Nordmeier, V. & Grötzebauch, H. (Hrsg.)

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

Fachverband Didaktik der Physik

# Aachen 2019

**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 www.phydid.de 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, Studienreform-Forum Physik* und weitere Themen.

**Zitierweise beispielsweise:**

Nordmeier, V.& Grötzebauch, H. (Hrsg.). (2019). PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung Aachen 2019. Berlin. 386 S.
Url.: http://phydid.physik.fu-berlin.de/index.php/phydid-b/article/view/1003

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**

## Anregungen aus dem Unterricht für den Unterricht

**Kranz, Carmesin**
Entdeckungen zu Internet, Totalreflexion und Farbenlehre in der Optik 1

**Schäfer, Carmesin**
Entdeckung des Stefan-Boltzmann-Gesetzes mit Smartphone und Wärmebildkamera 7

## Astronomie

**Carmesin**
A Novel Equivalence Principle for Quantum Gravity 17

**Hebbeker**
Prozentgenaue Messung des Verhältnisses von Astronomischer Einheit und Lichtgeschwindigkeit 27

**Hohmann**
Wie groß ist ein Neutronenstern? Elementarisierende Überlegungen und Abschätzungen 31

## Grundschule

**Köster, Straube, Brämer, Mehrtens, Nordmeier, Voigt**
Zum Interesse von Grundschulkindern an informatischen Lernmaterialien 37

**Raack**
Analoge vs. digitale Uhrzeitformate 45

## Hochschuldidaktik

**Bauer, Lahme, Woitkowski, Vogelsang, Reinhold**
PSΦ: Forschungsprogramm zur Studieneingangsphase im Physikstudium 53

**Giel**
Physik für Ingenieure: Ein Erfahrungsbericht zum "Blended Learning" 61

**John, Starauschek**
Ergebnisse einer Interviewstudie zur Evaluation von kumulativem Physiklehren und -lernen im Lehramtsstudium Physik 65

**Käß, Boin, Braunmiller, Dambacher, Giel, Harten, Jödicke, Kurz, Löffler, Pitsch, Sum, Vinzelberg, Wenzel, Werner**
Mindestanforderungskatalog Physik – ein Vorschlag 73

**Rubitzko, Laukenmann, Starauschek**
Kumulatives Lehren und Lernen durch kognitiv aktivierende Aufgaben 79

## Lehreraus- und Lehrerfortbildung

**Arndt**
Zu lichtelektrischem Effekt und Wirkungsquantum: über Forscher, historische Fakten und Instrumente 83

**Bednarek, Wodzinski**
"Contemporary Science @School": Aktuelle Forschung als Gegenstand von Lehrerbildung und Unterricht 93

**Ghassemi, Milster, Nordmeier**
Qualifizierung von Quereinsteiger*innen – Begleitforschung zum Kompetenzerwerb von Q-Masterstudierenden im Land Berlin 99

**Joußen, Thiel, Heinke**
Scaffolding im Anfängerpraktikum für Lehramtsstudierende 105

**Krause, Kraus, Dilling, Holten, Geppert, Militschenko, Van Bien, Chat, Phuong, Anh, Phuong, Tho**
Inter TeTra – Ein Projekt zur Implementierung von Mathematikdidaktik in die Physik-lehrerInnenbildung 111

**Nguyen, Chat Tran, Krause, Ngan Le**
Conceptions of experiments in teaching mathematics and teaching physics in Vietnam 117

**Scheiger, Donhauser, Nawrodt, Cartarius**
Mathematik im Lehramtsstudium Physik an der Universität Stuttgart 125

**Straube, Rehfeldt, Köster**
Wer studiert wie und warum Grundschullehramt und Sachunterricht? 131

**Tampe, Spatz**
Entwicklungsprojekt: "Die experimentellen Methoden der Naturwissenschaften ganzheitlich begreifen und vermitteln" 137

## Lehr- und Lernforschung

**Brüggemann, Nordmeier**
Naturwissenschaftliches Denken im Lehramtsstudium – Vergleich klassischer und adaptiver Leistungsmessung 143

**Dilling**
Vektoren in der mathematik- und physikdidaktischen Forschung - Stoffdidaktischverbindende Ansätze zwischen linearer Algebra und klassischer Mechanik 149

**Dohrmann, Nordmeier**
Diagnosebasierte Förderung (potenziell) leistungsfähiger Schüler*innen im Regelunterricht Physik 153

**Dopatka, Spatz, Burde, Wilhelm, Ivanjek, Hopf, Schubatzky, Haagen-Schützenhöfer**
Erste Lehrkräfterückmeldungen zum Unterrichtsmaterial von EKo: Elektrizitätslehre in Kontexten 161

**Fareed, Winkelmann**
Schülerwahrnehmung von Schwierigkeit des Physikunterrichts und der kognitiven Aktivierung durch die Lehrkraft 167

**Holz, Heinicke**
Der Rest ist dann halt Messfehler. Wie angehende Lehrkräfte in Unterrichtssituationen mit Messdaten umgehen 171

**Jaeger, Müller**
Kognitive Belastung und Aufgaben im Kontext
– Ein Spannungsfeld – 177

**Joswig, Riese**
Veränderungen des physikdidaktischen Wissens im Verlauf eines Lehr-Lern-Seminars 183

**Kurz, Käß**
Physikkenntnisse von Studienanfängern des Maschinenbaus – eine Fallstudie der Hochschule Esslingen 189

**Langendorf, Lewing, Schneider**
Entwicklung und Anwendung eines Kategoriensystems zur Analyse von Lernaufgaben aus Physik- und INU-Schulbüchern 197

**Militschenko, Dilling**
Erkenntnisgewinnung im Mathematik- und Physikunterricht.
Ein Vergleich im Rahmen eines Projektes zum fachdidaktisch-verbindenden Lehren und Lernen in den Lehramtsstudiengängen 203

**Schorn, Heinke**
Schülervorstellungen zur Quantenphysik und zur Quanteninformationsverarbeitung 211

**Teichrew, Erb**
Entwicklung und Evaluation eines zweistufigen Testinstruments für Schülervorstellungen zur Anfangsoptik 219

**Winkelmann**
Idealisierungen und Modelle im Physikunterricht 227

**Wöllermann, Kahnt, Berger**
Kräftegleichgewicht vs. Wechselwirkungsgesetz - Konzeption und Evaluation zweier Unterstützungsmaßnahmen zur Unterscheidung beider Konzepte 233

## Neue Konzepte

**Bechstein, Stahl, Riese**
Didaktische Rekonstruktion der Beschleunigerphysik und Entwicklung eines Lehr-Linearbeschleunigers 241

**Bernstein, Schmeling, Wilhelm**
Eine 3D-gedruckte Plasmaelektronenquelle für den Physikunterricht 249

**Burde, Wilhelm, Schubatzky, Haagen-Schützenhöfer, Ivanjek, Hopf, Dopatka, Spatz**
Re-Design des Frankfurter Unterrichtskonzepts im Rahmen von EPo-EKo 253

**Fühner, Pusch**
Gestaltung von variablenkontrollierten Experimenten für Schülerinnen und Schüler mit Lernbeeinträchtigungen 261

**Goertz, Klein, Riese, Heinke**
Die Plattform „FLexKom“ zur Förderung experimenteller Kompetenzen – Konzept und Einsatzbeispiele – 265

**Hütz, Staacks, Stampfer, Heinke**
Kleiner Aufwand, großer Nutzen? - Experimentiersets zur Unterstützung experimenteller Übungsaufgaben mit Smartphones 273

**Kirstein, Nordmeier**
Ein offenes IBE-Portal für den Physikunterricht zur digitalen Erweiterung experimenteller Lernumgebungen 281

**Müller, Sitzmann**
MINTFIT Physik: Onlineangebot zur Vorbereitung auf ein MINT-Studium 287

**Prokop, Nawrodt**
Radioaktivität - eine didaktische Rekonstruktion 291

## Neue Medien

**Kurth, Walpert, Wodzinski**
Digitale Messwerterfassung im Kontext digitaler Bildung 297

**Lindlahr, Kizina, Wendt, Wilhelm**
Welche App taugt was? – Aufbau einer Online-Datenbank für Physiklehrende 303

**Schulze Heuling, Wild**
Digitale Kompetenzen angehender Physik- und Chemielehrkräfte 309

**Sterzing, Szabone Varnai, Reinhold**
Erklärvideos im Physikunterricht 315

**Weber, Wilhelm**
Mathematische Modellbildung in einer vergleichenden Untersuchung 323

## Studienreform-Forum Physik

**Brackertz, Christou, Donocik, El Miniawy, Gaßen, Geisel-Brinck, Hampp, Kern-Michler, Kristkeitz, Längle, Malz, Scheuch, Schulz, Stefanic, Weck**
Forum Studienreform 331

## Weitere Themen

**Passon, Behnke, Kobel, Buschhüter**
Vermittlung von Teilchenphysik: Outreach und Physikdidaktik im Gespräch 351

**Schlummer, Pusch**
Low-Cost Kinemtik-Experimente mit Luftkissenscheiben aus dem 3D-Drucker 357

**Sührig, Erb**
Veränderung von Schülervorstellungen durch Experimentierstationen im inklusiven Optikunterricht 365

**Tran, Nguyen, Krause**
ICT Support in Mathematics and Physics Integrated Teaching Based on Modeling Process 373

**Ungermann, Spatz**
Die Natur der Naturwissenschaften im Schüler*innen-Labor Physik vermitteln 381

## Tagungsprogramm

Url: https://www.dpg-verhandlungen.de/year/2019/conference/aachen/part/dd

# Entdeckungen zu Internet, Totalreflexion und Farbenlehre in der Optik

**Christopher Kranz*, Hans-Otto Carmesin[+]**

*Gymnasium Ernestinum Rinteln, Paul-Erdniß-Straße 1, 31737 Rinteln, [+]Studienseminar Stade, Bahnhofstraße 5, 21682 Stade, Gymnasium Athenaeum Stade, Harsefelder Straße 40, 21680 Stade, University Bremen, Otto – Hahn – Allee 1, 28359 Bremen
Christopher.Kranz@ernestinum-rinteln.de, Hans-Otto.Carmesin@athenetz.de

**Kurzfassung**

Die Jugendlichen wachsen heutzutage mit digitalen Medien auf. Aber verstehen sie diese auch? Wissen sie, wie die Daten zu ihren Endgeräten gelangen? Was kann das Fach Physik zur Beantwortung solcher Fragen beitragen? Wir stellen hierzu eine kleine Unterrichtseinheit bestehend aus zweimal 45 min vor. Darin erkunden Lernende einer sechsten Klasse mit einem Modellversuch den Einsatz mehrerer Farbkanäle im schnellen Internet.

## 1. Einleitung

Digitale Medien entwickeln sich zu den wesentlichen Kommunikationssystemen der Zukunft. Entsprechend begeistern sich viele Lernende für diese Thematik. Besonders erstaunlich ist, wie viele Daten simultan und blitzschnell weltweit übertragen werden. So kann eine Leitung mit einem Durchmesser von 50 Mikrometern über zwei Millionen Fernsehkanäle zugleich übertragen (Cisco 2000). Welche physikalischen Grundlagen sind hierzu wichtig? Können Lernenden in Klassenstufe sechs diese selbständig erkunden? Das sind wichtige Fragen einer zeitgemäßen digitalen Bildung (Bogedan 2017).

Hierzu präsentieren wir eine Unterrichtseinheit. Diese ist voll ausgearbeitet und kann sofort eingesetzt werden. Auch berichten wir über Erfahrungen aus dem Unterricht.

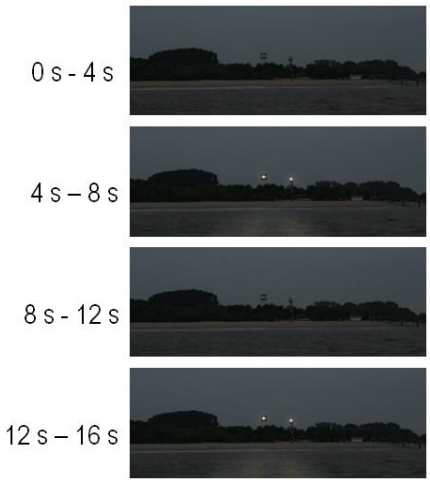



**Abb.1:** Leuchtfeuer auf der Insel Krautsand

## 2. Optische Datenfernübertragung

Seit Jahrtausenden werden Daten mit Lichtzeichen schnell und weit übermittelt. Das geschah anfangs im Freien.

SOS . . . _ _ _ . . .
S . . .
O _ _ _
H I . . . . . .

**Abb.2:** Einige Morsezeichen

### 2.1. Lichtsignale im Freien

So wurden bereits in der Antike Leuchttürme eingesetzt. Auch heute wird beispielsweise auf der Insel Krautsand das Leuchtfeuer an seiner Kennung erkannt (siehe Abb. 1). Ein weiteres Beispiel stellt die optische Telegraphie dar, mit der seit 1837 Cuxhaven und Hamburg verbunden waren. Ebenso wie bei den Leuchttürmen, so wurden auch bei der Telegraphie digitale Zeichen verwendet, beispielsweise das Morsealphabet (siehe Abb. 2). Diese Tatsachen sind als Allgemeinwissen weitgehend bekannt und wurden im Vorunterricht kurz aktiviert.

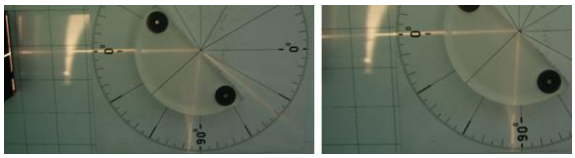


**Abb.3:** Reflexion und Totalreflexion bei Plexiglas

### 2.2. Lichtleiter

Seit der Erfindung der Telegraphie werden in der Technik Signale auch in Leitern übertragen. Dieser Fortschritt kann als Bionik aufgefasst werden, denn in Nervenfasern werden Signale seit hunderten Millionen Jahren in Leitern übertragen. Erst durch die Übertragung in Leitern sind differenzierte und hochvernetzte Systeme möglich. Optische Signale haben eine Bandbreite von einigen hundert Terahertz und sind dadurch elektrischen Systemen weit überlegen. Entsprechend sind Lichtleiter heute eine wesentliche Grundlage der massenhaften Datenfernübertragung im Internet. Das Prinzip hierbei ist die Totalreflexion (siehe Abb. 3).

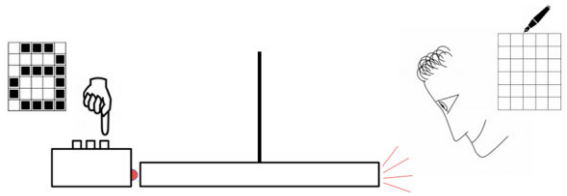


**Abb.4:** Modellversuch: LED-Box (links). Plexiglasquader und Sichtschutz (Mitte). Empfänger (rechts).

## 3. Der Modellversuch: monochromatisch

### 3.1. Aufbau

Im Modellversuch ist die Botschaft eine digitale Grafik im Format fünf Spalten mal sechs Zeilen (Abb. 4). Zum Senden steht ein LED-Block mit drei Farben und drei entsprechenden Tastern zur Verfügung (Abb. 4). Der Lichtleiter wird durch einen Quader aus Plexiglas realisiert. Der Empfang erfolgt visuell (Abb. 4 und 5).

**Abb.5:** Übertragung einer digitalen Grafik

### 3.2. Durchführung des Versuchs

Eine Gruppe von Lernenden überträgt eine Grafik mithilfe eines selbst entwickelten Protokolls und einer eigenständig entworfenen Codierung. Sie notieren das Ergebnis auf einem passenden Pixelraster (Abb. 5). Es werden vorgegebene (Abb. 5) und selbst entworfene (Abb. 6) Grafiken übertragen.

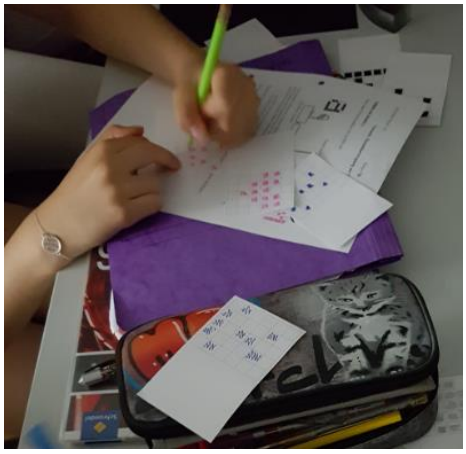


**Abb.6:** Übertragung einer eigenen Grafik

### 3.3. Konzept der Stunde

Die Lernenden wurden vor das Problem gestellt, digitale Bilder mit dem Versuchsmaterial in Abbildung (4) zu übertragen. Dies stellt ein Problem mit Lücke dar (Aebli 1997), denn weder das Protokoll zur Übertragung von Zeilen und Spalten noch die Codierung zur Übertragung eines Pixels wurden vorgegeben. Die ganze Stunde umfasste die Phasen Problemerfassung, Problemanalyse, Problemlösung sowie Präsentation der Ergebnisse und dauerte insgesamt 45 min.

### 3.4. Erfahrung mit der Stunde

Die Lernenden waren sehr motiviert, entwickelten eigenständig ein Übertragungsprotokoll sowie eine Codierung (siehe Abb. 7) und übertrugen erfolgreich mehrere digitale Grafiken (Abb. 5 und 6).

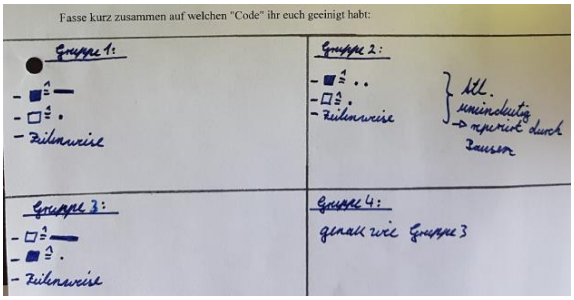



**Abb.7:** Die in Schülervorträgen präsentierten Codierungen wurden ins Heft übernommen.

## 4. Der Modellversuch: polychromatisch

Um hohe Übertragungsraten zu erreichen verwendet man aktuell das Prinzip des Wellenlängen- oder Farbmultiplexings. Dabei werden viele Nachrichten zugleich durch denselben Lichtwellenleiter übertragen, wobei jede Nachricht eine eigen Spektralfarbe oder Wellenlänge verwendet. Dieses Prinzip bilden wir im folgenden Modellversuch nach.

**Abb.8:** Farbmischung von Rot und Blau

### 4.1. Aufbau

Beim Aufbau in Abbildung (4) werden nun zwei oder drei Gruppen eingesetzt, die auf je einem Farbkanal ihre Nachricht übertragen. Im Plexiglas entsteht die Mischfarbe (Abb. 8). Zur Zerlegung der Mischfarbe in die Spektralfarben stehen Farbfilter zur Verfügung (Abb. 9).

**Abb.9:** Lernende haben Farbfilter am Ende des Plexiglasquaders mit einem Radiergummi fixiert.

### 4.2. **Durchführung des Versuchs**

Jede Gruppe sendet mit einer Farbe und empfängt diese Farbe. Bis zu drei solche Gruppen verwenden einen Plexiglasblock gemeinsam. So entstehen die Mischfarben Pink, Gelb, Türkis oder Weiß (Abb. 10). Die Gruppen platzieren am Ende des Plexiglasquaders passende Filter und zerlegen so die Mischfarbe in ihre ursprünglichen Bestandteile (Abb. 9).

**Abb.10:** Mischfarben Türkis, Gelb und Weiß.

### 4.3. **Konzept der Stunde**

Die Lernenden wurden vor das Problem gestellt, noch mehr digitale Bilder mit dem Versuchsmaterial in Abbildung (4) zu übertragen. Dies stellt ein Problem mit Lücke dar (Aebli 1997), denn die Lernenden kannten weder das Verfahren des Farbmultiplexing, noch die Farbmischung und Zerlegung in Spektralfarben, noch das Superpositionsprinzip. Die ganze Stunde umfasste die Phasen Problemerfassung, Problemanalyse, Problemlösung sowie Präsentation der Ergebnisse und dauerte insgesamt 45 min.

### 4.4. **Erfahrung mit der Stunde**

Die Lernenden waren noch aus der Vorstunde sehr motiviert und erkannten das Problem sofort. Sie entwickelten im Plenum verschiedene Lösungsvorschläge, beispielsweise schnelleres Drücken der Taste oder Verwendung von mehr Plexiglasquadern oder die simultane Übertragung mehrerer Farben. In der Pause zwischen erster und zweiter Stunde hatten einige schon spielerisch Mischfarben erkundet. So war ihnen das Problem der Zerlegung der Mischfarben bewusst und es wurde die Verwendung von Farbfiltern als Lernhilfe vorgeschlagen. Die lernenden haben die Farbfilter im Folgenden erprobt. Die genaue Umsetzung erfolgte in der Gruppenarbeit. Die simultane Übertragung durch mehrere Gruppen erforderte eine erhöhte sensomotorische Konzentration, konnte aber dennoch von allen bewältigt werden. Bei der Farbzerlegung gab es die stabile Platzierung von Farbfiltern (Abb. 9) sowie die Beobachtung durch Farbfilter hindurch (Abb. 11).

**Abb.11:** Zerlegung der Mischfarbe mittels Beobachtung durch einen Farbfilter hindurch.

## 5. **Umfrage**

Mit einer Umfrage wurde ermittelt, wie diese Klasse den Unterricht einschätzte. Eine erste Gruppe von Fragen zielt auf das Modellexperiment ab (Abb. 12 – 14).

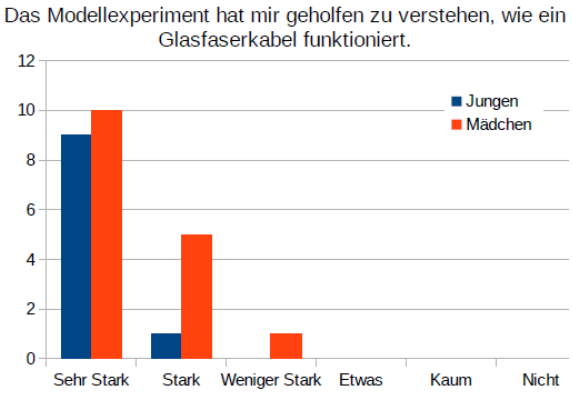



**Abb.12:** Umfrage: Querachse: Zustimmung. Hochachse: Häufigkeit.

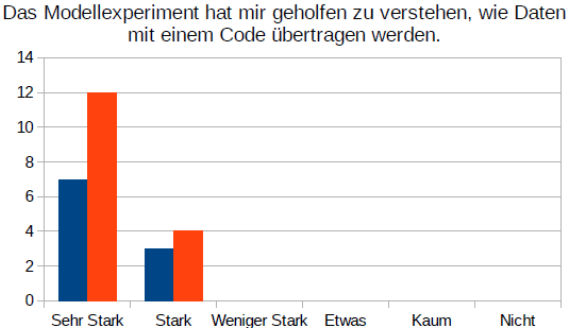



**Abb.13:** Umfrage: Querachse: Zustimmung. Hochachse: Häufigkeit.

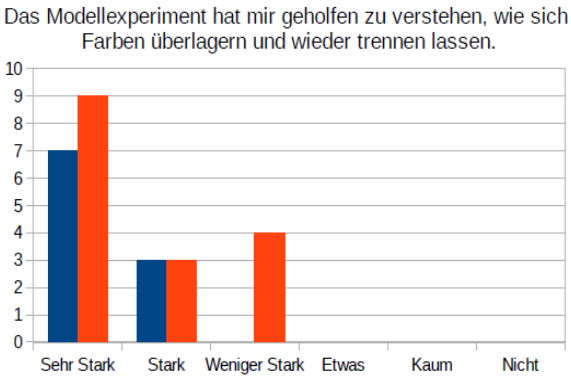



**Abb.14:** Umfrage: Querachse: Zustimmung. Hochachse: Häufigkeit.

Es zeigt sich, dass das Modellexperiment als überaus gelungen und hilfreich eingeschätzt wird. Das betrifft das Verständnis der Codierung, der Lichtwellenleiter und der Mischung und Zerlegung von Farben.

Weitere Fragen betreffen das Interesse (Abb. 15 – 19). Hier fällt auf, dass Codes und Farben erhöhtes Interesse wecken, Codes besonders bei den Jungen und Farben besonders bei den Mädchen.

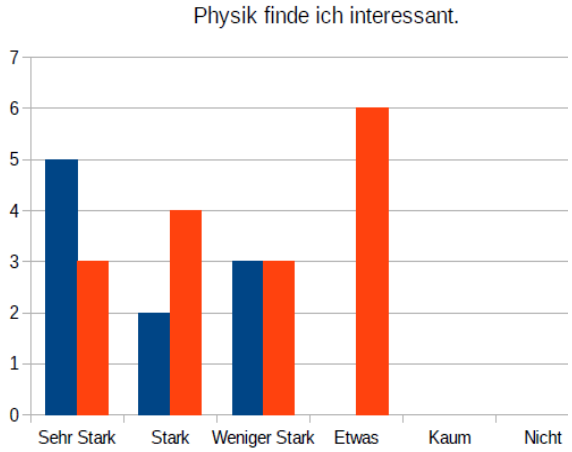



**Abb.15:** Umfrage: Querachse: Zustimmung. Hochachse: Häufigkeit.

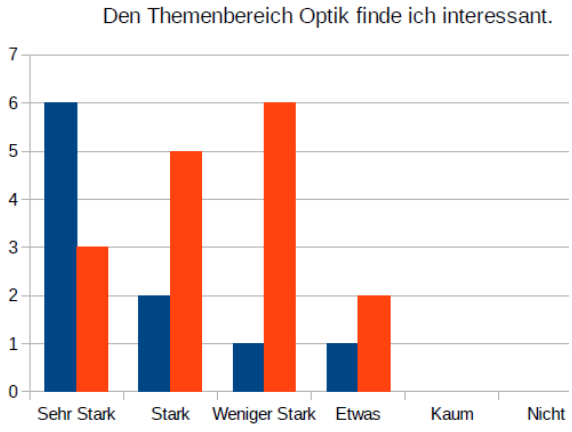



**Abb.16:** Umfrage: Querachse: Zustimmung. Hochachse: Häufigkeit.

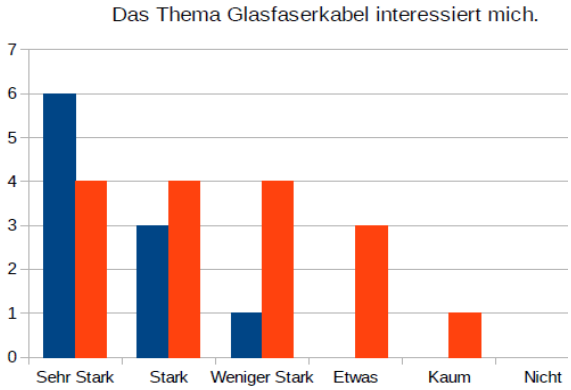



**Abb.17:** Umfrage: Querachse: Zustimmung. Hochachse: Häufigkeit.

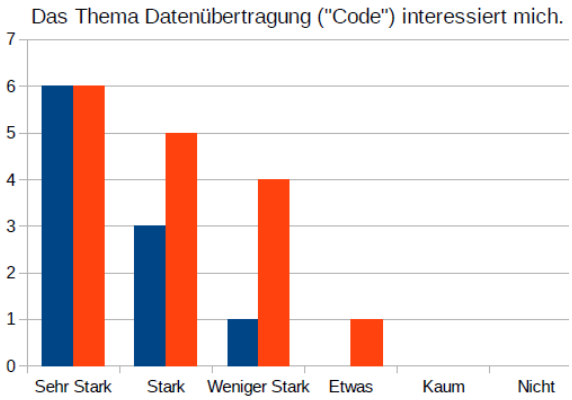



**Abb.18:** Umfrage: Querachse: Zustimmung. Hochachse: Häufigkeit.

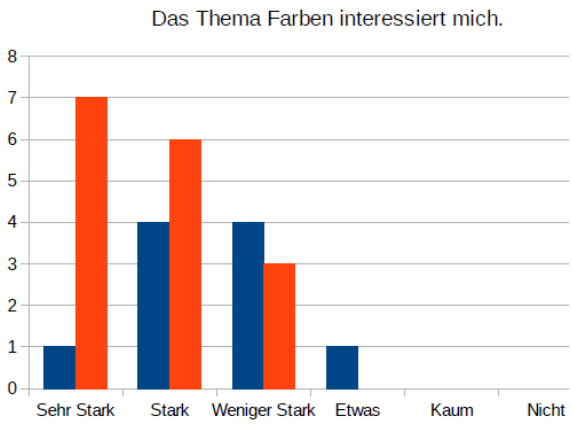



**Abb.19:** Umfrage: Querachse: Zustimmung. Hochachse: Häufigkeit.

## 6. Diskussion

Lernende der Klassenstufe sechs schätzen digitale Medien als interessant ein. Medienkompetenz bedeutet auch, dass die Lernenden durchschauen, wie diese Medien funktionieren. Hierzu kann die Physik einen Beitrag leisten, da oft gehaltvolle physikalische Prozesse zugrunde liegen. Entsprechend wird die Datenübertragung in Lichtleitern seit Jahren im Physikunterricht im Zusammenhang mit der Totalreflexion behandelt (siehe z. B. Bengelsdorff et al. 2012).

Digitale Medien bieten allerdings ein zusätzliches Potential im Bereich Farbenlehre. Dieses Potential kann durch den vorgestellten Modellversuch in nur zweimal 45 min zeiteffizient, motivierend und zielführend erschlossen werden. Zudem können die Lernenden in der vorgeschlagenen Unterrichtseinheit die wichtige und anspruchsvolle prozessbezogene Kompetenz Problemlösen effizient entwickeln (Gehrmann u. a. 2015). Damit ist der Kontext schnelles Internet durch Farbmultiplexing für Lernende sinnvoll und im Sinne von Muckenfuß (1995) sinnstiftend. Insgesamt ist dieser Kontext somit empfehlenswert.

## 7. **Ausblick**

Der Kontext wird im Juni neun Tage lang auf der Ideenexpo in Hannover tausenden Lernenden präsentiert. Dabei wird es weitere Erfahrungen hierzu geben.

## 8. **Literatur**

Aebli, Hans (1997): Zwölf Grundformen des Lehrens. Stuttgart: Klett-Cotta.

Bengelsdorff, Sven; Carmesin, Hans-Otto; Kahle, Jens; Konrad, Ulf; Trumme, Torsten; Wenschkewitz, Gerhard und Witte, Lutz (2012): Universum Physik/Chemie 5/6. Band 1, Berlin: Cornelsen.

Cisco Systems (2000): Introduction to Dense Wavelength Division Multiplexing, DWDM, Technology. San Jose, California, USA.

Gehmann, Kurt u. a. (2015): Kerncurriculum für das Gymnasium, Schuljahrgänge 5 - 10, Naturwissenschaften, Niedersachsen. Hannover: Niedersächsisches Kultusministerium.

Bogedan, Claudia (2017): Bildung in der digitalen Welt Strategie der Kultusministerkonferenz. Bremen: KMK.

Kranz, Christopher (2018): Modellexperiment zur Datenübertragung per Lichtwellenleiter - Ein Unterrichtsversuch in einer sechsten Klasse am Gymnasium. Stade: Studienseminar Stade.

Muckenfuß, Heinz (1995): Lernen im sinnstiftenden Kontext. Berlin: Corneslen.

