die sie selbst interessant finden, um auf dieser Basis mit den Studierenden in eine Diskussion zu kommen. Das nimmt den Druck von Studierenden, Fragen zu äußern, und fördert den aktiven Austausch zwischen Lehrpersonen und Studierenden. Diese lernen dadurch außerdem, dass es aktiv gewünscht wird, Fragen zu stellen und dass Wissenschaft über Diskussionen funktioniert, für die es nicht wichtig ist, alles zu wissen. Durch diesen Ansatz wird versucht, Studierenden Diskussionen zu ermöglichen und so die kritische Auseinandersetzung mit den Inhalten der Veranstaltung zu erlernen.

4.5. Schweigen, bis eine Frage kommt

Der Ansatz, als Lehrperson so lange zu schweigen, bis eine Person der Studierendenschaft eine Frage zur Vorlesung stellt, kann ebenfalls gewählt werden. Abhängig von der Atmosphäre in der Lehrveranstaltung kann dies produktiv oder destruktiv sein. Es kann den Studierenden Zeit und Raum geben, über den Inhalt der Vorlesung nachzudenken und Fragen zu formulieren, kann jedoch auch Druck aufbauen, unter welchem es schwierig ist, sich zu konzentrieren. Diese unangenehme Atmosphäre kann dazu füh-

ren, dass Studierende anfangen die Lehrveranstaltung zu meiden, da die Veranstaltung mit Druck und einer Atmosphäre von Angst verbunden wird. Außerdem kann die Lehrperson in Zeiten von „remote learning“ dann einfach vor einem Bildschirm mit lauter abgeschalteten Kameras sitzen. Möglichkeiten zu geben, zu reflektieren und zu überlegen, ist auf jeden Fall förderlich. Wenn diese Methode jedoch als Bestrafung wahrgenommen wird, wird sie scheitern.

4.6. Fragen vorab per E-Mail einfordern

Das Angebot, Fragen per Mail an die Lehrperson zu schicken, sodass diese gesammelt im nächsten Tutorium besprochen werden können, wird häufig schon bereitgestellt. Dennoch bleiben die Postfächer meist leer und in den trotzdem stattfindenden Tutorien sitzen Studierende und Lehrende in Stille zusammen, während die Lehrpersonen versuchen zu erraten, was jetzt interessant sein könnte. Sich in diesem Moment Fragen zu überlegen, die Studierende haben könnten, ist jedoch auch etwas spät. Ein Lösungsansatz wäre, Tutorien nur stattfinden zu lassen, wenn im Vorhinein auch Fragen geschickt wurden, welche dann ausführlich beantwortet werden. Ein konsequenter Ansatz, der einerseits dazu anregt, Fragen zu formulieren, andererseits bestraft und sanktioniert und damit nicht wirklich zu einer angenehmeren Atmosphäre in der Lehre führt.

Studierenden sollte klar gemacht werden, dass sie keine Konsumierenden sind, dafür dürfen sie jedoch auch nicht wie solche behandelt, sondern müssen als aktiver Teil universitären Lernens verstanden werden. Gleichzeitig liegt es in der Verantwortung der Studierenden, sich selbst so zu begreifen und aktiv teilzunehmen. Sollte nicht ausreichend Zeit zur Verfügung stehen, sich auf Einheiten vorzubereiten, so sollte der Umfang des Materials gesenkt werden. Die Lehrenden könnten auch den Diskurs mit Studierenden über die Abwesenheit von Fragen suchen.

4.7. Anonyme Fragen

Fragen anonym zu stellen, ist auf jeden Fall eine Möglichkeit, die die Interaktivität in Lehrveranstaltungen fördert. Dabei sollte niemals öffentlich gemacht werden, wer eine Frage gestellt hat. Anonym trauen sich Studierende, auch „dumme“ Fragen zu stellen, die oft gar nicht so dumm sind. Jedoch gilt auch hier wieder, dass Fragen ernstgenommen werden sollten, denn wenn die Fragen nicht ordentlich beantwortet werden, nutzt es den Studierenden auch nichts, welche zu stellen. Um Fragen zu filtern, können Online Tools verwendet werden, bei denen Fragen von Studierenden up- und downgevotet werden können. [15]

4.8. Bewertete Fragen

Eine weitere Möglichkeit mehr Fragen zu erhalten, ist, bei der Abgabe der wöchentlichen Übungsblätter z.B. 5% der Gesamtpunktzahl für eine Frage zum aktuellen Vorlesungsstoff zu geben. Diese werden daraufhin gebündelt in vorbereiteter Form in der

nächsten Veranstaltung beantwortet. Für Lehrende wird so schnell klar, welche Themen der Vorlesung besonders schlecht verstanden wurden, und Studierende werden angeregt, ihren Lernprozess zu reflektieren und zu formulieren, was sie nicht verstanden haben, um die volle Punktzahl zu erreichen. Natürlich zwingt diese Methode Studierende, Fragen zu stellen, wenn sie 100% erreichen wollen. Für Übungsscheine sind allerdings nur 50% erforderlich und es können beliebige, nicht nur besonders schlaue Fragen gestellt werden, die dann anonym beantwortet werden. In einer angenehmen Atmosphäre führt diese Methode durchaus zu einer Kultur des Diskutierens und Fragenstellens, andererseits kann dies auch zu vermehrtem Stress führen. Die Reflexion über das eigene Nichtwissen ist essenziell für Lernprozesse. Sofern auf Klausurzulassungen/ Beurteilung von Übungen bestanden wird, ist dies jedenfalls eine sinnvollere Art herauszufinden, was verstanden wurde, als Studierende zum Abschreiben von Übungsbeispielen zu motivieren.

4.9. Minitests und Online-Lehrplattformen

Bei dieser Methode bauen Lehrende kurze Quizfragen in ihre Videos ein, die in Moodle oder mithilfe eines anderen Werkzeugs beantwortet werden sollen. Im Fall einer falschen Antwort wird eine kurze Erklärung gegeben und auf den jeweiligen Abschnitt der Vorlesung hingewiesen, der das Thema näher erläutert. So können Lücken von Studierenden selbstständig aufgearbeitet werden, ohne sich überwinden zu müssen, in einem Hörsaal vor vielen anderen Studierenden eine Frage zu stellen. Moodle kann genutzt werden, um in Musterlösungsvideos oder durch Hochladen von Musterlösungen typische Probleme von Studierenden zu behandeln oder typische Fragen zu beantworten. So wird Studierenden bewusst, welche anderen Fragen existieren und dass ihre eigenen Fragen nicht dümmer als alle anderen sind.

Auch ist es möglich, zu jeder Vorlesung ein kurzes Quiz mit Verständnisfragen in Multiple-Choice-Form über Moodle zu machen, in dem Studierende selber feststellen, was sie nicht verstanden haben. So ergeben sich für die nächste Vorlesung unter Umständen Fragen, die direkt gestellt werden können, da Studierende Anreiz und Zeit dazu hatten, sich bewusst zu machen, was sie nicht verstanden haben. Dies lässt sich auch mit kurzen Breakout-Rooms oder Murrelgruppen verbinden, um den Studierenden zusätzlich Möglichkeit zum Austausch zu geben.

Die Frage, warum keine Fragen gestellt werden, ist irreführend. Stattdessen sollten wir uns fragen, wie wir eine Atmosphäre kreieren können, in der Fragen nicht abgetan, lächerlich gemacht, übergangen oder schlecht beantwortet, sondern wertgeschätzt und konstruktiv behandelt werden. Wir müssen von einer Kultur des „Alles wissen müssen“ zu einer Kultur des „Dinge lernen wollen“ übergehen, in der Fragen

und Interesse die wichtigsten Komponenten des Lernens sind. Dies stellt das zum Teil existierende Bild von Dozierenden als allwissende Wesen in Frage und macht sie mehr zu begleitenden Coaches auf dem Weg zum wissenschaftlichen Arbeiten.

Viele Vorlesungen, besonders vor der Coronazeit, sind und waren so aufgebaut, dass alles logisch, schlüssig und einfach erscheint, sodass Studierende sich ihrer Fragen erst durch das explizite Überprüfen des Inhaltes bewusst werden. Für die meisten von uns ist dies simultan zur laufenden Vorlesung nur schwer möglich. Und selbst wenn Verständnisschwierigkeiten identifiziert, eine Frage formuliert und die Möglichkeit gegeben ist, sie zu stellen, besteht immer noch die Möglichkeit einer abwertenden Reaktion, die dafür sorgt, in Zukunft besser keine Fragen mehr zu stellen. Ein guter Indikator für Lehrende dafür, ob sie Fragen wertschätzend und gut behandeln, kann daher sein, ob es im Laufe des Semesters mehr oder weniger Fragen werden.

Wir sehen die Verantwortung für den Kulturwandel bei beiden Gruppen. Studierende sollten versuchen ihre Neugierde und ihre Fragen zu behalten. Es ist nicht optional, sondern notwendig, Fragen zu stellen, und einzufordern, Unverstandenes erklärt zu bekommen. Lehrende sollten dies ernst nehmen und Interesse und Neugierde fördern, statt diese zu lähmen. Dies sagt sich sehr leicht, doch ist es sehr schwierig und viele herausragende Lehrpersonen geben ihr Bestes in den Rahmenbedingungen, in denen sie operieren. Hier können wir nur raten, Fortbildungen und Kurse zu besuchen, um sich selbst für diese Dinge zu sensibilisieren.

Insgesamt braucht es eine Atmosphäre des gemeinsamen Lernens und Diskutierens, frei von Angst vor Prüfungen, Beurteilung und sozialer Ächtung. Veranstaltungen können so entwickelt werden, dass Zeit und Raum für Unverstandenes geboten wird, und es kann eingefordert werden, dass Studierende ihren Beitrag dazu leisten, jedoch nur dann, wenn es einen angenehmen und wertschätzenden Rahmen gibt, um Fragen zu diskutieren.

5. Redet über die Daten!

Forschungsdatenmanagement und Hochschullehre in der Physik und darüber hinaus

Ein Beitrag von Philipp Jaeger, Janice Bode

Im Physikstudium wird der Umgang mit allerlei mathematischen Konzepten, Theorien und komplexen Messgeräten erlernt. In den Praktika wird gemessen, abgespeichert, ausgewertet, Messfehler analysiert – wir alle erinnern uns. Und doch steht der sprichwörtliche Elefant mitten im Raum, über den nicht gesprochen wird: die Daten selbst.

Aufgrund der fortschreitenden Digitalisierung stehen uns heute mehr Daten und Informationen jederzeit zur Verfügung als jemals zuvor, etwa in Online-Enzyklopädiën, Nachrichtenportalen, Suchmaschinen, etc. Auch in der Forschung nimmt die Bedeutung

großer Datenmengen zu und manifestiert sich in Initiativen wie der European Open Science Cloud[16] (EOSC) oder in Deutschland in der nationalen Forschungsdateninfrastruktur[17] (NFDI).

Doch zurück zum physikalischen Grundpraktikum, das im Folgenden als Beispiel dienen soll. Selbst bei sehr einfachen Experimenten müssen Daten so abgelegt werden, dass sie im Nachhinein für den oder die Studierende interpretierbar sind – was wurde wie und mit welchem Instrument gemessen, wie groß sind die Messfehler, aber auch externe Faktoren, wie beispielsweise die Raumtemperatur oder der Luftdruck bei Experimenten zur Thermodynamik.

5.1. Digitalisierung des Studiums: Forschungsdatenmanagement im Grundpraktikum

Anhand dieser Metadaten kann später nachvollzogen werden, wo bei der Durchführung des Experiments Probleme aufgetreten sind. Je umfangreicher diese Metadaten sind, desto wertvoller wird der Datensatz insgesamt, etwa weil er auch für Dritte nachvollziehbar wird, wenn eine ausreichend genaue Beschreibung der Messapparatur beiliegt. Werden solche Datensätze – nennen wir sie Datenobjekte – in einer Form abgelegt, die sie anhand der Metadaten vergleichbar macht, kann eine Auswertung der kumulierten Daten völlig neue Antworten liefern, z.B. in Bezug auf temperaturbedingte jahreszeitliche Schwankungen der Resultate oder Materialermüdung in mechanischen Komponenten der Apparatur.

Eine notwendige Voraussetzung für die Nachnutzung von Daten und damit für ein funktionierendes Forschungsdatenmanagement (FDM) ist, dass sie auch nach Jahren noch auffindbar sind. Umfangreiche Metadaten ermöglichen in Kombination mit offenen Lizenzen einen leichten Zugang. Durch die Verwendung standardisierter Dateitypen wird gewährleistet, dass die Daten leicht mit unterschiedlichen Anwendungen bearbeitet werden können und der Zugang möglichst nicht von proprietärer Software abhängt. Kurz zusammengefasst sollten Daten, wo immer möglich, den oben beschriebenen FAIR-Prinzipien[18] (nach den englischen Begriffen findable, accessible, interoperable und reusable) entsprechen.

FAIRe Datenobjekte[19] (FDO) sind wie am oben stehenden Beispiel gezeigt der elementare Baustein nachhaltiger Datennutzung. Der Umgang mit Daten wird klassischerweise im Zuge des Grundpraktikums erstmals ausführlicher gelehrt. Diese Gelegenheit sollte genutzt werden, um frühzeitig den Mehrwert gemeinsamer Datennutzung zu vermitteln und dem derzeit weit verbreiteten Datenprotektionismus vorzubeugen. Die Zusammenkunft aller deutschsprachigen Physikfachschaften (ZaPF) hat diesbezüglich 2020 Vorschläge vorgelegt[20], die auch der Diskussion um Open Science Rechnung tragen.

5.2. Technische Möglichkeiten von FDO

Wie bei de-facto-Standards zum Datenaustausch im Internet – etwa HTML-Seiten für formatierten Text

oder JSON für komplexere Objekte – können FDO ein sehr abstraktes Vehikel für jede Art von Daten sein. Dies gilt insbesondere auch für große Datenmengen, die man in der Regel nicht bei der ersten Anfrage an den Server übertragen möchte, da oft nur ein kleiner Teil davon wirklich beim Client gebraucht wird. Sowohl HTML als auch JSON können Spezifizierungen eines FDO-Standards sein, ebenso wie sehr große Dateien auf einem Object-Storage-Dateisystem, in denen Metadaten und das eigentliche Objekt schon konzeptuell getrennt sind und nicht notwendig auf derselben Festplatte oder demselben Rechner gespeichert sind.

Intelligente Speicherungs- und Cachingmechanismen können dabei eine hohe Verfügbarkeit und durch dezentrale Datenaufbewahrung Ausfallsicherheit gewährleisten. Dabei gehen einzelne Repositorien in so genannten Data Lakes auf, deren Struktur der des Internets selbst ähnelt. Durch geeignet abgesicherte Identifizierungscodes bleibt auch bei verteilter Datennutzung nachvollziehbar, welche Forschenden einen Datensatz zur Verfügung gestellt haben, sodass dieser bei daraus resultierenden Publikationen über einen Digital Object Identifier[21] (DOI) zitiert werden kann.

Wissenschaftspolitisch hätte dies den Nebeneffekt, dass sich FDO mittelfristig neben Veröffentlichungen in anerkannten Peer-Review-Zeitschriften als eine weitere Währung für akademischen Erfolg etablieren könnten. Hier bleibt die Frage zu klären, inwieweit eine Qualitätssicherung und Kuration von FDO notwendig ist und wie diese aussehen kann, ohne den freien Zugang zum Data Lake unnötig zu verkomplizieren, vor allem aber ohne hohe Kosten für dessen Nutzung zu verursachen – es sei an die laufende Debatte um predatory Journals und die Rolle der großen Wissenschaftsverlage erinnert. Positive Beispiele sind etwa Zenodo[22] oder das Open Science Framework (OSF)[23]. Es dürfen in diesem Prozess auf keinen Fall Institutionen entstehen, die eine „Gate Keeper“-Funktion haben. Auch diese Diskussion findet – z.B. durch die Monopolstellung großer Digitalkonzerne befeuert – bereits in den Medien statt. Lehren daraus sollten also schon in der Konzeption zukünftiger Infrastrukturen berücksichtigt werden.

5.3. Transdisziplinäre Ausgestaltung von FDM-Systemen

Aufmerksamen Lesenden dürfte nicht entgangen sein, wie universell FDO einsetzbar sind. Wie oben beschrieben können viele der heute üblichen Standards zur Datenübertragung im Internet leicht so modifiziert werden, dass sie den FAIR-Prinzipien entsprechen – es ist also nur folgerichtig, die Umsetzung von FDM-Systemen jenseits des Kontexts und der Anwendungsfälle einzelner Disziplinen zu betrachten. Damit rücken automatisch der Forschungsgegenstand und die eingesetzten Methoden in den Vordergrund. Bei Letzteren kommen zu den eta-

bierten Methoden der Fachwissenschaft die der technologiegestützten Datenanalyse hinzu, wie etwa der Einsatz künstlicher Intelligenz zur Transkription und strukturierten Repräsentation von Texten oder die automatisierte Suche nach statistischen Anomalien der zugrunde liegenden Daten.

Die rasante Digitalisierung der letzten Jahrzehnte zeigt die Notwendigkeit eines solchen Konzepts im Umgang mit Daten. So hat sich gemäß Moore'schem Gesetz[24] die Transistordichte in elektronischen Komponenten zwischen 1965 und 2020[25] etwa alle zwei Jahre verdoppelt. Die Leistung von modernen Supercomputern liegt im ExaFLOP-Bereich[26, 27] und Smartphones haben mehr Rechenleistung als den Apollo-Mondmissionen der späten 1970er Jahre zur Verfügung stand. Im internationalen Vergleich liegt Deutschland auch in Sachen FDM im Mittelfeld: In Nordamerika müssen Forschungsprojekte in naher Zukunft FDM-Konzepte vorlegen, während in anderen EU-Ländern viel stärker mit offenen Lizenzen gearbeitet wird als hierzulande[28]. Sowohl die deutliche Zunahme der zur Verfügung stehenden Rechenleistung und der Datenmengen als auch mindestens vergleichbare Bestrebungen im internationalen Vergleich zeigen, dass ein neuer Umgang mit Forschungsdaten erforderlich ist.

Die NFDI riskiert in ihrer aktuellen Struktur aus voneinander weitgehend unabhängigen Konsortien der Einzeldisziplinen, eine absehbare Entwicklung nicht ausreichend vorweg zu nehmen. Die Querschnittsaspekte der Konsortien der einzelnen Disziplinen – von Überlegungen zum wissenschaftstheoretischen Hintergrund über die konkrete Umsetzung einer FDM-Infrastruktur bis zu tragfähigen Konzepten zur digitalen Transformation in der Breite der akademischen Community und der Gesellschaft als Ganzem – müssten stärkere Berücksichtigung finden. Zum jetzigen Zeitpunkt hätte das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) die Chance diese Prozesse mit zusätzlichen Mitteln anzustoßen und den Wissenschaftsstandort Deutschland in Sachen Digitalisierung wieder in eine Führungsrolle zu bringen.

Derart tiefgreifende Veränderungen sind nicht in der Breite realisierbar, wenn sie allein von den NFDI-Konsortien umgesetzt werden sollen. Stattdessen können alle zukünftigen Forschenden mit deutlich geringerem Aufwand schon im Studium erreicht werden, wie oben im Fall des physikalischen Grundpraktikums skizziert. Dabei muss gewährleistet werden, dass alle Studierenden, die das Grundpraktikum absolvieren, in gleichem Maße von den Neuerungen profitieren. Insbesondere für Studierende, die das Praktikum im Nebenfach oder als Importmodul absolvieren, muss ebenfalls ein Mehrwert entstehen, etwa durch die Betonung methodischer anstatt fachlicher Kompetenzen. Mit dieser Schwerpunktsetzung wird ein transdisziplinärer Arbeitsansatz implizit mit gestärkt, bei dem, im Gegensatz etwa zur interdisziplinären Forschung, der Gegenstand der Forschung

und die verwendeten Methoden ins Zentrum rücken und die unterschiedlichen Sichtweisen einzelner Disziplinen in den Hintergrund treten. Voraussetzung hierfür ist die strukturelle Integration von FAIRem FDM in die Lernziele von Studiengängen und in möglichst verschiedene Module im gesamten Studium.

5.4. Ein Realitätscheck

Die gesetzlichen Regelungen sehen vor, dass die Qualifikationsziele von Studiengängen dem Abschlussniveau entsprechen und zu einer wissenschaftlichen Tätigkeit bzw. einer qualifizierten Erwerbstätigkeit befähigen[29]. Insbesondere folgt daraus, dass in der Studiengangentwicklung nicht nur der Status quo Berücksichtigung finden muss, sondern auch absehbare Entwicklungen der kommenden Jahre vorweggenommen werden müssen.

Typische Physikstudiengänge sind sehr stark inhaltsbasiert konzipiert – es werden die traditionellen Themen Mechanik, Elektrodynamik, Optik, Quantenmechanik, etc. gelehrt. Die meisten Studiengänge sind auf den Empfehlungen der Konferenz der Fachbereiche Physik (KFP) zum Bachelor- und Masterstudium[30] von 2010 bzw. dem vorhergehenden Papier zur Umstellung der früheren Diplomstudiengänge[31] von 2005 aufgebaut, die sich wiederum auf eine lange Tradition der inhaltlichen Gestaltung von Physikstudiengängen berufen. In der Astronomie oder Teilchenphysik sind Experimente häufig zu groß und kostenintensiv, um sie an anderer Stelle nachzubauen. So kommt beim ATLAS-Experiment am CERN bereits eine FDM-Lösung zum Einsatz[32]. Hier werden kontinuierlich Daten akkumuliert und damit die statistische Signifikanz der Messungen verbessert. Ähnliche Repositorien sind z.B. mit dem MAST-Archiv[33] in der Astronomie etabliert. Das Verfügbarmachen experimenteller Rohdaten ist hier von entscheidender Bedeutung, damit die Datenanalyse vollständig nachvollziehbar ist und somit ein Mindestmaß an Reproduzierbarkeit gewährleistet werden kann.