# Entdeckung des Stefan-Boltzmann-Gesetzes mit Smartphone und Wärmebildkamera

**Lars Schäfer*, Hans-Otto Carmesin+**

*Kooperative Gesamtschule Drochtersen, Schulstraße 8, 21706 Drochtersen,
+Studienseminar Stade, Bahnhofstraße 5, 21682 Stade, Gymnasium Athenaeum Stade, Harsefelder Straße 40, 21680 Stade, University Bremen, Otto – Hahn – Alle 1, 28359 Bremen
Hans-Otto.Carmesin@athenetz.de

**Kurzfassung**

Der Klimawandel ist inzwischen als eine der größten Herausforderungen der Menschheit anerkannt. Weniger klar ist die Situation beim Verständnis von Klimamodellen und dem Einfluss von Treibhausgasen. Insbesondere die Rolle von $CO_2$ wird gerne von einflussreichen Politikern und manchen Parteien dementiert. In diesem Beitrag zeigen wir, dass Schüler den Einfluss von $CO_2$ selbstständig quantitativ mittels des Stefan-Boltzmann-Gesetzes auf zuverlässige und zweifelsfreie Art nachweisen können. Damit die Lernenden das Stefan-Boltzmann-Gesetz selbstständig entdecken können, präsentieren wir passende ein Experiment mit einer Smartphone-Wärmebildkamera. Dieses Experiment wurde erfolgreich in einem Unterrichtsversuch getestet und setzte sich im Versuch bei den Schülern klar im Vergleich mit herkömmlichen Experimenten durch. Insgesamt befähigen wir damit die Lernenden zur Bildung eines eigenständigen Urteils über den Einfluss.

## 1. Einleitung

Glühende Körper leuchten sichtbar und geben somit elektromagnetische Strahlung ab. Genauer entsendet jeder Körper, der eine Temperatur ungleich 0 Kelvin hat, Wärmestrahlung, d.h. elektromagnetische Strahlung, die am Ort des Entstehens im thermischen Gleichgewicht mit der abstrahlenden Materie ist. Die Leistung P dieser Strahlung hängt von der Temperatur T des Gegenstandes und dessen Oberfläche A ab. Um eine von der Oberfläche unabhängige Größe zu erhalten, führt man die **Leistungsdichte** S=P/A ein.

Das **Stefan-Boltzmann-Gesetz** (Gerthsen S.595 bzw. Tipler-Mocsa 2015, S.639) besagt nun, dass die Leistungsdichte S eines schwarzen Körpers proportional zu $T^4$ ist. Die zugehörige Proportionalitätskonstante heißt **Stefan-Boltzmann-Konstante,** d.h.

$$S = \sigma \cdot T^4 \qquad \{1\}$$

$$mit\ \sigma = 5{,}6706 \cdot 10^{-8} W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}$$

Da das Stefan-Boltzmann-Gesetz grundlegend in der Behandlung von Klimamodellen ist, geht seine Bedeutung weit über die Physik hinaus. Die klassische Herleitung dieses Gesetzes durch Boltzmann (Boltzmann 1884) basiert auf den thermodynamischen Grundgleichungen eines abgeschlossenen Systems und auf der Berechnung der Energiedichte elektromagnetischer Strahlung mittels der Maxwellschen Elektrodynamik. Die quantenmechanische Herleitung (Demtröder 1995, S. 356) integriert das Planck'sche Strahlungsgesetz, welches die statistische Thermodynamik und die Quantenhypothese von Planck (die Geburtsstunde der Quantenmechanik) verwendet. Diese beiden Wege können in der Schule nicht gegangen werden.

In Schulphysikbüchern (Dorn-Bader 2008, Dorn-Bader 2017, Cornelsen 2008 und Impulse 2017) gibt es für die experimentelle Einführung des Stefan-Boltzmann-Gesetzes wenig Anregungen. Ähnlich ist es mit den Standardwerken der Experimentalphysik (Tipler-Mocsa 2015, Gerthsen 2015). Zur Messung der Leistungsdichte verwenden diese häufig eine Thermosäule, während als Wärmequelle gerne eine Herdplatte, der Leslie-Würfel oder ein Rohrofen mit Schwarzkörperzusatz (Leybold 2019) gewählt wird. Bei der Herdplatte ist das Warten auf das thermische Gleichgewicht langwierig und die Wärmeverteilung nicht sehr homogen (siehe Abbildung 6). Beim Leslie-Würfel ist der Temperaturbereich gering (Carmesin 2004). Das Rohrofen-Experiment ist zur Durchführung durch Lernende ungeeignet und wird von diesen vermutlich als exotisch wahrgenommen. Eine sehr interessante Alternative ist die Verwendung eines Flüssigkeitsthermometers anstelle der Thermosäule (Carmesin 2004, Universum 2018). Da eine Wärmebildkamera Leistungsdichten misst und daraus die Temperatur bestimmt (siehe Abschnitt 2.2), liegt ein Experiment mit einer Wärmebildkamera nahe. Dieses Mittel ist der Lebenswelt der Lernenden sehr nahe und daher sehr aktivierend.

## 2. Wärmebildkameras

Wärmebildkameras gibt es schon seit geraumer Zeit für professionelle Zwecke, wie z.B. Bauthermographie, Verlustleistungsmessung in der Leistungselektronik, Lagebeurteilung nach Bränden, zur Personensuche und für militärische Zwecke. Seit kurzem gibt es neben diesen kostspieligen Geräten auch solche in einem für private und schulische Anwendungen interessanten Preissegment. Insbesondere ist zu erwarten, dass durch die Marktöffnung hin zu privaten Anwendern das Preis-Leistungs-Verhältnis sich noch weiter verbessert.

In diesen findet man neben den Rohdaten des Sensors und dem Fehlfarbenbild auch die Kalibrierungsdaten der Kamera (siehe Abbildung 5). Auf Foren von Experten der Bauthermographie ist die Kalibrierungskurve unseres Modells bekannt, so dass wir alle Information zur Bestimmung von S haben.

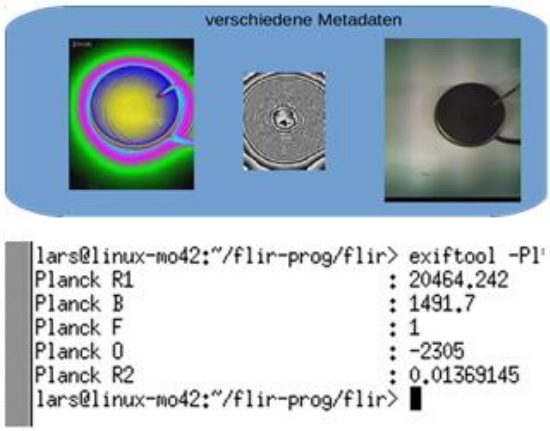



**Abb. 5:** Struktur eines JPG-Bildes und ausgelesene Metadaten zur Kalibrierung

Mittels dieses Wissens kann man nun jedem Bildpunkt des eingebetteten Bildes oder des Fehlfarbenbildes einen Punkt im Sensorbild zuordnen und damit die dortige Leistungsdichte ermitteln.

Das Auslese-Programm liest selbstverständlich selbstständig die Kalibrierungsdaten, das Bild, das Fehlfarbenbild und die Sensordaten aus. Das Bild und das Fehlfarbenbild stellt es auf dem Bildschirm dar. Klickt der Benutzer auf einen Punkt im Bild oder Fehlfarbenbild, so bestimmt das Programm den Sensorwert an diesem Punkt und ermittelt damit, wie oben beschrieben, die Leistungsdichte sowie die Temperatur und gibt beides aus (siehe Abbildung 6).

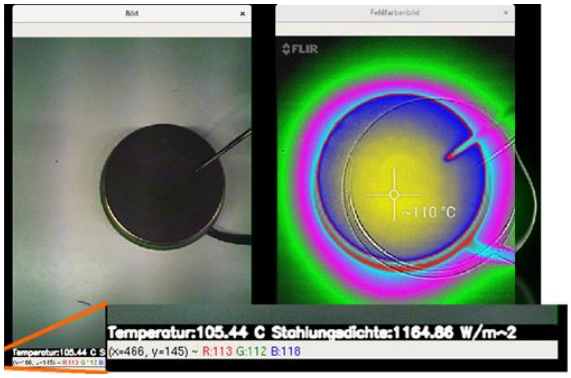



**Abb. 6:** Screenshot des Auslese-Programms

## 3. Das Experiment zum Stefan-Boltzmann-Gesetz

### 3.1. Aufbau

Ein Lötkolben wird mit der Spitze nach oben fixiert und die Unterlegscheibe von oben aufgelegt. Zwischen Unterlegscheibe und Lötkolbenspitze wird der Fühler des Thermoelementes geklemmt. Der Experimentator hält die Wärmebildkamera bereit (siehe Abb. 7).

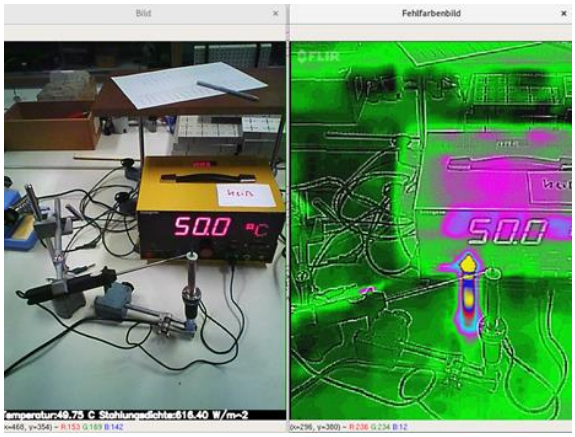



**Abb. 7:** Versuch

### 3.2. Durchführung

Man regelt die Temperatur am Lötkolben bei Raumtemperatur startend in Schritten von ca. 10K langsam bis ca. 170°C hoch und fotografiert die Spitze des Lötkolbens mit der Unterlegscheibe derart, dass man noch die Temperaturanzeige des am Thermoelement angeschlossenen Messgerätes sehen kann (s. Abb. 7).

### 3.3. Auswertung im Unterricht

Die Auswertung der Bilder folgt nun am Computer. Mit dem oben beschriebenen Ausleseprogramm bestimmt man die Leistungsdichten und liest die Temperatur auf dem fotografierten Messgerät ab.

In der unten abgebildeten Tabelle finden sich die Messwerte einer Messung:

| T in K | S in W/m$^2$ |
|---|---|
| 294 | 426 |
| 313 | 546 |
| 333 | 721 |
| 353 | 902 |
| 373 | 1130 |
| 393 | 1331 |
| 413 | 1791 |
| 433 | 2034 |
| 443 | 2300 |

**Abb . 8:** Daten einer Beispielmessung

Trägt man S gegen T auf, so vermuten die Schülerinnen schon ein $T^k$-Gesetz (vergleiche Abbildung 9). Daher tragen die Schülerinnen zur Überprüfung nun S gegen $T^2$, $T^3$, $T^4$ und $T^5$ auf.

Mittels dieser Diagramme erkennen die SuS, dass der Graph zum Exponenten vier der einzige ist, bei dem alle Datenpunkte auf der Trendlinie liegen. Also ist die am besten zutreffende Hypothese:

$$S \propto T^4,$$

### 2.1. **Einsatz im Physikunterricht**

Die Erfassung von Konzepten zu thermischen Phänomenen ist für Lernende besonders schwierig (Weßnigk u. Heinicke 2017, S. 38). Hier kann die WKB helfen, da diese Infrarotstrahlung für die Schülerinnen und Schüler im Unterricht auf eine neue Art „sichtbar“, erfahrbar und messbar macht. Damit ist die Wärmebildkamera ein kleines *Hole in a Wall,* ein Tor zu neuen Welten. Ein besonders zu nennender Vorteil ist, dass man damit räumliche Temperaturprofile und kleine und kurzfristige Temperaturunterschiede abbilden kann. Dies erklärt, dass die Verwendung von Wärmebildkameras in den letzten Jahren in den Fokus der Physikdidaktik gelangt ist (Grötzebauch 2016, IPN-Journal 2017, Mennerich 2015, Weßnigk u. Heinicke 2017), wobei Grötzebauch eine ausführliche Liste von Experimenten vorschlägt.

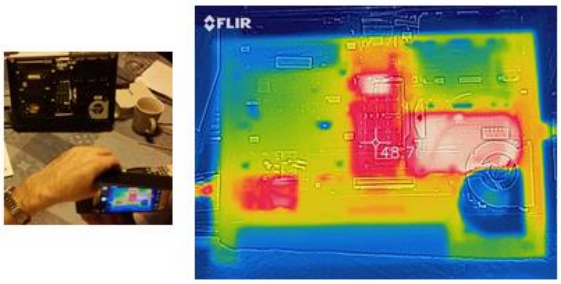



**Abb.1:** Wärmebild eines offenen Laptops

Wärmebildkameras sind als Erweiterung eines handelsüblicher Smartphones und seit kurzem auch in Smartphones mit integrierter Wärmebildkamera erhältlich. Somit verwenden wir hier mit dem Smartphone eines der beliebtesten Alltagsinstrumente der Lernenden und darüber hinaus eine der beliebtesten Komponenten dieses Gerätes, eine Art von Smartphone-Kamera! Weiter schafft die Vertrautheit der Schülerinnen und Schüler mit dem Medium Bild Vertrauen in die Wärmebildkamera als Messgerät.

**Abb.2:** Smartphone mit Wärmebildkamera

### 2.2. **Wärmebildkameras als Sensor**

Laut Herstellerangaben tragen Wellenlängen im Bereich zwischen 6 µm und 16 µm zur spektralen Empfindlichkeit der Wärmebildkamera bei. Der Schwerpunkt ist bei 11µm und das Maximum liegt bei 10µm. Dieser Messbereich ist unten didaktisch vereinfachend als Rechteck dargestellt. Zusammenfassend misst die Wärmebildkamera Intensitäten bzw. Leistungsdichten, welche in Temperaturen

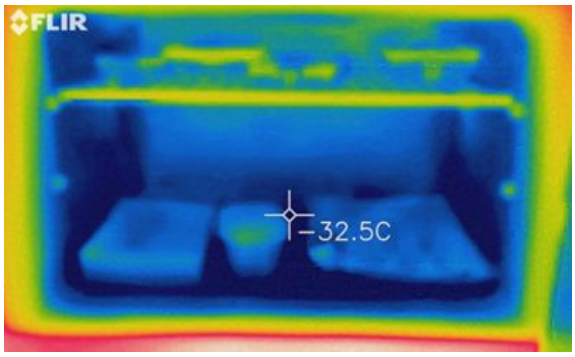



**Abb. 3:** Wärmebild eines Tiefkühlfaches

umgerechnet werden. Das Maximum entspricht einer Frequenz von 3 THz. Die integrierte gemessene Intensität ist gleich der gemessenen Leistungsdichte. Mittels des Planck‘schen Strahlungsgesetzes erhält man daraus die Temperatur T, welche im Wärmebild angegeben wird (siehe Abbildung 3). Anhand der Abbildung 4 kann man dies anschaulich verdeutlichen.

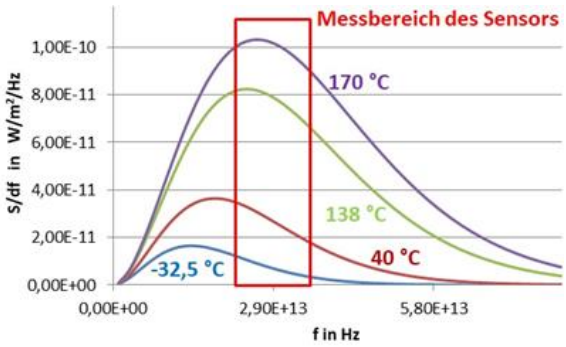



**Abb.4:** Spektrale Empfindlichkeit mit Planck’schem Strahlungsgesetz

Intensitäten bzw. Leistungsdichten, welche in Temperaturen umgerechnet werden. Über das genaue Verfahren macht der Hersteller keine Angaben.

### 2.3. **Struktur der Wärmebilder, Auslese-Software**

Zum Auswerten der Wärmebilder haben wir ein PYTHON-Programm geschrieben. Beim Anklicken eines Bildpunktes bestimmt dieses Programm das zugehörige S und gibt das Ergebnis im Wärmebild aus (siehe Abbildung 6). Insbesondere werden damit Strahlungsverluste auch ohne den Zusammenhang von T und S quantifizierbar und damit früher im Unterricht diskutierbar. Das Programm verwendet nur freie Software und ist auf Anfrage bei uns erhältlich.

Die prinzipielle Funktionsweise des Programms erläutern wir für den interessierten Leser im restlichen Teil des Abschnitts. Zum weiteren Verständnis unseres Experimentes ist dieser Teil nicht nötig und kann problemlos übersprungen werden.

Die Wärmebilder werden im JPG-Format gespeichert. Dies ist ein sogenanntes Containerformat, welches neben den bloßen Bilddaten auch noch weitere Informationen in Form von Metadaten enthält.

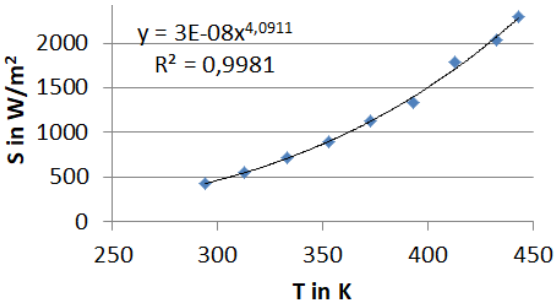



**Abb. 9:** T-S-Diagramm der obigen Messung mit Regression eines Potenzgesetzes.

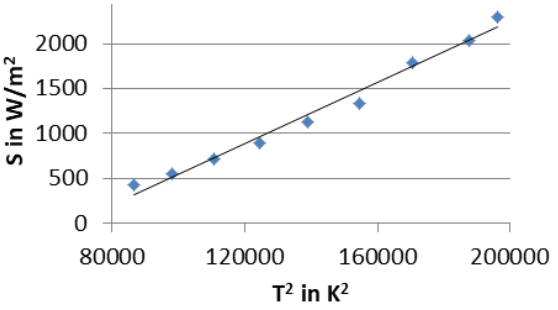



**Abb. 10:** $T^2$-S-Diagramm der obigen Messung auf.

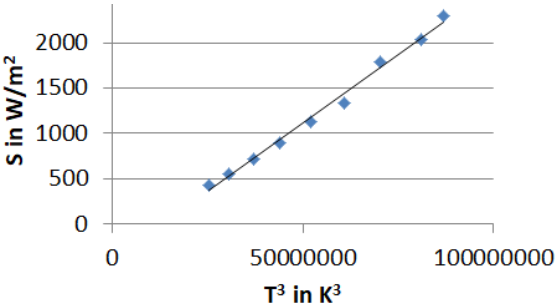



**Abb. 11:** $T^3$-S-Diagramm der obigen Messung auf.

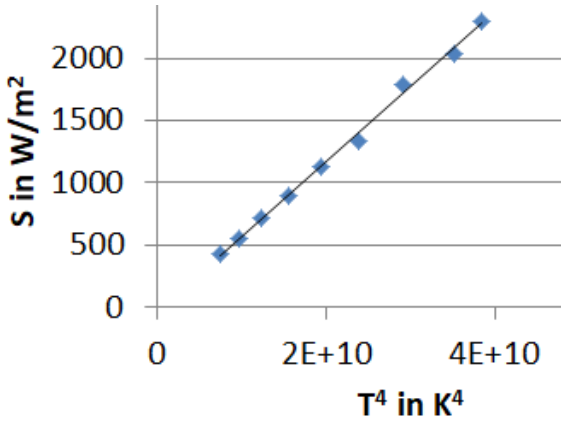



**Abb. 12:** $T^4$-S-Diagramm der obigen Messung

Somit ist das **Stefan-Boltzmann-Gesetz** entdeckt.

### 3.4. Weitere Auswertung

Aus der obigen Messung lässt sich die **Stefan-Boltzmann-Konstante** bestimmen. Ausgehend von der Vermutung einer Proportionalität zu $T^4$ liefert die lineare Regression mit einer Ursprungsgerade als

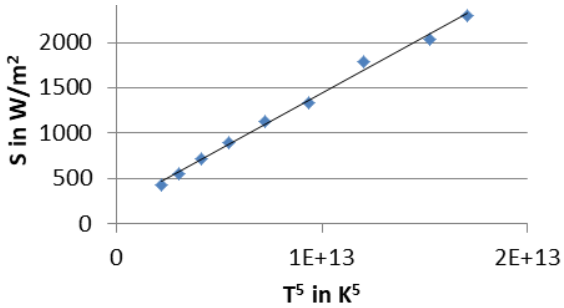



**Abb. 13:** $T^5$-S-Diagramm der obigen Messung

Steigung den experimentellen Wert der Konstanten

$$\sigma_{exp} = 5{,}82 \cdot 10^{-8}\, W/(m^2K^4).$$

Die Abweichung vom Literaturwert

$$\sigma_{lit} = 5{,}67 \cdot 10^{-8}\, W/(m^2K^4)$$

beträgt nur 3%.

Die Regression mit einer Potenzfunktion liefert

$$S(T) = 5{,}82 \cdot 10^{-8} \cdot T^{4{,}09}$$

als funktionalen Zusammenhang mit einem sehr gutem Bestimmtheitsmaß von R=0,9990.

Das ist eine starke Evidenz dafür, dass das beschriebene Experiment in der hier ausgeführten Form sehr genau ist und verdeutlicht das große Potenzial von Experimenten mit einer Wärmebildkamera.

## 4. Erprobung im Unterricht

Der vorgestellte Versuch wurde im Rahmen der Unterrichtseinheit „Thermodynamik“ in einer 10. Klassenstufe eines Gymnasiums erprobt, wobei der Unterrichtsversuch sich über drei Doppelstunden erstreckte. Die erste Doppelstunde diente dem Entdecken der Wärmestrahlung und der Wärmebildkamera. In der zweiten Doppelstunde untersuchten die SuS den Zusammenhang zwischen Leistungsdichte S und Temperatur T, wobei die Erderwärmung als Kontext gewählt wurde. Im Rahmen eines Unterrichtsversuches sollten verschiedene Experimente zum Stefan-Boltzmann-Gesetz verglichen werden. Daher führten die SuS neben dem obigen Experiment parallel in Gruppen auch zwei weitere herkömmliche Experimente mit einer Thermosäule durch. Das Material für die Experimente wurde den SuS präsentiert und sie konnten die Experimente mit geringen Lernhilfen selbständig planen. Im regulären Unterricht würden wir als Ergebnis des Unterrichtsversuches (siehe unten) nur das Experiment mit der Wärmebildkamera durchführen.

Die Durchführung des Experiments mit der Wärmebildkamera gelang den Schülerinnen problemlos. Ebenso waren sie in der Lage die Leistungsdichte S nach einer kurzen Einweisung mittels des Auslese-programms aus den Wärmebildern zu bestimmen. Die Hypothese eines $T^2$-Gesetzes kam nach dem Erstellen des Diagramms ohne Hilfen aus der Lerngruppe und konnte mit schwachen Hilfen auf ein $T^k$-Gesetz verallgemeinert werden. Ebenfalls konnte nach schwachen Erinnerungshilfen der in Abschnitt 3.3 diskutierte Test der besten Hypothese von den

Schülerinnen entwickelt werden. Die Entscheidung für das $T^4$-Gesetz fiel einstimmig. Es wurde als Stefan-Boltzmann-Gesetz festgehalten. Während aller Phasen des Experiments waren die SuS sehr aktiv.

In der Auswertung des Unterrichtsversuches wurden die SuS gebeten die Experimente zu bewerten. Es wurde auch nach der Durchführbarkeit der Experimente gefragt. Das Ergebnis bestätigt den obigen Eindruck, da die SuS das Experiment mit der Wärmebildkamera als einfach durchführbar einstuften.

Der Test des hier beschriebenen Versuches verlief also sehr erfolgreich und die SuS haben eigenständig das Stefan-Boltzmann-Gesetz entdeckt.

Es verbleibt der Frage, wie das Experiment den SuS gefallen hat. In der Umfrage hat sich das vorgestellte Experiment mit der Wärmebildkamera gegen die anderen klassischeren Experimente klar durchsetzen können. Dies ist aufgrund der lebensweltlichen Nähe durch die Verwendung des Smartphones und des Mediums Bild nicht überraschend und aus der Literatur bekannt.

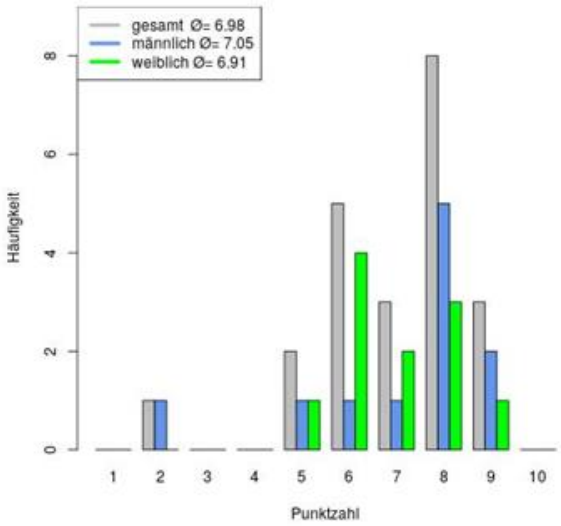



**Abb.14:** Umfrage zum Versuch mit der Wärmekamera

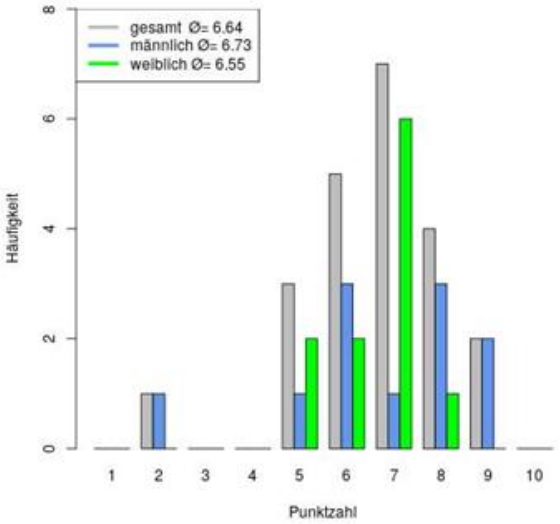



**Abb.15:** Umfrage zum Versuch mit der Temperatur-Messpistole des Herstellers GosCam vom Typ Premium 8803AL.

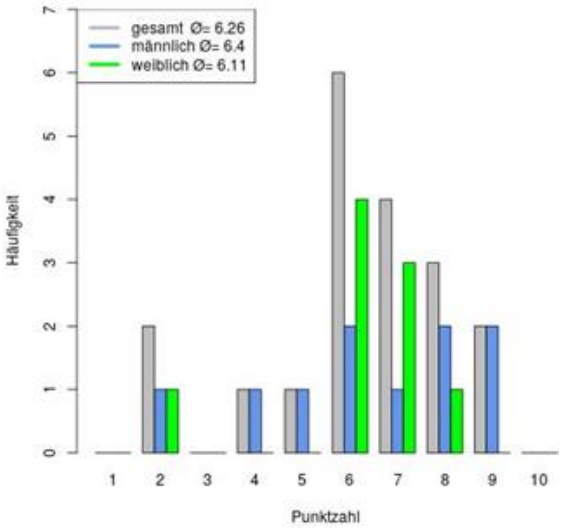



**Abb.16:** Umfrage zum Versuch ohne Wärmekamera

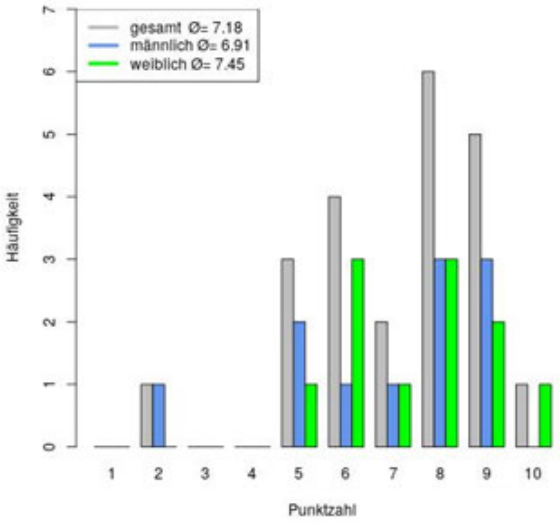



**Abb.17:** Umfrage: Das Experiment mit der Wärmebildkamera halte ich für einfach durchführbar.

## 5. Fazit zum Versuch

In dem hier diskutierten Experiment haben die Schülerinnen selbständig das Stefan-Boltzmann-Gesetz mithilfe einer Wärmebildkamera entdeckt (Abschnitt 3.1-3.3). Die Genauigkeit der Messung (Abschnitt 3.4) ist eine hohe Evidenz für das große Potenzial von Wärmebildkameras im Unterricht.

Da man das Thermoelement durch ein einfaches Einstechthermometer ersetzen kann, ist dieses Experiment vollständig mit lebensweltlichen Objekten durchführbar.

Im Vergleich zu herkömmlichen Experimenten in einem von uns durchgeführten Unterrichtsversuch (Schäfer 2018) wird das Experiment mit der Wärmebildkamera von den Lernenden ganz klar bevorzugt (siehe Abschnitt 4).

Die Auswertung des Versuches schult zusätzlich noch die Kompetenz der Schülerinnen im Umgang mit Messdaten und mit technischen Hilfsmittel, wie z.B. Tabellenkalkulationen oder dem CAS-Taschenrechner. Darüber hinaus haben wir zur Durchführung eine Open-Source-Software entwickelt, die noch vielfältige andere Möglichkeiten zum Einsatz hat und welche auf Anfrage bei uns erhältlich ist.

Zusammenfassend liefert dieses sehr einfach durchführbare Experiment mit lebensweltlichen Gegenständen sehr gute Messergebnisse. Ferner ist es schüleraktivierend und erweist sich ganz klar als deren und somit auch als unsere erste Wahl. Damit zeigen wir die hervorragenden Möglichkeiten, welche der Einsatz von Wärmebildkameras im Unterricht bietet.

## 6. Klimamodelle

Der Klimawandel wird heute allgemein anerkannt, da die Messdaten recht eindeutig zeigen, dass die mittlere Temperatur auf der Erde seit vielen Jahrzehnten ansteigt. Auch ist unumstritten, dass die Konzentration des Kohlenstoffdioxids in der Atmosphäre seit vielen Jahrzehnten zunimmt. Allerdings bezweifeln einflussreiche Politiker und Parteien auf der ganzen Welt, dass es hierbei einen ursächlichen Zusammenhang gibt. In diesem Abschnitt zeigen wir, wie die Lernenden diesen Zusammenhang selbstkritisch, zuverlässig, quantitativ und eigenständig nachweisen können.

### 6.1. Grundlegende Begriffe

Die Leistungsdichte $S$ kann man gut am Kontext Solarmodul einführen, als die Leistung $P$, die das Modul pro Fläche $A$ aufnimmt:

$$S = P/A \qquad \{2\}$$

Der von einem Solarmodul aufgenommenen Leistungsdichte $S$ liegt die von der Sonne bei der Erde eintreffende Leistungsdichte $S_E$ zugrunde, die sogenannte Solarkonstante:

$$S_E = 1367\ \mathrm{W/m^2} \qquad \{3\}$$

Diese Größen und ihre Messbarkeit sind nicht zu bezweifeln.

### 6.2. Strahlungsgleichgewicht

Ein Gegenstand ist im Strahlungsgleichgewicht, wenn die zugeführte Leistungsdichte $S_{zu}$ gleich der emittierten $S_{ab}$ ist. Dabei ist die emittierte Leistung durch das Stefan – Boltzmann – Gesetz bestimmt:

$$S_{zu} = S_{ab} = \sigma \cdot T^4 \qquad \{4\}$$

Die Temperatur im Strahlungsgleichgewicht erhalten wir durch Auflösen aus der obigen Gleichung:

$$T = (S_{ab}/\sigma)^{1/4} \qquad \{5\}$$

Das Konzept des Strahlungsgleichgewichts und somit Gleichung {5} entsprechen grundlegenden Naturgesetzen und sind somit kaum zu bezweifeln.

Am Beispiel der heißesten Region der Erde, der Wüste Lut, können wir Theorie und Beobachtung vergleichen (Universum 2018): Bei einer realistischen Einstrahlung von ungefähr 900 W/m$^2$ ist die Temperatur im Gleichgewicht 355 K oder 82 °C. Gemessen wurden Temperaturen bis 78,2 °C.

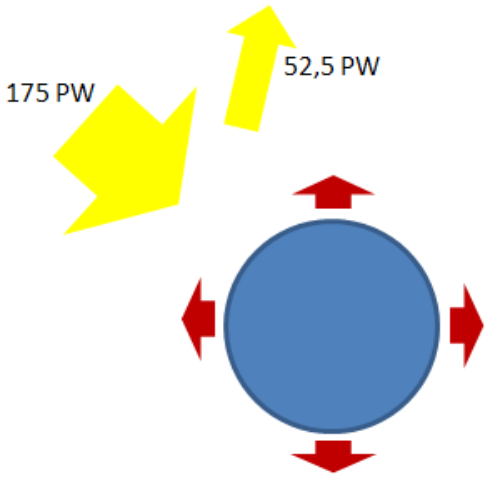



**Abb.18:** Klimamodell ohne Absorption durch die Atmosphäre

Das Konzept des Strahlungsgleichgewichts wird auf die Erde als Ganzes angewendet. Entsprechend untersuchen wir das Gleichgewicht aus zugeführter und abgegebener Strahlungsleistung:

$$P_{zu} = P_{ab} \qquad \{6\}$$

Die Leistung ermitteln wir als Produkt aus Leistungsdichte und Fläche (siehe Gleichung {2}). Für die zugeführte Leistung ist die Querschnittsfläche maßgeblich:

$$P_{zu,oben} = \pi \cdot r^2 \cdot S_E = 175\ \mathrm{PW} \qquad \{7\}$$

Allerdings werden 30 % der Sonnenstrahlen an den oberen Schichten der Atmosphäre reflektiert. Somit wird der Erde folgende Strahlungsleistung zugeführt:

$$P_{zu} = 0{,}7 \cdot \pi \cdot r^2 \cdot S_E = 122{,}5\ \mathrm{PW} \qquad \{8\}$$

Für die Emission ist die gesamte Erdoberfläche maßgeblich, also $A = 4\pi \cdot r^2$. Somit wird die Leistung

$P_{ab} = 4\pi r^2 \cdot S_{ab}$ emittiert. Im Strahlungsgleichgewicht ist also:

$$0{,}7 \cdot \pi r^2 \cdot S_E = 4\pi r^2 \cdot S_{ab} \quad \{9\}$$

Wir lösen nach der emittierten Leistung auf:

$$S_{ab} = S_E \cdot 0{,}175 = 239\ W/m^2 \quad \{10\}$$

Daraus erhalten wir folgende Temperatur im Gleichgewicht (siehe Gleichung {5}):

$$T = (239\ W/m^2 / \sigma)^{1/4} = 255\ K \text{ oder } -18\ °C \quad \{11\}$$

Tatsächlich beträgt die mittlere Temperatur 15 °C. Bisher haben wir noch keine Absorption von Strahlung durch die Atmosphäre berücksichtigt. Wir untersuchen nun, welche Auswirkungen das hat.

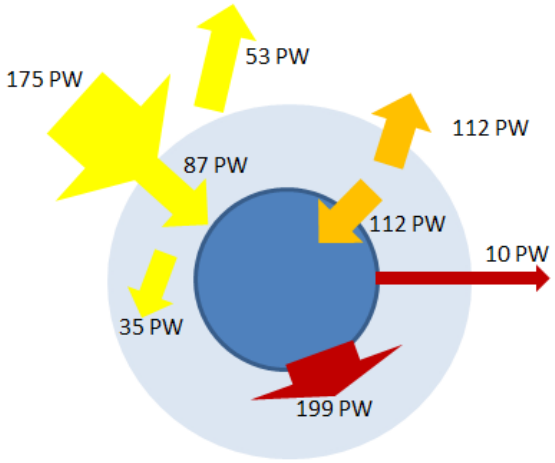



**Abb.19:** Klimamodell mit Absorption durch die Atmosphäre

### 6.3. **Natürlicher Treibhauseffekt**

Beobachtungen zeigen, dass eine Leistung von 10 PW vom Boden direkt ins All gelangt:

$$P_{direkt} = 10\ PW \quad \{12\}$$

Ins All gelangt weiterhin die reflektierte Leistung:

$$P_{Reflexion} = 175\ PW \cdot 0{,}3 = 52{,}5\ PW \quad \{13\}$$

Im Gleichgewicht geht die Leistung 175 PW ins All, woher kommt der Rest? Nach dem Ausschlussverfahren muss der Rest aus der Atmosphäre kommen:

$$P_{aus\ Atmosphäre} = P_{zu} - P_{direkt} - P_{Reflexion} = 112\ PW \quad \{14\}$$

Die Atmosphäre strahlt insgesamt genauso viel Leistung nach unten ab wie nach oben, also 112 PW. Am Erdboden kommen zudem 50 % der gesamten Einstrahlung von 175 PW an, also:

$$P_{direkt\ abwärts} = 87{,}5\ PW \quad \{15\}$$

Die übrigen 20 % werden von der Atmosphäre absorbiert. Insgesamt kommt am Erdboden also folgende Summe an:

$$P_{zu,\ Boden} = P_{direkt\ abwärts} + P_{aus\ Atmosphäre} = 199\ PW = P_{ab,\ Boden} \quad \{16\}$$

Diese Leistung wird im Gleichgewicht auch emittiert. Wir dividieren durch $4\pi r^2$ und erhalten so die vom Erdboden emittierte Leistungsdichte:

$$S_{ab} = 199\ PW / 5{,}1 \cdot 10^{14} m^2 = 390\ W/m^2 \quad \{17\}$$

Dieser Betrag könnte ungenau sein, da die Atmosphäre recht grob modelliert wurde, das wird in Abschnitt 6.5 genauer untersucht.

Hieraus ermitteln wir wieder die Temperatur am Erdboden im Gleichgewicht (siehe Gleichung {5}):

$$T = (390\ W/m^2 / \sigma)^{1/4} = 287{,}99\ K \text{ oder } 14{,}84\ °C \quad \{18\}$$

Das Ergebnis entspricht schon relativ genau dem beobachteten Wert von 15 °C. Die Absorption von Strahlung durch die Atmosphäre wirkt sich also durch eine Erwärmung um 33 K aus. Diese Erwärmung nennt man den natürlichen Treibhauseffekt:

$$\Delta T_{natürlich} = 33\ K \quad \{19\}$$

### 6.4. **Anthropogener Treibhauseffekt**

Die mittlere Temperatur der Erde stieg in den letzten Jahrzehnten um folgenden Betrag (siehe z. B. [Universum]):

$$\Delta T = 0{,}5 \text{ bis } 1\ K \quad \{20\}$$

Im gleichen Zeitraum stieg der Anteil an Kohlenstoffdioxid in der Atmosphäre um 29 % an. Dieses Gas absorbiert prinzipiell IR, das führt zu einer Vergrößerung $\Delta S_{ab,\ Boden}$ der vom Boden emittierten Leistungsdichte. Dies vergrößert den Treibhauseffekt (s. Gl. {16} und {17}). Hinzu kommen weitere sogenannte anthropogene Treibhausgase, die durch Menschen in die Atmosphäre gelangen. Die entscheidende Frage ist, welcher Anteil des Temperaturanstiegs in Gleichung {20} durch die anthropogenen Treibhausgase verursacht wird.

Um diese Frage zu beantworten, kann man die Absorption von IR durch die anthropogenen Treibhausgase im Labor oder mit einem Satelliten (z. B. IRIS, Poli und Brunel 2018) messen. Damit kann man ausrechnen, welche Vergrößerung $\Delta S_{ab,\ Boden}$ der vom Boden emittierten Leistungsdichte durch die anthropogenen Treibhausgase verursacht wird. Als Ergebnis erhält man:

$$\Delta S_{ab,\ Boden} = 2{,}7\ W/m^2 \quad \{21\}$$

Dieser Betrag ist kaum zu bezweifeln (Houghton et al. 2001), da er auf stets überprüfbaren Labormessungen beruht.

Somit erhöht sich die am Boden emittierte Leistungsdichte von 390 $W/m^2$ auf 392,7 $W/m^2$. Wir ermitteln die dabei verursachte Temperatur mithilfe von Gleichung {5}:

$$T = (392{,}7\ W/m^2 / \sigma)^{1/4} = 288{,}48\ K \text{ oder } 15{,}33\ °C \quad \{22\}$$

Der anthropogene Treibhauseffekt erwärmt die Erde somit um folgende Temperatur:

$$\Delta T_{anthropogen} = 0{,}49\ K \quad \{23\}$$

Dieses Ergebnis stimmt mit der beobachteten Temperaturerhöhung in Gleichung {20} also gut überein. Aber ist das Ergebnis auch zuverlässig? Das untersuchen wir im nächsten Abschnitt.

### 6.5. **Zuverlässigkeit der Untersuchung**

Wir haben die durch die anthropogenen Treibhausgase verursachte Temperaturerhöhung $\Delta T$ in Gleichung {23} ermittelt. Dazu haben wir drei Gesetzmäßigkeiten verwendet:

- Die Abhängigkeit der absoluten Temperatur T des Strahlungsgleichgewichts in Gleichung {5}, d.h. das Stefan-Boltzmann-Gesetz.
- Die vom Erdboden emittierte Leistungsdichte von S = 390 W/m$^2$ in Gleichung {17}.
- Die durch Treibhausgase verursachte Erhöhung $\Delta S$ der emittierten Leistungsdichte in Gleichung {21}.

Von diesen Gesetzmäßigkeiten sind die erste und die dritte kaum zu bezweifeln, wie wir oben bereits begründet haben. Allerdings hängt die berechnete vom Boden emittierte Leistungsdichte von S = 390 W/m$^2$ von mehreren Modellannahmen ab und könnte auch einen anderen Betrag haben, beispielsweise 420 W/m$^2$ oder im Extremfall 450 W/m$^2$. (Houghton 2001).

Wir untersuchen, welchen Einfluss das auf die Temperaturerhöhung $\Delta T_{anthropogen}$ hätte, die wir berechnet haben. Dazu ermitteln wir die neue Temperatur T‘ ohne anthropogenen Treibhauseffekt, indem wir in Gleichung {18} statt 390 W/m$^2$ nun 450 W/m$^2$ einsetzen. So erhalten wir:

$$T = (450\ W/m^2 / \sigma)^{1/4} = 298{,}47\ K \qquad \{24\}$$

Entsprechend ermitteln wir die neue Temperatur $T_{anthropogen}$‘ mit anthropogenem Treibhauseffekt, indem wir in Gleichung {22} statt 392,7 W/m$^2$ nun 452,7 W/m$^2$ einsetzen. So erhalten wir:

$$T = (452{,}7\ W/m^2 / \sigma)^{1/4} = 298{,}92\ K \qquad \{25\}$$

Nun bestimmen wir den durch das anthropogene Treibhausgas verursachten Temperaturanstieg, indem wir die Differenz der beiden Temperaturen in den Gleichungen {24} und {25} berechnen:

$$\Delta T_{anthropogen}‘ = 298{,}92\ K - 298{,}47\ K = 0{,}45\ K \quad \{26\}$$

Der Unterschied zum Ergebnis in Gleichung {23} beträgt nur 0,04 K, obwohl der Unterschied der ermittelten Temperatur am Erdboden 298,92 K – 287,99 K = 10,93 K beträgt. Das zeigt völlig klar, dass der durch den anthropogenen Treibhauseffekt verursachte Temperaturanstieg um einen Faktor 10,93/0,04 = 273 genauer ermittelt wird als die Temperatur am Erdboden. Die Lernenden können diese Tatsache mit weiteren Zahlenbeispielen leicht bestätigen.

Insbesondere können die Lernenden somit den von den anthropogenen Treibhausgasen verursachten Temperaturanstieg sehr genau berechnen und so die entscheidende Frage nach dem Verursacher zuverlässig beantworten.

Zudem können sie die Genauigkeit ihrer Berechnung und somit die Zuverlässigkeit ihrer Entscheidung selbst überprüfen.

Ferner ist das Modell so einfach, dass die Lernenden es leicht eigenständig erlernen und anwenden können. Insbesondere sind sie dabei keineswegs auf Hilfen von Rechenzentren angewiesen, wie es im Grundsatzprogramm einer größeren politischen Partei der Gegenwart behauptet wird. Im Gegenteil ist dies ein aktuelles und schönes Beispiel für Aufklärung (Kant): Die Lernenden können sich durch eine eigenständige Untersuchung aus ihrer vermeintlichen Unmündigkeit und Abhängigkeit von Experten oder Rechenzentren befreien, und zwar bei einem nach Klafki epochaltypischen Problem (Klafki).

## 7. **Diskussion**

Jugendliche interessieren sich sehr stark für ihre Smartphones und insbesondere ist die darin integrierte Kamera sehr attraktiv und häufig auch auschlaggebend für den Kauf eines Smartphones. Eine Wärmebildkamera für Smartphones schließt perfekt an diese Voraussetzung an und bietet dazu Einblick in einen sonst unsichtbaren Bereich der Physik. Zusätzlich schafft das Medium Bild noch Vertrauen in die von der Kamera gemachte Messung. Unser Experiment zum Stefan-Boltzmann-Gesetz mit einer Wärmebildkamera profitiert hiervon und liefert ferner ein sehr gutes Messergebnis. Kommt eine einfache Durchführbarkeit hinzu, so überrascht es nicht, dass der Versuch bei den SuS gegenüber herkömmlichen Versuchen punktet.

Aus didaktischer Sicht ist die selbstständige Entdeckung sehr erfreulich, da diese den Weg zur selbstständigen Analyse des natürlichen und anthropogenen Treibhauseffektes ebnet, wie wir in Abschnitt 6 beweisen. Genauer zeigen wir, dass die SuS mit dem Stefan-Boltzmann-Gesetz Klimamodelle und den Beitrag von $CO_2$ am Treibhauseffekt berechnen können und die Zuverlässigkeit ihrer Ergebnisse prüfen können. Als Kenntnisse benötigen die SuS die Fläche des Kreises, den Oberflächeninhalt der Kugel, das Konzept des Strahlungsgleichgewichtes und aus der Literatur bekannte Klimamessdaten. Somit sind die mathematischen Voraussetzungen Ende der 10. Klasse geschaffen.

Damit befreien die SuS sich aus der Abhängigkeit von Experten oder Meinungsmachern und werden zur Bildung eines eigenen, fundierten Urteils befähigt. Daher halten wir den Versuch in Kombination mit der Klimarechnung für sehr fruchtbar und besonders empfehlenswert!

## 8. **Literatur**

Boltzmann, L. (1884): Ableitung des Stefan’schen Gesetzes, betreffend die Abhängigkeit der Wärmestrahlung von der Temperatur aus der electromagnetischen Lichttheorie. In: Annalen der Physik und Chemie. Bd. 22, 1884, S. 291–294.

Carmesin, H.-O. (2004): Entdecken des Stefan-Boltzmann-Gesetzes mit einem Flüssigkeitsthermometer, Praxis Magazin, PdN-PhiS. 5/53. S. 36-38.

Cornelsen (2008): Physik Oberstufe Gesamtband, Berlin: Cornelsen Verlag.

Demtröder (1995): Experimentalphysik 2. Elektrizität und Optik. Berlin: Springer.

Dorn-Bader (2008): Physik 11 für das Gymnasium in Niedersachsen, Prof. Dr. R. Müller et al.. Braunschweig: Schroedel Verlag.

Dorn-Bader (2017): Einführungsphase Physik Sek II. Gymnasium in Niedersachsen, Prof. Dr. R. Müller et al.. Braunschweig: Schroedel Verlag.

Gerthsen Physik (2015). 25. Auflage. Herausgeber: D. Meschede. Berlin: Springer.

Grötzebauch, H. (2016): Versuche zur Thermodynamik:https://didaktik.physik.fu-berlin.de/home/download/TD/Skript_Thermodynamik.pdf.

Houghton, J.T. et al., Hrsg. (2001): Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of the Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge und New York.

IPN Journal (2017): Energie. Sichtbar machen. Die Wärmbildkamera als Lehrmittel. Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften und Mathematik, Universität Kiel, S. 24-25: https://www.ipn.uni-kiel.de/de/publikationen#b_start=0&c5=zeitschrift.

Impulse Physik (2017): Einführungsphase, Niedersachsen. Stuttgart: Klett.

Leybold (2019): LD-Handblätter Physik: Stefan-Boltzmann-Gesetz: Temperaturabhängige Messung der Strahlungsintensität eines „Schwarzen Körpers“, Leybold: https://www.ld-didactic.de/literatur/hb/d/p5/p5521_d.pdf.

Mennerich, I. (2015): Experimente mit der Wärmebildkamera. Herausgeber: Landeshauptstadt Hannover, Fachbereich Bibliothek und Schule, Schulbiologiezentrum: http://www.schulbiologiezentrum.info/AH%2019.91%20%20Experimente%20mit%20der%20W%E4rmebildkamera.pdf.

Poli, P. und Brunel, P. (2018): Assessing reanalysis quality with early sounders Nimbus-4 IRIS (1970) and Nimbus-6 HIRS (1975). Advances in Space Research, 62, S. 245–264.

Schäfer, L. (2018): Untersuchung von Leistungsdichten mit Hilfe einer Wärmebildkamera – Ein Unterrichtsversuch im Fach Physik in einer 10. Klasse des Gymnasiums. Stade: Studienseminar Stade.

Tipler-Mosca (2015): Physik für Wissenschaftler und Ingenieure. 7. Auflage. Herausgeber: J. Wagner. Berlin: Springer.

Universum (2018): Physik. Niedersachsen. Einführungsphase. Berlin: Cornelsen Verlag.

Weßnigk, S. u. Heinicke, S. (2017): Die Wärmbildkamera – Ein Beitrag zur Sinneserweiterung. In: Unterricht Physik 159/160, 38–43.

# A Novel Equivalence Principle for Quantum Gravity

**Hans-Otto Carmesin***

*Studienseminar Stade, Bahnhofstraße 5, 21682 Stade, Athenaeum Stade, Harsefelder Straße 40, 21680 Stade, University Bremen, Otto – Hahn – Alle 1, 28359 Bremen
Hans-Otto.Carmesin@athenetz.de

**Abstract**

The evolution of the early universe is a challenging topic for students in research clubs or similar learning groups. Here we study sub curvature length scales. For these small lengths a novel equivalence principle becomes valid. This principle can be successfully applied to the cosmic inflation, dark energy and dark matter. The first two applications are worked out in full detail here so that they can be directly used in a learning group.

## 1. Introduction

The universe has always been interesting to humans (Hoskin 1999). Accordingly students like to take part in astronomy clubs or they choose astrophysical projects in a research club. These interests provide chances for scientific education. Here I outline a corresponding project, and I report about experiences with teaching it.

### 1.1. Early universe: a lab for quantum gravity

In the early universe, the density was very high, and so gravity was the dominating interaction. Moreover, distances were very small, and so quantum physics is essential. Additionally, there are many corresponding observations. So the early universe is an ideal lab for the combination (Bronstein 1936) of gravity and quantum physics.

### 1.2. Challenging questions

In the early universe, there occurred a very rapid increase of distances in the so-called era of cosmic inflation (Guth 1981), the dark matter (Zwicky 1933) formed, and the dark energy emerged (Einstein 1917; Perlmutter et al. 1998; Riess et al. 2000; Smoot 2007). The explanation of these phenomena is possible in the framework of quantum gravity (Carmesin 2017, Carmesin 2018a-d, Carmesin 2019). So this is an interesting actual topic for a research club.

### 1.3. Analogies

In order to obtain a smooth learning process, we introduce and investigate the concepts of the harmonic oscillator and of the waves in crystals. Progressively we develop novel concepts by using analogies to these basic two concepts. Additionally we use the Heisenberg uncertainty relation, the Schwarzschild radius and the Friedmann Lemaitre equation, FLE, as basic concepts (Carmesin 2014).

## 2. Students

The present project has been tested in a research club with students in classes 9 to 12. The students also attend an astronomy club and apply computers.

## 3. Observable States

Physical states can only be observed, if the Heisenberg uncertainty relation is fulfilled (Heisenberg, 1927):

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \tfrac{1}{2} \cdot \underline{h} \qquad \{1\}$$

Hereby $\underline{h}$ denotes the reduced Planck constant $h/2\pi$, $x$ the coordinate and $p$ the momentum. Furthermore, only a spatial physical structure $r$ outside the Schwarzschild radius $R_S$ can be observed (Michell 1784; Schwarzschild, 1916):

$$r \geq R_S = 2 \cdot G \cdot m/c^2 \qquad \{2\}$$

Hereby G denotes the gravitational constant, $m$ the mass and c the velocity of light. Consequently, only states in the dark shaded area in figure (1) can be observed.

Accordingly, we introduce the concept of a region without observable internal spatial structure. Such a region is called elementary region ER. There are two ERs at a fixed density (see figure 1): Each mass $m$ is surrounded by a ball with radius $R_S$, and this ball is an ER (see upper triangle in figure 1, we denote that radius by $b$). For each point in space, we derive the best spatial resolution. Best resolution is achieved according to the uncertainty relation (equation 1) with the equality sign and with relativistic radiation with $\Delta p = E/c$. We express this equation in Planck units (Planck 1899). So we get:

$$\mathbf{\Delta x} = 1/(2 \cdot \mathbf{E}) \qquad \{3\}$$

In Planck units, the energy **E** is equal to the corresponding mass **M**. Accordingly, we denote the above uncertainty by $a_M$:

$$2 \cdot \mathbf{a_M} = 1/\mathbf{E} = 1/\mathbf{M} \qquad \{4\}$$

The ball with that radius $\mathbf{a_M}$ is the other ER at the considered fixed density, see full triangle in figure 1. When the density increases, then the two elementary regions, the b – ER and the $a_M$ – ER approach each other in figure (1), and they merge at the smallest possible ER (see full circle in figure 1). Hereby the radius is the Planck length $L_P$, the energy is half the Planck energy $E_P$ , the ρ density is half the Planck

density $\rho_P$ , and that density $\rho$ is the highest achievable density (see Carmesin 2017, 2018a-d, 2019).

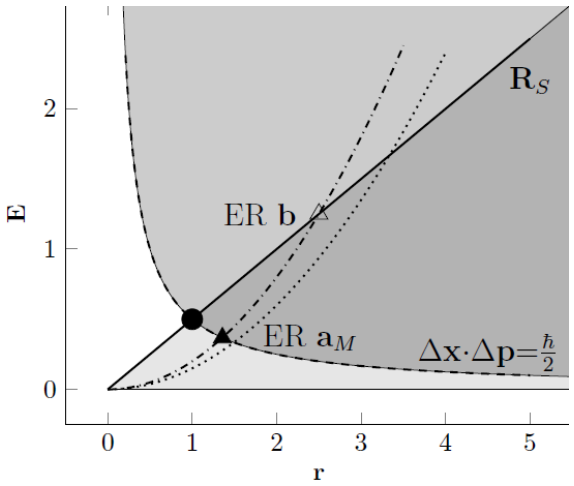



**Fig.1:** Planck Scale: Planck units: bold face. Distance: **r**. Energy: **E**. Circle: Planck length $L_P$. Triangles: elementary regions ER. Light shaded: observable according to uncertainty relation. Medium shaded: observable according to Schwarzschild radius $R_S$. Dark shaded: observable. Dash-dotted: fixed density. Dotted: lower fixed density.

## 4. **Model**

In order to combine gravity and quantum physics, it is essential to determine the microscopic objects that should be described. It is natural to model the ERs microscopically. This is worked out next.

## 5. **Microscopic part of the model**

We model a **b** – ER and a neighboring $\mathbf{a_M}$ – ER in a microscopic part of the model. Next we investigate the properties of that model.

### 5.1. **Isotropy**

These two ERs are at a distance $\mathbf{a} = \mathbf{a_M} + \mathbf{b}$. That distance is characterized by a wave function. Since gravity is very large, everything tends 'to fall down', and so we model ground states here. Correspondingly, we model that distance with an isotropic wave function.

### 5.2. **Dynamics**

According to the isotropy, we apply an isotropic version of general relativity. The corresponding cosmological dynamics is described by the Friedmann Lemaitre equation, FLE (Friedmann 1922, Lemaitre 1927):

$$[a'(t)/a(t)]^2 = 8\pi G\cdot\rho/3 - k\cdot c^2/a^2 \qquad \{5\}$$

Hereby, $k$ describes the curvature of the isotropic space, and it is called the curvature parameter.

### 5.3. **Mathematical equivalence**

The students can easily derive that the FLE is mathematically equivalent to the following equation:

$$E = \tfrac{1}{2}\cdot m\cdot v^2 - G\cdot M\cdot m/a \qquad \{6\}$$

Thereby, $M$ describes the equivalent mass of the $a_M$ - ER, $m$ denotes the mass of the $b$ – ER, $v$ describes $a'(t)$, and $E$ describes the curvature parameter as follows:

$$E = -m\cdot c^2\cdot k/2 \qquad \{7\}$$

### 5.4. **Novel equivalence principle**

The FLE describes curved space in general. However, the mathematically equivalent equation {6} does not include the curvature parameter explicitly. Accordingly, we investigate the possible physical equivalence. Thereby, we call two systems physically equivalent, if no difference can be observed. In a system consisting of two neighboring ERs, no curvature can be observed geometrically, since the curvature can only be observed with at least three ERs (Lee 1997). This corresponds to the fact that two points determine a straight line, whereas three points determine a radius of curvature. As a consequence, the curvature parameter cannot be observed geometrically in the microscopic part of the system. Consequently, the FLE and the dynamics of equation {6} are mathematically and physically equivalent at the small length scale of the microscopic part of the model.

### 5.5. **Analogy**

The microscopic part of the model includes the phenomenon of the curvature of space, though it is not included explicitly in equation {6}. Similarly, the motion of molecules in a gas may be described by Newtonian mechanics without an explicit force of friction, and as a result, that description provides an effective force of friction (see for instance Carmesin 2019).

### 5.6. **Quantization**

The dynamic equation {6} is quantized by the usual rules of quantum physics (see Schrödinger 1926 or for instance Ballentine 1998). Accordingly, the observable quantities are replaced by operators. Thereby the observable quantities in equation {6} are the coordinate $a$ with the corresponding momentum $p = m\cdot a'(t)$, and the variable $E$ is identified with the energy according to the form of equation {6}. The Schrödinger equation with the operator of $E$ describes the dynamics. That quantization is uniquely determined, as there occur no products with different operators.

### 5.7. **First method of investigation**

First we investigate solutions of the stationary Schrödinger equation. In particular we determine ground states first. Hereby we consider the limit of high density and small distances first. In that limit, the wave functions are Gaussian wave packets and the expectation value of the potential energy is a harmonic potential (see Carmesin 2019). In order to obtain a low barrier of learning, we determine expectation values. So we investigate the harmonic oscillator first.

**Fig.2:** A swing is an example for a harmonic oscillator.

## 6. Ground state of harmonic oscillator

First we investigate the harmonic oscillator, as it is essential here, and as it is interesting by itself (see figure 2). The students formulate the energy term:

$$E = p^2/(2m) + ½\ \kappa \cdot x^2 \qquad \{8\}$$

Hereby, κ denotes Hooke's constant.

### 6.1. Derivation of ground state

We apply the expectation values:

$$< E > = < p^2 >/(2m) + ½\ \kappa \cdot < x^2 > \qquad \{9\}$$

Here the students easily apply the mathematical identity

$$< x^2 > = < x >^2 + (\Delta x)^2, \qquad \{10\}$$

whereby the square of the uncertainty $(\Delta x)^2$ denotes $< (x - < x >)^2 >$. So they get:

$$< E > = < p >^2 /(2m) + ½\ \kappa \cdot < x >^2 + E_Q \qquad \{11\}$$

Hereby $E_Q$ is the additional quantum term:

$$E_Q = (\Delta p)^2 /(2m) + ½\ \kappa \cdot (\Delta x)^2 \qquad \{12\}$$

For Gaussian wave functions, the students verify with help of a working sheet that the uncertainty relation achieves the minimal uncertainty:

$$\Delta x \cdot \Delta p = ½ \cdot \underline{h} \qquad \{13\}$$

With it they derive (see equation {12}):

$$E_Q = \underline{h}^2 /[8m(\Delta x)^2\ ] + ½\ \kappa \cdot (\Delta x)^2 \qquad \{14\}$$

Here the students determine the quantum fluctuations $q = (\Delta x)^2$ by application of the variational method. So they derive the value of $q$ that minimizes the above term for the quantum energy $E_Q$. So they get:

$$(\Delta x)^2 = q = \underline{h}\ /[4m\ \kappa]^{0,5} \qquad \{15\}$$

They insert this term into the above term for $E_Q$. So they obtain the ground state energy of the harmonic oscillator:

$$E_Q = ½ \cdot \underline{h} \cdot \omega \qquad \{16\}$$

Thereby ω denotes the familiar angular frequency:

$$\omega = [\kappa/m]^{0.5} \qquad \{17\}$$

While the classical ground state energy is zero, the quantum energy is nonzero (equation {16}). Such a nonzero ground state energy is called zero-point energy, ZPE, and its oscillation is called zero-point oscillation, ZPO (see equation {15}). Our result is in full accordance with quantum theory (Ballentine 1998). But can ZPOs be observed?

### 6.2. ZPO observed in a crystal

An atom in a crystal is at the minimum of the potential. That minimum can be locally approximated by a quadratic function of the coordinate (Fornasini and Grisenti 2015). So it represents a harmonic oscillator, and it should exhibit the quantum fluctuations $(\Delta x)^2$ of the ZPO presented in equation {15}. In fact, this can be observed (see figure 3).

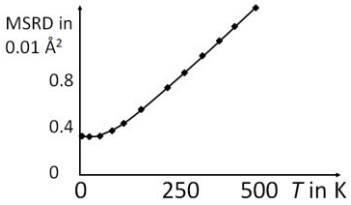



**Fig.3:** ZPO in a Cu crystal: The mean square relative displacement MSRD corresponds to the squared uncertainty. It is a function of the absolute temperature $T$ (sketch on the basis of Fornasini and Grisenti 2015). The MSRD at zero K represents the ZPO. Diamonds: experiment.

### 6.3. Oscillators in crystals are coupled

The above oscillators in a crystal are coupled. This can be modeled by a partner swing (see figure 4). A partner swing exhibits two stable collective oscillations: the two oscillators can swing with the same phase and low frequency or with opposite phase and high frequency. If more swings are coupled, then these swings can form waves that oscillate at specific angular frequencies ω and corresponding energies $\underline{h}\omega$. The analogous waves in crystals are called phonons. Can these phonons be observed?