Diese Beispiele zeigen, dass sich die Rahmenbedingungen des Physikstudiums und des Forschungsalltags fundamental verändert haben. Allerdings scheint dies bisher keine wesentliche Veränderung der Art, wie Physik in Schule und Hochschule unterrichtet wird, bewirkt zu haben. Man muss fragen, ob die Ziele physikalischer Bildung nicht mittlerweile an den gesellschaftlich relevanten Themen vorbeigehen. Eine digitale und interaktive Gestaltung der Praktika, sodass Studierende neben der Arbeit mit Daten auch die Entwicklung experimenteller Aufbauten erlernen, ist dringend notwendig. Außerdem wäre eine Nutzung – bevorzugt quelloffener und frei lizenzierter – digitaler Tools, die dazu geeignet sind, kollaboratives und studierendenzentriertes Lernen zu fördern, wünschenswert. Damit würde auch die gesetzlich vorgesehene kompetenzorientierte Überprüfung von Lernzielen[29] deutlich vereinfacht.

5.5. Die niedrig hängenden Früchte

Die tiefer gehenden Aspekte von FDM-Systemen bedeuten weitreichende Umstrukturierungen in Forschung und Lehre. Allerdings können, wie bereits am Beispiel des physikalischen Grundpraktikums beschrieben, erste Schritte sehr leicht gegangen werden. Etwa könnten Studierendengruppen leicht unterschiedliche Versuche durchführen, ihre Messdaten miteinander teilen und dann jeweils eine Auswertung unter Berücksichtigung aller Messdaten anfertigen, ohne dass die Bewertung der individuellen Leistungen der Studierenden im prüfungsrechtlichen Sinne beeinträchtigt wäre. Hierbei wird nicht nur wie bisher das Experimentieren und Protokollieren der Ergebnisse erlernt, sondern auch das Aufbereiten der eigenen und der Umgang mit fremden Daten. Darüber hinaus sollte ein kritischer Umgang mit den eigenen Daten hinsichtlich der Ursachen von statistischen und systematischen Abweichungen, der Überprüfung theoretischer Erwartungen, und der Aussagekraft der durchgeführten Messreihen gefördert werden.

Weiter könnten alleinstehende Module, beispielsweise in Master-Studiengängen im Wahl- oder Wahlpflichtbereich, geschaffen werden. Dies öffnet die Möglichkeit, in der Konzeption und Durchführung des Moduls verschiedene Disziplinen zu beteiligen und deren jeweilige Rezeption von Forschungsdaten zu berücksichtigen und gleichzeitig übergreifende Konzepte wie FDO, Repositorien, Metadaten und die FAIR-Prinzipien zu thematisieren. Soweit diese auf konkrete, interdisziplinäre Beispiele angewendet werden, wird in einem solchen Modul sehr einfach eine objekt- und methodenbasierte, transdisziplinäre Arbeitsweise vermittelt. Für Promovierende und Forschende in den ersten Karriereabschnitten können passende Angebote in Form von Summer Schools geschaffen werden. Diese sollten sowohl fachspezifische Inhalte als auch Querschnittsthemen im zuvor beschriebenen Sinne beinhalten.

Entsprechend der vorzunehmenden Änderungen müssen die vorgesehenen Lernziele angepasst und um entsprechende digitale und datenspezifische Kompetenzen und Qualifikationsziele erweitert werden. Das „Hochschulforum Digitalisierung“ hat dazu unter Beteiligung der Hochschulrektorenkonferenz (HRK) ein Diskussionspapier[34] vorgelegt. Nach Abschlussniveaus gestufte Vorschläge der ZaPF zur Integration von FDM-Inhalten in Physikstudiengänge[35] werden zeitnah veröffentlicht. Auf dieser Basis können im nächsten Akkreditierungszyklus entsprechende Lernziele in Studiengänge integriert werden.

Auf diese Weise entsteht ein Bewusstsein für einen FAIRen Umgang mit Daten. Gleichzeitig wird mit niedrigem Aufwand ein großer Personenkreis erreicht. Dies wird auch die langfristigen Ziele der NFDI – die Schaffung breit angelegter Repositorien

und Data Lakes – deutlich vereinfachen, da der erste Schritt zu einem systematischen FDM bereits getan ist. Vor allem aber können Studierende und Forschende durch eine vereinfachte Kontrollmöglichkeit ihrer eigenen Ergebnisse und bessere Nachvollziehbarkeit und Weiternutzbarkeit von Publikationen unmittelbar von zitierbaren Datensätzen und deren vereinfachter Vergleichbarkeit profitieren.

6. Weitere Informationen

Weitere Infos zum Studienreformforum und seinen Aktivitäten sowie ältere Beiträge finden sich auf der zugehörigen Webseite:

www.studienreform-forum.de

7. Literatur & Anmerkungen

- [1] <https://studienreform-forum.de/de/forum-2020/call-papers-2020/> (Stand: 5/2021)
- [2] BRACKERTZ, Stefan et al. (2019). Forum Studienreform. In: PhyDid B – Didaktik der Physik – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung 2019.
- [3] https://www.youtube.com/watch?v=kNVKX-KUIRKY&list=PLxBGoo9cyo3-gl0SC_7TUfl-Z8jFiCXtOT (Stand 28.1.2020)
- [4] F.-J. Schmitt, T. Schönemann, F. Kruse, F. Egbers, S. Delitzscher, J. Weissenborn, A. Aljanazrah, T. Friedrich (2015): Targeted Inversion of the Tutorials in “Mathematics for Chemists”, A Case Study, Association for the Advancement of Computing in Education (AACE), 2015/4, 191-200 (2015) (Stand 28.01.2020)
- [5] F.-J. Schmitt, F. Kruse, F. Egbers, S. Delitzscher, T. Schönemann, B. Theis, S. Wilkening, M. Moldenhauer, R. Wiehe, M. Willoweit, C. Keuer, A. Aljanazrah, T. Friedrich (2017): Effectiveness of Using Interactive Targeted Inverted (IGT)–Education on Students’ Learning at the Technische Universität Berlin, Society for Information Technology & Teacher Education International Conference, 2146-2153 (2017), (Stand 28.01.2020)
- [6] A. Aljanazrah, F.-J. Schmitt, T. Friedrich, Evaluation of the use of flipped classroom based tutorials in “mathematics for chemists” course from students’ perspective, Research Highlights in Education and Science 150 (2017), (Stand 28.01.2020)
- [7] F. Schmidt, F.-J. Schmitt, L. Böger, A. Wilhelm-Weidner, N. Torjus, Digital Teaching and Learning Projects in Engineering Education at Technische Universität Berlin, ASEE 2019 Conference Proceedings (2019) (Stand 28.1.2020)
- [8] F.-J. Schmitt, C. Schröder, Z. Yenice Campbell, S. Wilkening, M. Moldenhauer, T. Friedrich, Self-dependent students in transdisciplinary projects tend to higher interest in sustainability research, Education Excellence for Sustainable Development, SEFI Annual Conference 2017, 25-32, (Stand 28.01.2020)
- [9] F.-J. Schmitt, Z. Yenice Campbell, H.-J. Schwab, M. Weinkauf, C. Schröder, Forschendes Lernen in der Studieneingangsphase – die Projektlabore im Orientierungsstudium MINT-grün Greifswalder Beiträge zur Hochschullehre, Okt. 2018, S. 75 ff.
- [10] F.-J. Schmitt, Z. Yenice Campbell, J. Lefebvre, F. Graeger, S. Frielingsdorf, N. Budisa Studierendenzentrierte Projekte nach dem Prinzip des forschenden Lernens stiften hohe Motivation, Proceedings des MINT Symposiums Nürnberg, 26./27.9.2019
- [11] vergl. z.B. Niclas Schaper: „Prüfungsanforderungen und -praxis nach Bologna“ In: Forschung & Lehre 10/2017, <https://www.forschung-und-lehre.de/pruefungsanforderungen-und-praxis-nach-bologna-155/>, zuletzt abgerufen am 22.5.2021
- [12] vergl. z.B. „Faires Prüfen – Validität, Reliabilität und Objektivität“ Hochschuldidaktisches Infoportal der TU Darmstadt, https://www.einfachlehren.tu-darmstadt.de/themensammlung/details_8960.de.jsp, zuletzt abgerufen am 22.5.2021
- [13] vergl. z.B. exemplarisch: Kiehl C, Simmenroth-Nayda A, Goerlich Y, Entwistle A, Schiekirka S, Ghadimi BM, Raupach T, Koenig S. Standardized and quality-assured video-recorded examination in undergraduate education: informed consent prior to surgery. J Surg Res. 2014 Sep;191(1):64-73. doi:10.1016/j.jss.2014.01.048. Epub 2014 Jan 30. PMID: 24746952
- [14] „Studierendenstress in Deutschland – eine empirische Untersuchung“ AOK-Bundesverband (2016), III, 80 S., https://web.archive.org/web/20200725065947/https://www.ph-ludwigsburg.de/uploads/media/AOK_Studie_Stress.pdf, zuletzt abgerufen am 14.8.2021
- [15] <https://www.onlinequestions.org/> (Stand 5/2021)
- [16] eosc-portal.eu/about/eosc (zuletzt abgerufen am 26.5.2021)
- [17] www.dfg.de/foerderung/programme/nfdi (zuletzt abgerufen am 26.5.2021)
- [18] Wilkinson, M., Dumontier, M., Aalbersberg, I. et al. The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship. Sci Data 3, 160018 (2016). doi.org/10.1038/sdata.2016.18 (zuletzt abgerufen am 26.5.2021)
- [19] De Smedt, K., Koureas, D., & Wittenburg, P. (2020). FAIR digital objects for science: from data pieces to actionable knowledge units. Publications, 8(2), 21.
- [20] Positionspapier zu FAIR und Open Data im physikalischen Praktikum, ZaPF, 2020 [zapfev.de/resolutionen/wise20/opendata/opendata.pdf](https://www.zapfev.de/resolutionen/wise20/opendata/opendata.pdf) (zuletzt abgerufen am 26.5.2021)

- [21] DOI Handbook, dx.doi.org/10.1000/182 (zuletzt abgerufen am 26.5.2021)
- [22] Zenodo Open Library, OpenAIRE/CERN zenodo.org (zuletzt abgerufen am 26.5.2021)
- [23] Open Science Framework, Center for Open Science osf.io (zuletzt abgerufen am 26.5.2021)
- [24] G. E. Moore, Cramming more components onto integrated circuits, Reprinted from Electronics, volume 38, number 8, April 19, 1965, pp.114 ff., in IEEE Solid-State Circuits Society Newsletter, vol. 11, no. 3, pp. 33-35, Sept. 2006, dx.doi.org/10.1109/N-SSC.2006.4785860 (zuletzt abgerufen am 26.5.2021)
- [25] Ob Moore's Gesetz noch gilt und wie lange es Gültigkeit behalten wird ist umstritten, siehe z.B. arxiv.org/abs/1511.05956 (zuletzt abgerufen am 26.5.2021)
- [26] FLOP: floating point operation per second – Anzahl and Rechenoperationen pro Sekunde. 1 ExaFlop = 10¹⁸ FLOP
- [27] T. Ishikura, No contest: Japan's Fugaku again fastest supercomputer, The Ashai Shimbun, 2020, www.asahi.com/ajw/articles/13938448 (zuletzt abgerufen am 26.5.2021)
- [28] RfII – Rat für Informationsinfrastrukturen, Entwicklung von Forschungsdateninfrastrukturen im internationalen Vergleich, Göttingen (2017). rfii.de/?p=2346(zuletzt abgerufen am 26.5.2021)
- [29] Studienakkreditierungsstaatsvertrag Art. 2 Abs (3), www.akkreditierungsrat.de/sites/default/files/downloads/2019/Studienakkreditierungsstaatsvertrag.pdf (zuletzt abgerufen am 26.5.2021)
- [30] www.kfp-physik.de/dokument/KFP_Handreichung_Konzeption-Studiengaenge-Physik-101108.pdf (zuletzt abgerufen am 26.5.2021)
- [31] www.kfp-physik.de/dokument/Empfehlungen_Ba_Ma_Studium.pdf (zuletzt abgerufen am 26.5.2021)
- [32] ATLAS Open Data, atlas.cern/resources/open-data (zuletzt abgerufen am 26.5.2021)
- [33] Mikulski Archive for Space Telescopes (MAST), archive.stsci.edu/about-mast (zuletzt abgerufen am 26.5.2021)
- [34] Hochschulforum Digitalisierung. 20 Thesen zur Digitalisierung der Hochschulbildung, Arbeitspapier Nr. 14, Berlin, 2015. hochschulforumdigitalisierung.de/sites/default/files/dateien/HFD-AP-Nr-14-Diskussionspapier.pdf (zuletzt abgerufen am 26.5.2021)
- [35] Einbindung von Forschungsdatenmanagement in der Lehre, ZaPF, 2021. zapfev.de/resolutionen/sose21/fdm/fdm.pdf (zuletzt abgerufen am 26.5.2021)

Teacher identity von MINT-Lehrkräften: - Explorative Studie zur Selbst- und Fremdwahrnehmung -

Philipp Bitzenbauer* und Joaquin Veith⁺

*FAU Erlangen-Nürnberg, Professur für Didaktik der Physik, ⁺ Stiftungsuniversität Hildesheim, Institut für Mathematik und angewandte Informatik
philipp.bitzenbauer@fau.de

Kurzfassung

Die Unterrichtspraxis in allen Fächern wird maßgeblich durch das Selbstverständnis und die Persönlichkeit von Lehrkräften bestimmt. Mit dem Begriff *teacher identity* ist der Versuch verbunden, diese beiden Aspekte zusammenzuführen, allerdings existiert eine anhaltende Debatte über eine praxistaugliche Definition dieses Begriffs. Wir greifen diese Problematik auf und leiten aus der Literatur eine mögliche Operationalisierung des Konstrukts ab und zwar durch Unterscheidung verschiedener Narrative, die die Selbst- und Fremdwahrnehmung von Lehrkräften betreffen. Die Ergebnisse einer ersten explorativen Studie mit N = 89 Lehrkräften an fünf Gymnasien zur Selbst- und Fremdwahrnehmung von MINT-Lehrkräften deuten darauf hin, dass die Definition des Konstrukts *teacher identity* via Selbst- und Fremdwahrnehmungen, für zukünftige empirische Forschung in diesem Bereich fruchtbar sein kann.

1. Einleitung

Lehrkräfte sind nicht nur für den Lernfortschritt ihrer Schülerinnen und Schüler entscheidend [1]. Sie vermitteln neben Wissen gleichermaßen Aspekte ihrer eigenen Identität, wie etwa Überzeugungen und Werte. Lehrkräfte unterrichten aus ihrem Selbstverständnis heraus, oder anders ausgedrückt, die Identität von Lehrkräften beeinflusst ihren Unterricht maßgeblich [2]. Sowohl für die Beforschung von Prozessen in der Unterrichtspraxis [3] als auch in der beruflichen Weiterbildung [4] spielt daher der Begriff *teacher identity*¹ eine entscheidende Rolle: mitunter wird *teacher identity* gar als eine Art Linse beschrieben, um Bildungs- und Erziehungsprozesse aufzudecken [5-8], was auf die weitreichende Bedeutung des Konstrukts *teacher identity* auch für die Physikdidaktik hinweist. Schließlich nimmt eine Lehrperson als Individuum immer eine spezifische Haltung zu curricularen Bestimmungen und den entsprechenden Lehrinhalten ein. Dies zeigt sich unter anderem in der Verschiedenartigkeit von Unterrichtskonzepten verschiedener Lehrkräfte (und auch Fachdidaktiker) zu einem Thema [9].

Die individuelle Haltung einer Lehrperson beeinflusst auch ihr Verhalten. Dieses Lehrerverhalten wird sowohl von Schülerinnen und Schülern als auch von Kolleginnen und Kollegen direkt wahrgenommen. Auf diese Weise entsteht ein bestimmtes Bild von der Lehrkraft (Fremdwahrnehmung), das oft

stark von der Eigenwahrnehmung der Lehrperson abweicht. In einer kurzen Literaturübersicht zeigen wir, dass diese Beobachtung bereits bestehende Definitionsversuche für das Konstrukt der Identität im Allgemeinen und der *teacher identity* im Speziellen beeinflusste. Der Vergleich verschiedener - primär theoretischer - Abhandlungen zu diesem Thema aus der Literatur zeigt, dass für die Definition dieses Konstrukts die Fremd- und Eigenwahrnehmung von Lehrkräften gemeinsam zu betrachten sind. Wir schlagen basierend auf diesem Befund eine Definition des Konstrukts *teacher identity* vor und berichten die Ergebnisse einer ersten explorativen Studie zur Selbst- und Fremdwahrnehmung von MINT-Lehrkräften, an der N = 89 Lehrkräfte von fünf Gymnasien teilgenommen haben. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Definition des Konstrukts *teacher identity* via Selbst- und Fremdwahrnehmungen für zukünftige empirische Arbeiten in diesem Bereich fruchtbar sein kann.

2. Teacher identity

2.1. Forschung zu *teacher identity*

In zahlreichen Arbeiten wurde *teacher identity* diskutiert [5-6, 10-13]. Allerdings untersuchen lediglich 28% der zwischen 1997 und 2004 zu diesem Thema publizierten Arbeiten konkret die Identität praktizierender Lehrkräfte und mehr als die Hälfte aller Studien konnten lediglich Stichproben von weniger als zehn Teilnehmenden vorweisen [5]. Es existiert also

¹ Wir behalten hier den englischen Ausdruck bei, weil keine deutsche Übersetzung die gesamte Bedeutung, die dem Terminus in der Literatur zugeordnet wird, zu erfassen vermag.

ein Mangel an Studien, die tatsächlich mit praktizierenden Lehrkräften und größeren Stichproben durchgeführt werden.

2.2. Literaturübersicht zu teacher identity

Einem Literaturreview von Graven und Heyd-Metzuyanin zufolge ist die zentrale Kritik an der Identitätsforschung das Fehlen von Kohärenz in der Beschreibung von Identität: "By far, the most prevalent critique of identity research has been the vagueness of the 'identity' concept and the lack around its operationalization." [10, S. 363].

Ein genauerer Blick auf die verschiedenen Konzeptualisierungen der teacher identity von MINT-Lehrkräften wird von Avraamidou [12] präsentiert. In einem Übersichtsartikel von Lutovac und Kaasila [6] werden 40 Studien über teacher identity analysiert, die zwischen 2000 und 2015 veröffentlicht wurden. Die Autoren dieser Arbeit kamen zu dem Schluss, dass Identität ein komplexes Konstrukt ist, unter dem viele andere komplexe Konstrukte subsumiert sind und dessen Definition daher nicht in einem einzigen Satz zusammengefasst werden kann.

Trotz der zahlreich geäußerten Kritik besteht das Problem einer sauberen Definition weiterhin. Grootenboer und Ballantyne [1, S. 225] argumentieren etwa "teacher identity incorporates their personal knowledge, beliefs, values, emotions and practices about teaching, about the disciplines they are teaching, and about themselves as educators" und schlussfolgern weiter "it includes what teachers think and do, but it also encompasses their sense of who they are." [1, S. 225]. Van Zoest und Bohl [16] beispielsweise beschrieben den Begriff Identität unter Verwendung ähnlicher Begriffe und postulieren, dass sich Identität in unseren eigenen Köpfen und in den Köpfen anderer entwickelt, während wir mit ihnen interagieren. Diese Auffassung des Identitätskonstrukts umfasst also neben Eigenwahrnehmungen (Werte, Überzeugungen, Wünsche, Motivationen, Selbstidentifikationen) sowohl die Fremdwahrnehmung als auch die eigene Wahrnehmung der Fremdwahrnehmungen. Mitunter wird in anderen Arbeiten auch vorgeschlagen, diese Konzepte klar zu trennen und insbesondere affektive Aspekte aus der Definition von Identität auszuschließen [17-19]. Einen Überblick über die drei primär in der Literatur vertretenen Identitätsbegriffe liefert Fellus [20].

In einer sehr einflussreichen Arbeit von Gee [21] wird teacher identity als die Art und Weise beschrieben, wie Lehrkräfte sich selbst sehen und von anderen anerkannt werden. Dies geht einher mit der Konzeptualisierung von Sfard und Prusak, die Identität beschreiben als "collections of stories about persons or, more specifically, as those narratives about individuals that are reifying, endorsable and significant" [7, S. 11]. Die darin auftretenden Attribute reifying, endorsable und significant verstehen die Autorinnen dabei wie folgt:

- *Reifying*: Sfard und Prusak [7] argumentierten, dass sich Identität im Laufe der Zeit verändert und durch die Interaktion mit der Umwelt kontinuierlich geformt wird. Daher kann die Beschreibung einer Person niemals zeitgebunden operationalisiert werden, sondern ist stattdessen auf messbare Konstrukte zu beziehen. Anstatt zu sagen, dass jemand ein begabter Schüler sei, wäre es in den Augen von Sfard und Prusak [7] demnach angemessener zu sagen, dass jemand bei den meisten Schultests konstant – etwa über einen längeren Zeitraum - weit über dem Durchschnitt performt.
- *Endorsable*: Ein Narrativ über eine Person gilt als endorsable, wenn sie den aktuellen Zustand einer Person ihrer eigenen Einschätzung nach gemäß getreu widerspiegelt.
- *Significant*: Eine Narrativ wird als significant angesehen, wenn jede Veränderung die Gefühle des Erzählers gegenüber der identifizierten Person beeinflussen kann.

Da sich die Narrative, d.h. die Geschichten, über eine Person unterscheiden können, nämlich abhängig davon, wer sie erzählt und wer der Rezipient bzw. der Protagonist der Geschichte ist, etablieren Sfard und Prusak das Symbol ${}_B A_C$, um die spezifische Art des Narrativs zu fassen: dabei steht A für die identifizierte Person, B für den Autor der Geschichte und C für den Rezipient. Damit wird u.a. berücksichtigt, dass es Geschichten geben kann, die jemand über sich selbst erzählt, die aber nicht ausgelebt und somit von anderen nicht gesehen werden können oder umgekehrt. Es ist wichtig, darauf hinzuweisen, dass diese Geschichten sich natürlich in Qualität und Detailtreue stark unterscheiden und damit zwangsläufig von der Autorin oder dem Autor abhängen. Wir halten es daher für notwendig in empirischen Studien zur teacher identity jeweils exakt zu beschreiben, welches Narrativ dabei genau von Interesse ist. Ferner erscheint es sogar notwendig im Rahmen empirischer Studien, Einblicke in die verschiedenen Sichtweisen, sprich Narrative, zu erhalten. Um dieser Forderung Rechnung tragen zu können, sind nicht zuletzt Studien mit größeren Stichproben notwendig, als dies bisher der Fall war (vgl. Kapitel 2.1).

2.3. Definition und Operationalisierung des Konstrukts teacher identity – ein (weiterer) Versuch

Wie kann nun eine Definition des Konstrukts teacher identity aussehen, welche die Bedingungen von Sfard und Prusak [7] erfüllt (vgl. Kapitel 2.1) und die gleichzeitig im Rahmen empirischer Studien eine praxistaugliche Operationalisierung von teacher identity ermöglicht?

Identität im Sinne von Sfard und Prusak wird charakterisiert dadurch, dass Menschen sich selbst oder andere wahrnehmen und folglich Geschichten erzählen

bzw. Bilder erwachsen lassen [7]. Noch viel mehr betonen Sfard und Prusak aber, dass Identität und diese Wahrnehmungen genau das Gleiche sind [7]. Demnach wäre die Identität einer Person die Summe ihrer Selbstwahrnehmung und aller ihrer Fremdwahrnehmungen durch alle anderen Personen. Diese Identifikation von Identität mit Selbst- und Fremdwahrnehmungen macht es möglich, Identität und damit konkret auch teacher identity als beobachtbares Konstrukt zu untersuchen. Während viele Studien zur Identität sehr stark auf die $_{AC}$ -Narrative, also die sogenannte Selbstwahrnehmung, fokussieren, bleibt der Einbezug der Fremdwahrnehmungen, also der $_{BC}$ -Narrative, oft aus. Darragh [5] beschreibt diesen Ansatz als sogenannte partizipative Identität, also eine solche, die durch Teilnahme und Engagement in einer sozialen Gruppe konstruiert wird und führt diesen Begriff auf Wengers Arbeit "Communities of practice" [14, 15] zurück.

Lutovac und Kaasila [6] erwähnen weiterhin einen wichtigen Aspekt, der den Vorschlag der Identifikation des Konstrukts Identität mit der Menge aller Selbst- und Fremdwahrnehmungen von Sfard und Prusak [7] noch weiter bekräftigt: Lutovac und Kaasila [6] weisen nämlich auf einen Mangel an Vergleichen zwischen individueller und sozialer Dimension bei der Erforschung von Identität hin. Da die Art und Weise, wie eine Lehrkraft sich selbst wahrnimmt und wie andere sie wahrnehmen, sehr unterschiedlich sein kann, ermöglicht eine Verbindung der Arbeit von Sfard und Prusak [7] mit der von Lutovac und Kaasila [6] ein umfassenderes Bild über das Konstrukt Identität: "Although an individual's identity is greatly shaped by the social context in which he or she evolves, we believe that by neglecting the individual, i.e. how one thinks and feels and who one is, is at odds with the core concept of identity itself" [6, S. 8].

Lutovac und Kaasila [6] fordern eine explizitere Beforschung von Emotionen in der teacher identity von Mathematiklehrkräften und legen dabei insbesondere Wert auf die Verbindungen zwischen Emotionen und Identität.

Auch wenn es letztlich unterschiedliche Interpretationen dessen gibt, was Identität und damit teacher identity ist oder sein sollte, stimmen die meisten Ansätze darin überein, dass es sich um ein zeitlich veränderliches Konstrukt handelt [9, 12, 22, 23]: "[...] identity is constructed in a social context and rather than being stable and fixed it is shifting and dynamic" [24, S. 326].

3. Forschungsfrage

Wir übernehmen die Definition des Konstrukts teacher identity von Sfard und Prusak [7], d.h. die Identifikation von teacher identity mit Selbst- (first-person narrative) und Fremdwahrnehmungen (third-person narrative) und berücksichtigen damit die Forderung von Lutovac und Kaasila, bei der Untersuchung von teacher identity sowohl die individuelle als auch die soziale Dimension einzubeziehen [6], vgl. Abb. 1.

Mit einer ersten explorativen Studie wollen wir das Potential dieser Auffassung von teacher identity für die Operationalisierung des Konstrukts untersuchen. Wir versuchen also, die folgende Forschungsfrage zu klären: Ist die Definition der teacher Identity nach Sfard und Prusak [7] dazu geeignet, die Forschung zu teacher identity in empirischen Studien mit größeren Stichproben als in bisherigen Studien (vgl. Kapitel 2.1) zu untersuchen?

4. Studiendesign

Die Beforschung der teacher identity von MINT-Lehrkräften erscheint für aktuelle Fragen der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung bedeutsam, etwa mit Blick auf das Image der MINT-Fächer oder hinsichtlich gendersensiblen Unterrichts.

Wir konzentrierten uns deshalb auf die Unterscheidung zwischen MINT- und nicht-MINT-Lehrkräften², um im Rahmen einer ersten explorativen Studie deutlich zwischen Selbst- und Fremdwahrnehmung kontrastieren zu können.

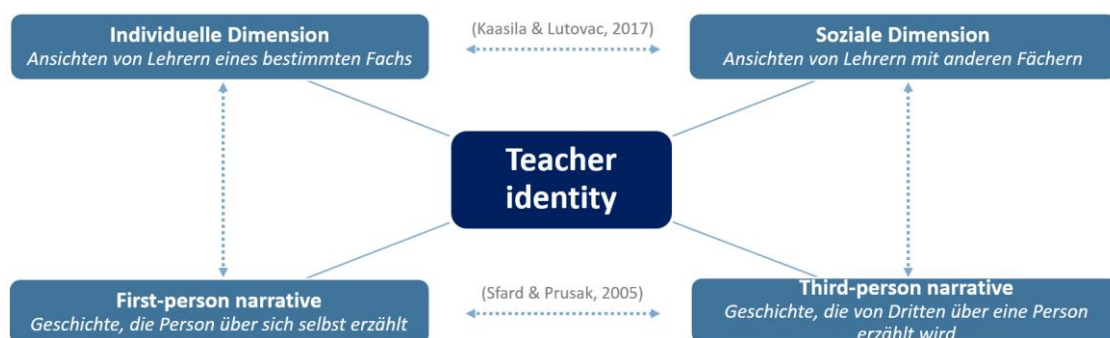


Abb. 1: Teacher identity definiert über 1st (Selbstwahrnehmung) und 3rd Person Narratives (Fremdwahrnehmung) zur Berücksichtigung individueller und sozialer Dimensionen.

² Die Lehrkräfte wurden nach ihrer Fächerkombination gefragt und gebeten das Fach zu benennen, mit dem sie sich stärker persönlich identifizieren. Anhand dieses Fachs wurden die Lehrkräfte entweder

der Kohorte der MINT- oder der Kohorte der nicht-MINT-Lehrkräfte zugeordnet, falls sie nicht anhand beider studierter Fächer bereits einer Gruppe eindeutig zugeordnet werden konnten.

Um der Anforderung gerecht zu werden, sowohl die Selbst- ($_{AAC}$ – Narrative) als auch die Fremdwahrnehmung ($_{BAC}$ – Narrative) von Lehrkräften bei der Untersuchung der teacher identity von MINT-Lehrkräften zu berücksichtigen, wurde eine Fragebogenstudie durchgeführt. In diesem ersten Schritt zielten wir darauf ab, uns dem Konstrukt der teacher identity mit Hilfe von Eigenschaften, d.h. Adjektiven, zu nähern, die die teilnehmenden Lehrkräfte sich selbst (AAC) bzw. ihren Kolleginnen und Kollegen anderer Fächer (BAC) zuordnen.

4.1. Fragebogenkonstruktion

Die Konstruktion des Fragebogens basiert auf dem Modell der Persönlichkeitsstruktur von Andresen [25], der das bekannte Fünf-Faktoren-Modell "Big Five" [26] um eine sechste Persönlichkeitsdimension erweiterte (vgl. Tab. 1). Mit dem Hamburger Persönlichkeitsinventar (HPI) [27] gibt es ein umfassend pilotiertes Instrument zur Erfassung der sechs Grunddimensionen der Persönlichkeit. Dieses ermöglicht jedoch nur Einblick in die Selbstwahrnehmung einer Person, im Kontext unseres theoretischen Rahmens also nur in AAC – Narrative.

Wir stellen stattdessen in unserem Fragebogen eine große Anzahl von Adjektiven zur Verfügung und die Teilnehmenden konnten diese Adjektive sowohl MINT-Lehrkräften (Mathematik, Physik, Chemie, Biologie oder Informatik) als auch nicht-MINT-Lehrkräften binär zuordnen.

Wir argumentieren, dass die Adjektive, die Lehrkräfte sich selbst und ihren Kollegen und Kolleginnen in anderen Fächern zuschreiben, einen ersten umfassenden Einblick in deren Selbst- und Fremdwahrnehmungen ermöglichen. Die Adjektive wurden in enger Zusammenarbeit mit Didaktikern und Pädagogen für alle Persönlichkeitsdimensionen in einem mehrschrittigen Prozess ausgewählt: Um die Persönlichkeitsdimensionen inhaltlich valide abzudecken und dennoch ökonomisch erheben zu können, wurden zunächst mit Hilfe einer Expertenbefragung von $N = 4$ Pädagogen und Didaktikern Adjektive für jede Persönlichkeitsdimension gesammelt.

| Skala | Pol der Skala (Persönlichkeitsdimension) | Definition |
|--|--|---|
| Emotion, Befindlichkeit und Stimmungen | Extraversion, Lebhaftigkeit und Kontraktfreude | Positiv-valente Emotionalität (habituelle Befindlichkeit und Stimmung), dispositionelle Freude |
| | Nervosität, Sensibilität und emotionale Labilität | Negativ-valente Emotionalität (habituelle Befindlichkeit und Stimmung), dispositionelles „Leid“ |
| Kognition, Weltanschauung und Denkweisen | Kontrollierbarkeit und Normorientierung | Normative Orientierung, Konventionalität, Realitätsbezogenheit, Objektorientierung, Rigidität, Closed-Mindedness, Zwanghaftigkeit |
| | Offenheit für Erfahrungen | Alternative Orientierung, Individualität, Fantasie-bezogenheit, Subjektivität, Originalität, Open-Mindedness, Dissoziation/Absorption |
| Motivation, Verhalten und Bereitschaften | Risiko- und Kampfbereitschaft, Suche nach Wettbewerb | Offensiv-dominante Moral, „Maskuline“ Rollen und Interessen, Konkurrenzprinzip, Suche nach Abenteuer, mutiger Lebenswille (aber auch Selbstgefährdungstendenzen), Tough-Mindedness |
| | Altruismus, Fürsorglichkeit und Hilfsbereitschaft | Defensiv-submissive Moral, „Feminine“ Rollen und Interessen, Kooperationsprinzip, Suche nach Geborgenheit, helfende Lebensbewahrung (aber auch Selbstschädigungstendenzen), Tender-Mindedness |

Tab. 1: Sechsfaktorielles Modell zur Persönlichkeitsstruktur aus [27, S. 189].

In einem zweiten Schritt wurde eine Häufigkeitsanalyse der in der Expertenbefragung vorgeschlagenen Adjektive für jede Persönlichkeitsdimension durchgeführt. Dabei wurden diejenigen zwei bis vier Adjektive pro Persönlichkeitsdimension in unseren Fragebogen aufgenommen, die a) von allen Experten vorgeschlagen wurden und b) mit den Definitionen des von uns verwendeten Persönlichkeitsmodells übereinstimmten. Letztendlich ergaben sich daraus die folgenden 18 Adjektive, die den Teilnehmenden auf unserem Fragebogen zur Zuordnung zu MINT- oder nicht-MINT- Lehrkräften vorgelegt wurden:

| Skala | Persönlichkeitsdimension | Adjektive im Fragebogen |
|--|---|---|
| (I) Emotion, Befindlichkeit und Stimmungen | 1. Extraversion, Lebhaftigkeit und Kon-taktfreude | fröhlich, zugänglich, extrovertiert, selbstsicher |
| | 2. Nervosität, Sensibilität und emotionale Labilität | überfordert, aufbrausend, bekümmert, schüchtern |
| (II) Kognition, Weltanschauung und Denkweisen | 1. Kontrollierbarkeit und Normorientierung | kompetent, geduldig |
| | 2. Offenheit für Erfahrungen | offen, großzügig |
| (III) Motivation, Verhalten und Bereitschaften | 1. Risiko- und Kampfbereitschaft, Suche nach Wettbewerb | kleinkariert, ernst, herablassend |
| | 2. Altruismus, Fürsorglichkeit und Hilfsbereitschaft | fürsorglich, ausgeglichen, unnahbar |

Tab. 2: Die nach dem oben beschriebenen Verfahren gewonnenen Adjektive, jeweils verortet innerhalb des zugrunde liegenden Modells der Persönlichkeitsstruktur (vgl. Tab. 1).

Waren die Probanden also der Meinung, dass ein bestimmtes Adjektiv MINT- oder nicht-MINT-Lehrkräfte gut beschreibt, so konnten sie dieses Adjektiv der entsprechenden Lehrergruppe zuordnen. Andernfalls ordneten die Probanden das jeweilige Adjektiv der jeweiligen Lehrergruppe eben nicht zu. Ein Adjektiv konnte demnach also sowohl beiden Lehrergruppen (MINT- und nicht-MINT-Lehrkräften), nur einer der beiden Lehrergruppen, als auch keiner der beiden Lehrergruppen zugeordnet werden. Dabei ist klar, dass es intrapersonelle Unterschiede in der Bedeutung gibt, die die Probanden den einzelnen Adjektiven zuordnen. Für den einen Proband kann das Adjektiv *großzügig* im Kontext von Lehrkräften beispielsweise positiv konnotiert sein,

während es für den nächsten Probanden negativ besetzt sein kann. Wir argumentieren aber, dass bei vielen Adjektiven und Zuordnungen dennoch ein Eindruck darüber entsteht, welche Adjektive der jeweiligen Lehrergruppe häufiger zugeordnet werden. Auf diese Weise gleichen sich unterschiedliche Bedeutungen, die die Befragten den Adjektiven zuordnen, für eine größere Stichprobe aus. Die Assoziation der ausgewählten Adjektive mit den Dimensionen des vorgestellten Persönlichkeitsmodells (vgl. Tab. 1) ermöglicht letztlich erste qualitative Aussagen über die Selbst- und Fremdwahrnehmung und damit eine Annäherung an die teacher identity von MINT- und nicht-MINT-Lehrkräften.

Es ist notwendig zu betonen, dass mit dem in diesem Artikel vorgestellten Ansatz nicht die valide Erhebung des Konstrukts teacher identity verfolgt wird. Mit diesem explorativen Ansatz soll stattdessen untersucht werden, ob der Zugang zum Konstrukt teacher identity über die Identifikation mit Selbst- und Fremdwahrnehmungen vielversprechende Ergebnisse erzielen kann, um die empirische Forschung in diesem Bereich voranzutreiben.

4.2. Stichprobe

An der Studie nahmen insgesamt $N = 89$ Lehrkräfte aller Fächer von fünf bayerischen Gymnasien teil, wobei 58% der Befragten weiblich waren. Unter den Teilnehmenden befanden sich 31 Lehrkräfte für MINT Fächer und 58 Lehrkräfte für Nicht-Mint Fächer. Dabei hatten 25,3% fünf Jahre oder weniger Lehrerfahrung, 18,1% gaben 5-10 Jahre Berufserfahrung an, 34,9% sind seit 10-20 Jahren an einer Schule tätig und immerhin 21,7% sind seit mehr als 20 Jahren als Lehrkraft tätig.

4.3. Datenauswertung

Durchgeführt wurde eine Häufigkeitsanalyse der zugewiesenen Adjektive, getrennt für Zuweisungen an MINT- und nicht-MINT-Lehrkräfte. Zur graphischen Darstellung der Ergebnisse der Häufigkeitsanalyse wurden Word Clouds verwendet. Wir präsentieren vier solcher Word Clouds, weil sie gut geeignet sind, die Schwerpunkte der Zuordnungen der Teilnehmer visuell darzustellen, einmal für die MINT- und einmal für die nicht-MINT-Lehrkräfte [29]:

1. Zwei Word Clouds mit Adjektiven, die MINT-Lehrkräften zugeordnet wurden:
 - a) einmal von MINT-Lehrkräften selbst (Selbstwahrnehmung) und
 - b) einmal von nicht-MINT-Lehrkräften (Fremdwahrnehmung).
2. Zwei Word Clouds mit Adjektiven, die nicht-MINT-Lehrkräften zugeordnet wurden:
 - a) einmal von nicht-MINT-Lehrkräften selbst (Selbstwahrnehmung) und
 - b) einmal von MINT-Lehrkräften (Fremdwahrnehmung).

5. Ergebnisse

Tabelle 3 liefert einen Überblick über die Ergebnisse der Häufigkeitsanalyse. Für jedes im Fragebogen enthaltene Adjektiv ist der Prozentsatz eingetragen mit dem MINT-Lehrkräfte sich dieses selbst zu ordnen, bzw. der Prozentsatz mit dem nicht-MINT-Lehrkräfte das Adjektiv ihren MINT-Kollegen zuordnen bzw. umgekehrt.

Während in den Selbstzuschreibungen der MINT und nicht-MINT-Lehrkräfte Cluster für die gleichen Adjektive zu beobachten sind, unterscheiden sich die Fremdzuschreibungen deutlich von diesen Selbstwahrnehmungen. Zum Beispiel beschreiben sich sowohl MINT- als auch nicht-MINT-Lehrkräfte in ähnlichem Ausmaß als *fröhlich* (MINT: 24,3%, nicht-MINT: 20,0%), *zugänglich* (MINT: 24,3%, nicht-MINT: 24,0%), *geduldig* (MINT: 21,6%, nicht-MINT: 20,0%), *offen* (MINT: 24,3%, nicht-MINT: 22,0%) und *ausgeglichen* (MINT: 21,6%, nicht-MINT: 20,0%). Das Adjektiv *kompetent* findet sich ebenfalls in mehr als 20% der Selbsteinschätzungen, sowohl bei den MINT- als auch bei den nicht-MINT-Lehrkräften, wobei es hier einen deutlichen Unterschied gibt. Während 54,1% der befragten MINT-Lehrkräfte ihre eigenen Fachkollegen für *kompetent* halten, ist dies nur bei 22,0% der nicht-MINT-Lehrkräfte der Fall.

Die Adjektive, mit denen nicht-MINT-Lehrkräfte ihre MINT-Kolleginnen und Kollegen beschreiben, unterscheiden sich von dem, wie die MINT-Lehrkräfte sich selbst sehen: Während die nicht-MINT-Lehrkräfte ihre MINT-Kolleginnen und Kollegen überwiegend weder als *fröhlich* (14,0%), *zugänglich* (8,0%) oder *geduldig* (6,0%), noch als *offen* (6,0%) und *ausgeglichen* (10,0%) beschreiben, nehmen sie sie vor allem als *aufbrausend* (22,00%), *herablassend* (32,0%) und *distanziert* (34,0%) wahr.

Umgekehrt ergibt sich ein ähnliches Bild: Während die MINT-Lehrkräfte ihre nicht-MINT-Kolleginnen und Kollegen etwas weniger als *fröhlich* (16,2%), *geduldig* (13,5%), *kompetent* (18,9%) oder *ausgeglichen* (16,2%) beschreiben, beschreiben sie die nicht-MINT-Lehrkräfte in immerhin 21,6% der Fälle als *großzügig*.

Einen grafischen Überblick über die Selbst- und Fremdzuschreibungen der Adjektive von MINT- und nicht-MINT-Lehrkräften geben die Word Clouds in Abb. 2.

| Persönlichkeitsdimension | Adjektiv | MINT-Lehrkräfte | | nicht-MINT-Lehrkräfte | |
|--------------------------|---------------|---------------------|---|-----------------------|-------------------------------------|
| | | Selbstzuordnung [%] | Zuordnung durch nicht-MINT-Lehrkräfte [%] | Selbstzuordnung [%] | Zuordnung durch MINT-Lehrkräfte [%] |
| (I) 1. | fröhlich | 24.3 | 14.0 | 20.0 | 16.2 |
| | zugänglich | 24.3 | 8.0 | 24.0 | 27.0 |
| | extrovertiert | 8.1 | 2.0 | 8.0 | 2.7 |
| | selbstsicher | 32.4 | 24.0 | 6.0 | 18.9 |
| (I) 2. | überfordert | 2.7 | 2.0 | 12.0 | 10.8 |
| | aufbrausend | 5.4 | 22.0 | 0.0 | 8.1 |
| | bekümmert | 0.0 | 4.0 | 10.0 | 8.1 |
| | schüchtern | 5.4 | 4.0 | 14.0 | 0.0 |
| (II) 1. | kompetent | 54.1 | 36.0 | 22.0 | 18.9 |
| | geduldig | 21.6 | 6.0 | 20.0 | 13.5 |
| (II) 2. | offen | 24.3 | 6.0 | 22.0 | 27.0 |
| | großzügig | 8.1 | 0.0 | 18.0 | 21.6 |
| (III) 1. | kleinkariert | 24.3 | 26.0 | 2.0 | 8.1 |
| | ernst | 21.6 | 32.0 | 10.0 | 10.8 |
| | herablassend | 10.8 | 32.0 | 0.0 | 5.4 |
| (III) 2. | fürsorglich | 13.5 | 2.0 | 28.0 | 24.3 |
| | ausgeglichen | 21.6 | 10.0 | 20.0 | 16.2 |
| | unnahbar | 18.9 | 34.0 | 2.0 | 10.8 |

Tab. 3: Relative Häufigkeiten der (Selbst-)Zuordnungen von Adjektiven für MINT- und nicht-MINT-Lehrkräfte. Wenn eine Zuordnung von mindestens 20 % der Probanden vorgenommen wurde, erscheint sie fett.