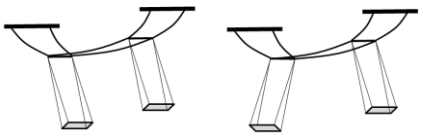


**Fig.4:** A partner swing: The oscillators oscillate in phase at the left and with opposite phase at the right.

### 6.4. Phonons observed in crystals

In a rhodium crystal, different phonons have been observed (see figure 5). Thereby, the phonons are marked on the horizontal axis, and the corresponding ZPEs are shown at the vertical axis. The theoretical calculations are presented by the lines and the corresponding measurements are presented by diamonds. The figure shows precise accordance of the modeled and observed ZPEs. This clearly confirms the concept of the ZPOs and ZPEs of waves.

Of course, there are also excited states corresponding to the ground states shown in figure (5).

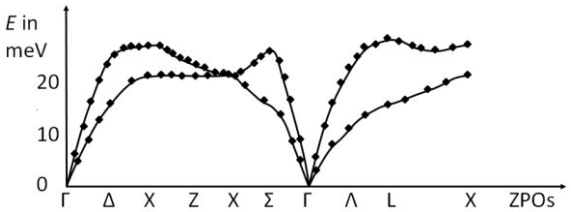



**Fig.5:** ZPEs of waves, so-called phonons, in a rhodium crystal (sketch on the basis of Heid, Bohnen and Reichardt 1999). Line: theory. Diamonds: measurement. Horizontal axis: phonons with typical notation of solid state physics. Vertical axis: ZPE in milli-eV.

## 7. Ground state of microscopic part

Next we apply the methods that we used for the harmonic oscillator. So we analyze the microscopic part of the model. Accordingly we get:

$$< E > = < p^2 > /(2m) - G \cdot M \cdot m \cdot < a^{-1} > \quad \{18\}$$

Here we apply the identity $a^{-1} = (a^2)^{-0.5}$. Furthermore we use the approximation $< (a^2)^{-0.5} > \approx (< a^2 >)^{-0.5}$.

And again we utilize equation {10}. So we get:

$$< E > = < p >^2 / (2m) + (\Delta p)^2 /(2m) - G \cdot M \cdot m \cdot (< a >^2 + (\Delta a)^2 )^{-0.5}$$

Here we expand in linear order in $(\Delta a)^2 / < a >^2$. So we obtain:

$$< E > = < p >^2 /(2m) + E_{cl,G} + E_Q \quad \{19\}$$

Hereby $E_{cl,G}$ is the non-quantum gravity term

$$E_{cl,G} = - G \cdot M \cdot m / < a > \quad \{20\}$$

and $E_Q$ is the additional quantum term:

$$E_Q = (\Delta p)^2/(2m) + ½ \, G \cdot M \cdot m \cdot (\Delta a)^2 / < a >^3 \quad \{21\}$$

Again we use equation {13}. So we get:

$$E_Q = \underline{h}^2/[8m \cdot (\Delta a)^2] + ½ \, G \cdot M \cdot m \cdot (\Delta a)^2 / < a >^3 \quad \{22\}$$

### 7.1. Higher dimension

At high density, gravity is very strong and tends to make objects very compact. Examples are white dwarfs, neutron stars and black holes. Another example for a very compact object is a parachute: in the unfolded state it is practically two dimensional and large, while in the folded state it is three dimensional and small. This example shows that compact objects can be generated by an increase of the dimension. Have dimensions larger than three been observed experimentally? Yes, four dimensional states have been observed in two different experiments that realize the four – dimensional quantum Hall effect (Lohse et al. 2018; Zilberberg 2018 et al.). Accordingly, we generalize our model to dimensions $D \geq 3$. For it, the potential energy term

$$E_{pot} = - G \cdot M \cdot m / < a > \quad \{23\}$$

is replaced by the following term:

$$E_{pot} = - G \cdot L_P^{D-3} \cdot M \cdot m / < a^{D-2} > \quad \{24\}$$

The exponent $D - 2$ is a consequence of Gaussian gravity (Gauss 1813; Bures 2011), and the factor $L_P^{D-3}$ can be derived by using the concept of the Schwarzschild radius (see Carmesin 2017, Carmesin 2019). With it we generalize equation {20}:

$$E_{D,cl,G} = - G \cdot L_P^{D-3} \cdot M \cdot m / < a >^{D-2} \quad \{25\}$$

Here and in the following, we mark the dependence of the energy on $D$ by a subscript. In $D$ dimensional isotropic space, the uncertainty relation {13} becomes:

$$\Delta x \cdot \Delta p = ½ \cdot D \cdot \underline{h} \quad \{26\}$$

So the quantum term is generalized as follows:

$$E_{D,Q} = D^2 \underline{h}^2/[8m \cdot (\Delta a)^2] + ½ \cdot (D - 2) \cdot G \cdot L_P^{D-3} \cdot M \cdot m \cdot (\Delta a)^2 / < a >^D \quad \{27\}$$

### 7.2. Planck units

In order to simplify the above equations, we use Planck units, we use the normalized energy $E = E/(m \cdot c^2)$, and we apply equation {4}. So we get:

$$\underline{E}_{D,cl,G} = - 1/(2 \cdot < \mathbf{a_M} > \cdot < \mathbf{a} >^{D-2} ) \quad \{28\}$$

Similarly we obtain:

$$\underline{E}_{D,Q} = D^2/[8\mathbf{m}^2 \cdot (\Delta \mathbf{a})^2] + (D - 2) \cdot (\Delta \mathbf{a})^2/(4 \cdot < \mathbf{a_M} > \cdot < \mathbf{a} >^D) \quad \{29\}$$

### 7.3. Quantum fluctuations

Here we investigate the case in which small particles have not yet formed. Then the distance **a** is approximately equal to **b**. Again the students determine the quantum fluctuations $q = (\Delta \mathbf{b})^2$ by application of the variational method. So they derive the value of $q$ that minimizes the above term for the quantum energy $\underline{E}_{D,Q}$. So they get:

$$(\Delta \mathbf{b})^4 = D^2 \cdot < \mathbf{a_M} > \cdot < \mathbf{b} >^D /[2(D - 2) \cdot \mathbf{m}^2] \quad \{30\}$$

They insert this term into the above term for $E_Q$. So they obtain the ground state quantum energy:

$$\underline{E}_{D,Q} = D \cdot [(D - 2) / [8 \cdot < \mathbf{a_M} > \cdot \mathbf{m}^2 \cdot < \mathbf{b} >^D ]^{1/2} \quad \{31\}$$

### 7.4. Density

Next we express the above two energies in terms of the density $\rho_D$ in $D$ dimensions. In isotropic Planck units (here the volume of a ball or hyperball is used, see Carmesin 2018a-d), the volume of a ball with a radius **b** is $\mathbf{V} = \mathbf{b}^D$, and the density is the mass per volume:

$$\boldsymbol{\rho_D} = \mathbf{m}/\mathbf{b}^D \quad \{32\}$$

The Schwarzschild radius **b** can be derived according to the concept of Michell (see Michell 1784). So one gets (Carmesin 2017, Carmesin 2019):

$$\mathbf{b} = (2 \cdot \boldsymbol{\rho_D})^{-0.5} \quad \{33\}$$

According to equations {4} and {32}, we derive the radius $\mathbf{a_M}$ as a function of $\boldsymbol{\rho_D}$. So we get:

$$< \mathbf{a_M} > = (2 \cdot \boldsymbol{\rho_D})^{-1/(D+1)} \quad \{33\}$$

We express $\underline{E}_Q$ (see equation {31}) in terms of $\rho_D$ by using the above three relations. So we get:

$$\underline{E}_{D,Q} = \boldsymbol{\rho_D}^{(3D \cdot D - D - 2)/(4D+4)} \cdot 2^{(3D \cdot D - 3D - 4)/(4D+4)} \cdot D \cdot (D - 2)^{1/2} \quad \{34\}$$

Analogously we derive the classical gravity term (see equation {28}). So we obtain:

$$\underline{E}_{D,cl,G} = - \boldsymbol{\rho_D}^{(D \cdot D - D)/(2D+2)} \cdot 2^{(D \cdot D - 3D - 2)/(2D+2)} \quad \{35\}$$

### 7.5. Adiabatic separation

The term $< p >^2 /(2m)$ in equation {19} describes the term $a'(t)^2$. So it is the basis for the quantum physical generalization of the dynamics of the FLE (see Carmesin 2017, Carmesin 2018a-d). The other two terms in equation {19} characterize the faster dynamics of the formation of the wave function. We call the sum of these the reduced normalized energy $\underline{E}_{D,loc}$. So we get:

$$\underline{E}_{D,loc} = \underline{E}_{D,Q} + \underline{E}_{D,cl,G} \quad \{36\}$$

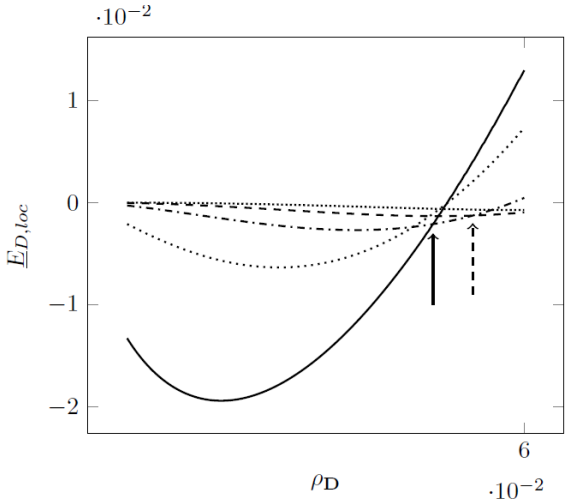



**Fig.6:** Energy $\underline{E}_{D,loc}$ as a function of the scaled density $\boldsymbol{\rho_D}$ for dimensions 3 (solid line), 4 (dotted), 5 (dashdotted), 6 (dashed) and 7 (densely dotted). Arrows: dimensional transitions at critical densities $\boldsymbol{\rho_{D,c}}$.

## 8. Dimensional transitions

According to the variational method, the energy $E_D$ (see equations {34} – {36}) is minimized by variation of the dimension $D$. The students achieve this graphically (see figure 6) and numerically (Sprenger 2018). As a result, three dimensional space is stable at densities below $\boldsymbol{\rho_{D=3,c}} = 0.0476$. In the course of the expansion of the universe, the density decreased according to the FLE. Accordingly, when that density was reached, then there occurred a transition from five dimensional to three dimensional space. Similarly, five dimensional space formed from six dimensional space at the critical density $\boldsymbol{\rho_{D=5,c}} = 0.053$.

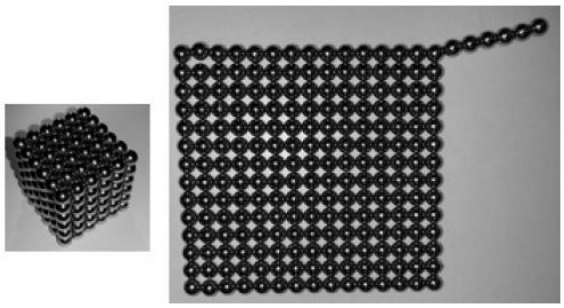


**Fig.7:** Enlargement illustrated by an analogy: Each magnetic ball corresponds to an ER. A dimensional transition from $D = 3$ to $D = 2$ is modeled. Note, the smallest possible dimension achieved by the present model is 3 (see Carmesin 2018a-d, Carmesin 2019).

## 9. Enlargement

At a dimensional transition from a higher dimension $D$+s to a lower dimension $D$, the space is enlarged by a factor $Z_{D+s \to D}$. This factor is derived by using a cubic or hypercubic model (see figure 7). At dimension $D$+$s$, there are $n$ balls at an edge. Here we use the diameter as the unit. So we obtain the length $L_{D+s}$ of that edge:

$$L_{D+s} = n \qquad \{37\}$$

By definition we get:

$$L_D = n \cdot Z_{D+s \to D} \qquad \{38\}$$

At the transition, the number of balls is invariant. So we obtain:

$$L_D{}^D = (n \cdot Z_{D+s \to D})^D = n^{D+s} \qquad \{39\}$$

We solve for $Z_{D+s \to D}$. So we get:

$$Z_{D+s \to D} = n^{s/D} \qquad \{40\}$$

## 10. Dimensional horizon

The space enclosed by the actual light horizon $r_{lh}$ was smaller at earlier times according to the FLE. At the density $\boldsymbol{\rho_{D=3,c}} = 0.0476$, the corresponding volume consisted of $2^{301}$ ERs. If we analyze the dynamics backwards in time, then we realize that these ERs were folded to higher dimensions, and ultimately there were two ERs in each dimensional direction at the dimension 301. This dimension is called the dimensional horizon $D_{max}$. So we get:

$$D_{max} = 301 \qquad \{41\}$$

## 11. Time evolution

The whole time evolution from the dimensional horizon until today can be calculated. For it we derived the dynamics at the transition by using Fermi's golden rule (Carmesin 2018a-d, Carmesin 2019). The elaboration of this is not in the scope of the present report. However, we summarize the results of that time evolution here. The evolution of the radius is shown in figure (5). That time evolution is based on three numerical inputs only (see Carmesin 2017, Carmesin 2018a-d, Carmesin 2019): the three universal constants $G$, $c$ and $h$. Moreover, that time evolution solves problems of the cosmic inflation: horizon problem, flatness problem, reheating problem, fine-tuning problem (see Carmesin 2017, Carmesin 2018a-d, Carmesin 2019).

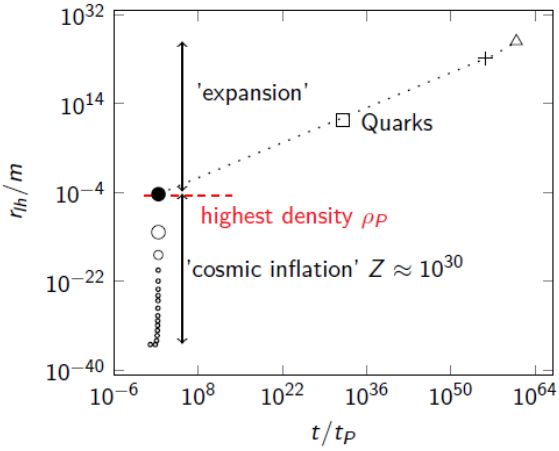



**Fig.8:** Time evolution of the actual light horizon (see Carmesin 2018a-d, Carmesin 2019): Triangle: today. Cross: density of radiation was equal to density of matter. Square: first quarks formed. Full circle: three dimensional space formed. Other circles: other dimensional transitions. Derived enlargement factor is in accordance to observations (Guth 1981; Broy 2016).

## 12. Model of the vacuum

The vacuum has a density (Einstein 1917; Perlmutter et al. 1998; Riess et al. 2000; Smoot 2007). This is modeled in this section. The model has been introduced in three different manners earlier (see Carmesin 2018a-d, Carmesin 2019). Here we introduce the model by developing an analogy to the phonons. Additionally we work out limitations of that analogy.

### 12.1. Waves

The density $\rho_v$ of the vacuum is a property of space, properties of space are dominated by gravity (see Einstein 1915), and gravity should be generated by quantized gravitational waves in a quantum field theory. Also a phonon is a quantized wave. So there is an analogy.

### 12.2. Ground state

The density $\rho_v$ of the vacuum exists even without any additional excitation. So $\rho_v$ should be the density of a ZPO of a gravitational wave. Analogously, the phonons in figure (5) are ZPOs of waves.

### 12.3. Microscopic objects

The atoms exist together with the phonons, and the atoms are the basic oscillators that form the waves. Analogously, the ERs form microscopic objects that exist together with the quantized gravitational waves. Thereby the ERs are the basis of the space dimensions at which the waves form.

### 12.4. Boundary

Each phonon is within the boundaries of its crystal, and these boundaries determine the longest wave length of the phonons. Analogously, the quantized gravitational waves, that can have any influence upon us, are within the light horizon $r_{lh}$, and the longest wave length is determined by $r_{lh}$. There is a difference here: there are waves and wavelengths even beyond the light horizon.

### 12.5. Surrounding versus evolving structure

The phonon exists in a stable crystal, and the crystal exists in a stable space. Both structures have formed before the phonon can form. In particular, the oscillators of the phonon form in the potential that is formed by the crystal. Altogether a phonon forms in a structure that has formed before.

In contrast, the density $\rho_v$ of the vacuum forms the space. There are only two structures in which the ZPO can form: The dimension D is formed according to the dimensional transitions based on the density of the ERs, and the light horizon is the boundary of causal influence upon us. So $\rho_v$ is based on ZPOs that evolve in the course of time. These ZPOs are called evolving ZPOs, EZPOs.

### 12.6. Origin of EZPOs within light horizon

The EZPOs within the light horizon formed at the time of the dimensional horizon, as the earliest observable waves formed at that time. At $D_{max}$, the scaled density was $\boldsymbol{\rho_D} \approx ½$ in a very good approximation (see figure 1). Here we use this approximation, for more precise calculations see (Carmesin 2018b-c, Carmesin 2019). Correspondingly, the energy of a single mode was:

$$\mathbf{E_v}\ (D_{max}) = ½ \qquad \{42\}$$

Moreover, the scaled length of that mode was:

$$\mathbf{L}\ (D_{max}) = 1; \quad \mathbf{V} = \mathbf{L^D} = 1 \qquad \{43\}$$

At each dimension $D$, gravitational waves exhibit $D$ modes of directions of propagation and $n_p = D - 1$ modes of transverse polarization. However, the maximal possible scaled density is ½, and at the scaled length $\mathbf{L} = 1$, the scaled density cannot be smaller than ½ (see figure 1). So the scaled density is ½. Correspondingly, this density is an average or linear combination of the single modes, and the averaged density is ½:

$$<\boldsymbol{\rho_v}>(D_{max}) = ½;\ n_p = D - 1 \qquad \{44\}$$

### 12.7. Relativistic EZPOs

The EZPOs are fully relativistic. So they propagate at the velocity of light. Accordingly, many EZPOs propagate through the length $\mathbf{L} = 1$ at $D_{max}$. Correspondingly, the occupation number of the EZPOs need not be one like in the case of phonons. Instead the occupation number of the EZPO is determined by the time evolution starting at $D_{max}$.

### 12.8. EZPOs at a dimensional transition

At a dimensional transition from dimension $D$+s to a dimension $D$, the length is enlarged by the factor $Z_{D+s \to D}$:

$$\mathbf{L}\ (D) = \mathbf{L}\ (D+s) \cdot Z_{D+s \to D} \qquad \{45\}$$

This enlarged length is available for the EZPOs, so the wavelength increases by that factor. Analogously, the longest wavelength of the phonons in a crystal increases by a factor Z, if the size of the crystal increases by that factor. So the EZPO experiences a redshift, and its ZPE decreases correspondingly. So the energy of a single mode is as follows:

$$\mathbf{E_v}\ (D) = \mathbf{E_v}\ (D+s) / Z_{D+s \to D} \qquad \{46\}$$

Moreover, the number $n_p$ of transverse polarization modes is reduced to $D - 1$:

$$n_p = D - 1 \qquad \{47\}$$

The energy of the directions of propagation is not lost, as the waves can propagate into a lower dimensional structure (see figure 9).

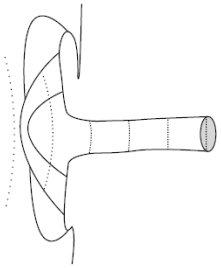


**Fig.9:** Propagation of waves at the ear: The three dimensional waves (loosely dotted) propagate into the effectively one dimensional auditory canal, without loss of energy.

12.9. **Why is there no short-wave EZPO?**

In a crystal, each atom oscillates around a fixed position in the crystal. As a consequence, each wave of coupled oscillators (each phonon) in a crystal is related to the periodic fixed positions of its atomic oscillators. As a result, there are many modes of harmonic oscillators and of phonons, and each such mode has its own ZPO and the corresponding ZPE. In contrast, the EZPOs are fully relativistic and propagating with full freedom. So there occur no such fixed points with fixed potentials, and there is no corresponding additional EZPO with a shorter wavelength and corresponding smaller EZPE than that presented in equation {46}.

Note that any ZPO that forms later can be distinguished from the EZPOs of the vacuum density.

12.10. **EZPOs at D = 3**

At three dimensions, the energy of a single mode is (see equations {42} and {46}):

$$\mathbf{E_v}\ (D=3) = 0.5/\ Z_{Dmax\ \to\ D=3} \qquad \{47\}$$

The length and volume of an EZPO are (see equations {43} and {45}):

$$\mathbf{L}(D=3) = Z_{Dmax\ \to\ D=3}\ ;$$
$$\mathbf{V}(D=3) = Z_{Dmax\ \to\ D=3}{}^{3} \qquad \{48\}$$

12.11. **Density of EZPOs at D = 3**

The scaled density of a mode is the scaled energy divided by the scaled length. The average scaled density experienced an additional decrease by the factor $(D - 1)/(D_{max} - 1)$, according to the loss of transverse modes (see equation {44}). So we get:

$$\langle \boldsymbol{\rho_v} \rangle\ (D=3) = 2 \cdot \mathbf{E_v}(D=3)/[\ \mathbf{V}(D=3) \cdot (D_{max} - 1)]$$

We insert equations {46} and {48}. So we obtain:

$$\langle \boldsymbol{\rho_v} \rangle\ (D=3)$$
$$= 2 \cdot \langle \boldsymbol{\rho_v} \rangle\ (D_{max})/[\ Z_{Dmax\ \to\ D=3}{}^{4} \cdot (D_{max} - 1)] \qquad \{49\}$$

This equation describes the density of the vacuum at the time $t_f$ of the formation of three dimensional space. How does that density $\boldsymbol{\rho_v}$ evolve after that time $t_f$?

12.12. **EZPOs during expansion via FLE**

At times after $t_f$, the EZPOs do not change, as there is no physical basis for a change of the EZPO, and since the invariance with respect to time is a defining criterion for the vacuum density.

As a consequence, the expansion of space is a result of an increase of the number of EZPOs. Thereby, the number of EZPOs increases according to the FLE (see Carmesin 2018a-d, Carmesin 2019 for details).

12.13. **Calculation of the vacuum density**

The density of the vacuum can easily be calculated. The light horizon is (see Planck 2018; Gott et al. 2005):

$$r_{lh} = 4.16 \cdot 10^{25}\ \text{m or}\ \mathbf{r_{lh}} = 2.58 \cdot 10^{61} \qquad \{50\}$$

The space expanded (according to the FLE) from the time of $D_{max}$ at the scaled density (of radiation) $\boldsymbol{\rho_{Dmax}} = 0.5$ until today at the scaled density of radiation $\boldsymbol{\rho_{r,\ today}} = 6.41 \cdot 10^{-127}$ (Planck 2018). Thereby the scale factor $k_{Dmax\ \to\ D=3}$ caused a decrease of the energy of radiation according to the redshift by the factor $1/k_{Dmax\ \to\ D=3}$ and an increase of the volume by the factor $(k_{Dmax\ \to\ D=3})^3$. So the density decreased by the factor $1/(k_{Dmax\ \to\ D=3})^4$. So we get the scale factor:

$$k_{Dmax\ \to\ D=3} = (\boldsymbol{\rho_{Dmax}}/\ \boldsymbol{\rho_{r,\ today}})^{1/4} = 2.97 \cdot 10^{31} \qquad \{51\}$$

By definition, the original length $\mathbf{L} = 1$ at $D_{max}$ increased to the scaled light horizon $\mathbf{r_{lh}}$ by the two factors: the enlargement factor $Z_{Dmax\ \to\ D=3}$ and the scale factor $k_{Dmax\ \to\ D=3}$. So we get:

$$\mathbf{r_{lh}} = k_{Dmax\ \to\ D=3} \cdot Z_{Dmax\ \to\ D=3} \qquad \{52\}$$

We solve this equation for $Z_{Dmax\ \to\ D=3}$:

$$Z_{Dmax\ \to\ D=3} = \mathbf{r_{lh}}\ /\ k_{Dmax\ \to\ D=3} = 8.69 \cdot 10^{29} \qquad \{53\}$$

We calculate the density of the vacuum by using equation {49} and by inserting equation {53}, and $\langle \boldsymbol{\rho_v} \rangle = ½$ (see equation {44}), as well as $D_{max} = 301$ (see equation {41}). So we get:

$$\langle \boldsymbol{\rho_v} \rangle = 5.84 \cdot 10^{-123} \qquad \{54\}$$

The observed scaled density of the vacuum is (Planck 2018):

$$\boldsymbol{\rho_{v,obs}} = 4.78 \cdot 10^{-123} \qquad \{55\}$$

The difference between the modeled and the observed density amounts to 22 %. This accordance is already good, as that density varies by 123 orders of magnitude, and it can be improved as follows.

13. **Outlook: polychromatic vacuum**

In section 12 the density of the vacuum has been modeled with one EZPO and one corresponding EZPE only. However, in the course of the expansion of space, the dimensional horizon varies slightly. As a consequence the forming EZPOs vary slightly in the course of time. So the actual vacuum is a mixture of EZPOs, so it is a polychromatic vacuum. The average density of the actual polychromatic vacuum is (see Carmesin 2018a-d, Carmesin 2019):

$$\langle \boldsymbol{\rho_{v,polychromatic}} \rangle = 4.7426 \cdot 10^{-123} \qquad \{56\}$$

This amounts to a difference between the modeled and the observed density of 0.038 % only.

14. **Outlook: dark matter**

In order to see the scope of the present approach, it is mentioned here that the dark matter is obtained as a particular local minimum of the energy term $\underline{E}_{D,loc}$ (see equations {34} - {36}).

15. **Experience with teaching**

The students were especially interested in the topic and attended many additional meetings. They performed related observations at our school observatory (see Helmcke et al. 2018). It was possible to perform the method of problem solving in these lessons. Thereby we made transparent the goal, planned the solution in the plenum, solved it in groups and presented the results in the plenum. Hereby the microscopic part of the model including cosmic inflation

was treated in 18 lessons of 90 min each, while in seven lessons we arrived at the model of the vacuum density, and in 14 lessons we modeled the dark matter. In all lessons the students actively developed their 'process related competences' of 'problem solving' and 'modeling' (Kultusministerium, 2017). By such problem solving, the students practice a particularly efficient method for learning (Hattie, 2009). When the students investigate the model, then they apply the essential hypothetic deductive method (Kircher, 2001; Popper 1974). Furthermore the students developed challenging 'content related competences' in astronomy, physics and mathematics. Some students developed projects about these topics and won prizes at Jugend forscht competitions. The students appreciated that the whole project is conceptually only based on the combination of general relativity and quantum physics, and it is numerically based on three inputs only: the three universal constants $G$, $c$ and $h$. All students presented the project in public astronomy evenings in the assembly hall of our school. Thereby also a Socratic dialogue was used (see Carmesin 2018c). The assembly hall was filled with guests and many visitors discussed the topic with the students during the break.

## 16. Discussion

The essence of the combination of general relativity and quantum physics is worked out here: According to the uncertainty relation and to the Schwarzschild radius, there are elementary regions without observable internal structure, and on the small length scale of two such regions, we arrive at a sub curvature length scale. This is characterized by the novel equivalence principle.

In order to derive the consequences of that principle, a simple analogous structure is used here: the harmonic oscillator and coupled harmonic oscillators. With it, three fundamental results can be obtained: the era of cosmic inflation, the dark energy and the dark matter can be explained. The first two results are worked out in full detail here, so the project can directly be applied in a learning group.

The present approach provides a smooth learning process with the following features: The process is based on the two fundamental theories general relativity and quantum physics only. The process is based on three numerical inputs only: the universal constants $G$, $c$ and $h$, and it arrives at a precise accordance with observations. The analogy based learning process proposed here has three mile stones, the equivalence principle, the harmonic oscillator and its transfer to the energy term $\underline{E}_{D,loc}$ (see eq. {36}), as well as coupled harmonic oscillators and the transfer to the vacuum density or dark energy. Thereby, the two analogies integrate the new knowledge into existing knowledge, and correspondingly, a very high learning efficiency is achieved (see Hattie 2009).

## 17. Literature


Ballentine, Leslie (1998): Quantum Mechanics. London and Singapore: World Scientific Publishing.

Bronstein, Matvei, P. (1936): Quantentheorie schwacher Gravitationsfelder. Phys. Z. Sowjetunion, 9, pp. 140-157.

Broy, Benedict Johannes (2016): Inflation and effective Shift Symmetries. Hamburg: University Hamburg. Thesis.

Bures, Martin (2011): Quantum Physics with Extra Dimensions. Brno: Masaryk University, Thesis.

Carmesin, Hans-Otto and Carmesin, Ellen (2014): How Old is the Universe? PhyDid B, ISSN 2191-379X.

Carmesin, Hans-Otto (2017): Vom Big Bang bis heute mit Gravitation – Model for the Dynamics of Space. Berlin: Verlag Dr. Köster.

Carmesin, Hans-Otto (May 2018a): Entstehung dunkler Materie durch Gravitation - Model for the Dynamics of Space and the Emergence of Dark Matter. Berlin: Verlag Dr. Köster.

Carmesin, Hans-Otto (July 2018b): Entstehung dunkler Energie durch Quantengravitation - Universal Model for the Dynamics of Space, Dark Matter and Dark Energy. Berlin: Verlag Dr. Köster.

Carmesin, Hans-Otto (November 2018c): Entstehung der Raumzeit durch Quantengravitation – Theory for the Emergence of Space, Dark Matter, Dark Energy and Space-Time. Berlin: Verlag Dr. Köster.

Carmesin, Hans-Otto (2018d): A Model for the Dynamics of Space - Expedition to the Early Universe. PhyDid B Internet Journal, pp. = 1-9.

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

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

Einstein, Albert (1917): Kosmologische Betrachtungen zur allgemeinen Relativitätstheorie. Sitzungsberichte der Preuss. Akademie der Wissenschaften, pp. 142-152.

Fornasini, P.; Grisenti, R. (2015): On EXAFS Debye - Waller factor and recent advances. Journal of Sychrotron Radiation, 22, pp. 1242-1257.

Friedmann, Alexander (1922): Über die Krümmung des Raumes. Z. f. Physik, 10, 377-386.

Gauss, Carl Friedrich (1813): Theoria attractionis corporum sphaeroidicorum ellipticorum homogeneorum – methoda novo tractata. Societ. Reg. Scient. Tradita. 1-24.

Gott, Richard J.; Juric, Mario; Schlegel, David; Hoyle, Fiona; Vogeley, Michael; Tegmark, Max; Bahcal, Neta and Brinkmann, Jon (2005): A Map of the Universe. The Astrophysical Journal, 624, pp. 463-484.

Guth, Alan (1981): Inflationary Universe: A possible to the horizon and flatness problem. Phys. Rev. D 23, 347-356.

Hattie, John (2009): Visible Learning. London: Routledge.

Heid, R.; Bohnen, K.-P. and Reichardt, W. (1999): Ab initio phonon spectra from a supercell approach. Physica B, 263, pp. 432-435.

Heisenberg, Werner (1927: Über den anschaulichen Inhalt der quantentheoretischen Kinematik und Mechanik. Z. f. Phys., 43, pp. 172-198.

Helmcke, Ben Joshua; Carmesin, Hans-Otto; Sprenger, Lennert und Brüning, Paul (2018): Three methods for the observation of the Big Bang with our school telescope. PhyDid B.