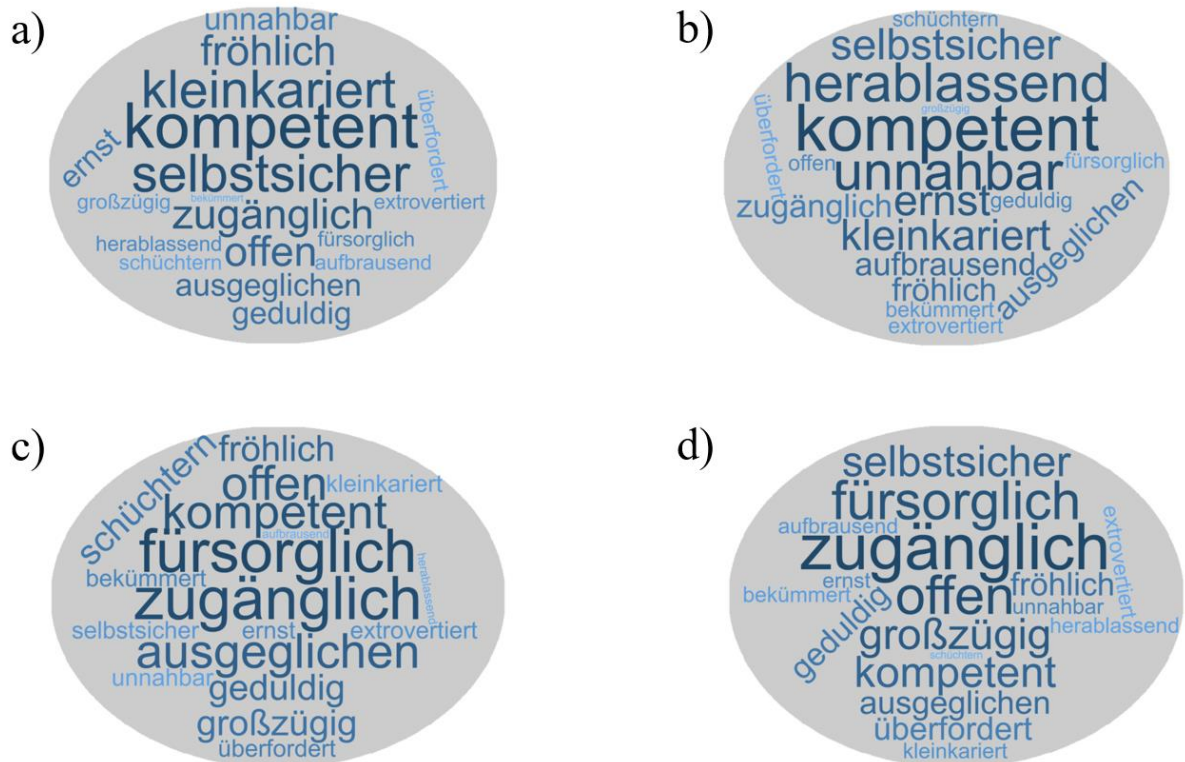


Abb. 2: Word Clouds zur Visualisierung der Adjektive, skaliert mit der Anzahl des Auftretens (vgl. Tab. 3): a) für Selbstzuweisungen durch MINT-Lehrkräfte, b) Zuweisungen an MINT-Lehrkräfte durch nicht-MINT-Lehrkräfte, c) Selbstzuweisungen durch nicht-MINT-Lehrkräfte und d) Zuweisungen an nicht-MINT-Lehrkräfte durch MINT-Lehrkräfte.

6. Diskussion und Fazit

Bei den MINT-Lehrkräften zeigt die Zuordnung der Adjektive durch die nicht-MINT-Lehrkräfte, dass vor allem Eigenschaften wie *selbstbewusst*, *aufbrausend*, *kompetent* und *unnahbar* zur Charakterisierung verwendet werden. Diese Adjektive wurden also von den nicht-MINT-Lehrkräften besonders häufig verwendet, um MINT-Lehrkräfte zu beschreiben. Sie sind überwiegend mit der Persönlichkeitsdimension "Risiko- und Kampfbereitschaft, Suche nach Wettbewerb" assoziiert (vgl. Tab. 2). Nach der Definition dieser Persönlichkeitsdimension in unserem Persönlichkeitsstrukturmodell (vgl. Tab. 1) würde dies bedeuten, dass MINT-Lehrkräfte von ihren nicht-MINT Kolleginnen und Kollegen als dominante, autoritäre Persönlichkeiten gesehen werden. Diese Einschätzung stimmt jedoch nicht mit der Selbsteinschätzung der MINT-Lehrkräfte überein. Solche Unterschiede in der Selbst- und Fremdeinschätzung wurden auch für die nicht-MINT-Lehrkräfte berichtet, auch wenn hier die Unterschiede zwischen Selbst- und Fremdeinschätzung nicht so deutlich ausfielen.

Wenn wir also die Selbst- und Fremdzuschreibungen der Adjektive auf natürliche Weise mit Selbst- und Fremdwahrnehmungen identifizieren, so gelingt im Rahmen des zugrunde gelegten Persönlichkeitsmodells und der in Kapitel 2 dargelegten Definition von

teacher identity eine Annäherung an die teacher identity der befragten Lehrkräfte. Wir halten die in diesem Artikel präsentierte Definition daher als vielversprechend, um in Studien mit größeren Stichproben zu genaueren Charakterisierungen bezüglich der teacher identity in variablen Settings zu gelangen. Natürlich müssen dazu allerdings spezifischere Erhebungsinstrumente eingesetzt werden, um valide Ergebnisse zur teacher identity abzuleiten – es ist dann freilich nicht mehr ausreichend, nur Adjektive zuzuordnen zu lassen. Die valide Erhebung von teacher identity war jedoch auch nicht die Intention der in diesem Artikel vorgestellten Studie.

Die Ergebnisse der hier berichteten Studie zeigen aber sehr wohl, dass es nicht nur möglich, sondern notwendig erscheint, zwischen Selbst- und Fremdwahrnehmungen von Lehrkräften zu unterscheiden, um sich einer vollständigen Beschreibung der teacher identity überhaupt nähern zu können. Insbesondere die Definition des Konstrukts teacher identity von Sfard und Prusak [7] ist daher wichtig, wenn es darum geht, teacher identity zu beschreiben oder empirisch zu erforschen.

7. Literatur

- [1] Grootenboer P. J. und Ballantyne, J. (2010). Mathematics teachers: Negotiating professional and discipline identities. Annual Meeting of the Mathematics Education Research Group of Australasia (33rd, Freemantle, Western Australia, Jul 3-7, 2010)
- [2] Palmer, P. P. (1993). *To know as we are known: Education as a spiritual journey* (New York: Harper One)
- [3] Grootenboer, P. J. (2006). The Impact of the School-based Practicum on Pre-service Teachers' Affective Development in Mathematics. *Math. Teach. Educ. Develop.* 7, 18-32
- [4] O'Dwyer, J. B. und Atli, H. H. (2015): A study of in-service teacher educator roles, with implications for a curriculum for their professional development. *Europ. J. Teach. Educ.* 38(1), 4–20
- [5] Darragh, L. (2016). Identity research in mathematics education. *Educ. Stud. Math.* 93(1), 19–33
- [6] Lutovac, S. und Kaasila, R. (2018). Future Directions in Research on Mathematics-Related Teacher Identity. *Int. J. Sci. Math. Educ.* 16(4), 759-776
- [7] Sfard, A. und Prusak, A. (2005). Telling identities: In search of an analytic tool for investigating learning as a culturally shaped activity. *Educational Researcher* 34(4), 14–22.
- [8] Stinson, D. W. und Bullock, E. C. (2012). Critical postmodern theory in mathematics education research: a praxis of uncertainty. *Educ Stud Math* 80, 41–55
- [9] Chien, S. C. (2019). Toward an understanding of high school in-service English teachers' identities in their professional development. *Asia Pacific Education Review* 20(3), 391-405
- [10] Graven, M. und Heyd-Metzuyanım, E. (2019). Mathematics identity research: the state of the art and future directions. *ZDM* 51, 361–377
- [11] Radovic, D., Black, L., Williams, J. und Salas, C. E. (2018). Towards conceptual coherence in the research on mathematics learner identity: a systematic review of the literature. *Educational Studies in Mathematics* 99, 21-42
- [12] Avraamidou, L. (2014). Studying science teacher identity: current insights and future research directions. *Studies in Science Education* 50(2), 145-179
- [13] Langer-Osuna, J. M. und Esmonde, I. (2017). Insights and advances on research on identity in mathematics education. In J. Cai (Hrsg.), *Compendium for research in mathematics education* (S. 637–648). Reston, VA: National Council of Teachers of Mathematics.
- [14] Wenger, E. (1998). *Communities of practice: Learning, meaning, and identity* (Cambridge: Cambridge University Press)
- [15] Wenger, E. (2000). Communities of Practice and Social Learning Systems. *Organization* 7, 225–246
- [16] van Zoest, L. R. und Bohl, J. V. (2005). Mathematics Teacher Identity: a framework for understanding secondary school mathematics teachers' learning through practice. *Teach. Develop.* 9(3), 315–345
- [17] van Putten, S., Stols, G. und Howie, S. (2014). Do prospective mathematics teachers teach who they say they are? *Journal of Mathematics Teacher Education* 17(4), 369–392
- [18] McCulloch, A. W., Marshall, P. L., DeCuir-Gunby, J. T. und Caldwell, T. (2013). Math autobiographies: A window into teachers' identities as mathematics learners. *School Science and Mathematics* 113(8), 380 – 389
- [19] de Freitas, E. (2008). Troubling teacher identity: preparing mathematics teachers to teach for diversity. *Teaching Education* 19(1), 43–55
- [20] Fellus, O. O. (2019). Connecting the dots: toward a networked framework to conceptualizing identity in mathematics education. *ZDM* 51, 445-455
- [21] Gee, J. P. (2000). Identity as an analytic lens for research in education. *Review of Research in Education* 25, 99-125
- [22] Nghia, T. L. H. und Tai, H. N. (2017). Preservice Teachers' Identity Development during the Teaching Internship. *Aust. J. Teach. Educ.* 42(8), 1-15
- [23] Glass, R. (2019). Science teacher identities in the making. *Cult. Stud. Sci. Educ.* 14, 69–76
- [24] van Lankveld, T., Schoonenboom, J., Volman, M., Croiset, G. und Beishuizen, J. (2017). Developing a teacher identity in the university context: A systematic review of the literature. *High. Educ. Res. Develop.* 36(2), 325-342
- [25] Andresen, B. (2000). Six basic dimensions of personality and a seventh factor of generalized dysfunctional personality: a diathesis system covering all personality disorders. *Neuropsychobiology* 41, 5-23
- [26] McCrae, R. R. und Costa, P. T., Jr. (1987). Validation of the five-factor model of personality across instruments and observers. *Journal of Personality and Social Psychology* 52, 81-90
- [27] Berth, H. und Brähler, E. (2003). Hamburger Persönlichkeitsinventar (HPI) von Burkhard Andresen. *Diagnostica* 49, 188-191
- [28] McNaught, C. und Lam, P. (2010). Using W Using Wordle as a Supplementary Research Tool. *The Qualitative Report* 15(3), 630-643

Lernen aus Widersprüchen – ein Ansatz für Universal Design

Stefan Brackertz, Andreas Schulz

Universität zu Köln, Albertus-Magnus-Platz, 50923 Köln
andreas.schulz@uni-koeln.de

Kurzfassung

Das Lernen aus Widersprüchen ist ein im Seminar des Kölner Schülerlabors „Unser Raumschiff Erde“ entstandenes Konzept, das sich insbesondere auch bei heterogenen Lerngruppen als Alternative zu Binnendifferenzierung bewährt hat. Dieser Beitrag ordnet das Konzept in die Debatte über Binnendifferenzierung ein und stellt den Bezug zu klassischen allgemein-didaktischen Konzepten insbesondere von Feuser und Klafki her. Diese Einordnung zeigt, dass es systematische Gründe für das Gelingen dieses Konzeptes im Schülerlabor gibt, die nicht dem konkreten Ursprungskontext geschuldet sind.

Dies macht eine Übertragung in andere Kontexte vielversprechend.

Learning from contradictions is a concept developed in the seminar of the Cologne student laboratory "Our Spaceship Earth". It is an alternative to internal differentiation and has proven itself in heterogeneous learning groups. This article places the concept in the debate about internal differentiation and establishes a connection to some classical concepts of general didactics, especially to those of Feuser and Klafki. This classification shows that there are systematic reasons for the success of this concept in the student laboratory that are not owed to the concrete original context. This makes a transfer to other contexts promising.

1. Zum Vorhaben

Die Idee des Lernens aus Widersprüchen entstand im Seminar zum Schülerlabor „Unser Raumschiff Erde“ an der Universität zu Köln. Das Schülerlabor ist ein außerschulischer Lernort, an dem Lehramtsstudierende mit ihnen zuvor unbekanntem Schulklassen und -kursen der Jahrgangsstufen 6-10 aller Schulformen typischerweise einen halben Tag lang Themen erarbeiten, die am Rande des Lehrplans angesiedelt sind und im Regelschulbetrieb oftmals zu kurz kommen.

Das Lernen aus Widersprüchen ist im Seminar entstanden, weil Studierende unzufrieden mit ihrer eigenen Arbeit mit den Schüler*innen waren. Im Gespräch kamen dann zunächst einige Ideen auf, worauf man achten könnte, es wurde reflektiert, was besonders gut funktioniert hatte, etc. Dies wurde dann schrittweise systematisiert, aber bisher kaum in einen allgemein-didaktischen Diskurs eingebettet.

Angesichts einer Masterarbeit mit dem Ziel, dieses Konzept im Regelschulbetrieb zu erproben (in dieser PhyDid B-Ausgabe), wurde dies nun nachgeholt, um zu ermitteln, ob solch ein Versuch der Verallgemeinerung sinnvoll ist oder von Anfang an zum Scheitern verurteilt.

Dieser Beitrag zeichnet zunächst die Entstehung und Reflexion des Konzeptes im Kontext Schülerlabor nach und misst dann das Entwickelte an allgemein-

didaktischen Diskursen zu den Themen Binnendifferenzierung und Bedeutung von Widersprüchen in der Pädagogik.

2. Lernen aus Widersprüchen: Entstehung des Konzeptes im Schülerlabor

2.1. Kontext Schülerlabor

Ein immer wiederkehrendes Thema, in dessen Kontext auch die Überlegungen zum Lernen aus Widersprüchen entstanden sind, ist die vertiefte Auseinandersetzung mit den naturwissenschaftlichen Prozessen zu Klima und Klimawandel. Die Studierenden betreuen dabei typischerweise jeweils eine Experimentierstation zu einem bestimmten Zusammenhang; die Schüler*innen wechseln in Kleingruppen etwa alle 40 Minuten zwischen diesen Stationen.

Inspiziert durch die Theorien Wagenscheins[1] und Reichs[2] wird dabei insbesondere auf eine Kultur der präzisen qualitativen Argumentation und konstruktivistischen Theorieentwicklung in Einheit von Wort und (Gedanken-)Experiment gelegt. Dabei wird auch nicht Halt gemacht vor Themen, die für die jeweilige Jahrgangsstufe im Allgemeinen als zu schwer gelten; vielmehr ist es eins der Ziele des Schülerlabors, zu erforschen, wie auch solche, oftmals besonders spannenden und gesellschaftlich relevanten Themen didaktisch so reduziert werden können, dass sie auch für Schüler*innen der Sekundarstufe I zugänglich sind.

Die Mitarbeit in diesem Kontext, die in einem Seminar begleitet wird, ist für Bachelor- wie Masterstudierende gleichzeitig sehr motivierend und herausfordernd: Wie soll die Vermittlung solch schwieriger Themen gelingen? Wie kann man davon wegkommen, dass die Diskussionen an den Experimentierstationen zunächst oft schwammig sind und die Bezugnahme der Schüler*innen untereinander nicht richtig klappt? Was heißt es, gerade bei sehr heterogenen Gruppen, individuell auf die Schüler*innen einzugehen, wenn man überhaupt nur 40 Minuten mit ihnen zu tun hat und sie davor gar nicht kennt?

2.2. Das Konzept

Ausgehend von der Beobachtung, dass viele Studierende Ungenauigkeiten und Widersprüche, die bei der Diskussion an den Stationen aufkommen, intuitiv kleinreden oder einfach übergehen, entstand der Impuls, es doch einmal genau umgekehrt zu machen, auf diesen Widersprüchen herumzureiten und sie zum Zentrum des Gesprächs zu machen. Also statt „Wie X und Y schon grob vermutet hatten, ist beim Experiment nun also herausgekommen, dass...“ einmal ausprobieren, was geschieht, wenn es heißt: „X, du hattest ja eben gesagt, dass deine Vermutung vor dem Versuch fast so war wie die von Y, aber nicht ganz genau so. Was war nochmal genau der Unterschied und was denkt ihr nach dem Experiment darüber?“

Die Erfahrung damit war fast durchweg positiv.[3] Insbesondere fanden die Schüler*innen das nicht wie ursprünglich von den Studierenden befürchtet kleinkariert und nervig, sondern fühlten sich im Gegenteil ernstgenommen und auch sonst eher stille Schüler*innen ergriffen das Wort.

Insgesamt arbeiteten die Studierenden heraus, dass die Arbeit mit Widersprüchen in dreierlei Hinsicht produktiv ist:

2.2.1. Widersprüche fordern heraus, in den Dialog zu treten.

Dass dies in Bezug auf Naturphänomene gilt, ist nicht neu, sondern beispielsweise eine wichtige Grundlage der Überlegungen Wagenscheins[1] und der historischen Entwicklung der Naturwissenschaften. Dass dies auch in Bezug auf die Mitmenschen, z.B. die Mitmenschen, mit denen man gerade an der Station sitzt, gilt, wird in der Naturwissenschaftsdidaktik typischerweise eher weniger thematisiert. Noch weniger verbreitet ist, dass die Lehrperson sich dabei nicht als außenstehend verhält. Ansätze dazu findet man traditionell eher in anderen Kontexten, etwa der Religionsphilosophie Martin Bubers[4].

2.2.2. Widersprüche sind nützlicher Ausgangspunkt zur gemeinsamen Konstruktion konsistenter Theorien.

Auch diese Erkenntnis ist nicht vollkommen neu; so nutzen insbesondere konstruktivistische Ansätze zur Aufarbeitung problematischer Präkonzepte gezielt

kognitive Dissonanzen. Dabei wird allerdings typischerweise ein Widerspruch zwischen einem Experiment einerseits und den Präkonzepten andererseits diskutiert; nur selten werden systematisch Widersprüche zwischen Statements verschiedener Schüler*innen thematisiert.

2.2.3. Widersprüche ermöglichen es Betreuer*innen, Vorkenntnisse und Interessen der Schüler*innen schnell einzuschätzen.

Deshalb ist es hilfreich für Studierende bei der Beobachtung der Schüler*innen explizit auf Widersprüche zu achten, anstatt etwa nur auf die angesprochenen Themen.

2.3. Hermeneutische Arbeitsweise

Klassisch geht naturwissenschaftlicher Unterricht streng aufeinander aufbauend entweder deduktiv oder induktiv vor: Ein allgemeines Gesetz, eine Formel, die zuvor erarbeitet wurde, wird angewandt oder die Ergebnisse mehrerer Versuche werden zu einer Theorie synthetisiert.

Die Arbeit mit Widersprüchen führt eher zu einer anderen Struktur: Ein Vorverständnis wird z.B. mit dem Ergebnis eines Experimentes oder dem Vorverständnis von Mitschüler*innen konfrontiert. Es wird daran gemessen, bestätigt, weiterentwickelt, revidiert, bis eine höhere Gesamtkonsistenz erarbeitet ist. Dieser neue Stand geht in die nächste Runde. Lässt man diese hermeneutische, eher den Geisteswissenschaften zugeschriebene Arbeitsweise zu, innerhalb derer es dann selbstverständlich wieder zu induktiven und deduktiven Argumenten in schnellem Wechselspiel kommt, ergeben sich nach Erfahrung der Autoren mehrere Vorteile:

- Es ist für Schüler*innen auf verschiedenem Stand viel einfacher wieder in die Debatte einzusteigen, weil das Geschehen nicht mehr streng aufeinander aufbaut, sondern ähnlich wie Spiralcurricula systematisch zu bereits behandelten Themen zurückkommt.
- Das Aufarbeiten von problematischen Präkonzepten steht nicht neben dem sonstigen Unterrichtsgeschehen, sondern geschieht selbstverständlich als Teil des Unterrichtsablaufs und ist ein ständiger, niemals abgeschlossener Prozess.
- Eine hermeneutische Arbeitsweise entspricht vielmehr der Arbeitsweise naturwissenschaftlicher Forschung als die oftmals als typisch naturwissenschaftlich inszenierte Strenge klassisch deduktiven oder induktiven Vorgehens. Solch eine Arbeitsweise mitzuerleben ermöglicht SuS ein kritisches Verständnis davon zu entwickeln, dass die Naturwissenschaften nicht von Einzelgenies fertig in die Welt gesetzt wurden, sondern historisch an Hand von von Menschen gestellten Fragen entstanden sind und sich nach wie vor weiterentwickeln, dass ihre Ergebnisse vorläufig sind, vereinfachte Theorien über das Funktionie-

ren der Welt darstellen, und dass es dennoch sehr starke Argumente für diese Theorien gibt.