Hoskin, Michael (1997): The Cambridge Concise History of Astronomy. Cambridge: Cambridge University Press.

Kircher, Ernst and Girwidz, Raimund and Häußler, Peter (2001): Physikdidaktik. Berlin: Springer. 2. Auflage.

Kultusministerium, Niedersächsisches (2017): Kerncurriculum für das Gymnasium - gymnasiale Oberstufe, die Gesamtschule - gymnasiale Oberstufe, das Fachgymnasium, das Abendgymnasium, das Kolleg, Chemie, Niedersachsen. Hannover: Niedersächsisches Kultusministerium.

Lee, John M. (1997): Riemannian Manifolds: An Introduction to Curvature. New York: Springer Verlag.

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.

Lohse, Michael et al. (2018): Exploring 4D Quantum Hall Physics with a 2D Topological Charge Pump. Nature, 553, pp. 55-58.

Michell, John (1784): On the means of discovering the distance, magnitude, etc. of the fixed stars in consequence of the diminution of the velocity of their light, in case such a diminution should be found to take place in any of them, and such other data should be procured from observations, as would be farther necessary for that purpose. Phil. Trans. R. Soc. Lond., 74, pp. 35-57.

Perlmutter, S. et al. (1998): Discovery of a Supernova Explosion at Half the Age of the Universe. Nature, 391, pp. 51-54.

Planck, Max (1899): Über irreversible Strahlungsvorgänge. Sitzungsberichte der Königlich Preußischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin. Berlin: Verlag der Kgl. Preuß. Akad. der Wiss., 440-480.

Planck Collaboration (2018): Planck 2018 Results: Cosmological Parameters. Astronomy and Astrophysics, pp. 1-71.

Popper, Karl (1974): Objektive Erkenntnis. 2. Auflage. Hamburg: Hoffmann und Campe.

Riess, Adam G. et al. (2000): Tests of the Accelerating Universe with Near-Infrared Observations of a High-Redshift Type Ia Supernova. The Astrophysical Journal, 536, pp. 62-67.

Schwarzschild, Karl (1916): Über das Gravitationsfeld eines Massenpunktes nach der Einstein'schen Theorie. Sitzungsberichte der Deutschen Akademie der Wissenschaften, pp. 186-196.

Schrödinger, Erwin (1926): Quantisierung als Eigenwertptoblem I. Annalen der Physik, 79, pp. 361-376.

Smoot, George F. (2007): Nobel Lecture: Cosmic microwave background radiation anisotropies: Their discovery and utilization. Review of Modern Physics, 79, pp. 1347-1379.

Sprenger, Lennert und Carmesin, Hans-Otto (2018): A Computer Simulation of Cosmic Inflation. PhyDid B.

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

Zwicky, Fritz (1933): Die Rotverschiebung von extragalaktischen Nebeln. Helvetica Physica Acta, 6, pp. 110-127.

**Acknowledement**

I am grateful to Matthias Carmesin for many helpful discussions. I thank my students Paul Brüuning, Lennert Sprenger, Ben Joshua Helmcke and Ole Rademacker for interesting discussions. I am very grateful to I. Carmesin for many helpful discussions.

# Prozentgenaue Messung des Verhältnisses von Astronomischer Einheit und Lichtgeschwindigkeit

**Thomas Hebbeker**

III. Physikalisches Institut A, RWTH Aachen
hebbeker@physik.rwth-aachen.de

**Kurzfassung**

Der von der Erde aus gut zu beobachtende Jupitermond Io umrundet seinen Planeten mit einer Periode von 42,5 Stunden. Durch das regelmäßige Eintauchen des Mondes in den Jupiterschatten stellt dieses System eine Uhr dar. Im 17. Jahrhundert hat der Astronom Ole Rømer erkannt, dass sich die Zeit zwischen zwei aufeinanderfolgenden Verfinsterungen im Laufe einiger Monate ändert, das Uhrsignal also manchmal zu früh oder zu spät beobachtet wird. Grund ist der variierende Abstand zwischen Jupiter und Erde in Verbindung mit der Endlichkeit der Lichtgeschwindigkeit, welche mit dieser Methode zum ersten Mal demonstriert werden konnte. Im Folgenden wird gezeigt, wie man der Rømerschen Idee folgend mit modernen und einfachen Mitteln das Verhältnis von Astronomischer Einheit, also des mittleren Abstandes Erde-Sonne, und Lichtgeschwindigkeit mit einer Genauigkeit von etwa ein Prozent messen kann. Bei vorgegebener Lichtgeschwindigkeit kann die Astronomische Einheit, die fundamentale Längenskala im Sonnensystem, entsprechend präzise bestimmt werden.

## 1. Motivation

Der mittlere Abstand zwischen Sonne und Erde heißt Astronomische Einheit (AE), gleichzeitig ist dies auch die große Halbachse der Erdbahn. Sie stellt die charakteristische absolute Längenskala im Sonnensystem dar, die nicht einfach zu bestimmen ist. Alle anderen Planetenabstände, genauer gesagt die großen Halbachsen a, können dann aus den gemessenen Umlaufperioden P, relativ zum Erdjahr J, mit dem dritten Keplerschen Gesetz bestimmt werden:

$$\left(\frac{P}{J}\right)^2 \sim \left(\frac{a}{AE}\right)^3 .$$

Das Newtonsche Gravitationsgesetz erlaubt ferner die Messung der Sonnenmasse M, wenn auch die Gravitationskonstante G bekannt ist:

$$\left(\frac{P}{2\pi}\right)^2 = \frac{a^3}{G\,M} .$$

Das Rømersche Messverfahren bestimmt die Änderung der Lichtlaufzeit mit dem variierenden Abstand Erde-Jupiter, indem die Ankunftszeiten der „Uhrsignale“ der Jupitermonde gemessen werden. Die Methode liefert das Verhältnis T = AE/c von AE und Vakuumlichtgeschwindigkeit c; die Größe T hat also die Dimension Zeit. Da c aber sehr genau im Labor gemessen wurde, und im internationalen Einheitensystem ja inzwischen zur Definition der Längeneinheit Meter eingesetzt wird, bekommt man aus T sofort AE.

Die hier präsentierte Methode eignet sich sowohl für Schulen als auch für Astronomiepraktika an Universitäten. Man benötigt lediglich ein kleineres Teleskop einschließlich Montierung und eine Digitalkamera. Man lernt viel über Physik, Astronomie und geschichtliche Zusammenhänge. Man arbeitet im Team und führt eine statistische quantitative Datenauswertung durch. Schließlich ist mit den nächtlichen Beobachtungen sicher auch ein gewisser Reiz, aber auch eine Herausforderung verbunden.

## 2. Messprinzip

Die Idee für diese Messung geht auf Ole Rømer zurück, der im 17. Jahrhundert damit zum ersten Mal zeigen konnte, dass die Lichtgeschwindigkeit endlich ist (Rømer 1676). Sein Resultat betrug T = 11 Minuten, das ist die Zeit, die das Licht benötigt, die Strecke AE zurückzulegen. Der heutige Wert beträgt etwa

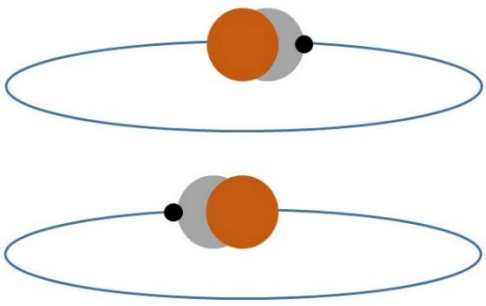


**Abb. 1:** Ein- und Austritt eines Mondes in den bzw. aus dem Jupiterschatten

500 Sekunden, also gut 8 Minuten.

Der Astronom Rømer beobachtete den inneren der vier galileischen Jupitermonde, Io, der in 1.77 Erdtagen Jupiter einmal umrundet. Da die Bahnebene der

Jupitermonde nur wenig von der Ekliptik abweicht, sehen wir Io periodisch hinter Jupiter verschwinden und auf der anderen Seite wieder auftauchen. Da Jupiter sehr viel heller ist als Io, ist der Mond direkt ne-

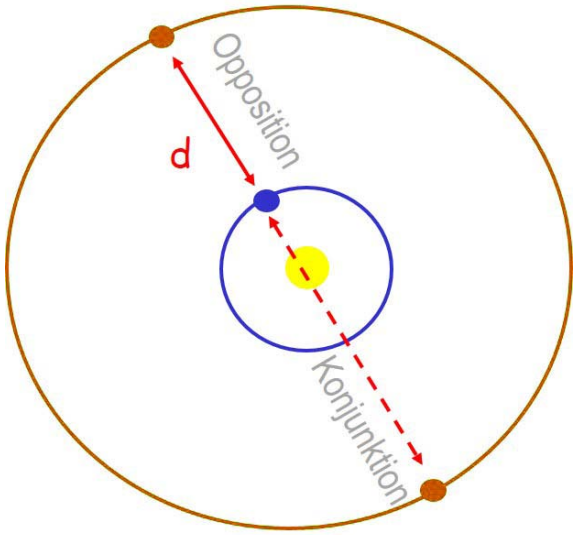



**Abb. 2:** Relative Stellung von Sonne, Erde und Jupiter bei Konjunktion und Opposition

ben der sehr hellen Jupiterscheibe aber nicht gut beobachtbar. Besser ist es, als „Uhrsignal" das Eintauchen in den (bzw. das Hervortreten aus dem) Jupiterschatten zu vermessen, siehe Abb. 1, dann gibt es einen kleinen Winkelabstand zwischen den beiden Himmelskörpern. Der Schatten des Planeten ist allerdings nur nutzbar, wenn Jupiter *nicht* genau in Opposition zur Sonne steht, siehe Abb. 2. In der Konjunktionsphase kann man natürlich ohnehin nicht beobachten, da die Sonne dann alles überstrahlt. Wenn man den im Laufe von Monaten variierenden Abstand d zwischen Jupiter und Erde, in Einheiten von AE, kennt, und die bei Änderung Δd von d auftretende Verspätung (oder Verfrühung) Δt der Ankunftszeit des Io-Signals misst, erhält man T aus

$$T = \frac{AE}{c} = \frac{\Delta t}{\Delta d/AE} = \frac{\Delta(t_M - t_{0)}}{\Delta d/AE} \quad .$$

Dabei bezeichnet $t_M$ die gemessenen Ankunftszeiten und $t_0$ ist der entsprechende erwartete Wert bei unendlich großer Lichtgeschwindigkeit.

## 3. **Messgenauigkeit**

Eine naive Abschätzung der erreichbaren Genauigkeit für T geht so: Zwischen Konjunktion und Opposition von Jupiter variiert der Abstand Δd um einen Erdbahndurchmesser, also um etwa zwei AE, siehe Abb. 2. Die entsprechende Ankunftszeitvariation beträgt mit AE = 150 Millionen km und c = 300 000 km/s also ungefähr Δt = 1000 Sekunden. Kennt man Δd präzise, und misst Δt auf eine Sekunde genau, käme man auf eine relative Messgenauigkeit für T von 1 Promille! So funktioniert das aber leider nicht, man muss nämlich folgende Schwierigkeiten beachten und meistern:

- Erstens kann man weder bei Konjunktion noch bei Opposition messen, siehe obige Bemerkungen, die beobachtbaren Abstandsvariationen sind also kleiner als 2 AE.
- Schlimmer noch, die Verdunklung von Io beim Eintritt in den Jupiterschatten (und entsprechend das Ende der Verfinsterung) erfolgt nicht instantan, sondern dauert wegen der Größe des Mondes mehrere Minuten! Man muss also das Uhrsignal genauer definieren und entsprechend messen. Die Lösung besteht in der Messung der Lichtkurve, also der Io-Helligkeit über einige Minuten, während des Eintauchens in den Jupiterschatten (bzw. beim Auftauchen). Den Referenzzeitpunkt definieren wir dann dadurch, dass die halbe Maximalhelligkeit erreicht wird, der Mond also (ungefähr) halb von der Sonne beleuchtet ist.
- Vielleicht gänzlich unerwartet ist die „Ungenauigkeit" des periodischen zeitlichen Auftretens der Jupitermondsignale, unabhängig von den Lichtlaufzeiten. Dieser Effekt passt nicht zu unserer naiven Vorstellung von „astronomischer Genauigkeit"! Er kommt dadurch zustande, dass sich die Monde Io, Europa und Ganymed gegenseitig gravitativ beeinflussen, sie bilden eine „Laplace-Resonanz". Dadurch weichen die Mond-"Uhren" deutlich vom einfachen periodischen Verhalten ab. Eine Simulationsrechnung zeigt wie groß dieser Effekt ist, siehe Abb. 3. Selbst bei Io beträgt die Zeitverschiebung $\pm$ 30 $s$, das ist nicht vernachlässigbar.

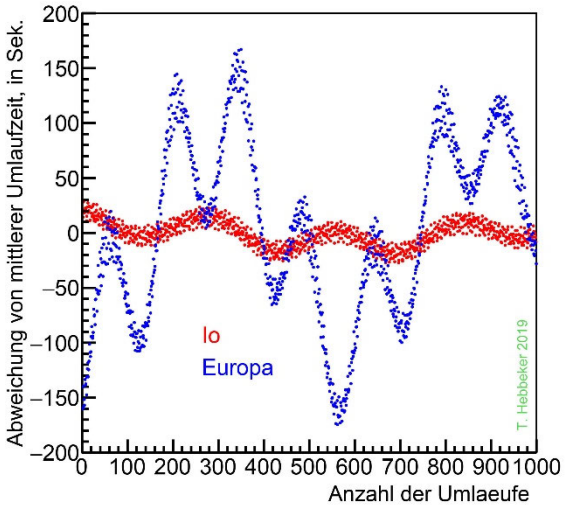



**Abb. 3:** Zeitliche Abweichung von der mittleren Umlaufzeit für die Jupitermonde Io und Europa, als Funktion der Zahl der Umläufe. Simulationsrechnung.

Um eine prozentgenaue Messung von AE/c zu erreichen, muss man folgendermaßen verfahren:

- Messung der Zeitpunkte $t_M$ der halben Mondhelligkeit auf wenige Sekunden genau.
- Berechnung der erwarteten Zeitpunkte $t_0$ *ohne* Lichtlaufzeiteffekte und der Abstandsänderungen Δd mit einem Planetariumsprogramm wie „Redshift“ oder „Stellarium“.

Der zweite Punkt mag unbefriedigend erscheinen, aber eine eigene genaue Rechnung all dieser sich gegenseitig gravitativ beeinflussenden Bewegungen ist für ein Projekt an Schule oder Hochschule zu aufwendig.

## 4. **Beobachtungen / Messungen.**

Um T zu bestimmen, muss man mindestens zwei Io-Schatten-Ereignisse vermessen, bei möglichst großem Δd. Besser ist es natürlich, mehr Ereignisse einzubeziehen, um die Genauigkeit zu erhöhen, und um die Konsistenz der Ergebnisse zu überprüfen. In einem größeren Team kann man die nächtlichen Messkampagnen entsprechend aufteilen.

**Abb. 4:** Foto von Io (links, kurz nach dem Austritt aus dem Jupiterschatten), Jupiter und Europa (rechts), vom 25. Juni 2018. Vergrößerter Ausschnitt.

Ich habe von meinem Standort Neu-Moresnet in Belgien (observatory code K85), in der Nachbarschaft von Aachen, in insgesamt 21 Nächten gemessen, im Zeitraum Februar 2016 bis Juni 2018. Die ungefähren

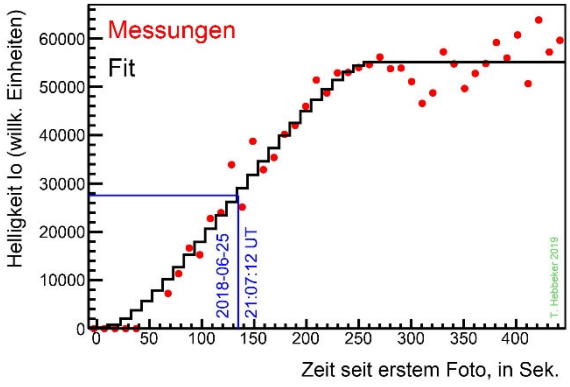



**Abb. 5:** Am 25. Juni 2018 gemessene Lichtkurve für den Jupitermond Io, zusammen mit einem Fit. Die halbe Maximalhelligkeit wird um 21:07:12 UT erreicht.

Zeitpunkte der Io-Mondereignisse (Anfang bzw. Ende der Verfinsterung durch den Jupiterschatten) habe ich einer Astronomiezeitschrift entnommen. Meine Ausrüstung besteht aus einer Montierung vom Typ 10Micron GM 1000 HPS, einem Spiegelteleskop Celestron C8 Edge HD und einer Digitalkamera Canon EOS 70D. Ich habe jeweils eine Serie von etwa 40 Fotos im Abstand von 10 Sekunden aufgenommen, bei einem Iso-Wert von 100 und einer Belichtungszeit von typisch nur 0.5 Sekunden – die Monde sind hell! Abb. 4 zeigt ein solches Foto. Ich habe sowohl bei Eintritt als auch bei Austritt aus dem Schatten Messungen durchgeführt.

## 5. **Auswertung der Lichtkurven**

Um die Helligkeiten des Mondes Io zu bestimmen, habe ich das Astronomieprogramm „IRIS“ eingesetzt. Man verschiebt dazu im Foto einfach einen kleinen kreisförmigen Cursor bis er den Mond symmetrisch umschließt. Auf diese Weise habe ich im gleichen Bild auch die Helligkeit für einen zweiten Mond, zum Beispiel Europa, bestimmt. Diesen Wert habe ich zur Kalibration benutzt, um auf Helligkeitsschwankungen, aufgrund atmosphärischer Effekte, während einer Aufnahmeserie zu korrigieren. Eine absolute Helligkeitsbestimmung von Io ist nicht erforderlich. Abb. 5 zeigt exemplarisch die für den 25. Juni 2018 erhaltene Lichtkurve, beim Austritt aus dem Jupiterschatten. Die roten Messpunkte streuen deutlich, aber aufgrund der Vielzahl der Einzelmessungen gibt sich ein klarer Verlauf, der mit einer einfachen Funktion angepasst werden kann. Letztere modelliert die geometrischen Verhältnisse beim Passieren der Schattengrenze durch den runden Mond. Man kann dann auch den Referenzzeitpunkt, bei dem die halbe Maximalhelligkeit erreicht ist, ablesen bzw. aus dem Fit berechnen, hier 21:07:12 UT, mit einer Unsicherheit von etwa fünf Sekunden. Zu diesem Zeitpunkt betrug der Abstand Erde-Jupiter 4,70 AE. Bei unendlicher Lichtgeschwindigkeit wäre der Austritt aus dem Jupiterschatten schon um 20:28:07 UT auf der Erde zu beobachten gewesen.

## 6. **Resultate**

Abb. 6 fasst die Ergebnisse aller 21 Beobachtungsnächte zusammen. Die gemessenen Zeiten $t_M$, zusammen mit den zugehörigen für unendlich große Lichtgeschwindigkeit vorhergesagten Zeiten $t_0$, ergeben die Verspätungen Δt, die positiv oder negativ sein können. Offenbar liegen die 21 Messpunkte alle auf einer Linie, was unsere Modellannahmen bestätigt. Ein Geradenfit liefert die Steigung

$$T = \frac{AE}{c} = (498{,}4 \pm 4{,}2 \pm 2{,}8)\ s = (498{,}4 \pm 5{,}0)\ s\,.$$

Die erste der angegebenen Unsicherheiten von 4,2 s ergibt sich aus der Genauigkeit der Zeitmessungen, der Beitrag von 2,8 s berücksichtigt Ungenauigkeiten im Planetariumsprogramm und die Vernachlässigung der Mondphasen, die auch bei den Jupitermonden

auftreten, allerdings ist dieser Effekt klein. Die erzielte Genauigkeit von insgesamt $\pm$ 5 Sekunden beträgt also ein Prozent.

Mit dem bekannten Wert der Lichtgeschwindigkeit von 299 792 km/s folgt für die Astronomische Einheit:

$$AE = (149{,}4 \pm 1{,}5) \cdot 10^6 \text{ km}$$

in Übereinstimmung mit dem „offiziellen“ Zahlenwert von 149,598. Schließlich kann man auch noch die Sonnenmasse M berechnen, wenn man den bekannten Wert für die Gravitationskonstante G benutzt:

$$M = (1{,}98 \pm 0{,}06) \cdot 10^{30} \text{ kg}$$

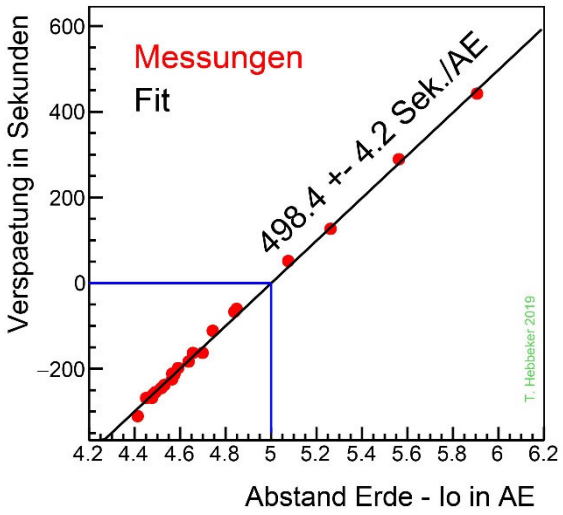



**Abb. 6:** Gemessene Zeitverschiebung des Io-Uhrensignals als Funktion des Abstandes d. Der Nullpunkt der Zeitskala ist hier willkürlich für d = 5 AE festgelegt, er ist ohne Bedeutung. Der Geradenfit ergibt das Verhältnis AE/c.

Insgesamt sind das schöne Ergebnisse, wenn man bedenkt, dass man diese mit vergleichsweise einfachen Mitteln erzielen konnte.

## 7. Literatur

Rømer, Ole (1676): Démonstration touchant le mouvement de la lumière trouvé par M. Rømer de l'Académie Royale des Sciences. Le Journal des Sçavans. Paris 1676, 233–236

# Wie groß ist ein Neutronenstern?

- Elementarisierende Überlegungen und Abschätzungen -

**Sascha Hohmann**

Universität Siegen, Didaktik der Physik, Adolf-Reichwein-Straße 2, 57068 Siegen
hohmann@physik.uni-siegen.de

**Kurzfassung**

Neutronensterne gehören zu den wohl exotischsten Objekten im Universum, vereinen sie doch die Masse eines Sterns mit einem (nicht nur aus astronomischer Perspektive) extrem kleinen Radius – die Oberfläche eines Neutronensterns entspricht etwa der doppelten Fläche des Saarlandes. Gerade solche außergewöhnlichen Objekte üben eine Faszination auf Lernende aus, da sie vollkommen außerhalb der menschlichen Erfahrungswelt liegen. In diesem Artikel sollen verschiedene Möglichkeiten gezeigt werden, wie mithilfe elementarisierender Überlegungen aus verschiedenen Bereichen der Physik die Größenordnung von Neutronensternen bestimmt werden kann, ohne dass die – für präzise Berechnungen natürlich nicht zu vernachlässigende – Allgemeine Relativitätstheorie benötigt wird.
Speziell auf sehr schnell rotierende Neutronensterne, die so genannten Pulsare, soll hierbei eingegangen werden. Die von ihnen ausgesandten, zunächst für außerirdische Signale gehaltenen, extrem regelmäßigen Pulse, die die Erde erreichen, wurden später für die Entdeckung der ersten Exoplaneten genutzt.
Gleichzeitig bieten die hier vorgestellten Abschätzungen die Möglichkeit, mithilfe realer Daten die Überlegungen zu überprüfen.

## 1. Einführung

Diverse Studien – als Beispiel sei die ROSE-Studie genannt [1] – zeigen immer wieder, dass astronomische Themen und Kontexte für Lernende überdurchschnittlich interessant sind. Speziell exotische Objekte, die vollkommen außerhalb der menschlichen Erfahrungswelt liegen, üben eine große Faszination auf Schülerinnen und Schüler aus [2].

Gerade in Nordrhein-Westfalen, aber auch in anderen Bundesländern werden astronomische und astrophysikalische Themen in den Lehrplänen der Physik wenig oder gar nicht erwähnt [3], so dass die Behandlung von Themen aus diesen Bereichen im Wesentlichen auf freiwilliger Basis in Arbeitsgemeinschaften oder kontextorientiert im Physikunterricht erfolgen muss.

Um dies zu ermöglichen, müssen jedoch auch die Lehrenden die Grundzüge der Astrophysik kennen. Diese stellt jedoch nur einen kleinen Teil des Lehramtsstudiums der Physik dar, in einigen Universitäten werden Astronomie und Astrophysik gar nicht behandelt [3; 4]. Die vorgestellten Abschätzungen richten sich daher in erster Linie an Lehrende der Physik, das mathematische und physikalische Niveau kann aber auch in der Oberstufe eines Gymnasiums behandelt werden.

Die vorgestellten Abschätzungen bieten dabei die Möglichkeit, unterschiedliche Teilgebiete der Physik in einem astrophysikalischen Kontext zu behandeln.

## 2. Was ist ein Neutronenstern?

Neutronensterne werden – wie Weiße Zwerge und stellare Schwarze Löcher – zu den kompakten Objekten in der Astrophysik gezählt und zeichnen sich dementsprechend durch eine extrem hohe Dichte aus.

Die drei Klassen von Objekten verbleiben im Allgemeinen als Überrest eines ausgebrannten Hauptreihensterns, wobei die Masse des Sterns bestimmt, welches kompakte Objekt entsteht. Liegt die Masse zwischen etwa acht und 40 Sonnenmassen, so entsteht ein Neutronenstern, bei leichteren Sternen entstehen Weiße Zwerge, bei schwereren stellare Schwarze Löcher.

Während die detaillierte Zustandsgleichung von Neutronensternen noch zu großen Teilen unverstanden und ihr Aufbau daher (anders als bei Weißen Zwergen) noch aktueller Gegenstand wissenschaftlicher Diskussionen ist, können Weiße Zwerge und Neutronensterne in einer ersten, elementarisierten Näherung als physikalisch ähnlich betrachtet werden.

Beide Klassen von Himmelskörpern sind stabil, weil ein quantenmechanischer Entartungsdruck der Eigengravitation entgegenwirkt – bei Weißen Zwergen basiert dieser auf den Elektronen, bei Neutronensternen auf Neutronen. Der Entartungsdruck lässt sich elementar mithilfe des Pauli-Prinzips erklären: Da sowohl Elektronen als auch Neutronen zu den Fermionen gehören, können sie nicht beliebig dicht

gepackt werden. Je dichter sie gepackt werden, desto größer wird der Entartungsdruck.

### 2.1. **Entdeckungsgeschichte**

Im Jahr 1930 wurden die ersten stimmigen Modelle zur Physik Weißer Zwerge von dem damals erst 19-jährigen Astrophysiker Subrahmanyan Chandrasekhar entwickelt, nachdem bereits im 19. Jahrhundert aufgrund der beobachteten Eigenbewegung von Sirius ein Begleiter vermutet wurde. Dieser konnte mit der damals zur Verfügung stehenden Physik nicht erklärt werden und stellte sich später als Weißer Zwerg heraus [5].

Bereits 1932 – kurz nach der Entdeckung des Neutrons durch James Chadwick – wurde von dem russischen Physiker Lew Landau der Neutronenstern postuliert [6], der dem Weißen Zwerg physikalisch ähnlich sein soll, jedoch durch entartete Neutronen stabilisiert wird. Dies führt zu einer ähnlichen Grenzmasse wie die von Weißen Zwergen, während der Radius erheblich geringer und die Dichte damit deutlich höher ist. Moderne Forschungen geben eine Grenzmasse von etwas mehr als zwei Sonnenmassen bei einem Radius in der Größenordnung von zehn Kilometern an [7].

Bis zur ersten Entdeckung eines Neutronensterns in Form eines Pulsars dauerte es jedoch rund 30 Jahre, erst in den 1960er Jahren gelang die erste Identifizierung.

Aus wissenschaftshistorischer Sicht ist eine Beschäftigung mit der Entdeckung kompakter Objekte interessant, da hier das Zusammenspiel zwischen Theorie und Beobachtung in beiden Richtungen schön verdeutlicht wird: Mitte des 19. Jahrhunderts wurde ein Begleiter um Sirius mit unerklärlichen Eigenschaften gefunden. Erst nachdem mehr als 50 Jahre später die Quantenmechanik entwickelt wurde, wurde diese schließlich auch auf den Begleiter und damit ein makroskopisches Objekt angewendet und die Beobachtung führte zu einer erweiterten Anwendung der Theorie und damit zur Beschreibung einer „neuen“ Klasse von Himmelskörpern.

Neutronensterne wurden dagegen auf rein theoretischer Basis beschrieben, die erste Beobachtung erfolgte erst deutlich später.

### 2.2. **Pulsare**

Pulsare sind ein Spezialfall von Neutronensternen. Bedingt durch die Entstehung von Neutronensternen als Überrest von langsam rotierenden, jedoch enorm stark ausgedehnten Hauptreihensternen rotieren die kompakten Objekte im Allgemeinen extrem schnell, da der Drehimpuls erhalten bleibt und zumindest in Teilen auf den Neutronenstern übertragen wird. Ein nicht zu vernachlässigender Betrag des Drehimpulses wird jedoch mit den äußeren Schichten des Sterns oder im Zuge einer Supernova abgestoßen.

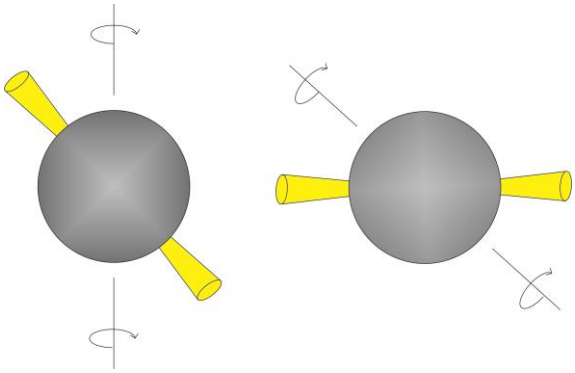


**Abbildung 1:** Schematische Darstellung eines Pulsars. Den linken Pulsar könnte man von der Erde aus nicht registrieren, da der Strahlungskegel nicht die Richtung des Beobachters (aus Sicht des Lesers) durchquert. Der rechte Pulsar könnte dagegen erfasst werden.

Die Neutronensterne sind in den meisten Fällen stark magnetisiert. Liegen die Pole des Magnetfeldes und die Rotationsachse des Objektes nun nicht in einer Linie, so werden in Richtung des Magnetfeldes mit extremer Regelmäßigkeit Pulse ausgesandt, die bei günstiger geometrischer Lage in Richtung der Erde zeigen und dementsprechend registriert werden können (vgl. Abb. 1).

Regelmäßige Verzögerungen der Pulse des 1990 entdeckten Pulsars *Lich* führten zur Entdeckung der ersten drei bekannten Exoplaneten, darunter der bis heute masseärmste bekannte Planet außerhalb des Sonnensystems (*Draugr* mit etwa einem Fünftel der Erdmasse) [8].

## 3. **Die Masse eines Neutronensterns**

Zunächst ist es notwendig, die (ungefähre) Masse eines Neutronensterns zu kennen. Diese kann entweder vorgegeben oder aber elementar hergeleitet werden (vgl. [9] für eine detaillierte Herleitung für einen Weißen Zwerg, die äquivalent verwendet werden kann und [10] für eine alternative Herleitung).

Für einen beliebigen Himmelskörper im hydrostatischen Gleichgewicht muss der Selbstgravitation ein Druck entgegenstehen:

$$P_{Grav} = P_{Gegen} \quad \{1\}$$

Für den Gravitationsdruck eines kugelförmigen Himmelskörpers konstanter Dichte mit der Masse $M$ und dem Radius $R$ lässt sich elementar folgender Term herleiten:

$$P_{Grav} = \frac{3GM^2}{8\pi R^4} \quad \{2\}$$

Nun kann als Vereinfachung angenommen werden, dass der Neutronenstern vollständig aus Neutronen aufgebaut ist und jedes dieser Neutronen einen bestimmten Raum mit dem Radius $r$ einnimmt (vgl. Abb. 2). Damit ergibt sich sofort die folgende geometrische Überlegung für den Zusammenhang zwi-

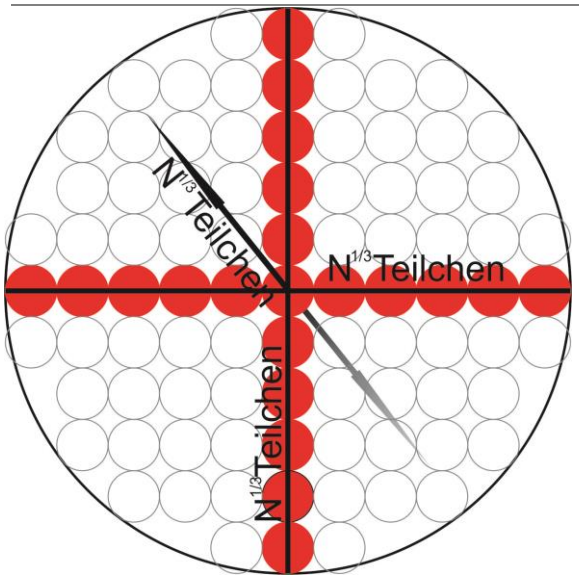



**Abbildung 2:** Zur Teilchenanzahl von Himmelskörpern, aus [11].

schen der Anzahl der Neutronen $N$ und dem Gesamtradius $R$:

$$R = N^{\frac{1}{3}} \cdot r = \left(\frac{M}{m_N}\right)^{\frac{1}{3}} \cdot r \quad \{3\}$$

Die Kombination der Gleichungen 2 und 3 ergibt dann einen Term für die maximale Masse eines Neutronensterns, der sich im hydrostatischen Gleichgewicht befindet und durch einen Gegendruck mit dem Betrag $P_{Max}$ stabilisiert wird:

$$M_{Max} = \left(\frac{8\pi P_{Max} r^4}{3G m_N^{\frac{4}{3}}}\right)^{\frac{3}{2}} \quad \{4\}$$

Um den Gegendruck abzuschätzen, kann das bereits erwähnte Pauli-Prinzip genutzt werden. Der Neutronenstern wird durch relativistisch entartete Neutronen stabilisiert. Da es sich dabei um Fermionen handelt, können diese nicht beliebig dicht gepackt werden – je höher die Dichte wird, desto größer wird der Gegendruck. Es gilt die Heisenberg'sche Unschärferelation:

$$p = \frac{\hbar}{r} \quad \{5\}$$

Abhängig vom verfügbaren Raum erhalten die Neutronen also einen Impuls $p$. Der maximale Impuls liegt in der Größenordnung der Lichtgeschwindigkeit. Damit gilt näherungsweise:

$$r = \frac{\hbar}{mc} \quad \{6\}$$

Um den herrschenden Druck zu ermitteln, kann dieser nun als Energiedichte betrachtet werden. Mit dem Impuls $mc$ ergibt sich für die Energie eines Neutrons klassisch betrachtet Folgendes:

$$E_N = \frac{1}{2} m_N c^2 \quad \{7\}$$

Somit gilt:

$$P_{Max} = \frac{E}{V} = \frac{3 m_N^4 c^5}{8\pi\hbar^3} \quad \{8\}$$

Damit ergibt sich folgende maximale Masse:

$$M_{Max} = \left(\frac{c\hbar}{m_N^{\frac{4}{3}} G}\right)^{\frac{3}{2}} \approx 1{,}8\, M_{Sonne} \quad \{9\}$$

Die maximale Masse eines Neutronensterns liegt in dieser Modellierung also bei etwa 1,8 Sonnenmassen, das Ergebnis liegt damit in der gleichen Größenordnung wie die Ergebnisse komplexerer Modellierungen [7].

## 4. Der Radius eines Neutronensterns

Mit der zuvor bestimmten Masse können nun mithilfe unterschiedlicher Teilgebiete der Physik Abschätzungen gegeben werden, um den Radius eines Neutronensterns zu bestimmen.

### 4.1. Über den benötigten Raum eines Neutrons

Zunächst kann in dem verwendeten Modell weiter gearbeitet werden. Nutzt man die Gleichungen 3 und 6, so können beide kombiniert werden und es ergibt sich unmittelbar ein Radius von etwa 2,7 Kilometern. Dies liegt unter den im Allgemeinen vermuteten Radien für Neutronensterne und gleichzeitig unter dem Schwarzschild-Radius (siehe Kap. 4.2), der hier bestimmte Radius ist also zu klein, gibt aber zumindest eine grobe Größenordnung an. Gleichzeitig kann mit dieser Methode eine Masse-Radius-Beziehung für Neutronensterne hergeleitet werden, indem der Impuls nicht $mc$ gesetzt, sondern eine beliebige Geschwindigkeit $v$ angenommen wird. Dies kann vollkommen analog zu der Masse-Radius-

**Abbildung 3:** Größenvergleich eines Neutronensterns mit einem Radius von 2,7 Kilometern (Methode 4.1) mit der Fläche von Berlin.

Beziehung eines Weißen Zwerges geschehen, siehe dafür [9]. Dabei zeigt sich, dass massereiche Neutronensterne kleiner sind als massearme – ein Phänomen, das sich auch bei anderen entarteten Objekten (vor allem Weißen und Braunen Zwergen) feststellen lässt.

### 4.2. **Über den Schwarzschild-Radius**

Neutronensterne sind die dichtesten bekannten Objekte, die größer sind als der Schwarzschild-Radius. Dementsprechend darf der Radius nicht – wie in Kap. 4.1 – kleiner sein als der Schwarzschild-Radius. Dieser kann elementar hergeleitet werden, indem als Fluchtgeschwindigkeit von einem Körper mit der Masse $M$ und dem Radius $R_S$ die Lichtgeschwindigkeit angenommen wird. Es gilt:

$$R_S = \frac{2GM}{c^2} \quad \{10\}$$

Mit der zuvor bestimmten Masse ergibt sich so ein Radius von etwa 5,3 Kilometern, der als absolute Untergrenze für sämtliche Abschätzungen gilt.

### 4.3. **Über die Neutronendichte**

Da ein Neutronenstern in der hier verwendeten Modellierung ausschließlich aus Neutronen besteht, sollte die Dichte des Objektes in der Größenordnung der Neutronendichte liegen. Nimmt man ein Neutron als kugelförmig an, so lässt sich die Dichte mithilfe des (gegebenen) Neutronenradius $R_N$ bestimmen:

$$\rho_N = \frac{m_N}{\frac{4}{3}\pi R_N^3} \approx 10^{17}\,\frac{kg}{m^3} \quad \{11\}$$

Somit gilt für den Radius eines Neutronensterns:

$$R = \left(\frac{3M}{4\pi\rho_N}\right)^{\frac{1}{3}} \approx 17\,km \quad \{12\}$$

Dieser Radius ist etwas größer als die im Allgemeinen angenommen Radien von Neutronensternen, die (mittlere) Dichte eines Neutronensterns liegt also über der Dichte von Neutronen. Nichtsdestotrotz ist die Größenordnung gut erfüllt.

Zu beachten ist aber, dass mithilfe der Neutronendichte eine plausible Größenordnung bestimmt werden kann, dies aber nicht zur Ermittlung einer Masse-Radius-Beziehung geeignet ist. Diese ist für Neutronensterne – wie bereits in Kap. 4.1 erwähnt – invers, so dass massereichere Neutronensterne kleiner werden. Mit einer konstanten Dichte (wie hier angenommen) würden massereichere Neutronensterne jedoch wachsen.

### 4.4. **Über die Rotationsgeschwindigkeit**

Die folgenden beiden Methoden machen sich die schnelle Rotation von Pulsaren zunutze (vgl. Kap. 2.2). Um die Größenordnung der Rotationsgeschwindigkeit eines Pulsars abzuschätzen, kann die Drehimpulserhaltung genutzt werden. Mit dem Trägheitsmoment $I$ und der Winkelbeschleunigung $\omega$ gilt für den Drehimpuls $L$:

$$L = I \cdot \omega \quad \{13\}$$

Betrachtet man eine Vollkugel konstanter Dichte, so gilt für das Trägheitsmoment:

$$I_K = \frac{2}{5}mr^2 = \frac{2}{5}m\left(\frac{3m}{4\pi\rho}\right)^{\frac{2}{3}} = \frac{2}{5}\cdot\left(\frac{3}{4\pi}\right)^{\frac{2}{3}}\cdot\frac{m^{\frac{5}{3}}}{\rho^{\frac{2}{3}}} \quad \{14\}$$

Für den Drehimpuls einer Vollkugel gilt also:

$$L_K = I_K \cdot \omega = \frac{2}{5}\cdot\left(\frac{3}{4\pi}\right)^{\frac{2}{3}}\cdot\frac{m^{\frac{5}{3}}}{\rho^{\frac{2}{3}}}\cdot\omega \quad \{15\}$$

Soll der Drehimpuls einer Vollkugel erhalten bleiben, so ergibt sich:

$$\frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{m_1^{\frac{5}{3}}}{\rho_1^{\frac{2}{3}}}\cdot\frac{\rho_2^{\frac{2}{3}}}{m_2^{\frac{5}{3}}} \quad \{16\}$$

In der Spätphase eines Sternenlebens verliert ein Stern wesentliche Teile seiner Masse, so dass nicht die gesamte, ursprünglich vorhandene Sternenmasse in die Drehimpulserhaltung einbezogen werden darf. Vereinfachend kann angenommen werden, dass lediglich der Drehimpuls der später im Neutronenstern gebundenen Masse auf diesen übertragen wird. Dementsprechend können die Massen $m_1$ und $m_2$ gleichgesetzt werden, die übrige Masse des Vorgängersterns wird abgestoßen und ihr Drehimpuls auf die gewaltigen, langsam rotierenden Gaswolken übertragen, die den Neutronenstern umgeben.

Setzt man nun eine typische, zentrale Dichte für Hauptreihensterne mit einigen Sonnenmassen ein – diese liegt in der Größenordnung von etwa 5000 Kilogramm pro Kubikmeter – und nimmt für den Neutronenstern wieder die Dichte von Neutronen an, so zeigt sich, dass die Winkelgeschwindigkeit der Rotation eines Neutronensterns um einen Faktor von etwa einer Milliarde höher liegt als die eines Hauptreihensterns. Diese benötigen für eine Umdrehung meistens einige Wochen, so dass sich für Neutronensterne Rotationszeiten von wenigen Sekunden bis hin zu einigen Millisekunden ergeben.

Damit kann nun eine einfache Abschätzung getroffen werden: Nach der Speziellen Relativitätstheorie darf die Rotationsgeschwindigkeit am Äquator eines Neutronensterns nicht die Lichtgeschwindigkeit überschreiten. Es muss also Folgendes gelten:

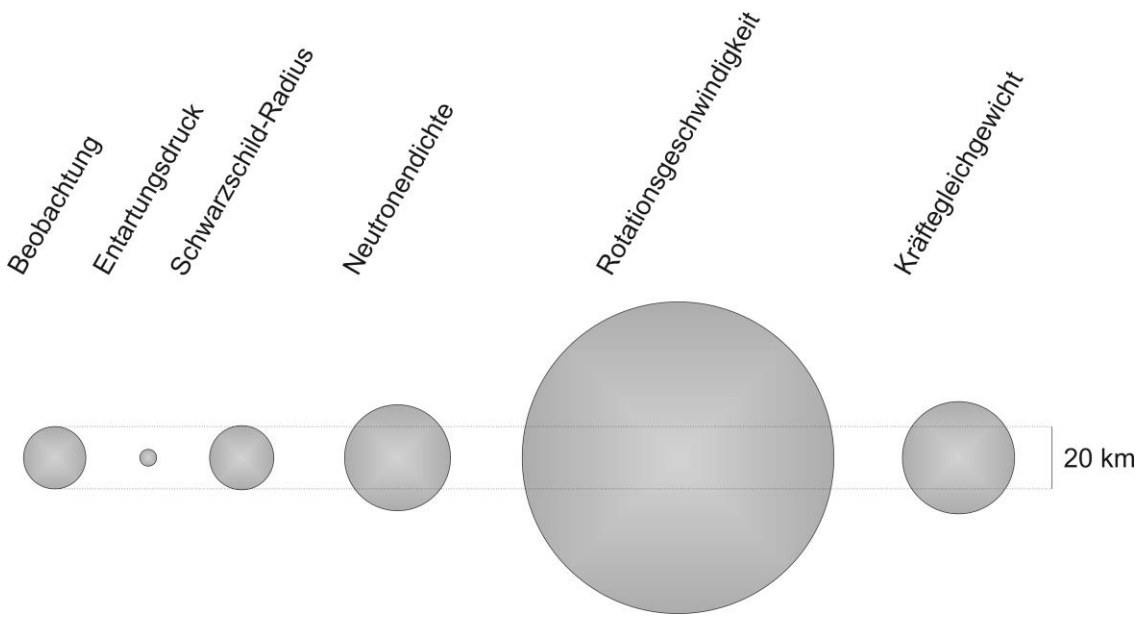



**Abbildung 4:** Vergleich der vorgestellten Methoden zur Bestimmung der Größe eines Neutronensterns. Der Radius zur Rotationsgeschwindigkeit ist ohne Längenkontraktion angegeben.

$$\frac{2\pi r}{t} \leq c \quad \{17\}$$

Mit einer Rotationsdauer von einer Millisekunde ergibt sich für den Fall, dass die Rotationsgeschwindigkeit gleich der Lichtgeschwindigkeit ist, ein (verhältnismäßig großer) Radius von 50 Kilometern, für Neutronensterne scheint dies also zunächst nicht relevant zu sein. Berücksichtigt man jedoch weiter die Spezielle Relativitätstheorie, so muss bei Geschwindigkeiten nahe der Lichtgeschwindigkeit auch die Längenkontraktion betrachtet werden. Generell gilt für eine beliebige Strecke $l_0$, die sich mit der Geschwindigkeit $v$ gegenüber einem Beobachter bewegt, Folgendes:

$$l = l_0 \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad \{18\}$$

Dies wirkt sich bei den typischen Rotationsgeschwindigkeiten eines Pulsars auf den Umfang aus. Um eine sinnvolle Betrachtung zu ermöglichen, wird die äquatoriale Geschwindigkeit nun mit 90 Prozent der Lichtgeschwindigkeit gleichgesetzt, dies entspricht ohne Längenkontraktion einem Radius von 48 Kilometern und damit einem Umfang von etwa 300 Kilometern. Damit gilt:

$$U = 300km \cdot \sqrt{1 - \frac{(0{,}9c)^2}{c^2}} \approx 130km \quad \{19\}$$

Dies entspricht einem Radius von etwa 20 Kilometern. Relativistisch betrachtet limitiert also schon die Rotationsfrequenz die Größe eines Pulsars. Dies ist insbesondere interessant, da die Rotationsfrequenz von günstig gelegenen Pulsaren verhältnismäßig einfach und sehr präzise bestimmt werden kann.

### 4.5. Über das Kräftegleichgewicht der Rotation

Über die Betrachtung der bei einer Rotation wirkenden Kräfte kann eine weitere, elementarisierende Abschätzung gebildet werden. Pulsare sind stabile Himmelskörper, das heißt, dass die wirkenden Zentrifugalkräfte die entgegengesetzten Gravitationskräfte, die den Körper zusammenhalten, nicht überschreiten. Für die Zentrifugalkraft $F_Z$ gilt:

$$F_Z = m \cdot \omega^2 \cdot r = m \cdot \left(\frac{2\pi}{t}\right)^2 \cdot r \quad \{20\}$$

Setzt man diese betragsmäßig mit der Gravitationskraft gleich, so ergibt sich für den Radius eines Pulsars:

$$r = \left(\frac{gMt^2}{4\pi^2}\right)^{\frac{1}{3}} \quad \{21\}$$

Setzt man wieder die zuvor bestimmten, typischen Werte ein, so ergibt sich ein Radius von etwa 18 Kilometern.

## 5. Vergleich der Methoden und Fazit

Betrachtet man die fünf vorgestellten Methoden, so zeigt sich, dass alle Abschätzungen Ergebnisse in einer plausiblen Größenordnung ergeben (vgl. Abb. 4) – die Ergebnisse mithilfe des Schwarzschild-Radius, der Neutronendichte der Rotationsgeschwindigkeit unter Einbeziehung der Längenkontraktion sowie des Kräftegleichgewichts liegen sogar sehr nah an den in aktueller Forschung angenommenen Werten.

Es ist also möglich, sich dem Phänomen Neutronenstern mithilfe unterschiedlichster Teilgebiete der Physik anzunähern:

- Mithilfe (elementarisierter) Quantenmechanik wird die Masse eines Neutronensterns berechnet, weiterhin kann auch der Radius abgeschätzt werden.
- Durch Anwendung von Methoden aus der Mechanik können die Fluchtgeschwindigkeit und damit der Schwarzschildradius bestimmt werden. Mithilfe der Gesetze der Rotation kann über die Rotationsgeschwindigkeit beziehungsweise über das Kräftegleichgewicht der Radius ermittelt werden.
- Die Spezielle Relativitätstheorie ermöglicht eine deutliche Verbesserung der Resultate bei der Bestimmung des Radius mithilfe der Rotationsgeschwindigkeit.

Es ist also möglich, den Radius eines Neutronensterns als Kontext in unterschiedlichen Bereichen der Physik abzuschätzen – wenn die Masse als gegeben gesetzt wird, ist dies bereits mit grundlegender Mechanik möglich. Insbesondere in den Einführungsvorlesungen zur Mechanik können also auch astrophysikalische Beispiele genannt werden, die über die üblichen Beispiele (wie etwa die Keplerschen Gesetze) hinausgehen. Dies erscheint gerade in Hinblick auf die in manchen Universitäten fehlenden astronomischen und astrophysikalischen Vorlesungen erstrebenswert, um gewisse Grundkenntnisse der Astrophysik bei angehenden Lehrenden herauszubilden [4].

## 6. **Literatur**


[1] Sjøberg, Svein und Schreiner, Camilla (2010): The ROSE Project: An overview and key findings. URL: https://roseproject.no/network/countries/norway/eng/nor-Sjoberg-Schreiner-overview-2010.pdf

[2] Elster, Doris (2007): In welchen Kontexten sind naturwissenschaftliche Inhalte für Jugendliche interessant? Ergebnisse der ROSE-Erhebung in Österreich und Deutschland. In: Plus Lucis 3, S. 2-8

[3] Hohmann, Sascha und Quast, Martin (2018): Astronomie in der Lehrerausbildung. In: PhyDid B, S. 141-147. URL: http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/866/1003

[4] Quast, Martin; Hohmann, Sascha und Schultz, Andreas (2018): Erhebung astronomischer Lehrinhalte in den Lehramtsstudiengängen deutscher Universitäten. In: Astronomie und Raumfahrt im Unterricht 55.6, S. 5-11

[5] Srinivasan, Ganesan (1999): From white dwarfs to black holes. The legacy of S. Chandrasekhar

[6] Yakovlev, Dmitry et. al. (2013): Lev Landau and the concept of neutron stars. In: Physics-Uspekhi 56.3, S. 289-295

[7] Rezzolla, Luciano; Most, Elias und Weih, Lukas (2018): Using Gravitational-wave Observations and Quasi-universal Relations to Constrain the Maximum Mass of Neutron Stars. In: The Astrophysical Journal 852.2, S. L25

[8] Roques, Françoise; Kral, Quentin und Schneider, Jean (2018): Exoplanet.eu. URL: http://exoplanet.eu/

[9] Hohmann, Sascha (2017): Eine Masse-Radius-Beziehung Weißer und Brauner Zwerge. Ein einfaches Modell. In: PhyDid B, S. 19-22. URL: http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/758/907

[10] Camenzind, Max (2016): Gravitation und Physik kompakter Objekte. Eine Einführung in die Welt der Weißen Zwerge, Neutronensterne und Schwarzen Löcher. 1. Aufl.

[11] Hohmann, Sascha (2017): Ein einfaches Modell zu Gasriesen. In: Astronomie und Raumfahrt im Unterricht 54.5, S. 40-41

# Zum Interesse von Grundschulkindern an informatischen Lernmaterialien

Hilde Köster, Philipp Straube, Martin Brämer,
Tobias Mehrtens, Volkhard Nordmeier, Julia Voigt

Freie Universität Berlin, Habelschwerdter Allee 45, 14195 Berlin
braemer@zedat.fu-berlin.de

**Kurzfassung**

Im Beitrag werden die theoretische Rahmung, das Forschungsdesign und erste Ergebnisse einer Studie vorgestellt und diskutiert, die im Rahmen des durch das BMBF geförderten Projekts LemaS (Leistung macht Schule) an der Freien Universität Berlin im Teilprojekt DiaMINT-Sachunterricht durchgeführt wird. Untersucht wurde, wie Grundschulkinder auf unterschiedliche informatikbezogene Spiel- und Lerngegenstände (bspw. Lego WeDo, Beebot, Lego EV3, Thymio, Neurons, Lego NXT, Calliope) reagieren. Zentral für diese Untersuchung war hierbei die Frage nach der *Interessantheit* (Krapp 1992; Krapp & Prenzel 2011) der Spiel- und Lerngegenstände für die Kinder. Darüber hinaus wurde untersucht, inwiefern sich Unterschiede hinsichtlich der Klassenstufe oder Gendereffekte feststellen lassen. Die Lernumgebung (konzipiert nach dem didaktischen Konzept ‚Freies Explorieren und Experimentieren' (FEE; Köster 2006; 2018) wurde videographiert und die Videodaten zunächst quantitativ ausgewertet. Die Ergebnisse dieser ersten explorativ angelegten Studie zeigen, dass – aus Sicht der Kinder – die Interessantheit der Spiel- und Lernmaterialien unterschiedlich wahrgenommen wird und dass sich diese Bewertung je nach Geschlecht und Alter der Kinder z. T. deutlich unterscheidet. Eine umfassendere auf diese und weitere Vorstudien gründende Untersuchung soll in einem weiteren Schritt dazu dienen, ein Diagnosesetting für die Identifikation von besonderen Interessen und Leistungspotenzialen bei Grundschulkindern sowie entsprechende Förderinstrumente zu entwickeln.

## 1. Einleitung

DiaMINT zielt als Teilprojekt des durch das BMBF geförderten Verbundprojekts ‚Leistung macht Schule' (LemaS) am Standort Freie Universität Berlin auf die Entwicklung und Evaluation adaptiver Konzepte für eine diagnosebasierte individuelle Förderung (potenziell) leistungsstarker Schüler*innen in den Fächern Sachunterricht (TP 9), Naturwissenschaften und Physik (TP 11) sowie auf den Übergang von der Kita in die Grundschule (TP 3).

Im Teilprojekt DiaMINT-Sachuntericht (TP 9) werden gemeinsam mit den am Projekt beteiligten Grundschulen domänenspezifische Diagnosetools und Fördermöglichkeiten auf Basis von naturwissenschafts- und informatikbezogenen didaktischen Spezifika, der Rahmenbedingungen und Bedarfe der beteiligten Schulen sowie individueller Potenziale und Lernbedürfnisse der Schülerinnen und Schüler entwickelt, erprobt und evaluiert.

Dieser Artikel fokussiert auf eine Vorstudie zum Bereich informatische Bildung im Sachunterricht der Grundschule (s. o.), an der bisher zwei Grundschulen teilgenommen haben.

## 2. Ausgangs- und Forschungslage

Nicht überraschend zeigt die KIM-Studie (Feierabend, Plankenhorn & Rathgeb 2017), dass sich viele Kinder für Handys und Smartphones, das Internet, für Computer sowie für Computerspiele interessieren, diese bereits nutzen bzw. nutzen möchten. Gervé (2015) weist darauf hin, dass „Digitale Medien […] zuweilen [ein fester,] aber wohl eher unbewusster und unhinterfragter Bestandteil der Lebenswelt der Grundschulkinder" (ebd., 497) sind. Dabei stehen die oft schon früh angelegten Mediennutzungskompetenzen einem gleichzeitigen mangelnden Verständnis hinsichtlich der technischen Funktionen und gesellschaftlichen Implikationen gegenüber (vgl. Döbeli Honegger 2010).

Da es die zentrale Aufgabe des Sachunterrichts ist, „[…] Kinder beim Erschließen ihrer Umwelt zu unterstützen" (Kahlert 2016, 11) und sich die Umwelt von Kindern durch die Entwicklung digitaler Medien gerade stark verändert (Stalder 2016; GI 2016, 3; Döbeli Honegger 2017; Knaus 2017) herrscht weitgehende Einigkeit darüber, dass im Sachunterricht Möglichkeiten geschaffen werden müssen, entsprechende Kompetenzen bei den Kindern anzulegen (Straube, Brämer, Köster & Romeike 2018; Bergner, Köster, Magenheim, Müller, Romeike, Schroeder & Schulte 2018; Gervé 2015; Borowski Diethelm & Mesaroş 2010, 1; Schäffer & Mammes 2015; Goecke, Stiller & Pech 2018).

Dass Kinder kognitiv dazu in der Lage sind, mit informatischen Inhalten umzugehen, belegen bereits

einige frühere Untersuchungen (vgl. bspw. Goecke et al. 2018; Gibson 2012; Serafini 2011). Schwill (2001) untersuchte bereits früh „die Fähigkeiten von Kindern der Altersgruppe Primar- und früher Sekundarbereich, fundamentale Ideen der Informatik zu erfassen, zu verstehen und sachgerecht mit ihnen umzugehen." (ebd., 14). Er berichtet über verschiedene Studien, die zeigen, dass es Grundschulkindern gelingt, „fundamentale" (ebd., 15) Ideen wie z. B. ‚Rekursion', die ‚Greedy-Methode', ‚Strukturiertes Zerlegen' und die ‚Nachbildung hierarchischer Strukturen' zu verstehen sowie anzuwenden. Dabei ist ein Ergebnis für die Einschätzung von (diesbezüglichen) Fähigkeiten der Kinder in Hinblick auf die Wahl von Untersuchungsmethoden von besonderer Bedeutung: Dass offenbar „die Fähigkeit, komplizierte rekursive Sachverhalte zu beschreiben, weit hinter der Fähigkeit zurückbleibt, diese Sachverhalte tatsächlich kognitiv zu erfassen" (ebd., 5). Das Verbalisieren dessen, was sie bereits wissen und nutzen können, fällt den Kindern also schwer. (Diese Erkenntnis führte im Rahmen der hier vorgestellten Studie auch zu Entscheidungen bzgl. des Forschungsdesigns: Anstelle Interviews durchzuführen, wurden die Kinder beobachtet bzw. videographiert und die Daten dann aufgrund der Beobachtung der Handlungsmuster interpretiert; s. Abschnitt 3.)

Auch Hoffmann, Wendtland und Wendtland (2017) kommen sowohl durch ihren Forschungsüberblick, als auch aufgrund eigener Untersuchungen zu dem Schluss, dass wesentliche Konzepte der Algorithmisierung auch für Grundschulkinder verstehbar sind, und dies ohne vorherige Thematisierung dieser Inhalte im Unterricht. Einfache Aufgaben mit Sequenzierungen konnten bereits in Klasse 2 gelöst werden. Aufgaben mit Iterationen wurden erst in Klasse 3 gelöst (ebd., 81f). Weigend (2009) kommt zu dem Ergebnis, dass Kinder „ab der dritten Klasse […] keine grundsätzlichen Schwierigkeiten zu haben [scheinen], die wesentlichen Ausdrucksmittel einer Programmiersprache zur Steuerung von Aktivitätsflüssen und zur Benennung von Entitäten zu begreifen und anzuwenden" (ebd., 107). Gestützt werden diese Befunde durch die Ergebnisse einer Studie von Goecke et al. (2018, 105), in der Ansätze von Hypothesengenerierung und -prüfung, der Anwendung der Greedy-Methode und des Nutzens von Variablen bei Grundschulkindern beobachtet werden konnten. Petrut, Bergner und Schroeder (2017) befassten sich unter anderem mit den Assoziationen und Interessen von Kindern zum Themengebiet Informatik im Alter von 8-11 Jahren. Sie stellten fest, dass die meisten der befragten Kinder keine konkrete Vorstellung vom Begriff ‚Informatik' hatten und lediglich ein Drittel diesen mit dem Begriff ‚Computer' assoziierten (ebd., 68). Das Interesse an informatischen Inhalten schien trotz fehlender Assoziationen aber relativ hoch zu sein.

Im Rahmen dieser Studie wurden auch Unterschiede zwischen den Geschlechtern untersucht: Lediglich bei zwei Aspekten konnten diese festgestellt werden: Mehr Mädchen gaben häufiger an, am „Lösen kniffliger Probleme" (ebd., 68) interessiert zu sein. Dafür ist das Interesse an technischen Geräten bei Jungen etwas höher ausgeprägt (ebd., 69). Auch andere Studien zeigen Gendereffekte wie bspw. eine geringere Leistung, geringere Selbstwirksamkeitserwartungen oder geringeres Interesse bei Mädchen im Umgang mit Technik und Informatik (vgl. Acatech 2011; Román-González, Pérez-González & Jiménez-Fernández, 2017, 684 ff; Petersen, Theidig, Börding, Leimbach, Flintrop 2007) Funke, Geldreich & Hubwieser (2016) liefern jedoch Hinweise darauf, dass hinderliche Einstellungen und fehlende Rollenbilder in der Informatik durch einen frühen Einsatz in der Grundschule vermieden werden könnten.

Obwohl die Lehrkräfte in Bezug auf die Umsetzung informatischer Inhalte in der Grundschule eine zentrale Rolle spielen, existieren über deren Vorstellungen zu den Möglichkeiten der Vermittlung informatischer Inhalte bisher kaum gesicherte Erkenntnisse (vgl. Funke et al. 2016; Best 2017; Best & Marggraf, 2015). Erste Zwischenergebnisse der Untersuchung von Best et al. (2015) zeigen, dass es sowohl Lehrkräfte mit konkreten Vorstellungen über informatische Konzepte und deren Einsatz im Unterricht gibt, als auch Lehrkräfte, die informatische Inhalte weniger durchdringen und diese lieber in ein weiteres Fach oder eine Arbeitsgemeinschaft auslagern möchten (Best 2017; Best et al. 2015).

Funke et al. (2016) konnten im Rahmen ihrer Befragung von Grundschullehrkräften feststellen, dass diese einen kreativen, selbstbestimmten und kritischen Umgang mit informatischen Inhalten bevorzugen. Die Kinder sollten nach Einschätzung der Lehrkräfte möglichst kooperativ subjektiv bedeutsame Dinge kreieren und dadurch eigene Erfahrungen mit der Technologie sammeln. Die Lehrkräfte waren außerdem der Meinung, dass die Kinder dadurch ihr logisches und räumliches Denkvermögen sowie ihre Kreativität erweitern könnten. Weiterbildungen zum Themenfeld erschienen vielen Lehrkräften sinnvoll (ebd., 4).