2.4. Ablösung der Binnendifferenzierung durch Universal Design

Im Gegensatz zur Arbeit mit Widersprüchen hat die anfangs im Schülerlabor erprobte Arbeit mit differenzierten Lernmaterialien nicht geklappt. Weder war es hilfreich eine Binnendifferenzierung innerhalb der Kurse bzw. Klassen zu versuchen, noch haben sich verschiedene Materialien für verschiedene Jahrgangsstufen bewährt. Abgesehen von den allgemeinen Herausforderungen, die Binnendifferenzierung mit sich bringt, liegt das sicher auch an der spezifischen Situation in unserem Schülerlabor:

- Wir kennen die Klassen/Kurse im Vorfeld nicht. (Versuche mit vorab in den Schulen verteilten Fragebögen stießen weder auf Begeisterung der Lehrer*innen, noch halfen die Ergebnisse entscheidend weiter.)
- Durch die Wahl von Themen am Rande des Lehrplans kann man nicht voraussetzen, dass eine Klasse einer bestimmten Jahrgangsstufe bestimmte Voraussetzungen mitbringt; dies gilt erst recht bei Kursen, deren SuS aus verschiedenen Klassen stammen. Vielmehr spielte bei unseren Themen typischerweise Vorwissen eine Rolle, dass sich die SuS außerhalb der Schule angeeignet hatten.

Angesichts dieser Schwierigkeiten haben wir die Stationen schrittweise in Richtung universal design / design für alle umgebaut.

Universal design ist ein ursprünglich aus der Architektur stammendes Konzept mit dem Ziel, Gebäude, Webseiten, Unterrichtsgeschehen usw. nicht auf einzelne Zielgruppen hin zu gestalten, sondern so anzulegen, dass sie für alle Menschen geeignet sind. Z.B. eine Schräge statt Treppe und Rollstuhllift, eine Webseite für alle statt Zielgruppen-Unterseiten, allgender Toiletten, Tische, die auf verschiedenen Höhen nutzbar sind etc. Für eine kurze und dennoch umfassende Einführung in das Konzept und seine Geschichte sei auf den sehr guten deutschen Wikipedia-Artikel[5] verwiesen.

Wichtig ist dabei, dass universal design nicht eine Charakterisierung eines Produktes ist, sondern eines Entwicklungsprozesses, bei dem verschiedene Bedürfnisse, Positionen usw. – allgemein verschiedene Ausgangspunkte – miteinander konfrontiert werden mit dem Ziel, dass sich herauskristallisiert, was möglichst universell anwendbar ist.

Ganz Ähnliches geschieht beim Lernen aus Widersprüchen: Die Schüler*innen starten von verschiedenen Ausgangspunkten aus und bringen z.B. Theorien mit, die für einen ganz bestimmten Spezialfall, den sie im Kopf haben, funktionieren mögen, aber noch einer Verallgemeinerung und vor allem auch einer (argumentativen) Zugänglichkeit bedürfen, die durch Auseinandersetzung mit den Ausgangspunkten an-

derer erarbeitet wird. Die Konfrontation mit dem anderen Ausgangspunkt, dem anderen Menschen, der von dort kommt, geschieht also nicht optional on top, z.B. am Schluss eines Erarbeitungsprozesses, um etwa die Validität eines Ergebnisses zu prüfen, leitet den Erarbeitungsprozess selbst.

Ausgehend von der Erfahrung, dass das gezielte Aufgreifen und Bearbeiten von oft ursprünglich nur beiläufig im Raum stehenden Widersprüchen auch bei sehr heterogenen Gruppen gut funktioniert, wurden die Stationen an Hand der dort bisher aufgekommenen Widersprüche schrittweise überarbeitet.

3. Allgemein-didaktische Einordnung

3.1. Binnendifferenzierung allgemein-didaktisch

3.1.1. Strukturelle Schwierigkeiten der Binnendifferenzierung

Wie Trautmann und Wischer[6] herausgearbeitet haben, hat Binnendifferenzierung im Wesentlichen drei strukturelle Schwierigkeiten:

- 1) Sie erfordert typischerweise eine sehr treffsichere Einschätzung der Lehrenden über jede einzelne Schülerin und jeden einzelnen Schüler. Die meisten Konzepte sind selbst gegenüber kleineren Fehleinschätzungen nicht besonders robust.
- 2) Die Erstellung einer Vielzahl von Varianten des Arbeitsmaterials bedeutet einen unter Regel-schulbedingungen normalerweise nicht zu leistenden Aufwand.
- 3) Insbesondere in Fächern wie Mathematik, Latein oder Physik, die klassisch stark aufeinander aufbauend unterrichtet werden, führt das unterschiedliche bzw. unterschiedlich schnelle Vorschreiten der Schüler*innen oft schnell dazu, dass sich die Schüler*innen soweit auseinander entwickeln, dass faktisch gar kein gemeinsamer Unterricht mehr stattfindet.

Die ersten beiden Probleme lassen sich tendenziell durch eine Verkleinerung der Klassen bzw. bessere Arbeitsbedingungen der Lehrer*innen angehen. Beides ist dringend nötig.

Das dritte Problem aber ist grundsätzlicherer Natur. In den besonders betroffenen Fächern lässt es sich sicher abmildern durch die Erarbeitung neuer didaktischer Reduktionen und Fachkulturen, die weniger strikt aufeinander aufbauen. In der Physik bietet sich z.B. an, einen größeren Schwerpunkt auf die Arbeit mit Erhaltungssätzen zu legen als bisher. Auch kann eine eher hermeneutische Arbeitsweise, wie sie im Schülerlabor im Rahmen der Arbeit mit Widersprüchen entwickelt wurde (siehe oben), einen Beitrag leisten. Es bleibt allerdings bei Binnendifferenzierung auch dann das Problem, dass an die Stelle eines Unterrichts in einer Gruppe potenziell genau so viele individuelle Schüler*in-Lehrer*in-Beziehungen treten, wie es Schüler*innen in der Gruppe gibt. Letztlich halten die Lehrer*innen dabei mehr oder weniger Einzelunterricht für alle SuS gleichzeitig, die

sich nur deshalb in einem Raum befinden, damit die Lehrperson keine zu weiten Wege hat. Übertragen auf den derzeitige Online-Krisenbetrieb hieße das: Nicht alle sitzen in der selben Videokonferenz, sondern die Lehrperson hat 20 Smartphones vor sich liegen, ist auf jedem mit einer anderen Schülerin oder einem anderen Schüler verbunden und entmutet sich immer nur auf einem Gerät gleichzeitig – je nach dem, wem sie oder er sich gerade zuwendet. Dies geht letztlich auch mit einer potenziell problematischen Lehrer*innen-Fixierung einher.

3.1.2. Mögliche Auswege

Angesichts dieser Schwierigkeiten schlagen Sasse und Schulzeck mit ihrem Konzept der Differenzierungsmatrix, das seit 2009 in Thüringen breit erprobt wird [7,8], vor, eine Sammlung von differenzierten Aufgaben zu entwickeln, die in einer Differenzierungsmatrix für die Schüler*innen transparent verortet werden. Diese Sammlung wird nicht für jede Unterrichtssituation neu entwickelt, sondern besteht dauerhaft und für jedes Fach an jeder Schule erweitern die Kolleg*innen des Faches sie gemeinsam um neue Aufgaben und entwickeln bestehende Aufgaben an Hand realer Nutzungserfahrungen weiter. Aufgabe der Lehrer*innen während des Unterrichts ist dann vor allem, die Schüler*innen bei der richtigen Wahl der nächsten Aufgabe dadurch zu unterstützen, dass sie Feedback zu den bereits bearbeiteten Aufgaben geben. Die Schüler*innen arbeiten dabei nicht alleine, sondern suchen sich andere, die gerade die gleiche Aufgabe bearbeiten.

Dieses Konzept adressiert grundsätzlich die Arbeitsbelastung und die Schwierigkeit alle Schüler*innen richtig einschätzen zu müssen. Es eignet sich besonders gut für Jahrgangsstufen übergreifenden Unterricht in größeren Gruppen, die auch im Teamteaching unterrichtet werden können, denn so ist die Wahrscheinlichkeit größer, dass Schüler*innen immer jemanden finden, die/der an der gleichen Aufgabe arbeitet. Dieses Konzept ist vielversprechend, vorausgesetzt, die Selbsteinschätzung der Schüler*innen gelingt und die Lehrer*innen nehmen die Einführung des Konzeptes zum Anlass, entlinearisierte didaktische Reduktionen zu entwickeln. Dennoch bleibt die Zusammenarbeit der Schüler*innen bei vorübergehenden Zweckgemeinschaften.

In Feuers Konzept des Lernens am gemeinsamen Gegenstand [9] tritt an die Stelle der Lehrperson der gemeinsame Gegenstand als zentraler Bezugspunkt; damit ist die problematische Lehrer*innenfixierung aufgebrochen. Die Differenzierung kommt dadurch zu Stande, dass sich die Schüler*innen dem Gegenstand von verschiedenen Seiten nähern und selbständig drumherum gehen können. Dementsprechend bereiten die Lehrer*innen nicht für jede*n Schüler*in etwas vor, sondern sie bereiten den einen gemeinsamen Gegenstand allseitig vor; die Schüler*innen können die ihnen zugewiesene Anfangsperspektive auf den Gegenstand selbständig

nachjustieren oder sie sich von Anfang an komplett selbst aussuchen. Allerdings adressiert auch Feuser das dritte Problem, das Trautmann und Wischer benennen, nicht systematisch.

In der kritisch-konstruktiven Didaktik nach Klafki [10] bieten sich die epochaltypischen Schlüsselprobleme als gemeinsamer Gegenstand im Sinne Feusers an. Neben die Bearbeitung dieser Probleme tritt in dieser Theorie – inspiriert vom Humboldt-schen Wechselspiel zwischen Entfremdung und Zurückkommen – der Dialog über persönliche Interessen, in dem die einen gefordert sind, das, was sie bewegt, soweit zu reflektieren, dass sie es so darlegen können, dass die anderen es nachvollziehen können (ohne dem zustimmen zu müssen); die anderen wiederum sind gefordert, sich auch tatsächlich darauf einzulassen und ernsthaft der Frage nachzugehen, was die anderen bewegt, was die anderen ihnen nahebringen versuchen.

3.1.3. Lernen aus Widersprüchen revisited

Die Schwierigkeiten mit der Binnendifferenzierung im Schülerlabor, die wir zunächst vor allem auf die spezifische Situation dieses Lernortes zurückgeführt hatten, sind also durchaus nicht nur dem Setting geschuldet, sondern treten darin vor allem deutlich zutage.

Mit dem Lernen aus Widersprüchen ist es gelungen, ein universal design zu konzipieren, das an die Konzeptionen von Feuser und Klafki anschließt: Mit dem Thema Klima/Klimawandel wird dabei in unserem Schülerlabor auch explizit ein epochaltypisches Schlüsselproblem adressiert. Inwiefern dies notwendig ist, damit die persönliche Involvierung gelingt, wäre systematisch zu erproben. Die im Beitrag „Lernen aus Widersprüchen: Vom Schülerlabor zur Schulpraxis“ in dieser PhyDid B-Ausgabe vorgestellte Übertragung des Konzeptes in den Regelunterricht ist jedenfalls weiter von epochaltypischen Schlüsselproblemen entfernt und stimmt diesbezüglich optimistisch. Dass auch das hier vorgestellte Konzept damit arbeitet, dass Schüler*innen ihre Positionen für andere nachvollziehbar machen und die anderen sich darauf einlassen, wird dabei ebenfalls an den Situationen deutlich, in denen genau dies nicht richtig klappt. In jedem Fall ist es gelungen einen Weg zu finden, naturwissenschaftliche Zusammenhänge zu erarbeiten, ohne strikt aufeinander aufbauend oder rein assoziativ zu arbeiten.

3.2. Zum Widerspruch zwischen Kultur und Natur

Widersprüche spielen in vielen didaktischen Theorien durchaus unterschiedliche Rollen. Allerdings gibt es nur wenige Theorien, bei denen die bewusste Arbeit mit Widersprüchen so zentral ist wie bei der Pädagogik der Unterdrückten. [11]

Ausgangspunkt der Pädagogik der Unterdrückten, die von Paulo Freire im Rahmen der südamerikanischen antikolonialen Kämpfe entwickelt hat, ist die Frage, wie es gelingt, dass Menschen ihre Lethargie

überwinden und die Möglichkeiten zur Verbesserung ihrer Lage ergreifen. Kernkritik ist, dass in den meisten pädagogischen Konzepten die Gegenüberstellung von Individuum und Umwelt im Mittelpunkt steht, was den Blick für den zentralen Widerspruch zwischen Natur und Kultur verdeckt. Dabei ist Natur die Sphäre des nicht der menschlichen Gestaltung Unterliegenden und Kultur die Sphäre des potenziell durch die Menschheit Gestaltbaren. Entscheidend für die Überwindung der Lethargie sei die Einsicht, dass die Sphäre der Kultur tatsächlich viel größer ist, als von Herrschenden suggeriert („2. Natur“).

Als spezifische Rolle der Naturwissenschaften liegt dabei nahe, dass ihr Fortschritt einerseits dazu beiträgt, die Sphäre der Kultur zu vergrößern. Im Mittelalter an einer kleinen Schnittwunde zu sterben, war beispielsweise durch menschliches Handeln kaum zu verhindern und gehörte somit zur Sphäre der Natur; heutzutage wäre ein solcher Tod zu verhindern und läge an vorenthaltener medizinischer Versorgung, fiel also in die Sphäre der Kultur. Andererseits sind Naturwissenschaften essenziell, um zu erkennen, was tatsächlich Natur und was Kultur ist und sich nicht durch eine 2. Natur täuschen zu lassen. Deshalb ist sie unverzichtbarer Teil der Allgemeinbildung.

Das Lernen aus Widersprüchen trainiert einerseits allgemein eine dialektische Arbeitsweise. Andererseits stellt es die Kategorien Individuum und Außenwelt ins Verhältnis zu den Kategorien Natur und Kultur: Es geht aus von durch die Schüler*innen (Individuen) vertretenen Hypothesen und Positionen, die im Widerspruch zu denen anderer Personen oder Beobachtungen (Außenwelt) stehen. Sie klärt das Verhältnis dieser Hypothesen und Positionen mit Hilfe naturwissenschaftlicher Erkenntnisse.

Die Grenze zwischen Natur und Kultur wird dabei genau da sichtbar, wo Widersprüche offen bleiben: So lässt sich etwa bei konkurrierenden Strategien zur Eindämmung des Klimawandels eindeutig klären, dass bestimmte Strategien nicht funktionieren (tatsächliche Natur). Welche Strategie unter den verbleibenden aus welchen Gründen bevorzugt werden soll und wie damit umzugehen ist, wenn sich nicht klar entscheiden lässt, ob eine Strategie Aussicht auf Erfolg hat oder absehbar scheitern wird, ist dagegen auch dann eine politische Entscheidung (kulturelle Sphäre), wenn jemand behaupten sollte, „there is no alternative“ (2. Natur).

4. Fazit

Dass sich das Lernen aus Widersprüchen im Schülerlabor bewährt hat, ist vor dem Hintergrund seiner Einordnung in einige allgemein-didaktische Kern Diskussionen wenig überraschend. Gleichzeitig adressiert es zwei entscheidende Herausforderungen (inklusive) Naturwissenschaftsdidaktik: (1) Die Entwicklung eines nicht streng aufeinander aufbauenden Lerngeschehens, das zu verschiedenen Zeit-

punkten einen (Wieder-)Einstieg ermöglicht sowie Bezüge zwischen Schüler*innen unterschiedlicher Lernstände aufbaut. (2) Die Stiftung und den Erhalt von persönlichen Bezügen zu naturwissenschaftlichen Fragestellungen.

Dies ermutigt, das Konzept auch für andere Orte naturwissenschaftlichen Lernens zu adaptieren. Und vielleicht sollten Naturwissenschaften und Naturwissenschaftsdidaktiken anerkennen, dass Hermeneutik nicht nur etwas für Geisteswissenschaften ist.

5. Literatur

- [1] Wagenschein, M. (1965): Die pädagogische Dimension der Physik. Westermann
- [2] Reich, K. (2002): Konstruktivistische Didaktik. Lehren und Lernen aus interaktionistischer Sicht. Luchterhand
- [3] Brackertz, S.; Weck, H.; Schulz, A. (2018): Experimente & Widersprüche im (inklusive) Naturwissenschaftsunterricht. Chancen und Grenzen entwickelt am Beispiel Physik. In: Dziak-Mahler, u.a. (Hrsg.): (Fach-)Unterricht inklusiv gestalten – theoretische Annäherungen und praktische Umsetzungen. Waxmann: Göttingen. S. 205 – 222.
- [4] Buber, M. (1923): Ich und Du. 13. Auflage, Verlag Lambert Schneider, Gerlingen 1997.
- [5] Wikipedia: Universal Design: https://de.wikipedia.org/wiki/Universal_Design (Stand 5/2021)
- [6] Trautmann, M; Wischer, B. (2008): Das Konzept der inneren Differenzierung – eine vergleichende Analyse der Diskussion der 1970er Jahre mit dem aktuellen Heterogenitätsdiskurs. In: Zeitschrift für Erziehungswissenschaften, Sonderheft 9/2008
- [7] Sasse, Ada/Schulzeck, Ursula (2013): Differenzierungsmatrizen als Modell der Planung und Reflexion inklusiven Unterrichts – zum Zwischenstand in einem Schulversuch. Bad Berka. Online: www.gu-thue.de/material/Beitrag_Sasse_Schulzeck_Thillm_Jahr2013.pdf
- [8] Sasse, Ada/Schulzeck, Ursula (2014): Von der Schülerleistung zur Leistungsbewertung im Gemeinsamen Unterricht – erneuter Zwischenstand in einem Schulversuch. Online: www.gu-thue.de/material/Beitrag_Sasse_Schulzeck_Thillm_Jahr2014.pdf
- [9] Feuser, Georg (2013): Die „Kooperation am Gemeinsamen Gegenstand“ – ein Entwicklung induzierendes Lernen. In: Feuser, Georg; Kutscher, Joachim. (Hgg.): Entwicklung und Lernen. Stuttgart: Kohlhammer. 282–293.
- [10] Klafki, W.: Neue Studien zur Bildungstheorie und Didaktik. Zeitgemäße Allgemeinbildung und kritisch-konstruktive Didaktik. 6., neu ausgestattete Aufl. Weinheim u.a.: Beltz (2007)
- [11] Freire, P. (1975): Pädagogik der Unterdrückten. Reinbeck bei Hamburg: Rowohlt Taschenbuch

The Legitimation of Quality Physics Education for Street-Connected Children and Street Youth

Matthias Fischer, Manuela Welzel-Breuer

*Pädagogische Hochschule Heidelberg, Fakultät III – Fach Physik, Postfach 10 42 40, 69032 Heidelberg
m.fischer@ph-heidelberg.de, welzel@ph-heidelberg.de

Abstract

Worldwide, there are millions of children and youth living on the streets. While this is accepted as a sad reality when it comes to developing countries, many people are unaware that street youth also exist in Western countries, such as Germany. In both developing and developed countries young people on the streets face a plethora of challenges that make it difficult for them to access quality schooling. However, one of the demands of the SDG “Quality Education“ is that children and youth in precarious living situations should be guaranteed access to all levels of education. In order to fulfill this goal different projects, for example street schools, are founded. Nowadays these projects often include physics education in their curriculum. This study has two goals. First, the life of street-connected children in developing countries and street youth in Germany is compared through an extensive literature review. Differences and similarities between these two groups and their reasons for leaving home are elaborated. Secondly, the question is answered to what extent physics education is necessary for street-connected children and street youth and consequently should be part of educational projects for them.

1. Background & Problem Definition

In September 2015, the United Nations General Assembly adopted the 17 Sustainable Development Goals (SDGs). These goals are meant to be promoted and hopefully achieved by the signatory nations within the next 15 years [1]. Each goal has several sub-goals in order to make the superior goals verifiable. The fourth development goal is "Quality Education". UNICEF defines quality education as education “[...] that helps them [, the children,] acquire basic literacy and numeracy, enjoy learning without fear, and feel valued and included, irrespective of where they come from” [2]. Among others, this SDG includes the following sub-goal: “By 2030, [...] ensure equal access to all levels of education and vocational training for the vulnerable, including [...] children in vulnerable situations“ [1, p. 21]. Quality education should thus be provided to all children and young people with an emphasis on accessibility for those in precarious living situations.

One group that faces various barriers to accessing quality education worldwide is the group of street-connected children and street youth. Hoch defines the group of street youth in Germany as followed:

We define street youth as young people under the age of 27 who do not have a permanent place of residence or do not stay in their registered place of residence (family or youth welfare facilities) for an unforeseeable time. This not only includes young people who live and sleep exclusively on the streets and do not have a roof over their heads, but also those

who have found shelter with someone, e.g., with friends or in temporary emergency shelters. Thus, all homeless young people in Germany are of interest. [3, p. 14-15, translation by the authors]

As for the group of street-connected children, the following definition by Consortium for Street Children will be used. According to their definition, the term includes children who ...

1. Depend on the streets to live and / or work, either on their own, or with other children or family members; and
2. Have a strong connection to public spaces (e.g. streets, markets, parks, bus or train stations) and for whom the street plays a vital role in their everyday lives and identities. This wider group includes children who do not live or work on the street but regularly accompany other children or family members in the streets. [4]

The term "street children" is often criticised. For example, it is argued that the term has a negative connotation and could therefore lead to stigmatization and marginalization [5]. Hence, we deliberately decided against it in this paper and instead use the term "street-connected children" for children on the streets in developing countries. In Germany, using the term "street children" to describe street youth is also questioned, since the youth in Germany is mostly older than 14 years. An incorrect use of these terms could potentially result in creating unfitting parallels to street-connected children in developing countries

[5,6]. According to studies conducted by Hoch in 2016 and 2017, professionals in Germany do not consider the term "street youth" to be appropriate [3]. However, only around 19% of the 288 young people surveyed would not or rather not consider themselves to be street youth during their past or current time on the streets. [7]. Moreover, in the recent past, the term street youth has also been used in other Western countries, such as the USA or Canada [8].