## 3. Theoretische Annahmen/ Rahmenbedingungen für die Untersuchung

Das Konzept ‚Freies Explorieren und Experimentieren' (FEE, Köster 2006; 2018) basiert auf Selbstbestimmung und intrinsischer Motivation bei den Kindern, entspricht im Gesamtsetting den Wünschen der Lehrkräfte nach einem kreativen, selbstbestimmten und kritischen Umgang mit Inhalten (s. o.) und ermöglicht es Kindern, kooperativ subjektiv bedeutsame Lernerfahrungen sammeln zu können. Da es sich um bisher im Unterricht noch nicht thematisierte Inhalte handelt, geht es in unserer Studie um die Anfangsphase der Interessensentstehung bei den (meisten) Kindern. Interesse äußert sich Krapp (1992, 749) zufolge (beobachtbar) unter anderem in der Tendenz sich „wiederholt, freudvoll und ohne

äußere Veranlassung mit einem realen oder symbolisch vermittelten Interessengegenstand auseinanderzusetzen. Insbesondere in „der Anfangsphase der Interessenentstehung spielt die Anregungsqualität der Lernumgebung eine wichtige Rolle. Sie veranlasst das Individuum, sich dem Interessensgegenstand zuzuwenden, neue Aspekte zu entdecken, sich über längere Zeit mit ihm zu beschäftigen“ (ebd., 750) und ihm Aufmerksamkeit zu widmen.

Die Person-Gegenstands-Beziehung, welche Interesse als „[…] die Beziehung einer Person zu und die Auseinandersetzung mit erfahrbaren Ausschnitten ihrer Umwelt“ (Krapp, 1999, 396) versteht, besagt, dass das Interesse immer auf einen Gegenstand gerichtet ist: „An interest is always directed towards an object, activity, field of knowledge, or goal: ‘One cannot simply have an interest: one must be interested in something.“ (Gardner 1996, 6 zit. n. Krapp & Prenzel 2011, 30; vgl. Krapp 1999, 397).

Im Rahmen dieses theoretischen Diskurses werden zwei „Hauptlinien der Forschung“ (Krapp 1992, 748) unterschieden. Einerseits wird das Interesse als persönlichkeitsspezifisches Merkmal des Lerners beschrieben und andererseits als einmaliger, situationsspezifischer, motivationaler „Zustand, der aus den besonderen Anreizbedingungen einer Lernsituation (Interessantheit) resultiert.“ (ebd., 748) *Interessantheit* wird dabei auch als Eigenschaft der Lerngegenstände beschrieben (ebd., 750). Für unsere Fragestellungen (s. u.) ist damit die zweite Forschungslinie relevant.

Das sich aufgrund von Interessantheit eines Gegenstands zeigende Interesse wird als situationales Interesse bezeichnet (Krapp & Prenzel 2011, 32). Situationales Interesse an Lerngegenständen (vgl. Krapp 1999, 397) kann trotz seiner Vorläufigkeit als Basis und Voraussetzung für die Entwicklung längerfristigen Interesses von großer Bedeutung für die weitere Entwicklung auch domänenspezifischer Leistungsperformanz sein (Krapp & Prenzel 2011, 32).

Diesem Theorierahmen folgend werden in der hier vorgestellten Studie insbesondere beobachtbares situationales Interesse von Kindern an spezifisch informatikbezogenen ‚Lerngegenständen‘, wie (Spiel-)Robotern und Programmierumgebungen untersucht, die insbesondere für Kinder entwickelt worden sind.

Wir gehen dabei davon aus, dass Kindern in der Grundschule möglichst Zugänge zu den Medien und Materialien eröffnet werden sollten, mit denen sie sich besonders gern (affektive bzw. emotionale Komponente) und interessiert (bezogen auf den Gegenstand) beschäftigen, sodass die Beschreibung von Krapp & Prenzel (2011) bzgl. der Aufgabe von Schule auch für die informatische Bildung im Sachunterricht zutreffend wird: „School helps students to discover which areas and topics they are enthusiastic about, which they would like to work on themselves, and in which they would like to get more involved – both in education and future professional life.“ (ebd., 44)

## 4. Untersuchungsdesign

Die den Kindern angebotene Lernumgebung im Klassenraum besteht aus elf Stationen mit informatischen Spiel- und Lerngegenständen, die teilweise hardwarebasiert (Lego WeDo, Beebot, Lego EV3, Thymio, Neurons, Makey Makey, Lego NXT, Calliope) und teilweise softwarebasiert (Hour of Code, Scratch, ScratchJr) sind. Die Kinder können im Rahmen dieses Settings im Sinne des FEE frei wählen, mit welchen Gegenständen sie sich ca. vier Zeitstunden lang jeweils wie lange und wie intensiv, allein oder gemeinsam mit anderen Kindern beschäftigen wollen, sodass gesichert ist, dass sie sich gemäß der Definition von Krapp (1992, 749, s.o.)

- wiederholt,
- freudvoll und
- (im Rahmen des recht vielfältigen Angebots) ohne äußere Veranlassung
- über einen längeren Zeitraum mit den Gegenständen beschäftigen können.

Häufigkeit und Verweildauer werden daher als Indikatoren für das situationale Interesse der Kinder an den angebotenen Gegenständen angenommen.

Die Stationen der Lernumgebung wurden videographiert und die Videodaten zunächst quantitativ ausgewertet. Dabei wurde die Häufigkeit der Besuche der Kinder und ihre maximale Verweildauer an den einzelnen Stationen erfasst. Für die Fragestellungen zwei und drei wurden diese Daten nach Geschlecht bzw. Klassenstufe aufgetrennt. Unterschiede wurden exemplarisch aufgrund fehlender Normalverteilung mit dem Man-Whitney-U-Test (Bauer 1972; Hollander & Wolfe 1973, 27ff) geprüft.

Alle Analysen wurden in der Statistiksoftware R 3.6.0 (R Core Team, 2019) mit dem Paket „stats“ (v. 3.4.0, R Core Team 2019) berechnet. Alle Grafiken wurden mithilfe von R und dem Packet „ggplot2“ (v. 2.2.1, Wickham 2018) erstellt.

## 5. Stichprobe

Die Stichprobe umfasst 28 Kinder einer Berliner jahrgangsübergreifenden Grundschulklasse (Klasse 1-3) mit 14 Jungen und 14 Mädchen (1. Klasse: 8 Schüler*innen: 3 m, 5 w; 2. Klasse: 10 Schüler*innen, 7 m, 3 w; 3. Klasse: 10 Schüler*innen: 4 m, 6 w).

## 6. Forschungsfragen und Ergebnisse

Folgende Forschungsfragen waren für die Vorstudie handlungsleitend:

1. Für welche informatischen Spiel- und Lerngegenstände zeigen die Schüler*innen ein größeres situationales Interesse?
2. Inwiefern zeigen sich Unterschiede im Interesse bei Mädchen und Jungen?

3. Inwiefern zeigen sich Unterschiede im Interesse bezüglich der Klassenstufe?

***Ergebnisse im Einzelnen:***

Dargestellt sind jeweils die maximalen Verweildauern an den Stationen in Minuten. Den Boxplots überlagert ist ein Dot-Plot der Verteilung der einzelnen beobachteten Verweildauern der Kinder.

**F.1:** *Für welche informatischen Spiel- und Lerngegenstände zeigen die Schüler*innen größeres situationales Interesse?*

Es zeigen sich deutliche Unterschiede in Hinblick auf die maximale Verweildauer (der Zeitspanne, die die Kinder am längsten ohne Unterbrechung an der Station verbracht haben) (Abb. 1): Während der Durchschnitt der maximalen Verweildauer bei ‚Lego WeDo' bei ca. elf Minuten liegt, ist die durchschnittliche Verweildauer bei ‚Calliope Mini' mit ca. einer Minute deutlich geringer. Es zeigt sich ein signifikanter Unterschied mit starkem Effekt (U= 229, p= 0.000***, d= 0.98). Der Unterschied zwischen den beiden Extrempunkten verdeutlicht einen Unterschied in der Interessantheit der Objekte im Hinblick auf die gesamte Kohorte. Ein Signifikanztest für jeden einzelnen Unterschied scheint hier jedoch aufgrund der Alphafehler-Kumulierung (Holm 1979) nicht sinnvoll.

Auch bei der Betrachtung der Anzahl der Stationsbesuche ergibt sich ein ähnliches Bild (M= 2.54 WeDo; M= 0.86 Calliope; U= 165, p= 0.02*, d= 0.70).

**F.2:** *Inwiefern zeigen sich Unterschiede im Interesse bei Mädchen und Jungen?*

Die Ergebnisse zeigen für einige Lernmaterialien signifikante Unterschiede (Abb. 2). Die Station ‚Scratch Junior' wurde signifikant länger von den Mädchen als von den Jungen besucht (U= 102, p= 0.000***, d= 1.01). Gemessen an der maximalen Verweildauer an der Station präferieren die Jungen ‚Lego EV3': Sie ist signifikant länger als bei den Mädchen: (U= 7, p= 0.041*, d= 0.65).

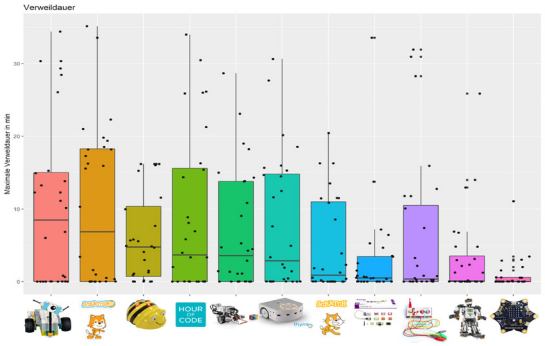



Abb. 1: Verweildauer an den Stationen

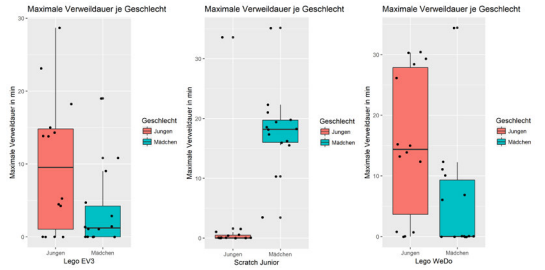



Abb. 2: Verweildauer der getesteten Stationen

Ähnlich verhält es sich auch bei ‚Lego® WeDo': Die Differenz in der Verweildauer zu Gunsten der Jungen an dieser Station verfehlt die Signifikanz nur knapp: (U=17, p=0.050, d=0.63). Aufgrund des relativ geringen p-Wertes kann sich dieses Ergebnis in einer größeren Gruppe durchaus als signifikanter Effekt herausstellen. Alle anderen Stationen zeigen zunächst keine signifikanten Unterschiede (Abb. 3).

**F.3:** *Inwiefern zeigen sich Unterschiede im Interesse bezüglich der Klassenstufe?*

In Bezug auf diese Fragestellung zeigt sich, dass die Station ‚Scratch' von Drittklässler*innen deutlich länger als von den Erst- und Zweitklässler*innen besucht wurde (Abb. 4; Vergleich 1. und 2. Klasse: M= 1:40 Min. zu 3. Klasse: M= 10:12 Min.: U= 10, p= 0.001***, d= 0.97).

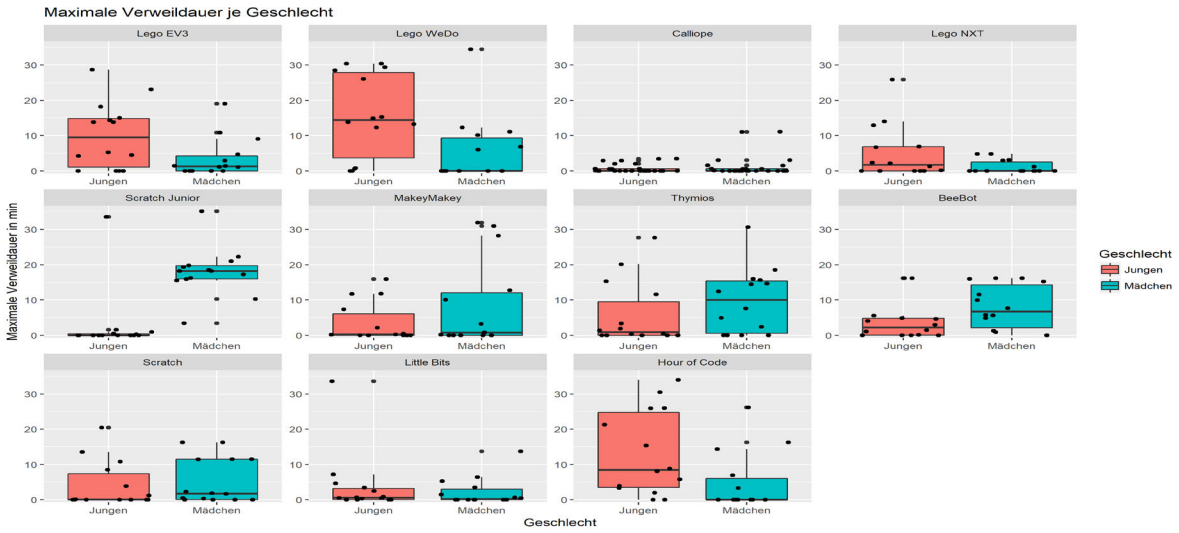



Abb. 3: Maximale Verweildauer nach Geschlecht

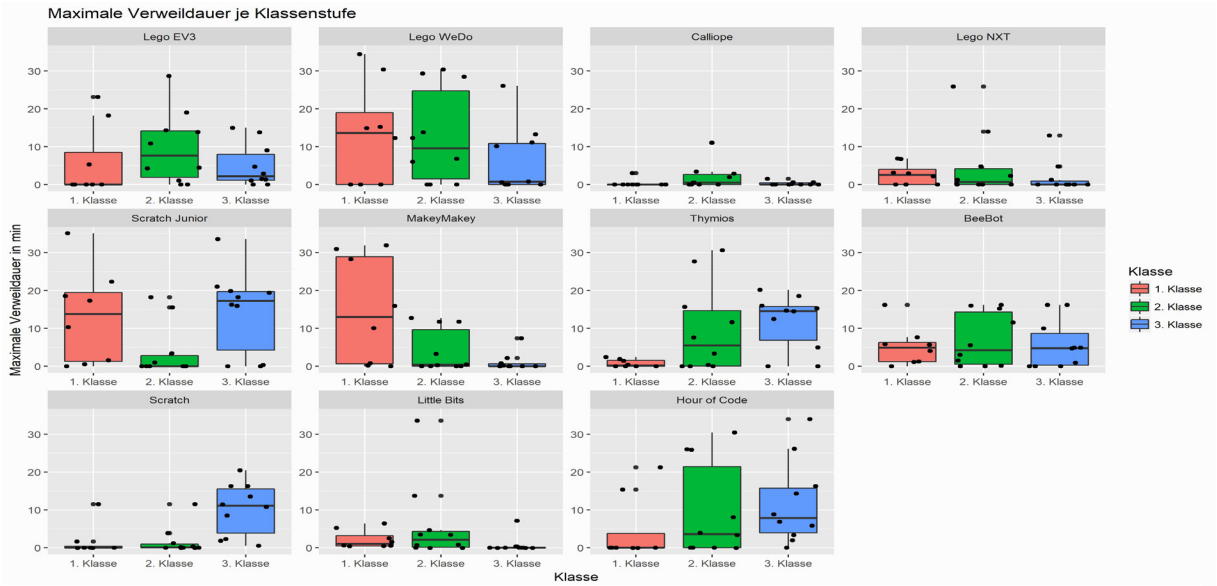



Abb. 4: Maximale Verweildauer nach Klassenstufe

Eine Besonderheit stellt die Station ‚Scratch Junior' dar, da hier die Kinder der 2. Klassenstufe im Vergleich zu den anderen kaum an der Station bleiben. Dieser Effekt lässt sich womöglich über den oben beschriebenen Gendereffekt, wonach sich mehr Mädchen für diese Station interessieren, erklären. Denn in der 2. Klassenstufe befinden sich nur 3 Mädchen in Relation zu 7 Jungen.

Aufgrund der Alphafehler-Kumulierung (Holm 1979) sowie der geringen Gruppengröße werden weitere Unterschiede zwischen den Klassenstufen lediglich deskriptiv beschrieben. Man erkennt jedoch auch hierbei klare Differenzen zwischen den Mittelwerten (Abb. 4).

Nachfolgende Untersuchungen müssen zeigen, inwiefern die festgestellten Präferenz-Trends weitere Evidenz finden. Aufgrund der noch ausstehenden Auswertung der Daten mit qualitativen Methoden erhoffen wir uns jedoch bereits Hinweise darauf, welche Gründe für diese Präferenzen vorliegen.

## 7. Diskussion und Ausblick

Die Ergebnisse dieser ersten explorativ angelegten Studie zeigen, dass – aus Sicht der Kinder – die Interessantheit der Lernmaterialien unterschiedlich wahrgenommen wird und dass sich diese Bewertung je nach Geschlecht und Alter der Kinder z. T. unterscheidet: Mädchen interessieren sich z. T. für andere Medien als Jungen und jüngere Kinder interessieren sich für andere Medien als ältere Kinder. Aufgrund der recht deutlich ausfallenden statistischen Kennwerte gehen wir davon aus, dass das gewählte Setting prinzipiell Antworten auf unsere Fragen liefern kann. Qualitative Untersuchungen des Datenmaterials sind aber nötig, um über die Verweildauer an den Stationen und die Häufigkeit der Stationsbesuche hinaus mehr über die gegenstandsbezogenen Aktivitäten und die Art der inhaltlichen Auseinandersetzungen der Kinder mit den jeweiligen Angeboten sowie über die Art und Tiefe des Interesses Aussagen treffen zu können. Eine theoretische Grundlage dafür liefert z. B. das Modell von Häussler & Hofmann (2000, 694), das (zit. n. Krapp & Prenzel 2011, 10) (im Bereich der Physik) drei Interessendimensionen unterscheidet: „(1) interest in a particular topic of physics; (2) interest in a particular context in which a physical topic is presented; and (3) interest in the particular activity a student is allowed to engage in, in conjunction with that topic."

Die Ergebnisse sowie auch die Erfahrungen während dieser (und einiger weiterer gleich gelagert durchgeführter) Studie(n) stimmen jedoch bereits jetzt sehr positiv, was die Chancen für eine erfolgreiche Implementation informatischer Bildung über den Zugang zu für die Kinder attraktiven Medien im Sachunterricht betrifft, da die untersuchten Kinder jeweils über einen Zeitraum von mindestens vier Stunden stets hochmotiviert und mit viel Freude bei der Sache bleiben, dabei vieles über die Funktionen der Medien bzw. ‚Geräte' lernen und insgesamt eine hohe Engagiertheit zeigen. Darüber hinaus geben erste Auswertungen dessen, was die Kinder während der Beschäftigung mit den technisch gut unterscheidbaren Spiel- und Lerngegenständen tun, wie sie sich äußern und was sie lernen, Anlass dazu, erwarten zu dürfen, dass im Rahmen dieses Settings besondere Leistungspotenziale von Kindern diagnostiziert sowie Ideen für die Entwicklung adaptiver weiterer Lernangebote entwickelt werden können.

## 8. Literatur

Acatech (Hrsg.) (2011): *Monitoring von Motivationskonzepten für den Techniknachwuchs* (MoMoTech) (Acatech berichtet und empfiehlt, Bd. 5). Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag. https://doi.org/10.1007/978-3-642-15921-3

Bauer, D. F. (1972): Constructing confidence sets using rank statistics. *Journal of the American Statistical Association*, 67, S. 687–690.

Bergner, N.; Köster, H.; Magenheim, J.; Müller, K.; Romeike, R.; Schroeder, U. & Schulte, C. (2018): *Zieldimensionen informatischer Bildung im Elementar- und Primarbereich.* In: Stiftung Haus der kleinen Forscher (Hrsg.): *Frühe informatische Bildung – Ziele und Gelingensbedingungen für den Elementar- und Primarbereich*. Wissenschaftliche Untersuchungen zur Arbeit der Stiftung „Haus der kleinen Forscher".

Best, A. & Marggraf, S. (2015): Das Bild der Informatik von Sachunterrichtslehrern. Erste Ergebnisse einer Umfrage an Grundschulen im Regierungsbezirk Münster. In: Jens Gallenbacher (Hg.): *Informatik 2015. Informatik allgemeinbildend begreifen*; 16. GI-Fachtagung Informatik und Schule. (S. 53-62) Bonn: Gesellschaft für Informatik (GI-Edition Lecture Notes in Informatics Proceedings, 249).

Best, A. (2017): Bild der Informatik von Grundschullehrpersonen. Erste Zwischenergebnisse aus qualitativen Einzelfallstudien. In: I. Diethelm (Hrsg.), *Informatische Bildung zum Verstehen und Gestalten der digitalen Welt* (GI-Edition. Proceedings, Bd. 274, S. 83–86). Bonn: Köllen.

Borowski, C., Diethelm, I. & Mesaroş, A.-M. (2010): Informatische Bildung im Sachunterricht der Grundschule. Theoretische Überlegungen zur Begründung. *Widerstreit Sachunterricht*, (15), 1–8. Zugriff am 05.09.2019. Verfügbar unter http://www.widerstreit-sachunterricht.de/ebeneI/superworte/infor/BorDieMe.pdf

Döbeli Honegger, B. (2010): ICT im Hosensack – Informatik im Kopf. In: G. Brandhofer, G. Futschek, P. Micheuz, A. Reiter & K. Schoder (Hrsg.), *25 Jahre Schulinformatik in Österreich – Zukunft mit Herkunft.* (S. 35-43) Wien: Österreichische Computer Gesellschaft.

Döbeli Honegger, B. (2017): *Mehr als 0 und 1. Schule in einer digitalisierten Welt* (2.). Bern: Hep Verlag.

Feierabend, S., Plankenhorn, T. & Rathgeb, T. (2017): *Kindheit, Internet, Medien. Basisstudie zum Medienumgang 6- bis 13-Jähriger in Deutschland, Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest.* Zugriff am 14.05.2018. Verfügbar unter https://www.mpfs.de/fileadmin/files/Studien/KIM/2016/KIM_2016_Web-PDF.pdf

Funke, A., Geldreich, K. & Hubwieser, P. (2016): Primary school teachers' opinions about early computer science education. In J. Sheard & C. S. Montero (Hg.), *Proceedings of the 16th Koli Calling International Conference on Computing Education Research* - Koli Calling '16 (S. 135–139). New York: ACM Press.

Gardner, P. L. (1996): *Students' interests in science and technology: Gender, age and other factors*. Paper written for the International Conference on Interest and Gender: Issues of Development and Change in Learning, Seeon, Germany, 9th-13th June 1996.

Gervé, F. (2015): Digitale Medien. In: J. Kahlert, M. Fölling-Albers, M. Götz, A. Hartinger, S. Miller & S. Wittkowske (Hrsg.), *Handbuch Didaktik des Sachunterrichts* (UTB Schulpädagogik, Bd. 8621, 2. Aufl., S. 496–500). Bad Heilbrunn: Verlag Julius Klinkhardt.

Gesellschaft für Informatik. (2016): *Dagstuhl-Erklärung.* Zugriff am 25.04.2018. Verfügbar unter https://gi.de/fileadmin/GI/Hauptseite/Themen/Dagstuhl-Erkla__rung_2016-03-23.pdf

Gibson, J. P. (2012): Teaching Graph Algorithms To Children Of All Ages. In: Tami Lapidot (Hg.): *Proceedings of the 17th ACM annual conference on Innovation and technology in computer science education*. ACM Special Interest Group on Computer Science Education. (S. 34–39) New York: ACM.

Goecke, L., Stiller, J. & Pech, D. (2018): Algorithmische Verständnisweisen von Drittklässler/innen beim Explorieren von programmierbarem Material. In: U. Franz, H. Giest, A. Hartinger, A. Heinrich-Dönges & B. Reinhoffer (Hg.), *Handeln im Sachunterricht* (Schriftenreihe der Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts, Band 28, S. 101–108). Bad Heilbrunn: Verlag Julius Klinkhardt.

Häussler, P. & Hofmann, L. (2000): A Curricular Frame for PhysicsEducation: Development, Comparison with Students' Interests, and Impact on Students' Achievement and Self-Concept. *Science education,* 84 (6), S. 689-705.

Hoffmann, S., Wendtland, K. & Wendtland, M. (2017): Algorithmisieren im Grundschulalter In I. Diethelm (Hrsg.), *Informatische Bildung zum Verstehen und Gestalten der digitalen Welt* (GI-Edition. Proceedings, Bd. 274, S. 73–82). Bonn: Köllen.

Hollander, M.; Wolfe, D. A. (1973): *Nonparametric Statistical Methods.* New York: John Wiley & Sons. S. 27–33.

Holm, S. (1979): A simple sequentially rejective multiple test procedure. *Scandinavian Journal of Statistics*. 6, S. 65–70.

Kahlert, J. (2016): *Der Sachunterricht und seine Didaktik.* 4. aktualisierte Auflage. (UTB Schulpädagogik, Pädagogik, 3274). Bad Heilbrunn: Verlag Julius Klinkhardt.

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* (GI-Edition. Proceedings, Bd. 274, S. 31–48). Bonn: Köllen.

Köster, H. (2006): *Freies Explorieren und Experimentieren. Eine Untersuchung zur selbstbestimmten Gewinnung von Erfahrungen mit physikalischen Phänomenen im Sachunterricht* (Studien zum Physik- und Chemielernen, Bd. 55). Berlin: Logos-Verlag.

Krapp, A. & Prenzel, M. (2011): Research on Interest in Science: Theories, methods, and findings. *International Journal of Science Education,* 33(1), S. 27–50.

Krapp, A. (1992): Interesse, Lernen und Leistung - Neue Forschungsansätze in der Pädagogischen Psychologie. *Zeitschrift für Pädagogik* 38 (5), S. 747-770.

Krapp, A. (1999): Intrinsische Lernmotivation und Interesse. *Zeitschrift für Pädagogik*, 45(3), S. 387–406.

Petersen, U.; Theidig, G.; Börding, J.; Leimbach T.; Flintrop, B. (2007): *Roberta Abschlussbericht - Laufzeit 01.11.2002 - 28.2.2007*. Zugriff am 05.09.2019 http://edok01.tib.uni-hannover.de/edoks/e01fb08/ 557939003.pdf.

Petrut, S.-J., Bergner, N. & Schroeder, U. (2017): Was Grundschulkinder über Informatik wissen und was sie wissen wollen. In: I. Diethelm (Hrsg.), *Informatische Bildung zum Verstehen und Gestalten der digitalen Welt* (GI-Edition. Proceedings, Bd. 274, S. 63–72). Bonn: Köllen.

R Core Team (2019): *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. Wien: R Foundation for Statistical Computing.

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.

Schäffer, K. & Mammes, I. (2015): Zur Bedeutung informatischer Bildung in der Grundschule – Das Konstrukt des informatischen Verständnisses von Grundschülern. In: D. Blömer, M. Lichtblau, A.-K. Jüttner, K. Koch, M. Krüger & R. Werning (Hrsg.), *Perspektiven auf inklusive Bildung* (S. 174–180). Wiesbaden: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-658-06955-1_26

Schwill, A. (2001): Ab wann kann man mit Kindern Informatik machen? In: R. Keil-Slawik & J. Magenheim (Hrsg.): *INFOS 2001 – 9. GI-Fachtagung Informatik und Schule,* (S. 13–30).

Serafini, G. (2011): Teaching Programming at Primary Schools: Visions, Experiences, and Long-Term Research Prospects. In: I. Kalaš & R. T. Mittermeir (Hrsg.), *Informatics in schools. Contributing to 21st century education; 5th International Conference on Informatics in Schools: Situation, Evolution and Perspectives*, ISSEP 2011, Bratislava, Slovakia, October 26 - 29, 2011; proceedings (Lecture Notes in Computer Science, vol. 7013, vol. 7013, S. 143–154). Berlin: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-24722-4_13

Stalder, F. (2016): *Kultur der Digitalität*. Suhrkamp Verlag.

Straube, P., Brämer, M., Köster, H. & Romeike, R. (2018): Eine digitale Perspektive für den Sachunterricht? Fachdidaktische Überlegungen und Implikationen. *Widerstreit Sachunterricht,* (24). Zugriff am 06.03.2019. Verfügbar unter http://www.widerstreit-sachunterricht.de/ebeneI/superworte/zumsach/straubeetal.pdf

Straube, P., Madany Mamlouk, N., Köster, H., Nordmeier, V., Müller-Birn, C. & Schulte, C. (2013): DoInG – Informatisches Denken und Handeln in der Grundschule. *PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*. Zugriff am 20.11.2018. Verfügbar unter http://phydid.physik.fu-berlin.de/index.php/phydid-b/article/download/422/566 .

Weigend, M. (2009): Algorithmik in der Grundschule. In: B. Koerber (Hrsg.*), Zukunft braucht Herkunft - 25 Jahre "INFOS - Informatik und Schule"* (GI-Edition / Proceedings, vol. 156, S. 97–108). Bonn: Ges. für Informatik.

Wickham, H. (2018): ggplot2: *Elegant Graphics for Data Analysis.* New York: Springer. URL: http://moderngraphics11.pbworks.com/f/ggplot2-Book09hWickham.pdf.

# Analoge vs. digitale Uhrzeitformate

- Ein zeitloses Für und Wider? -

**Philipp Raack**

Universität Siegen, Didaktik der Physik, Adolf-Reichwein-Straße 2, 57068 Siegen
raack@physik.uni-siegen.de

**Kurzfassung**

Die Zeit ist eine fundamentale physikalische Größe, die auch für die Schulphysik einen unbestritten hohen Stellenwert besitzt. Bereits in der Primarstufe wird ein Grundverständnis des Zeitbegriffs vermittelt, insbesondere in den Fächern Sachunterricht und Mathematik wird auf verschiedene Aspekte des Phänomens „Zeit" eingegangen: Kennenlernen von Zeitstrukturen, Einführung des Kalenders, mit Zeitintervallen und -punkten rechnen, aber vor allem die Uhr zu *lesen* sind grundlegende Kompetenzen, die die Schüler*innen erlernen sollen.
In Bezug auf die Fähigkeit des Uhr-Ablesens stellt sich die Frage nach der Aktualität des analogen Uhrzeitformats und ob dieses weiterhin gelehrt werden solle. Im Rahmen dieses Beitrags werden analoge und digitale Repräsentationsformen der Uhrzeit u.a. auf deren didaktische Potentiale und Grenzen hin kritisch beleuchtet, um der teilweise sehr subjektiv und emotional geführten Debatte rund um die Abschaffung analoger Formate mehr Substanz zu verleihen. Als hilfreich können sich dabei beispielsweise Befunde aus Studien der Kognitionspsychologie erweisen, anhand derer sich didaktische Empfehlungen ableiten lassen.