Both these groups face various challenges and barriers to accessing quality education. If street-connected children and street youth resume their school career after dropping out of school previously, they will usually be placed back into the class level they abandoned. Thus, they have considerably younger classmates when they reenter school and they do not graduate from high school until a comparatively old age. For that reason, they often feel uncomfortable if not ashamed when returning to the classroom [9, 10]. Additionally, the use of drugs is most likely forbidden in schools, which poses a great problem for children and adolescents with a history of drug addiction [11]. Street-connected children and street youth also repeatedly report negative past school experiences, such as bullying or school anxiety [12, 13]. Specific to developing countries is the issue that street-connected children are unable to pay for school attendance, uniforms, and school materials as they are usually unable to raise these costs [5]. In Colombia, there are also public-school administrators who are of the opinion that street-connected children cannot be integrated into the school system [14].

Various projects around the world are dedicated to the task of making high-quality education accessible to street-connected children and street youth. These projects often tailor their programs directly to the needs and life experiences of their participants. Often, they include physics education in their curricula. One example is Patio13 in Colombia. Together with college-level education students they develop and test teaching methods and materials for physics education specifically designed for street-connected children [15]. In Germany, there are various projects, for example street schools, that offer support in the transition from the street to the classroom and in the achievement of an official school degree. Science knowledge is usually necessary for passing the final school examination. Therefore, science education is also included in most of the street school's curricula. While it is generally accepted that street-connected children and street youth need to learn to read and write, it is often questioned whether knowledge of physics as part of science education is equally important. This paper aims to provide an answer to this question.

2. Research Questions

The central questions to be answered in this paper are as follows:

- How many street-connected children and street youth are there?

- How does the life of street-connected children in developing countries and street youth in Germany differ?
- To what extent is physics education necessary for street-connected children and street youth?

3. Method

In order to answer the first two questions, an extensive literature search was carried out, whereby studies, books and journal articles in English and German were analyzed. In particular, works were selected that describe the lives of street youth in Germany and of street-connected children in developing countries. In a first step, facts and figures concerning both groups were recorded individually. Subsequently, the causes for their life on the streets and the specific challenges associated with it were examined for each group separately. In the next step, similarities and differences were identified.

Furthermore, a literature research of physics didactic publications was conducted in order to find different arguments for physics education in general. The results were reviewed with respect to the lives of street-connected children and street youth. Thus, possible positive effects of physics education on their lives could be identified. These positive effects form the basis of the legitimisation and necessity of physics education for street-connect children and street youth.

4. Examples of Street Schools in Germany

In Germany, high-quality education for street youth, including physics education, often takes place in street schools. However, the definition of street schools is rather complex. According to Schroeder, street schools are schools on the margins,

that respond to difficult or extreme life circumstances and in which older children and especially adolescents have to survive. It is a characteristic of these institutions that the sheer survival of the students must first be ensured through basic everyday care before educational work can begin. [16, p. 15, translated by the authors]

In this paper, we define street schools as institutions that offer formal education to street-connected children or street youth, while considering their living conditions and needs, and where they can obtain an accredited school degree. At the present stage of research, we are aware of ten street schools in Germany.

- Das andere SchulZimmer in Mannheim (<https://www.das-andere-schulzimmer.de/>)
- Freezone's Straßenschule in Mannheim (<http://www.freezone-mannheim.de/strassenschule.html>)
- Manege-Schule in Berlin (<https://www.manege-berlin.de/Angebote/Manege-Schule>)

- Street College's Lernlabor in Berlin (<https://streetcollege.de/fachbereiche/fachbereich-lernlabor/>)
- Treberhilfe's Straßenschule in Dresden (<https://www.treberhilfe-dresden.de/strassenschule-dresden/>)
- Prejob of Off Road Kids Stiftung in cooperation with Flex-Fernschule in Dortmund (<https://prejob.de/>)
- Rampe's BIX in Nürnberg (<https://www.rampe-nbg.de/beschulung.html>)
- Das Haus der Lebenschancen in Stuttgart (<https://hdl-stuttgart.de/so-arbeiten-wir/>)
- Gangway in Hamburg (<https://www.gangway.hamburg/schulprojekte/>)
- Jobkontor of Jugendsozialarbeit Schanzenviertel in Hamburg (<https://js-schanze.de/jobkontor/>)

5. Facts and Figures

In many countries, there are no reliable quantitative studies or statistics on the number of street-connected children or street youth. Figures found in the literature are often based on estimates that have little or no scientific basis [8]. Consequently, statements about the size and nature of this group can only be made and interpreted with great caution. There are several problems that make an exact analysis challenging. On one hand, the existing studies and estimates are based on different definitions, which means that comparability is unreliable at best [17]. Another difficulty in conducting a census is the rapidly changing life circumstances of street-connected children and street youth. Furthermore, their partial invisibility in the public space, for example due to repressive measures taken by the state, is another obstacle [8, 18]. Due to national and international refugee movements, these figures are subject to constant change, which must be considered when conducting reliable quantitative studies [5]. Nevertheless, it must be noted that local quantitative studies on the number of street-connected children and street youth have been steadily improving in recent years [8].

A frequently cited figure for the number of street-connected children and street youth worldwide is 100 million. This number is mainly provided by aid organizations, such as terre des hommes [19]. Even though Thomas de Benítez states [8] that this figure lacks scientific justification and is rather a rough estimate, it reveals the extent of the problem. In Germany, different numbers can be found in the relevant literature as well, which reflects the problem of quantification described above. According to a study by Beierle and Hoch [6], there are approximately 37,000 street youth in Germany, including all ages up to and including 26, with approximately 6,500 street youth being minors. This overlaps with the figures collected in a study by Mögling et al. [20], who estimate the number of homeless minor street youth to be 8500.

On the other hand, the association Bundesarbeitsgemeinschaft Wohnungslosenhilfe [21] estimates that there are about 19000 minor street youth in Germany in 2018, and it must be noted that homeless recognised refugees were not considered. These numerical examples illustrate the difficulty of a statistical assessment of the phenomenon of street-connected children and street youth. What researchers and experts in Germany do largely agree on is the fact that this number is increasing (cf. e.g. [20] or [22]). In the global context, there are voices arguing that the overall number of street-connected children and street youth is growing [5]. However, other authors do not consider this statement to be sufficiently supported by scientific evidence [18]. In many regions worldwide, it is also reported that there are more boys than girls within these groups. In South Africa, between 80 and 90% are male; in Colombia, the figures range from 70 to 80% [5]. In Bolivia, about 60% of street-connected children and street youth are male [23]. Yet, it is also argued that there are individual regions to which these statistics do not apply. For example, in Accra, Ghana, there are more girls than boys living on the streets [8]. In Germany, according to Hoch [7], about 60% of the street youth are male, which is in line with the worldwide trend. Interestingly, in Germany, the gender ratio on the streets changes with age. There are more underage, female street youth, however, the ratio reverses towards boys after the age of 18 years. On average, street youth in Germany begin their life on the streets at the age of 16 [7]. In contrast, street-connected children frequently begin their street lives at an earlier age. In a study by Butterwegge et al. [23] conducted in Bolivia, street careers commence at an average age of 9.5 years. Weber and Sierra Jaramillo even speak of a worldwide average age of entry to the streets of eight years [14]. Furthermore, many street-connected children and street youth drop out of school and often do not continue their education later on [5]. Butterwegge et al. cites a statistic by Jorge Dominic, according to which only 69 percent of street-connected children in Bolivia attended school for a maximum of 4 years; 25 percent for a maximum of 6 years; and 6.4 percent graduating after 8 years [23]. In Germany, the number of school dropouts among street youth is also high. Of 205 street youth surveyed by Hoch, 59 reported that they had not graduated from school [7]. In a survey by Permien and Zink, about half of the 56 adolescents discontinued their schooling in seventh or eighth grade [11]. These figures become even more alarming when compared with Germany's overall school dropout rate of 6.6% in 2020 [24].

6. Street-Connected Children in Developing Countries and Street Youth in Germany – A Comparison

In our study, we tried to identify similarities and differences in the areas of "reasons for street careers", "everyday life on the streets," and "problems on the

streets", comparing street-connected children in developing countries to street youth in Germany.

Children and adolescents often do not only state one reason for their escape to the streets, but rather several push and pull factors [11]. Worldwide, negative experiences in the family of origin, such as neglect, abuse, violence, etc., are particularly crucial for this decision (cf. e.g. [7] or [18]). Throughout the world, families of street-connected children and street youth face similar problems. They deal with poverty due to unemployment or low-paying jobs, there are often unstable family structures, and parents are often addicted to alcohol or drugs (cf. e.g. [5] or [20]). A worldwide frequently named pull factor for escaping to the streets is the influence of peers (cf. e.g. [25] or [26]). Another push factor has to do with problems at school, for example conflicts with classmates or teachers [10]. Further causes, more commonly found in developing countries, are (internal) migration triggered by wars or natural disasters, or a lack of beneficial social systems [17]. However, as suggested by a study conducted by Hoch [7], a significant proportion of street youth in Germany have an immigrant background. Of the 259 interviewees, 22 have parents not native to Germany, and in the case of 27, neither the interviewee nor the parents were native Germans. Furthermore, poverty is believed to have a greater impact on street careers in developing countries. Because of financial problems parents often send children and adolescents to work or live on the streets, since they can no longer provide for them [27].

There are similar aspects to life on the streets in developing countries and in Germany. Thus, street-connected children and street youth face similar challenges all over the world, which can only be listed in brief here. The life on the streets and the often very difficult pasts lead to different psychological and physical impairments to health. Common mental and physical health problems of street-connected children and street youth include depression, attachment disorders, and attention deficit disorder [5, 18, 27]. According to Sulkowski and Michael [28], rates of attempted suicide among street youth in the U.S. vary between 20 and 40%, while the overall rate for youth is only 3%. Further health impairments worldwide are skin diseases, respiratory diseases, or sexually transmitted diseases (cf. e.g. [5] or [27]). Both, in Germany and in developing countries, drug consumption of street-connected children and street youth is often found. Therefore, they frequently suffer from drug addictions. Surveys in Colombia found that 80% of underaged street-connected children consume drugs, 40% even as young as 9 years old [14]. The type of drugs consumed varies from region to region [27]. In Germany as well as in developing countries, the line between legal and illegal activity on the streets is often blurred [5]. There are few opportunities to overcome the variety of problems which a life on the streets entails. Criminal behavior therefore is sometimes without alternative due to the realities of street

life, for example due to drug-related crime [11]. Furthermore, street-connected children and street youth often face a life of poverty. They struggle to provide for their livelihood and thus frequently live from day to day. In Germany, state support is the primary source of income for 36% of the young people, followed by 23% earn money legally on the streets, and 11% who survive by financial support from private individuals [7]. In developing countries, there are often informal work opportunities on the streets, and street-connected children earn money by informal work such as collecting garbage, shining shoes, or selling various items. Government support, on the other hand, is rarely available. Therefore, street-connected children in developing countries are more vulnerable to poverty as compared to street youth in Germany [5]. Worldwide, street-connected children and street youth are exposed to violence, such as fighting due to group conflicts, sexual abuse by peers or adults, or humiliation by police and security forces (cf. e.g. [11] or [18]). In developing countries, experiences of violence are more common, and fights between street-connected children can and do often lead to life-threatening injuries [5]. Similarities between street-connected children and street youth can also be found in their thoughts about their future. Both groups desire to continue their education in order to obtain an accredited school degree. When asked what they wish their future to look like, many respond that they would like to start their own family, have a good job and their own apartment with a car (cf. e.g. [5] or [29]).

A further difference as listed above is the fact that the average age of entry to the streets is younger in developing countries than it is in Germany. This leads to an earlier termination of the individual's formal education in developing countries. Accordingly, basic skills such as reading and writing are not always mastered [30]. In addition, the number of street-connected children or street young living in in their respective countries differ from one another. In Germany, approximately 37,000 young people up to the age of 26 live on the streets [6]. On the other hand, according to Agence Française de Développement [31], there are between 250,000 and 1 million street-connected children in the Philippines with a total population of approximately 108 million [32]. Lastly, we want to cite Thomas de Benítez: "The differences between 'street children' in East Africa and Western Europe or South America and South Asia can seem harsh. [...] But striking similarities have emerged from modern research." [8, p. 64].

7. The Need for Physics Education for Street-Connected Children and Street Youth

According to the SDG "Quality Education", street-connected children and street youth worldwide must have guaranteed access to all levels of education [1]. In 1989, this right to education for children and adolescents became contractual in the Convention on the

Rights of the Child of the United Nations [33]. The value of basic education for street-connected children and street youth is emphasised by various authors, and numerous arguments can be found in favor of it. As stated by Weber and Sierra Jaramillo, the possibility of a dignified life and a self-determined future stands and falls with education [5]. In the following, several of these justifications for the education of street-connected children and street youth will be outlined.

As already discussed in the previous chapter, street life worldwide entails a variety of challenges. These difficulties, such as dropping out of school or individual health problems, prevent street-connected children and street youth from developing and realising their full potential. According to the Convention on the Rights of the Child, education should lead to "the development of the child's personality, talents and mental and physical abilities to their fullest potential" [33]. Moreover, Corcoran and Wakia [34] have found that the more schooling street-connected children have received prior to their entry to the streets, the less deprivations they experience during their street episodes. General education helps to critically reflect one's own circumstances as well as their causes and to develop realistic strategies for exiting [20]. Quality education significantly improves the future prospects of street-connected children and street youth, since, as claimed by Weber and Sierra Jaramillo, it enables them to make appropriate use of the resources and opportunities available to them [5]. For instance, Hoch found that only 8% of the surveyed street youth were without health insurance. However, despite vulnerable health conditions, many street youths do not use their insurance and rarely visit doctors [6, 7]. Education could help adolescents adequately utilise the resource of free health care. The acquisition of educational qualifications also enables street-connected children and street youth to find a sufficiently paid employment whereby they can independently provide for their livelihoods. These opportunities would often be closed to them without an official educational diploma [30]. As Weber and Sierra Jaramillo point out, school education cannot guarantee social advancement, but without education there will certainly be none [5].

As stated by the Conference of the Ministers of Education and Cultural Affairs in Germany in 2004, knowledge of physics is an integral part of general education [35]. Accordingly, physics education must be part of educational projects for street-connected children and street youth in order to provide them with a high-quality education. As described above, street-connected children and street youth often drop out of school as they begin their life on the streets. Consequently, they have no official school degrees and show significant gaps in their knowledge. Among other things, this reduces their prospects on the labor market and makes it more difficult to leave street life [20]. Additionally, knowledge of physics, in

combination with educational degrees, provides access to many technical and, in some cases, social professions as well as access to advanced educational programs. Physics education also enables a person to understand what different technical professions entail and helps them make more informed career choices [30, 35].

Life on the streets and the sometimes-traumatizing individual pasts lead to a variety of problems and deprivations for street-connected children and street youth. Due to these circumstances, they are often unable to develop various competences or can do so only marginally. This in turn can have a negative impact on leaving the streets or coping with everyday life on the streets. At this point we would like to show that with the help of physics education important skills of street-connected children and street youth can be developed. Thus, physics education has the potential to help street-connected children and street youth lead independent lives and leave the streets.

In their individual past and in their life on the streets, street-connected children and street youth have often had negative experiences with their family members, classmates, authorities, etc. and these experiences were often formative. For this reason, they tend to have problems building and maintaining healthy, sustainable, and collaborative relationships [13, 30]. Conflicts arise often leading to violent behaviour [23, 30]. It is known that street-connected children and street youth often live in the present and barely have the capacity to think about their future [5, 22]. However, the ability to make tangible, achievable plans is a crucial tool for leaving the streets [23]. Since leaving the streets after a longer period of time is not an easy task, street-connected children and street youth must have the wherewithal to identify and implement the necessary steps in order to start a life off the streets. Furthermore, discovering one's own talents and abilities plays a key role in educational work with street-connected children and street youth. Due to their vulnerable living conditions and their often-problem filled pasts, they frequently have low perceived self-efficacy. This means that they lack faith in their own abilities and assume in advance that they will not be able to complete a task. This can result in an apathetic attitude towards their lives and future prospects. The confidence in one's own strengths and the conviction that to a certain extent one can influence one's circumstances can support the process of leaving the streets or taking care of yourself on the streets [5, 25].

Physics education can support street-connected children and street youth to promote or develop the aforementioned skills. In our opinion, student-centred methods such as student experiments or projects are particularly helpful. For instance, within the framework of experimenting in groups or projects, street-connected children and street youth can practice and develop a productive and trusting interpersonal relationships and team building [30]. Another

characteristic of physics is that predictions are made with the help of models and mathematical formulas. Mechanics, for example, deals with the movement of bodies and tries to describe their locations as precisely as possible through mathematical functions. The location of the body in the past, the present and the future should be calculable. This aspect of physics is also important for street-connected children and street youth, as it can support the development of skills in planning and visualizing one's own future and handling uncertainties in life [36]. With the help of experiments, for example, hypotheses can be generated through observation and these can in turn be tested in further experiments. Furthermore, projects in physics lessons can give street-connected children and street youth the opportunity to practise both planning and implementation under their own supervision [5, 37]. In addition, teaching physics can create opportunities to rediscover one's own self-efficacy and thus strengthens confidence in one's abilities. To achieve this, it is particularly important to create strength-oriented learning environments with real-life relevance in order to facilitate a sense of achievement [12, 30]. Projects in physics lessons are also particularly suitable for this purpose, as they can be used to deal with topics that are relevant to the children and young people and can be flexibly adapted to their needs [5, 22]. Through the experiences in these projects, they can also realise that they can actively shape their lives, implement appropriate plans and are thus not just pawns of their circumstances [38]. In general, project work is well suited for working with street-connected children and street youth, as they can discover their capabilities and strengths. Furthermore, projects can easily be related to their everyday situations on the streets [37]. In addition, problem-solving skills can be developed through physics education and rational decision-making can be practised. In physics lessons, problems are worked on continuously, for which logical reasoning, creativity and the methods and approaches inherent in science are used [36, 39]. The Conference of the Ministers of Education and Cultural Affairs in Germany [35] describes these competences in physics lessons as knowledge acquisition and evaluation. Those skills help street-connected children and street youth in a practical way in their everyday life on the streets. For instance, they may benefit from asking themselves whether the benefits of drug use - coping with hunger, anxiety, cold, and boredom - outweigh the risks - addiction, cost, health effects.

Our final point pro physics education for street-connected children in developing countries and street youth in developed countries is in our opinion highly important. It should be mentioned that every person carries hidden potentials which should be fostered, among other things, through education. Street-connected children and street youth can also have scientific interests and abilities, and, like every human

being, they have the right to find, develop and deepen these [40].

8. Outlook

This paper is part of a larger research project. Its main research interest is to find out how science education for street-connected children and street youth should look like in street schools in order to fulfil the SDG "Quality Education". Based on the results of this paper, an interview guideline will be created, which will then be used to interview those responsible for street schools and science teacher in German street schools. These interviews also aim to answer the question to what extent these street schools have the potential to realise the SDG "No Poverty" for their participants.

9. References

- [1] United Nations (2015). Transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development. Url: <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/21252030%20Agenda%20for%20Sustainable%20Development%20web.pdf> (State 5/2021)
- [2] UNICEF (n.d.). Quality of education. Url: <https://www.unicef.org/rosa/what-we-do/quality-education> (State 5/2021)
- [3] Hoch, C. (2017). Straßenjugendliche in Deutschland - eine Erhebung zum Ausmaß des Phänomens. Endbericht - zentrale Ergebnisse der 2. Projektphase [Street youth in Germany – a survey on the extent of the phenomenon. Final report – central results of the 2nd project phase]. Halle: Deutsches Jugendinstitut. Url: https://www.dji.de/fileadmin/user_upload/bibs2017/Strassenjugendliche_Endbericht.pdf (State 5/2021)
- [4] Consortium for Street Children (n.d.). About Street Children. Url: <https://www.streetchildren.org/about-street-children/> (State 5/2021)
- [5] Weber, H. & Sierra Jaramillo, S. (2013). Bildung gegen den Strich. Lebensort Straße als pädagogische Herausforderung [Education against street-walking. The street as a place to live as an educational challenge]. München: Don Bosco Medien
- [6] Beierle, S. & Hoch, C. (2017). Straßenjugendliche in Deutschland. Forschungsergebnisse und Empfehlungen [Street youth in Germany. Research results and recommendations]. München: Deutsches Jugendinstitut. Url: https://www.dji.de/fileadmin/user_upload/bibs2017/25865_beierle_hoch_strassenjugendliche.pdf (State 5/2021)
- [7] Hoch, C. (2016). Straßenjugendliche in Deutschland - eine Erhebung zum Ausmaß des Phänomens. Zwischenbericht - zentrale Ergebnisse der 1. Projektphase [Street youth in Germany – a survey on the extent of the phenomenon. Interim report – central results of the

- 1st project phase]. Halle: Deutsches Jugendinstitut. Url: https://www.dji.de/fileadmin/user_upload/bibs2016/Bericht_Strassenjugendliche_2016.pdf (State 5/2021)
- [8] Thomas de Benítez, S. (2011). *State of the World's Street Children: Research* (Street Children Series, 2). London: Consortium for Street Children. Url: https://www.streetchildren.org/wp-content/uploads/2013/02/State_of_the_Worlds_Street_Children_Research_final_PDF_online.pdf (State 5/2021)
- [9] MOMO – The Voice of Disconnected Youth (n.d.). Workshop Bildung Protokoll (Ergebnisse des Fachtags „Gemeinsam Denken! Gemeinsam handeln!“) [Workshop education protocol (Results of the symposium „Gemeinsam Denken! Gemeinsam Handeln“)]. Url: <https://www.momo-voice.de/> (State 5/2021)
- [10] Corcoran, S. L., Awimbo, L. A., Mugwanga, K. & Aluoch, I. A. (2020). Street-connectedness and education in Kenya: Experiences of formal schooling as rationale for inclusive pedagogies of practice. In: *Prospects, Comparative Journal of Curriculum, Learning, and Assessment*, 49 (2020), S. 265–280. Url: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11125-020-09495-w> (State 5/2021)
- [11] Permien, H., Zink, G. (1998). *Endstation Straße? Straßenkarrieren aus der Sicht von Jugendlichen* [Ultimate destination street? Street careers from the perspective of young people]. München: Deutsches Jugendinstitut
- [12] Thomas de Benítez, S. (2013). *A Participatory Assessment of Street to School Programmes: Global Report*. London: Aviva. Url: https://www.eenet.org.uk/resources/docs/Global_report_PDF_1.pdf (State 5/2021)
- [13] Beierle, S. (2017). *Praxisbericht zur Projektarbeit mit Straßenjugendlichen. Erkenntnisse aus den Modellprojekten des Innovationsfonds (des Kinder- und Jugendplans) im Bereich Jugendsozialarbeit (2014-2016)* [Practice report on project work with street youth. Findings from the model projects of the Innovation Fund (if the child and youth plan) in the field of youth social work (2014-2016)]. Halle: Deutsches Jugendinstitut. Url: https://www.dji.de/fileadmin/user_upload/bibs2017/Praxisbericht_Innovationsfonds_Stra%C3%9Fenjugendliche.pdf (State 5/2021)
- [14] Weber, H. & Sierra Jaramillo, S. (2003). *Narben auf meiner Haut. Straßenkinder fotografieren sich selbst* [Scars on my skin. Street children photographing themselves]. Frankfurt am Main: Edition Büchergilde
- [15] Patio13 (n.d.). *Physik für Straßenkinder. Ein Entwicklungs- und Forschungsprojekt in Kolumbien* [Physics for street children. A development and research project in Colombia]. Url: <https://physik-patio13.de/physik-fuer-strassenkinder/> (State 5/2021)
- [16] Schroeder, J. (2012). *Schulen für schwierige Lebenslagen. Studien zu einem Sozialatlas der Bildung* [Schools for difficult life situations. Studies on a social atlas of education]. Münster, New York, München, Berlin: Waxmann
- [17] United Nations (2017). *General comment No. 21 (2017) on children in street situations*. Url: https://www.streetchildren.org/wp-content/uploads/gravity_forms/1-07fc61ac163e50acc82d83eee9ebb5c2/2017/07/General-Comment-No.-21-2017-on-children-in-street-situations.pdf (State 5/2021)
- [18] Thomas de Benítez, S. (2007). *State of the world's street children: Violence* (Street Children Series). London: Consortium for Street Children. Url: <https://www.streetchildren.org/wp-content/uploads/2013/02/state-of-the-world-violence.pdf> (State 5/2021)
- [19] terre des hommes (n.d.). *Straßenkinder* [Street children]. Url: <https://www.tdh.de/was-wir-tun/arbeitsfelder/strassenkinder/> (State 5/2021)
- [20] Mögling, T., Tillmann, F. & Reißig, B. (2015). *Entkoppelt vom System. Jugendliche am Übergang ins junge Erwachsenenalter und Herausforderungen für Jugendhilfestrukturen* [Decoupled from the system. Young people in transition to young adulthood and challenges for youth welfare structures]. Düsseldorf: Vodafone Stiftung Deutschland. Url: <https://www.vodafone-stiftung.de/wp-content/uploads/2019/06/Entkoppelt-vom-System.pdf> (State 5/2021)
- [21] Bundesarbeitsgemeinschaft Wohnungslosenhilfe e.V. (2019). *Wohnungslosigkeit: Kein Ende in Sicht* [Homelessness: no end in sight]. Berlin. Url: <https://www.bagw.de/de/themen/zahl-der-wohnungslosen/index.html> (State 5/2021)
- [22] Wolfer, D. (2019). *Straßenpädagogik und Straßenschule* [Street education and street school]. In: Schweder, M. (Ed.). *Bildung und Erziehung im Abseits. Erste Annäherungen* [Education and upbringing on the sidelines. First approaches] (S. 72–89). Weinheim, Basel: Beltz Juventa
- [23] Butterwegge, C., Holm, K., Imholz, B., Klundt, M., Michels, C., Schulz, U., Zander, M. & Zeng, M. (2003). *Armut und Kindheit. Ein regionaler, nationaler und internationaler Vergleich* [Poverty and childhood. A regional, national and international comparison]. Wiesbaden: Springer Fachmedien
- [24] Initiative Neue Soziale Marktwirtschaft (2020). *INSM-Bildungsmonitor 2020. Schulische Bildung in Zeiten der Corona-Krise* [INSM's

- education monitor 2020. School education in times of the corona crisis]. Köln: Institut der deutschen Wirtschaft. Url: https://www.in-sm-bildungsmonitor.de/pdf/Forschungsbericht_BM_Langfassung.pdf (State 5/2021)
- [25] Fernandez, K. (2018). Wohninstabile Jugendzonen: eine ethnographische Grounded-Theory-Studie zur Exploration der Verlaufsprozesse von Straßenkarrieren [Residentially unstable youth scenes: an ethnographic grounded theory study to explore the trajectories of street careers]. Weinheim: Beltz Verlagsgruppe
- [26] Burkholder, K. (2020). Education for Street-Connected Children in Kenya: Marginalization, Challenges, and Recommendations. In: Watzlawik, M. & Burkholder, A. (ed.). *Educating Adolescents Around the Globe: Becoming Who You Are in a World Full of Expectations* (S. 97-115). Cham: Springer Nature Switzerland
- [27] Flick, U.; Röhnsch, G. (2008). Gesundheit auf der Straße. Gesundheitsvorstellungen und Umgang mit Krankheit im Kontext von Jugendobdachlosigkeit [Health on the street. Health perceptions and dealing with illness in the context of youth homelessness]. Weinheim, München: Juventa-Verlag
- [28] Sulkowski, M. L. Michael, K. (2014). Meeting the mental health needs of homeless students in schools. A Multi-Tiered System of Support framework. In: *Children and Youth Services Review*, 44 (2014), S. 145–151. Url: <https://www.streetchildren.org/wp-content/uploads/2015/11/meeting-the-mental-health-needs-of-homeless-youth.pdf> (State 5/2021)
- [29] Corcoran, S. L. (2016). Leaving the street? Exploring transition experiences of street-connected children and youth in Kenya (Dissertation). Manchester: University of Manchester. Url: <https://e-space.mmu.ac.uk/619841/1/Su%20Corcoran%20-%20PhD.pdf> (State 5/2021)
- [30] Welzel-Breuer, M. & Breuer, E. (2018). Physik (nicht nur) für Straßenkinder. Ein Praxis-Handbuch mit Experimentiervorschlägen [Physics (not only) for street children. A practice manual with experiment suggestions]. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum
- [31] Agence Française de Développement (2018). A breath of hope for street children in the Philippines. Url: <https://www.afd.fr/en/actualites/breath-hope-street-children-philippines> (State 5/2021)
- [32] The World Bank (2019). Population, total - Philippines. Url: <https://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.TOTL?locations=PH> (State 5/2021)
- [33] United Nations (1989). Convention on the Rights of the Child. Url: <https://www.ohchr.org/en/professionalinterest/pages/crc.aspx> (State 5/2021)
- [34] Corcoran, S. L. & Wakia, J. (2013). Retrak Report. Evaluation outcomes: Retrak's use of the Child Status Index to measure wellbeing of street-connected children. Retrak. Url: https://resourcecentre.savethechildren.net/node/7812/pdf/retrak_research_evaluation_outcomes_may_13_f.pdf (State 5/2021)
- [35] Kultusministerkonferenz (2004). Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss [Educational standards in physics for the high-school diploma]. München, Neuwied: Wolters Kluwer. Url: https://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschlusse/2004/2004_12_16-Bildungsstandards-Physik-Mittleren-SA.pdf (State 5/2021)
- [36] Hazelkorn, E. (2015). Science Education for Responsible Citizenship. Luxembourg: Publications Office of the European Union. Url: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/a1d14fa0-8dbe-11e5-b8b7-01aa75ed71a1> (State 5/2021)
- [37] Beierle, S. (2019). Projekte für die Zielgruppe der Straßenjugendlichen entwickeln und durchführen. Erkenntnisse aus Modellprojekten des Innovationsfonds des Bundes im Handlungsfeld Jugendsozialarbeit (2014-2016 und 2017-2019) [Developing and implementing projects for the target group of street youth. Findings from model projects of the federal innovation fund in the field of youth social work (2014-2016 and 2017-2019)]. Halle: Deutsches Jugendinstitut. Url: https://www.dji.de/fileadmin/user_upload/bibs/DJI_Strassenjugendliche_Handreichung_4.pdf (State 5/2021)
- [38] Calabrese Barton, A. (1998): Teaching Science with Homeless Children. Pedagogy, Representation, and Identity. In: *Journal of Research in Science Teaching*, 35 (4, 1998), S. 379–394. Url: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/%28SICI%291098-2736%28199804%2935%3A4%3C379%3A%3AAID-TEA8%3E3.0.CO%3B2-N> (State 5/2021)
- [39] Wiesner, H., Schecker, H & Hopf, M. (2017). Physikdidaktik kompakt [Physics didactics compact]. Seelze: Aulis Verlag
- [40] Kircher, E. (2020). Grundlagen der Physikdidaktik [Principles of physics didactics]. In: Kircher, E., Girwidz, R. & Fischer, H. E. (Ed.). *Physikdidaktik. Grundlagen [Didactic of physics. Principles]* (4. Auflage, S. 25-78). Berlin: Springer Spektrum

Kontexte für den Kontext

Thomas Zügge*

*Bergische Universität Wuppertal, AG Physik und ihre Didaktik, Gaußstraße 20, 42119 Wuppertal
zuegge@uni-wuppertal.de

Kurzfassung

Die Forderung nach kontextualisiertem Unterricht war und ist so allgegenwärtig, dass sie weder aus den naturwissenschaftlichen Lehrplänen noch aus dem didaktischen Diskurs wegzudenken ist. Gleichzeitig ist es ein Allgemeinplatz der Linguistik, dass die Kommunikation über einen Begriff ohne Kontext (und hier ist schon etwas anderes gemeint) schwerlich gelingen kann. Im Beitrag wird entsprechend zu klären sein, was mit dem Begriff "Kontext" im didaktischen Diskurs bezeichnet wird. Bei allen Unterschieden wird eine Gemeinsamkeit deutlich werden: Das Individuum wird im Diskurs um gelingende Kontextualisierung an den Rand gedrängt. Dies ist, wie sich zeigen wird, keine definitorische Notwendigkeit: die "inneren Kontexte" der Lernenden werden im Beitrag als Orientierung stiftende Dimension des Kontextbegriffs eingeführt und schaffen Abhilfe.

1. Der didaktische Kontextbegriff

Bereits der für diesen Beitrag gewählte Titel ist in der Lage, die Domänenabhängigkeit des Kontextbegriffs deutlich zu machen. Ausgehend von der Art und Weise, wie der Begriff Kontext im Alltag genutzt wird, erwarten Leser:innen (zu Recht), dass ein nur scheinbar intuitiv und schlüssig zu interpretierender Sachverhalt – in diesem Fall ein Fachbegriff – um bisher unbekanntes ergänzt wird, die somit seine richtige Interpretation ermöglichen [1]. Im Rahmen der Naturwissenschaftsdidaktik kehrt sich dieser grundlegende Mechanismus der Kontextualisierung um: Der inertial abstrakte und nicht entschlüsselbare Sachinhalt – z. B. das physikalische Fachkonzept – wird kontextualisiert, indem er in Bezug gesetzt wird zu einem den Lernenden bereits wohlbekannten Gegenstand aus ihrem Leben [siehe etwa 2, 3, 4]. Während andere Kriterien der didaktischen Kontextualisierungen sich mit jenen, die an linguistisch wirksame Kontextualisierungen außerhalb der Didaktik formuliert werden, decken (z. B. Authentizität), muss in dieser und anderen Dimensionen des Verständnisses der Begriffe „Kontext“ und „Kontextualisierung“ eine Differenz angenommen werden. Dies macht es notwendig, für die naturwissenschaftliche Didaktik abweichende Definitionen dieser Begriffe zu fordern. Obgleich dieses Desiderat oft wiederholt wurde [z. B. 5, 6], versäumen es auch etablierte didaktische Arbeiten zum Kontextbegriff (oft im Verweis auf den lateinischen Wortstamm) zwischen dem Kontext und der Handlung der Kontextualisierung zu unterscheiden [z. B. 7, 8]. Wie sich zeigen wird ist die Formulierung einer eindeutigen Definition dieser beiden Begriffe aber auch vor dem Hintergrund selbst in der Naturwissenschaftsdidaktik sehr unterschiedlicher Kontextverständnisse nicht leicht zu formulieren. Als Lösung und für das weitere Vorgehen schlage ich die folgende Definition vor, in welcher diese unterschiedlichen Verständnisse gebündelt und zentrale

Forderungen an didaktische Kontextualisierungen aufgenommen werden können:

„Kontextualisierung“ im aktiv-didaktischen Sinn bezeichnet die Berücksichtigung, Aufnahme oder Inszenierung eines präexistierenden Gegenstandes, „Kontext“ genannt, welcher für die fachlogische Beschreibung optional ist, mit dem Zweck die Erschließung des Fachkonzepts und/ oder des Kontextes selbst durch die Aufnahme einer distinktierten und als relevant wahrgenommenen Dimension zu unterstützen.

Die einzelnen Elemente dieses Definitionsvorschlags können im Rahmen dieses Beitrags nicht umfassend erläutert werden, eine ausführliche Begründung findet sich aber in [9]. Im Folgenden liegt der Fokus darauf, darzustellen, welche Bereiche in der naturwissenschaftlichen Didaktik – je nach Lesart – bereits als Kontexte des Unterrichts identifiziert sind. Um die schon angesprochenen unterschiedlichen Deutungen des didaktischen Kontextbegriffs in einer Definition zu vereinen und trotzdem Kontexte und Kontextualisierungen als solche identifizieren zu können, enthält die vorgeschlagene Definition an mehreren Stellen „und“ bzw. „oder“ Formulierungen. Diese Notwendigkeit wird im Folgenden erläutert.

2. Was wird mit dem Begriff Kontext bezeichnet?

Es lassen sich drei wesentliche Strömungen bezüglich der Frage, wie die Begriffe Kontext und Kontextualisierung verstanden werden, unterscheiden. Neben der in der naturwissenschaftlichen Didaktik in den letzten Jahren zunehmend populären Lesart, Kontextualisierung vornehmlich als Einbettung der Vermittlung zu verstehen, finden sich auch Autor:innen, die Kontextualisierungen vornehmlich als Verweise beschreiben

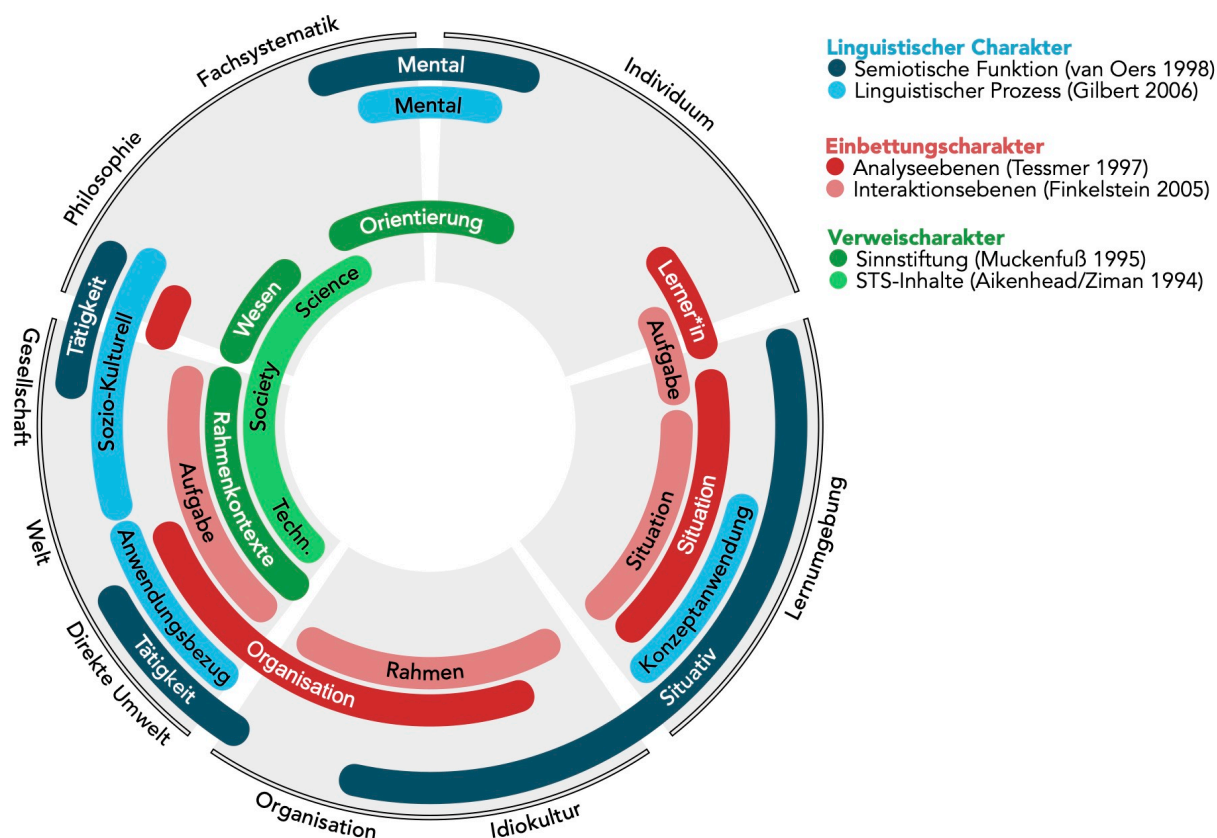


Abb.1: Referenzen des Kontextbegriffs in unterschiedlichen Interpretationen des Begriffs Kontextualisierung.

und jene, die Kontextualisierung als linguistischen Mechanismus verstehen. Diese Lesarten werden in diesem Abschnitt detaillierter dargestellt. Abhängig davon, wie der Begriff Kontextualisierung verstanden wird, werden mit dem Begriff Kontext von den entsprechenden Autor:innen aber auch unterschiedliche Bereiche in der Welt referenziert. Abbildung 1 verdeutlicht dieses. Sie lässt sich im Sinne einer Uhr lesen. Beginnend bei 12 Uhr wird darin die Welt im Uhrzeigersinn in zunehmend weitere, bzw. abstraktere Gegenstandsbereiche unterteilt. So schließen sich an den Bereich des lernenden Individuums das direkte situationale Umfeld und weiter die Idio- und Organisationskultur der Schule an. Weiter sind die Welt außerhalb der Schule, abstrakter die Gesellschaft, die Philosophie und schließlich die Fachstruktur notiert, welche idealerweise anschlussfähig an die kognitive Struktur der Lernenden ist. In diese Kreisscheibe eingezeichnet finden sich jene Bereiche der Welt, die in den jeweiligem Kontextualisierungsverständnissen als „Kontexte“ bezeichnet werden.

2.1. Der Verweischarakter didaktischer Kontextualisierungen

Das erste und etablierteste Verständnis aktiv-didaktischer Kontextualisierung stellt vor allem ihren Verweischarakter in den Vordergrund. Kontextualisierung bedeutet dann, vom Fachinhalt ausgehend auf seine Anwendungen oder die Motivation für seine Erschließung in der Welt zu verweisen. Vor allem im englischsprachigen Raum wurde im Rahmen der

Science-Technology-Society Bewegung kontextbasierter Unterricht als didaktische Vermittlungsfigur entwickelt, die von den Bedürfnissen der Gesellschaft über technische Fragen zur Erschließung des Fachinhaltes hinführt und danach über technische Anwendungen und gesellschaftliche Implikationen seine Bedeutsamkeit in der Welt illustriert [10, 11]. In einer ähnlichen Geste hatte auch Heinz Muckenfuß im deutschsprachigen Raum für die Auswahl geeigneter Fachinhalte ausgehend von ihrer Funktion für die Erschließung der von ihm vorgeschlagenen Rahmenkontexte geworben [2].

Entsprechend werden von den genannten Vertreter:innen vor allem Bereiche in der linken oberen Hälfte des Kreises mit dem Begriff Kontext bezeichnet (Abb. 1, in Grün). Im Uhrzeigersinn sind das etwa technische Anwendungen, Phänomene der Umwelt, (aktuelle) Fragen der Gesellschaft, das Wesen der Naturwissenschaften im Allgemeinen oder der Physik im Speziellen. Muckenfuß hat zudem das Orientierungswissen der Lernenden als Kontext bezeichnet, der die sinnstiftende Interpretation des Fachinhaltes unterstützt.

In einigen Fällen sind Verweiskontextualisierungen intrinsisch motiviert. Der Erschließung des Kontextes selbst wird ein so hoher Bildungswert zugeschrieben, dass sie selbst zum Ziel der Vermittlung wird [10] und den Aufbau der unterrichtlichen Bearbeitung stark strukturiert [2, 4]. Instrumentalistisch motivierte Verweis-Kontextualisierungen, in denen der Kontext

lediglich der Illustration des Fachinhaltes dient, werden hingegen mitunter scharf kritisiert [6, 10].

Kontextualisierungsverständnisse, welche den Verweiskarakter betonen, legitimieren sich zumeist aus bildungswissenschaftlichen, wissenschaftsphilosophischen, -historischen und/oder soziologischen Reflexionen [siehe etwa 2, 11].

2.2. Der Einbettungscharakter didaktischer Kontextualisierungen

In dieser vor allem in der deutschsprachigen Naturwissenschaftsdidaktik der vergangenen Jahre immer populärer gewordenen Lesart wird Kontextualisierung als aktiv-didaktische Aufnahme, Inszenierung oder Gestaltung jener Aspekte verstanden, in welche die Lernenden oder ihr Lernprozess eingebunden sind. So haben Martin Tessmer und Rita Richey einen umfangreichen Katalog jener zeitlichen, räumlichen und nebenfachlichen Einflüsse zusammengestellt, die Einfluss auf den Vermittlungsprozess nehmen (können) [12]. Noah Finkelstein hat in Aufnahme eines Konzeptes von Michael Cole die ineinander verschachtelte Einbettung dieser Einflüsse auf den naturwissenschaftlichen Unterricht bezogen [7, 13].

In Kontextualisierungsverständnissen, die den Einbettungscharakter in den Vordergrund stellen, werden große Teile der anderen Hälfte des Kreises mit dem Begriff Kontext bezeichnet (Abb. 1, in Rot). Im Uhrzeigersinn sind dies zum Beispiel das bestehende Interesse, das Lernende einer Aufgabe oder einem Thema entgegenbringen und sehr häufig die Lernumgebung selbst bzw. die Form, in welcher diese in kulturelle und organisationale Rahmen eingebettet ist. Indem Finkelstein den Aufgabenkontext als Rahmung der konkreten, das Fachkonzept illustrierenden Problemlösungsaufgabe im Zentrum seiner Ordnung in die Lernsituation einbettete, schien zudem ein integriertes Kontextualisierungsverständnis [4] entwickelt, welches Einbettungs- und Verweiskontextualisierungen in einer gemeinsamen Struktur zusammenführt. In den vergangenen Jahren hat das vor allem in der deutschsprachigen naturwissenschaftlichen Didaktik dazu geführt, dass Aufgaben- und Verweiskontexte synonym behandelt wurden, als seien die jeweils hierfür formulierten Gelingensbedingungen verlustfrei aufeinander zu übertragen. Im Verweis auf Jose Mestre hatte Finkelstein aber vom Aufgabenkontext als „Storyline“ gesprochen, in welche das aktuell zu lösende Problem eingebettet sei [7, 14].

Im Unterschied zu Verweiskontextualisierungen sind Einbettungskontextualisierungen beinahe nie intrinsisch motiviert. Auch etwa Finkelsteins Aufgabenkontext dient der Erschließung des Fachkonzepts – und nicht etwa dieses der Erschließung der Storyline. Während in Verweiskontextualisierungen vornehmlich Objekte mit dem Begriff Kontext bezeichnet werden, die als extern zu bezeichnen sind – in Bezug auf die Schüler:innen, das Klassenzimmer, häufig sogar die Schule –, ist im Einbettungsverständnis der Kontextualisierung auch die Beschreibung des

soziokulturellen Rahmens der Vermittlung und der Gelingensbedingungen, die sich aus der Passung mit den jeweiligen Aufgabenkontexten ergeben möglich.

In den Literaturverzeichnissen von Arbeiten, die vornehmlich den Einbettungscharakter von Kontextualisierung betonen, finden sich häufig lehr- und lernpsychologische Quellen, solche aus der Sozialpsychologie, aber begrenzt auch linguistische Arbeiten.

2.3. Der linguistische Charakter didaktischer Kontextualisierungen

Eine dritte Weise, Kontextualisierungen zu beschreiben, baut vor allem auf dem linguistischen Kontextbegriff auf. Kontexte dienen dabei dem Fachinhalt weniger als Verweise oder Einbettungen, sondern vielmehr als elementare Gelingensbedingungen des Verstehensprozesses. Sie fungieren in linguistisch-pragmatischer Tradition als Hinweise („Cues“ [15, 16]), welche den Verstehensprozess der Lernenden leiten. Bert van Oers hat in diesem Sinne den semiotischen Kontextbegriff auf die Didaktik übertragen und damit die Grundlage dafür geschaffen, auch sozial-konstruktivistisch bzw. tätigkeitstheoretisch inspirierte Lehrkonzepte [z. B. 17, 18] als Formen der Kontextualisierung zu beschreiben und das vorhandene Vorwissen in der kognitiven Struktur der Lernenden selbst als Kontext zu identifizieren [5]. John Gilbert hat ausgehend von linguistischen Prozesstheorien unterschiedliche Formen praktisch kontextualisierten Unterrichts beschrieben und durch Rückbezug auf die in der Linguistik etablierten Kriterien für gelingende Kommunikationsprozesse bewertet [6].

Linguistische Kontextualisierungsverständnisse werden in beiden der bereits genannten Kontextualisierungsverständnisse referenziert, wobei vor allem Gilberts detaillierte Unterscheidung unterschiedlicher praktischer Umsetzung von kontextualisiertem Unterricht in der Chemie- aber auch Physikdidaktik häufig als Grundlage dient. Im Einklang mit dieser metatheoretischen Perspektive werden im linguistischen Kontextualisierungsverständnis weite Teile des oben dargestellten Kreises als Kontexte bezeichnet (Abb. 1, in Blau). Im Uhrzeigersinn sind dies die kognitive Struktur der Lernenden, die situative Einbettung des Lernprozesses aus sozialkonstruktivistischer Perspektive und tätigkeitstheoretische Beschreibungen des Lehr-/Lernprozesses.

In den einleitenden Absätzen von Arbeiten, die vor allem den linguistischen Charakter didaktischer Kontextualisierung in den Vordergrund stellen, finden sich entsprechend viele Verweise auf Pragmatiker:innen und Tätigkeitstheoretiker:innen [z. B. 19, 20].

3. Eine Leerstelle im didaktischen Kontextbegriff

Der eingangs notierte Definitionsvorschlag lässt sich auf diese drei Arten, Kontextualisierung zu verstehen, anwenden. Bei genauerer Betrachtung des in Abbildung 1 dargestellten Kreischnitts fällt aber auf, dass eine freie Stelle bleibt. Besonders im Bezug auf das Individuum gibt es Bereiche, die von keinem der

etablierten Kontextualisierungsverständnisse als Kontext bezeichnet werden. Eine vergrößerte Darstellung (Abb. 2) hilft, diese Leerstelle genauer zu identifizieren.

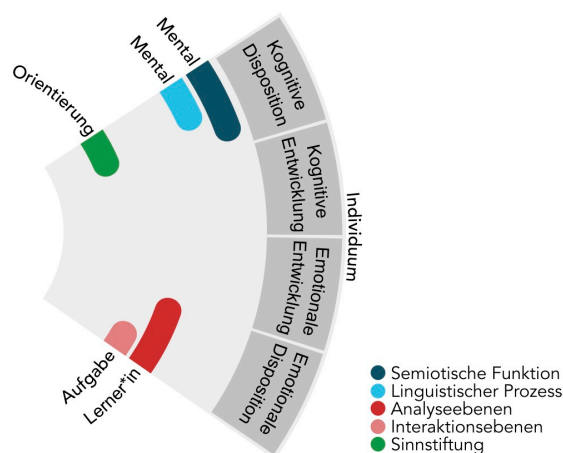


Abb.2: Ausschnitt: Dimensionen des Individuums, die in der Naturwissenschaftsdidaktik als Kontexte referenziert werden.

In dem Ausschnitt wurde der Bereich des Individuums weiter unterteilt. Bereiche, die im Rahmen des Diskurses um Kontexte als statische Dispositionen der Lernenden betrachtet werden können, werden als Randbedingungen des Lernprozesses mitgedacht und teilweise als Kontexte referenziert. So ist es in den linguistischen Kontextualisierungsverständnissen üblich, kognitive Dispositionen, also z. B. Vorwissen, Kompetenzen und Erfahrungen, als Kontexte der Vermittlung zu bezeichnen. Auch Muckenfuß' Begriff des Orientierungswissens bezeichnet effektiv einen sinnstiftenden Kontext im Rahmen des von ihm entwickelten Entwurfs. Ebenso werden vor allem in Einbettungsverständnissen der Kontextualisierung die emotionalen Dispositionen der Lernenden mit dem Begriff Kontext bezeichnet. Zum einen geschieht dies im Rahmen der Beschreibung des Interesses an Aufgabenkontexten [7], das Van Vorst in Anlehnung an Andreas Krapp weiter bezüglich der wertbezogenen und emotionalen Valenzen des Interesses differenziert und damit auf die Lernenden bezogen hat [8, 21]. Auch in den von Tessmer und Richey vorgelegten Analyseebenen wird die emotionale Disposition in Form von erlebter Lernkultur und Motivation als Kontext der Instruktion bezeichnet [12].

Die dynamischen Dimensionen des Individuums, namentlich die kognitive und emotionale Entwicklung, werden im Rahmen der untersuchten Kontextualisierungsverständnisse aber nicht mit dem Begriff Kontext referenziert oder berücksichtigt. Ein besonders prägnantes Beispiel ist der Entwurf Muckenfuß', dessen Motivation zwar mit einer Analyse veränderter Interessensdispositionen über den Verlauf der Schulzeit beginnt, im Folgenden die Ursachen für diese Veränderung in einer bildungswissenschaftlich detailliert geführten Argumentation dem Unterricht

attributioniert, dabei aber die parallel stattfindende Entwicklung der Lernenden nicht aufgreift [2].

4. Innere Kontexte

Im Rahmen des Diskurses um kontextualisierten Unterricht ist die dynamische Entwicklung des Individuums also bemerkenswert abwesend. Gefüllt werden kann diese Lücke im Rückgriff auf einen etablierten Begriff der Entwicklungspsychologie: Entwicklungsaufgaben. Entwicklungsaufgaben bezeichnen einen Katalog aus zu bearbeitenden Herausforderungen, die sich aus externen Erwartungen und inneren Bedürfnissen individuell zeitabhängig und in unterschiedlichen Ausprägungen wiederholend ergeben [22-25]. Die Evaluierung ihrer Bearbeitung erfolgt in der Regel zu gesellschaftlich normierten Zeitpunkten. Sie ist kulturell abhängig und in Deutschland oft altersnormiert [24-28]. Die individuelle Auswahl und Bearbeitung erfolgt selbstbestimmt in Aufnahme dieser Erfordernisse und abhängig von den angebotenen Bearbeitungsräumen [25, 29, 30]. Ich bezeichne diese Entwicklungsaufgaben als „Innere Kontexte der Vermittlung“ und ergänze entsprechend die obige Definition um die folgenden beiden Zusätze:

„Innere Kontexte“ sind Kontexte im Sinne der formulierten Definition, die sich aus der Bearbeitung von Entwicklungsaufgaben ergeben.

„Entwicklungssensible Kontextualisierung“ bezeichnet eine Kontextualisierung im Sinne der gegebenen Definition, die innere Kontexte aufnimmt.

Die Gelingensbedingungen entwicklungssensibler Kontextualisierungen sind entsprechend identisch mit jenen klassischer Kontextualisierungen, darüber hinaus schafft der Einbezug innerer Kontexte aber einen Interpretationsraum, in dem diese Gelingensbedingungen detaillierter gefasst und begründet werden können. Für die konkrete Unterrichtsvorbereitung ist entsprechend der Namensgebung kein detailliertes Wissen über die Entwicklung Heranwachsender notwendig – welches zudem stets unter dem Verdacht stehen muss, normativen Entwicklungsvorstellungen Vorschub zu leisten. Stattdessen schlage ich eine Sensibilisierung durch eine von Impulsfragen geleitete, genauere Betrachtung der Zusammenhänge des Unterrichts vor. Um zu illustrieren, wie diese Sensibilität in der Unterrichtsvorbereitung wirksam werden kann, erläutere ich im Folgenden zwei Beispiele für den Unterricht in der späten Adoleszenz, d. h. die letzten Schuljahre:

- Die Impulsfrage „Welche Inhalte des aktuellen Themas sind prüfungsrelevant, gibt es darunter zentrale Konzepte und wie sind sie miteinander vernetzt?“ kann mehr sein als eine Bewegung uninspirierter Unterrichtsvorbereitung. Eingebettet in erläuternde Informationen kann sie Sensibilisieren für die Statuspassage, welche schulische Prüfungen in unserer Gesellschaft darstellen. Im Besonderen ist die in der späten Adoleszenz

zeitlich gebotene Arbeit an zukünftigen Selbstkonzepten durch die Aussicht auf das Bestehen und die zu erwartende Abschlussnote moderiert [z. B. 25]. Eine entwicklungsensible Kontextualisierung, welche diese inneren Kontexte aufnimmt und den dahinter stehenden Entwicklungsaufgaben Bearbeitungsräume schafft, kann auch in Form einer etablierten Unterrichtsmethode, wie dem Advance Organizer oder der Concept Map, umgesetzt werden. Durch ihren Rückbezug auf die Entwicklung der Lernenden lösen sie sich aus der Kategorie lehr-lerntheoretischer Strukturelemente und werden zu Kontexten, die alle Forderungen oben genannter Definition erfüllen. Aber auch Varianten klassischer Unterrichtskontexte können entwicklungsensibel sein. Ist beispielsweise als Kontext die Lektüre einer Physiker:innenbiografie angedacht, kann der Fokus auf jene erste Kapitel der Biografie gelegt werden, in welchen die Vorbereitung auf das Abitur beschrieben wird, und so innere Kontexte konstruktiv aufnehmen.

- Die Frage „Welche Cliques bestehen innerhalb der Stufe und wie bilden diese sich im Kurs ab?“ referenziert auf den Umstand, dass Cliques sich – anders als Subkulturen – häufig auf mehrere Kurse verteilen und diese Kurswahl selbst Ausdruck versuchter Konstruktion einer sozialen Identität ist [z. B. 31]. In diesem Sinne wird die Teilnahme z. B. am Physikleistungskurs explizit für das Erproben unterschiedlicher Rollen im Freundeskreis genutzt. Bezogen auf den Unterricht können auch hier wieder etablierte Methoden als entwicklungsensible Kontextualisierungen gestaltet werden. So ist es möglich, die ohnehin im Unterricht präsenten Freihandexperimente entwicklungsensibel als physikalische „Tricks“ einzuführen, die dazu geeignet sind, auch in der Freizeit eine Wette gegen Freunde zu gewinnen. Klassischer ist die Aufnahme aktueller, jugendpopulärer Themen und Medien und ihre kritische Reflexion im Physikunterricht zwar eine etablierte Praxis kontextorientierten Unterrichts. Ihre Wirksamkeit schöpft sie aus entwicklungsensibler Perspektive aber erst aus der Anwendbarkeit des so erworbenen Wissens für das Erproben von sozialen Rollen im Freundeskreis und die aktuelle jugendkulturelle Popularität, welche dies ermöglicht.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Der naturwissenschaftsdidaktische Kontextbegriff bezeichnet in Abhängigkeit des Kontextualisierungsverständnisses unterschiedliche Entitäten. Damit zusammenhängend können auch die Eigenschaften, die gelingenden Kontextualisierungen zugeschrieben werden, nicht unabhängig vom zugrundeliegenden Kontextualisierungsverständnis operationalisiert werden. Eine detailliertere Operationalisierung ergibt sich entsprechend als Forschungsdesiderat. Über alle

Kontextualisierungsverständnisse hinweg werden die dynamischen Komponenten des Individuums nicht als Kontexte des Unterrichts bezeichnet, beschrieben oder berücksichtigt. Der Begriff der inneren Kontexte eröffnet den Weg für eine entwicklungsensible Kontextualisierung, die mit Hilfe von Impulsfragen initiiert werden kann. Diese sind bisher nur für die späte Adoleszenz formuliert [9]. Eine entwicklungspsychologische Bestandsaufnahme und didaktische Interpretation für weitere Entwicklungsperioden scheint sinnvoll.

6. Literatur

- [1] Schegloff, E. (1992). *In another context*. In C. Goodwin & A. Duranti (Hrsg.), *Rethinking context: Language as an interactive phenomenon*. New York: Cambridge University Press. 191–227.
- [2] Muckenfuß, H. (1995). *Lernen im sinnstiftenden Kontext. Entwurf einer zeitgemäßen Didaktik des Physikunterrichts*. Berlin: Cornelsen.
- [3] Nawrath, D. (2010). *Kontextorientierung*. Dissertation, Carl von Ossietzky Universität, Oldenburg.
- [4] Parchmann I. & Kuhn J. (2018). *Lernen im Kontext*. In: I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.). *Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung*. Berlin, Heidelberg: Springer. 193–207.
- [5] Van Oers, B. (1998). From context to contextualizing. *Learning and Instruction*. 8(6). 473–488.
- [6] Gilbert, J. (2006). On the Nature of Context in Chemical Education. *International Journal of Science Education*. 28(9). 957–976
- [7] Finkelstein, N. (2005). Learning Physics in Context: A study of student learning about electricity and magnetism. *International Journal of Science Education*. 27(10). 1187–1209
- [8] Van Vorst, H. (2013). *Kontextmerkmale und ihr Einfluss auf das Schülerinteresse im Fach Chemie*. Berlin: Logos Verlag.
- [9] Zügge, T. (2021). *Innere Kontexte – Entwurf einer entwicklungsensiblen Ergänzung des naturwissenschaftsdidaktischen Kontextbegriffs*. Dissertation. Bergische Universität Wuppertal.
- [10] Aikenhead, G.S. (1994). *What is STS Science Teaching?* In: J. Solomon & G.S. Aikenhead (Hrsg.). *STS education: international perspectives on reform*, New York: Teachers College Press, Columbia University. 47–59.
- [11] Ziman, J. (1994) *The Rationale of STS Education is in the Approach*. In: J. Solomon & G.S. Aikenhead (Hrsg.). *STS education: international perspectives on reform*. New York: Teachers College Press, Columbia University. 21–31
- [12] Tessmer, M & Richey, R.C. (1997). The role of context in learning and instructional design.

- Educational Technology Research and Development*. 45(2). 85–115
- [13] Cole, M. (1996). *Cultural psychology: a once and future discipline*. Cambridge: Belknap Press of Harvard University Press.
- [14] Mestre, J.P. (2002). Probing adults' conceptual understanding and transfer of learning via problem posing. *Applied Developmental Psychology*. 23(1). 9–50.
- [15] Gumperz, John (1992). *Contextualization and understanding*. In: A. Duranti & C. Goodwin. (Hrsg.). *Rethinking context: Language as an interactive phenomenon*. Studies in the social and cultural foundations of language 11. New York: Cambridge University Press. 229–252.
- [16] Falk, J.H. & Dierking, L.D. (2000). *Learning from museums: visitor experiences and the making of meaning*. American Association for State and Local History book series. Walnut Creek: AltaMira Press.
- [17] Lave, J. & Wenger, E. (1991). *Situated learning: legitimate peripheral participation. Learning in doing*. New York: Cambridge University Press.
- [18] Marton, F. & Booth, S. (1997). *Learning and awareness*. The educational psychology series. Mahwah: L. Erlbaum Associates.
- [19] Leontjew, A.N. (1978). *Activity and Consciousness*. Pacifica: Marxists Internet Archive.
- [20] Duranti, A. & Goodwin, C. (Hrsg.). (1992). *Rethinking context: language as an interactive phenomenon*. Studies in the social and cultural foundations of language 11. New York: Cambridge University Press.
- [21] Krapp, A. (1992). *Das Interessenskonstrukt. Bestimmungsmerkmale der Interessenhandlung und des individuellen Interesses aus der Sicht einer Person-Gegenstands-Konzeption*. In: A. Krapp & M. Prenzel (Hrsg.). *Interesse, Lernen, Leistung: neuere Ansätze der pädagogisch - psychologischen Interessenforschung*. Arbeiten zur sozialwissenschaftlichen Psychologie 26. Münster: Aschendorff. 297–329.
- [22] Corey, S.M. (1946). *Development Tasks of Youth*. In: H.L. Caswell (Hrsg.), *The American high school*. Bd. 8. New York: Harper. 70–99.
- [23] Erikson, E. H. (1970). *Jugend und Krise*. Frankfurt (M), Berlin, Wien: Ernst Klett Verlag.
- [24] Havighurst, R.J. (1974). *Developmental tasks and education*. New York: McKay.
- [25] Brandtstädter, J. (2001). *Entwicklung, Intentionalität, Handeln*. Stuttgart: Kohlhammer.
- [26] Hurrelmann, K. (2002). *Einführung in die Sozialisationstheorie*. Weinheim: Beltz.
- [27] Hurrelmann, K., & Quenzel, G. (2012). *Lebensphase Jugend: Eine Einführung in die sozialwissenschaftliche Jugendforschung*. Weinheim: Beltz Juventa.
- [28] Dreher, E., & Dreher, M. (1985). *Entwicklungsaufgaben im Jugendalter*. In: D. Liepmann & A. Stiksrud (Hrsg.). *Entwicklungsaufgaben und Bewältigungsprobleme in der Adoleszenz*. Göttingen: Hogrefe. 56–70.
- [29] Henneberger, A. & Deister, B. (1996). *Jugendliche wählen ihre Umwelt. Die Bedeutung von Entwicklungsaufgaben im Lebenskontext*. In: R. Schumann-Hengsteler & H. M. Trautner (Hrsg.). *Entwicklung im Jugendalter*. Göttingen: Hogrefe. 19–40.
- [30] Noack, P. (1990). *Jugendentwicklung im Kontext. Zum aktiven Umgang mit sozialen Entwicklungsaufgaben in der Freizeit*. München: Psychologie Verlags Union.
- [31] Kessels, U. & Hannover, B. (2004). *Entwicklung schulischer Interessen als Identitätsregulation*. In: J. Doll & M. Prenzel. (Hrsg.). *Bildungsqualität von Schule: Lehrerprofessionalisierung, Unterrichtsentwicklung und Schülerförderung als Strategien der Qualitätsverbesserung*. Münster: Waxmann. 398–412.

Danksagung

Mein Dank gilt Prof. Dr. Johannes Grebe-Ellis und Dr. Oliver Passon, die es mir in den vergangenen Jahren nicht nur ermöglicht haben, eigenen Impulsen nachgehend den einschlägigen Literaturverzeichnissen der Entwicklungspsychologie und Soziologie zu folgen, sondern darüber hinaus immer wohlwollend ihre Bürotüren geöffnet ließen, um die manchmal unausgereiften Ideen zu diskutieren, die ich von diesen literarischen Exkursionen mitbrachte – letztendlich hoffnungsvoll, dass daraus ein Beitrag für die Physikdidaktik entstehen könnte. Danke!