## 1. Diskussion

Im Mai 2018 berichtete das Nachrichtenmagazin „Der Spiegel" auf seiner Internetpräsenz von Überlegungen britischer Lehrkräfte, analoge Uhren abzuschaffen und diese durch digitale Uhren zu ersetzen [1]. Hintergrund dieser Maßnahme soll das zunehmende Unvermögen der Kinder und Jugendlichen im Umgang mit analogen Zifferblattdarstellungen sein. Insbesondere in Prüfungssituationen haben Schüler*innen damit zu kämpfen, sich die noch zu verbleibende Zeit einzuteilen. Malcolm Trobe – stellvertretende Generalsekretär des britischen Schulleiterverbandes ASCL – behauptet, Schüler*innen würden bei der Einteilung der Restzeit mit digitalen Uhrzeitformaten weniger Fehler machen, da sie tagtäglich fast ausschließlich mit ebendiesen Formaten in Berührung kämen. In Anbetracht der auch bei Kindern und Jugendlichen stetig wachsenden Abundanz von Smartphones, Tablets und anderen mobilen Endgeräte ist dies keine Überraschung, da die Uhrzeit dort zumeist – womöglich aus platzökonomischen Gründen – in digitaler Form angezeigt wird.

Handelt es sich bei diesem Wechsel von analogen zu digitalen Uhren lediglich um eine Veränderung im Zuge des technologischen Fortschritts und der flächendeckenden Digitalisierung; oder kann gar von einer nachhaltigen Wachablösung im Sinne eines „Kulturverlustes" die Rede sein? Nur am Rande sei an dieser Stelle auf ähnlich gelagerte, aber keineswegs direkt vergleichbare Fälle verwiesen, wie zum Beispiel den (immer früher einhaltenden) Einzug des Taschenrechners in den Mathematikunterricht, der ebenfalls kontrovers diskutiert wurde und wird.

Anhand der 145 Leserkommentare unter dem Online-Artikel erhält man einen ersten Eindruck des offenbar sehr gespaltenen Meinungsbildes rund um das zu bevorzugende Format und dessen Vor- und Nachteile. Die dort teils mit einem Übermaß an Subjektivität angereicherten Standpunkte sind für eine rationale Bewertung wenig hilfreich, insbesondere auf der Suche nach einer fundierten Antwort, welche/s Format/e gelehrt werden sollte/n. Abhilfe kann ein Blick in die kognitionspsychologische Forschung schaffen, um beispielsweise wesentliche Unterschiede beider Uhrzeitdarstellungen und objektivierte Empfehlungen für die Unterrichtspraxis herauszuarbeiten.

## 2. Empirische Befunde zu beiden Zeitformaten

Eine der wichtigsten Studien auf diesem Gebiet ist die von Friedman et al. durchgeführte Untersuchung zu Ablesefähigkeiten und Zeitintervalloperationen mit beiden Formaten von Schüler*innen der Klassenstufen 1 bis 5 [2]. Dabei sollte zunächst lediglich die korrekte Uhrzeit von analogen und digitalen Zeitformaten abgelesen werden. Die Ergebnisse im digitalen Bereich liegen wenig überraschend knapp unterhalb der hundertprozentigen Makellosigkeit, da bei digitalen Darstellungen die Aufgabe einzig darin besteht, die bezifferten Stellenwerte zu identifizieren. Bei den analogen Uhrzeitdarstellungen treten nur bei „krummen" Uhrzeiten (z.B. --:43) leichte Schwierigkeiten auf; die Lösungshäufigkeiten wachsen bei diesem Format klassenübergreifend sukzessive an und erreichen in der 5. Klasse bei circa 80% einen Höchstwert, dem ein Wert von 34% in der 2. Klasse gegenübersteht.

| | Analog | | | Digital | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Klassenstufe | --:30 | --:23 | --:50 | --:30 | --:23 | --:50 |
| 2 | 59 | 16 | 41 | 50 | 28 | 25 |
| 3 | 72 | 34 | 53 | 78 | 41 | 47 |
| 4 | 97 | 53 | 75 | 97 | 50 | 59 |
| 5 | 91 | 44 | 72 | 91 | 72 | 75 |
| Mittelwert Ø | 80 | 37 | 60 | 79 | 48 | 52 |

**Tab. 1:** Ergebnisse zu Zeitintervalloperationen mit analogen und digitalen Uhren, Werte entnommen aus: [1]

Von besonderem Interesse für die u(h)reigenen Unterschiede beider Formate sind die Ergebnisse der oben bereits erwähnten Zeitintervalloperationen, die die Probanden ebenfalls mit beiden Formaten und identischen Test-Zeiten durchführen sollten. Die Kinder wurden angeleitet, diverse Uhrzeiten unterschiedlichen Schwierigkeitsgrades (z.B. 4:30 Uhr, 4:23 Uhr und 4:50 Uhr mit variierenden Stundenwerten) zu ermitteln und diese gedanklich um 30 Minuten zu ergänzen („*Wie spät wäre es in 30 Minuten?*“). Die prozentualen Anteile an korrekten Lösungen sind in Tabelle 1 wiedergegeben. Die weit unterdurchschnittlichen Ergebnisse aus der 1. Klasse wurden hier im Gegensatz zur Originalquelle nicht für die Mittelwertbildung berücksichtigt, da sie dessen Aussagekraft zu stark beeinträchtigen. Darüber hinaus erscheinen die schlechten Ergebnisse im ersten Schuljahr wenig verwunderlich, da die Uhr zumeist erst im darauffolgenden Jahr gelehrt wird und auch die mathematischen Grundlagen für den sicheren Umgang mit beiden Uhrzeitdarstellungen noch nicht vorausgesetzt werden können.

Während die Halb-Zeiten (--:30) mit circa 80% nahezu identische Lösungshäufigkeiten für beide Formate aufweisen, lassen sich bei den anderen Zeiten konträre Tendenzen erkennen (vgl. Tab. 1): den Ergebnissen zufolge wurde die Rechenoperation bei den 23-Nach-Zeiten (--:23) mit dem digitalen häufiger als mit dem analogen Format gelöst (48% zu 37% pro digital). Bei den Zehn-Vor-Zeiten (--:50) wiederum verkehren sich die Anteile interessanterweise (60% zu 52% pro analog). Über die zugrunde liegenden Ursachen für diese Umverteilung liefern die ebenfalls erhobenen Lösungsstrategien der Schüler*innen Aufschluss (vgl. Tab. 2).

In Tabelle 2 sind zu jeder Lösungsmethode der prozentuale Anteil für beide Uhrzeitformate aufgelistet; die farbliche Kodierung entspricht jener von obiger Tabelle 1. Fett markiert sind die Strategien, die je Uhrzeit am häufigsten angewandt wurden. So erkennen wir rasch, dass bei der analogen Uhr jeweils verschiedene Ansätze (Vervollständigung der Stunde, Addition und 5er-und/oder-10er-Schrittzählung) Anwendung fanden, während beim digitalen Format einzig die Methode der Addition bei verschiedenen uhrzeitlichen Konstellationen dominierte.

### 2.1. **Didaktische Implikationen**

Aus diesen Ergebnissen lassen sich immens wichtige Erkenntnisse für den schulrelevanten, gewissenhaften Umgang mit beiden Uhrzeitformaten ableiten. Wie es bereits die unterschiedliche Verteilung der fett markierten, häufigsten Lösungsstrategien suggeriert, scheint sich die analoge Uhr durch eine Vielseitigkeit ihrer Lösungsansätze auszuzeichnen, während beim digitalen Format das additive Verfahren offenbar nahezu konstitutiven Charakter besitzt.

| Methode | --:30 | | --:23 | | --:50 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Lösung gewusst | 17 | 14 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 5er oder 10er-Schritte | 16 | 9 | 31 | 17 | **55** | 19 |
| Addition | 22 | **35** | **51** | **70** | 21 | **60** |
| Stunde vervollständigt | **32** | 22 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Minutenzeiger | 10 | - | 4 | - | 10 | - |
| Analog-Bezug | - | 12 | - | 3 | - | 12 |
| Anderes | 3 | 8 | 14 | 9 | 13 | 7 |

**Tab. 2:** Lösungsstrategien korrekter Antworten, in Bezug zu Tab. 1 (analog = grün, digital = rot), Werte entnommen aus [1].

Hier nicht abgebildet, aber der Vollständigkeit halber erwähnenswert ist, dass die Strategie „Addition“ auch bei den falschen Antworten zur Digitaluhr stets den größten Anteil ausmacht.

Die strategische Mannigfaltigkeit der Zugänge auf der einen und die dominante Einfalt auf der anderen Seite bergen freilich Vor- und Nachteile. So ließe sich pro Digitaluhr argumentieren, dass für die Rechnungen mit Zeitspannen via Analoguhr gleich mehrere Fähigkeiten vonnöten seien, wohingegen für die Digitaluhr lediglich arithmetische Grundprinzipien erforderlich sind. Diese äußerst pragmatische Betrachtungsweise greift im pädagogisch-didaktischen Rahmen nach Auffassung des Verfassers jedoch zu kurz. Wir werden im späteren Verlauf noch genauer verstehen, inwiefern diese eindimensionale Methodik im

Umgang mit Zeitspannen auf digitalem Format ein Problem darstellen kann (vgl. Kap. 3).

Erste Hinweise darauf lassen sich bereits den Angaben aus Tabelle 2 entnehmen. So gelang es bei den 23-Nach-Zeiten noch 70% der Schüler*innen mit der Digitaluhr dieser Uhrzeit erfolgreich eine halbe Stunde hinzuzufügen, bei den Zehn-Vor-Zeiten hingegen gelang dies nur noch 60%. Der zugegeben geringe, dennoch vorhandene Rückschritt in der Lösungshäufigkeit kann auf mathematische Schwierigkeiten zurückgeführt werden, die beim Übertrag zur vollen Stunde und dem Rechnen darüber hinaus entstehen. Eine erschwerende Besonderheit des hier stattfindenden, teilschrittartigen „Päckchen Rechnens“ ist der Transfer vom vertrauten Dezimal- zum Sexagesimalsystem der Minutenzählung.

### 2.2. **Statistiken zu tragbaren Uhren**

In Anbetracht der hier nicht vollumfänglich zur Entfaltung kommenden Analyse aller Rechenoperationen beider Uhrzeitformate liefert die dargestellte Problematik rund um die Additionslastigkeit bei Digitaluhren exemplarisch erste Anhaltspunkte, die eingangs erwähnte Hypothese von Trobe mit angemessener Skepsis zu betrachten.

Die Frage nach Ursache und Ausmaß der vermehrt aufkommenden Schwierigkeiten junger Menschen die Zeigeruhr zu entziffern, stellt einen überaus wichtigen Aspekt in der derzeitigen Diskussion dar. Angesichts der stetig fortschreitenden Digitalisierung unserer und der Umwelt unserer Kinder, kommt man unweigerlich zu dem Schluss, dass die enorme Verbreitung von mobilen Endgeräten (Smartphones, Tablets, Smartwatches, etc.) als Hauptursache genannt werden muss. Darüber herrscht in der Fachliteratur Konsens.

Als Indikator für den voranschreitenden Verlust der Lesefähigkeit analoger Uhren kann ein Vergleich zwischen früheren und aktuellen Studien herangezogen werden. Nach einer Studie aus Oklahoma aus dem Jahre 2017 besitzen gar nur rund 10 Prozent der 6- bis 12-Jährigen eine analoge Armbanduhr. Einer deutschen Studie zufolge aus den 1980er-Jahren stehen diesem Wert mit 34 Prozent an Uhrenträgern gegenüber [3, 4].

Aus dem Besitz einer analogen Uhr allein kann freilich nicht auf die sichere Beherrschung ebenjener geschlossen werden. Dennoch lässt sich ein Zusammenhang vermuten, wenn man die Lösungshäufigkeiten zur Ablesungssicherheit der beiden genannten Studien vergleicht. So waren in den frühen Achtzigerjahren nach der deutschen Erhebung in der 4. Klasse beispielsweise noch 78% der Angaben korrekt, im Jahr 2017 sind es in Oklahoma über Klassen 1 bis 7 gemittelt nur noch 20%. Dieser Mittelwert ist deswegen so drastisch, weil in dessen Berechnung die Ergebnisse des ersten Schuljahres ebenfalls eingeflossen sind. Es handelt sich hierbei also um eine eingeschränkte Vergleichbarkeit.

Eine australische Studie der Queensland University of Technology kommt bei analogen Uhren auf einen Anteil von gemittelten 68% (ohne 1. Klasse). Das Bemerkenswerte an allen Studien zu diesem Sachverhalt ist, dass die Anzahl der korrekten Antworten übereinstimmend mit den Klassenstufen zunimmt, obwohl die Uhr zumeist in Klasse 2 gelehrt und in folgenden Schuljahren nicht weiter thematisiert wird. Der Zuwachs kann also nur damit erklärt werden, dass die Kinder ihre Uhrlesefähigkeit außerhalb der Schule unwillkürlich verbessern. Hier kommt die außerordentliche Bedeutung der Alltagsbedingungen der Kinder zum Vorschein, wenn es um die Frage geht, mit welchem Uhrzeitformat sie konfrontiert werden. Geht man von der gut dokumentierten Verbreitung mobiler Endgeräte und deren Stellenwert in der Lebenswelt von Kindern und Jugendlichen aus, wäre eine aktuelle Untersuchung der mutmaßlichen Dominanz des digitalen Formats wünschenswert.

### 2.3. **Fragwürdige Zeitökonomie**

Ein weiterer, wesentlicher Unterschied bei der Handhabung beider Formate findet sich auf der Ebene kognitionspsychologischer Prozesse. Im Rahmen einer kooperativen Studie der Universitätskliniken Aachen und Nimwegen wurde untersucht, ob und bei welchen verbalen Uhrzeitangaben ein zugrunde liegendes Uhrverständnis erforderlich ist [5]. Den Probanden wurden verschiedene Uhrzeiten in analogem und digitalem Format präsentiert, die sie erkennen und artikulieren sollten. Zuvor wurden sie jedoch blockweise angewiesen, die Uhrzeit entweder in relativer („Viertel vor vier“) oder absoluter Form („drei Uhr fünfund-

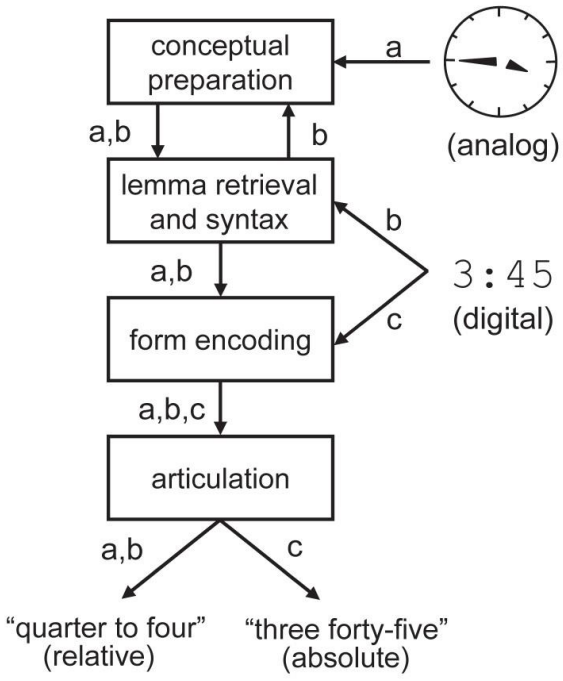



**Abb. 1:** Kognitives Verarbeitungsschema verschiedener Artikulationsmodi [5]

vierzig“) anzugeben.

Abbildung 1 veranschaulicht drei Wege, die ausgehend vom jeweiligen Uhrzeitformat in eine relative oder absolute Wiedergabe der Uhrzeit münden. Der wesentlichste Unterschied zwischen den relativen (a, b) und den absoluten (c) Pfaden besteht in der Aktivierung des (analogen) Uhrlesekonzeptes. Exemplarisch sei dies an Pfad b erläutert, wenn nach erfolgreicher Identifizierung der Digits (Zifferstelle) der erkannte Uhrzeitwert auf das analoge Konzept übertragen, darin verarbeitet, decodiert und letztlich artikuliert wird. Pfad c hingegen kennzeichnet einzig die Dechiffrierung der digitalen Anzeige und die stellenwertgerechte Äußerung ebendieser.

Darüber hinaus wurde für alle drei „Routen" die Zeit von der in Augenscheinnahme bis zur Artikulation der Uhrzeit gemessen. Die nachstehende Tabelle 3 zeigt neben den Durchschnittswerten über alle in der Studie erhobenen Uhrzeiten hinweg beispielhaft zwei Uhrzeiten (--:00 „volle Uhrzeiten" und --:20 „Zwanzig-Nach-Zeiten"), für die die wenigste und meiste Zeit benötigt wurde.

| | (a) Analog relativ | (b) Digital relativ | (c) Digital absolut |
|---|---|---|---|
| --:00 | 976 | 576 | 477 |
| --:20 | 1054 | 748 | 487 |
| Ø | 1016 | 670 | 484 |

**Tab. 3:** Gemessene Zeitspannen in Millisekunden von Erfassung bis Artikulation bei verschiedenen Uhrleseparadigmen, Werte entnommen aus [5]

Auf eine detaillierte Darstellung der jeweiligen Standardabweichungen wird an dieser Stelle verzichtet, dennoch soll angemerkt werden, dass diese im Verhältnis a:b:c wie 3:1,5:1 zueinander stehen. Anhand der Mittelwerte wird deutlich, dass die digital-absolute Uhrzeitangabe im Schnitt weniger als die Hälfte der Zeit beansprucht, die es für die analog-relative Methode braucht. Variante (b) benötigt ebenfalls weniger Zeit, muss aber nach erfolgreicher Ermittlung der Stunden- und Minutenwerte noch in das analoge Zifferblatt-Konzept transferiert werden, wodurch die leichte Verzögerung im Vergleich zu (c) erklärt werden kann.

Zurück zur didaktischen Diskussion: Wir sehen, dass die absolute Zeitangabe via Digitaluhr mit Abstand am schnellsten erfolgt. Pro Ablesung lässt sich also mehr als die Hälfte der Zeit „einsparen". Sollte die dokumentierte, zeitliche Effizienz nicht Argument genug sein, um sich für digitale Formate auszusprechen? Ein Kritikpunkt hinsichtlich dieser wenig subtilen Suggestivfrage besteht in der (Nicht-)Beteiligung des bildlichen Zifferblattkonzeptes, das offenbar – dem Modell aus Abb. 1 folgend – für die längere kognitive Verarbeitungszeit verantwortlich zu sein scheint. Demgegenüber steht der schnellere, digital-absolute Weg, der ebendiese Schleife nicht durchläuft und demnach auch als „konzeptlose" Wiedergabe der Uhrzeit bezeichnet werden kann. Ähnliche Ergebnisse erbrachten auch andere Studien, in denen der Unterschied zwischen konzeptgestützten (eigenständige Erfassung und Benennung eines Objektes) und konzeptlosen Prozessen (Lesen des Objekt-Namens) untersucht wurde [6].

Die Forscher*innen der Studie zu den Uhrzeitformaten formulieren den Scheinvorteil der digital-absoluten Ablesung in ihrem Schlusswort äußerst treffend: „Evidently, speakers can tell time without having to know what time it is" [5].

Diese Erkenntnis mag erwachsene Menschen vielleicht zu einem Denkanstoß anregen, die eigene Perspektive auf beide Formate reflexiv neu zu bewerten. Gegenüber Kindern jedoch, die in der Primarstufe erstmals an die Uhrzeit herangeführt werden und dem Dargebotenen keinerlei kritische Haltung entgegensetzen können, sollte ein gänzlich anderes Verantwortungsbewusstsein herrschen. Bei allen Erschwernissen und Widrigkeiten, die sich auf dem Weg zur sicheren Beherrschung der analogen Darstellungsweise auftun, darf trotzdem der Bequemlichkeit halber keine vermeintliche „Abkürzung" über das digitale Format führen. Im letzten Kapitel des vorliegenden Artikels wird sich dieser Grundfrage ausführlicher gewidmet.

Im Anschluss an die vorgestellte Studie wäre indes eine Untersuchung von großem Interesse, in welcher Form (relativ oder absolut) digitale Uhrzeitdarstellungen intuitiv abgelesen werden, *ohne* jegliche Artikulationsanweisung im Vorfeld zu erteilen und welche Rückschlüsse daraus auf die Praktikabilität im Umgang mit Zeitintervallen gezogen werden können.

## 3. Charakteristika der Uhrzeit-Formate

Die bisher gewonnenen Erkenntnisse der vorgestellten Studien wurden in Tabelle 4 unter grundschulrelevanten Gesichtspunkten eingepflegt. Neben der vordergründigen Absicht der resümierenden Gegenüberstellung beider Uhrzeitformate hinsichtlich Ablesung, Intervalloperationen und generellen Schwierigkeiten, werden im unteren Feld auch philosophische Ansätze aufgezeigt, die sich zum Phänomen „Zeit" in analogen und digitalen Darstellungen manifestieren.

### 3.1. Ablesung der Uhrzeit

Der erste Block der Tabelle soll Voraussetzungen, aber auch Herausforderungen beim Ablesen beider Uhrzeitformate umreißen. Die aufgeführten Erfordernisse, beispielsweise für die Erlernung der analogen Uhr, rufen den (mathematischen) Komplexitätsgrad für Schüler*innen der 2. Klasse erneut hervor und sensibilisieren für die aus der Sicht eines Anfängers anspruchsvollen Fertigkeiten. Die unterschiedlichen Skalen des Stunden- und Minutenzeigers (manchmal auch Sekundenzeigers) oder aber auch einzelne Ziffern verlangen flexible Interpretations- und Transfer-

| Analog | Digital |
|---|---|
| **Uhrzeit ablesen – Voraussetzungen und Herausforderungen** | |
| Komplexität einzelner Ziffern, Bsp. 9: „neun“, 45, Viertel (vor), drei Viertel, 21 bzw. 9 am/pm | Konzeptloses Erfassen der digitalen Anzeige |
| Stunden-/Minutenanzeige: 1/5, 2/10, ... , 4/20 usw. (Multiplikation mit 5) | Zahlenraum bis 60, Stellenwerte 0 bis 9, numerisch, informatisch |
| Relative Ablesung beider Zeiger (Bruchbezüge) | |
| **Zeitintervalle addieren/ subtrahieren** | |
| Methodenvielfalt: ikonisch (z.B. halbe Stunde = diametrale Spiegelung am Uhrmittelpunkt) und enaktiv lösbar (analoge Lernuhr kinästhetisch erfahrbar) | Ohne Transfer auf analoges Zifferblatt nur arithmetisch |
| Bildliche Unterstützung beim „Abgehen“ von 5er- und 10er-Schritten | Abstraktes, numerisches Vorstellungsvermögen, Berücksichtigung verschiedener Stellenwertsysteme |
| **Artikulatorische Schwierigkeiten** | |
| Rechenoperationen z.B. von 7 Uhr morgens bis 12 Uhr mittags, dann wieder von „1“ (13) Uhr zu 2 (14) Uhr | |
| **Philosophie und Potentiale der Uhrzeitformate** | |
| Veranschaulichung der zyklischen Struktur der Zeit | Isolierte Abzählcharakteristik der Zeit |
| Zeit als analoges Kontinuum | Diskrete Uhrzeitwerte |
| Bezug zu Zeitdimensionen „Vergangenheit – Gegenwart – Zukunft“; kontinuierlich fortschreitendes Verstreichen der Zeit | „Bewegungslos“, reduziert auf infinitesimale Gegenwart |
| Sprachgebräuchliches Kulturgut: Im Uhrzeigersinn, Validität des diagnostischen draw-a-clock-Tests, Nutzbarkeit als Kompass, Raum-Navigation („auf 3 Uhr“) oder Stoppuhr | Didaktik: (Un)Zugänglichkeit für Kinder mit Dyskalkulie, andere Lernschwächen<br>Alltag: raumökonomisch (Displays) |

**Tab. 4:** Gegenüberstellung diverser Charakteristika analoger und digitaler Uhrzeitformate

leistungen, wie dort am Beispiel der „9“ des Zifferblattes illustriert. Nach erfolgreicher, noch voneinander isolierter Identifizierung der Stunden- und Minutenwerte müssen diese in Relation zueinander gesetzt und uhrzeitlichen Sprachkonventionen folgend artikuliert werden. Bei „markanten“ Uhrzeiten werden bei der Versprachlichung Bezüge zu elementaren Bruchwerten herangezogen („viertel“, „halb“), die für Grundschulkinder vermutlich zunächst lediglich auswendig gelernte Wortmarken darstellen. Dennoch kann hier schon wertvolle Vorarbeit geleistet und ein Fundament für (kontextorientiertes) Bruchrechnen gegossen werden.

Die Ablesung der Digitaluhr – wie bereits im vorangegangenen Abschnitt besprochen – erfordert zumindest für die (womöglich in digitaler Weise begünstigte) absolute, flüchtige Ablesung keinerlei Konzept. Eine analoge Einbettung erfolgt allenfalls bei der relativen Angabe, deren nähere Untersuchung auf Grundlage digitaler Anzeigen bereits vorgeschlagen wurde (vgl. 2.3).

### 3.2. **Umgang mit Zeitintervallen**

Die wichtigsten Unterschiede im Umgang mit Zeitintervallen bei beiden Formaten wurden in Abschnitt 2 und 2.1 offenbart. Es zeigte sich, dass die Methode der Addition bei der Verwendung von Digitaluhren den Anspruch der Unvermeidbarkeit erhebt, während die analoge Uhr den Nutzer*innen vielfältige Lösungsstrategien eröffnet (vgl. Tab. 2). Insbesondere in der Grundschule sollte ein breites Angebot an Repräsentationsformen eine didaktische Selbstverständlichkeit sein, das den flexiblen Wechsel zwischen verschiedenen Darstellungen beliebiger Inhalte erlaubt, um unterschiedliche Zugänge zu gewährleisten. Bezüglich der analogen Uhr muss hier die plastische Lernuhr als das geläufigste Beispiel genannt werden, mit der die Schüler*innen ein Gefühl für die Umlaufmechanik der Zeiger erfahren können. Dem in der Didaktik häufig herangezogenen, lernpsychologischen Grundmuster von Bruner folgend – auch als „EIS-Prinzip“ (Enaktiv, Ikonisch, Symbolisch) – entspricht die praktische Herangehensweise an die materielle Uhr dem „enaktiven“ Zugang [7]. Auf einer höheren Abstraktionsebene folgt dann die ikonische Darstellung in Form des analogen Zifferblattes, um (gedankliche) Kalkulationen mit Zeitspannen bildlich zu unterstützen. Exemplarisch seien hier die diametrale Spiegelung des Minutenzeigers am Uhrmittelpunkt genannt, um in die halbstündige „Zukunft zu

sehen“, wie es auch in obiger Studie von den Probanden gefordert wurde, oder das Rechnen mit Winkelfeldern. Die Versprachlichung der Uhrzeit bezüglich des analogen Konzepts stellt darüber hinaus eine weitere, sprachliche Repräsentationsebene dar.

Das Format der digitalen Anzeige entspricht der stärksten Ausprägung auf der Abstraktionsskala: der symbolisch-mathematischen Darstellung. Auf diesem anschaulichkeitsfernen Niveau erscheint es naheliegend, dass die rein additive, eher anspruchsvolle Methode unter den Lösungswegen die (nahezu) einzige ist (vgl. Tab. 2). Der Schwierigkeitsgrad wird noch erhöht, wenn wie im mathematischen Größenfeld der Uhr mit verschiedenen Stellenwertsystemen operiert werden muss.

Paradoxerweise steht dem höchsten Abstraktionsgrad hinsichtlich digitaler Darstellung und Rechenoperationen die schnelle, sehr anforderungsarme Ablesung der Uhrzeit dort gegenüber. Exakt darin liegt ein fundamentaler Irrtum bedenklichen Ausmaßes begründet, man könne notwendige Anforderungen für ein vollumfängliches „Zeitverständnis“ mit Hilfe einer Abkürzung über den pseudo-effizienteren, digitalen Weg umgehen.

### 3.3. **Didaktische Potentiale**

Vor dem Hintergrund des besonderen Anspruchs der Kopfrechenfähigkeit müssen bei einer zeitgemäßen Bewertung analoger und digitaler Uhrzeitformate Schüler*innen mit diagnostizierten Rechen- oder auch generellen Lernschwächen berücksichtigt werden. Mehrere Studien bestätigen übereinstimmend einen korrelativen Zusammenhang zwischen Leistungen im Fach Mathematik und der Fähigkeit, u.a. die Uhr zu lesen [4, 8]. Hier entsteht angesichts der einerseits leichter zu bewältigenden Ablesung beim digitalen Format, aber sehr kopfrechenlastigen Operationen mit Zeitspannen auf der anderen Seite eine besondere Herausforderung für Lehrkräfte und betroffene Lernende. Überaus interessant, aber gleichwohl äußerst diffizil bis unmöglich wäre eine empirische Untersuchung, die über solche, quantitativ gut erfassbaren Zusammenhänge hinausgeht und negative Konsequenzen im alltäglichen Umgang mit „Zeit“ bei Lernschwächeren offenlegt, die womöglich auf das Nichtvorhandensein eines konzeptgestützten Uhr-Verständnisses zurückzuführen sein könnten. Damit sind keineswegs populärwissenschaftliche Ratschläge für ein modernes Zeitmanagement gemeint, sondern vielmehr basale Fähigkeiten, die am treffendsten mit zeitlichem Orientierungsvermögen zu bezeichnen sind (Pünktlichkeit, reflektiertes Zeitgefühl, Zeitstrukturen, etc.).

Das allgemeindidaktisch akzeptierte Abstraktionsmodell nach Leisen kann für unsere Diskussion bezüglich der Uhrzeitformate und ihrer (Lehr-)Berechtigung ebenfalls einen wertvollen Beitrag leisten [9]. Dabei entspricht die materielle, zumeist analoge Lernuhr der gegenständlichen Darstellungsebene, auf der sich mit der Uhr handgreiflich vertraut gemacht werden kann; das analoge Zifferblatt kann den bildlichen Darstellungen und das digitale Format der symbolisch-mathematischen Ebene zugeordnet werden. Über den wachsenden Anspruchsgrad mit steigender Abstraktion haben wir in Anlehnung an Bruners recht ähnlichem Modell bereits gesprochen. Leisen empfiehlt darüber hinaus idealerweise einen gut frequentierten Wechsel aller Darstellungsformen, um der Heterogenität der Lerngruppe mit Zugängen zu unterschiedlichen Wahrnehmungskanälen zu begegnen (vgl. [9]).

Anhand dieser polyabstrakten Erscheinungsformen lässt sich zudem die Vieldimensionalität des Phänomens „Zeit“ unter interdisziplinären Blickwinkeln aufzeigen. Die Analoguhr als illustrierter Repräsentant der zyklischen Struktur der Zeit erlaubt nahe liegende Verknüpfungen zu menschheitsgeschichtlichen Ursprüngen der Zeitmessung und ihrer Orientierung an der Periodizität der Himmelskörper, derer man sich im Laufe der technologisierten Zeit sukzessive abwandte.

Der analogen, räumlichen Zeigerbewegung steht die digitale Zeitanzeige gegenüber, die die Zeit auf ihre für Menschen leicht fassliche Abzählcharakteristik reduziert. In ihrer für den Schulrahmen übererforderlichen Akkuratesse verzichtet sie dabei auf jegliche räumliche Bewegung – ohne die jede Zeitmessung unmöglich wäre – und umfasst in der Repräsentation einzig die infinitesimale Gegenwart. Im engsten Wortsinn können wir bei der digitalen Anzeige auch von diskreten Uhrzeitwerten sprechen, die in häufiger Abwesenheit einer Sekundenangabe ein „Zeitverstreichen“ im Minutentakt suggeriert. Die digitale Anzeige liefert fortwährend ein Ergebnis als Antwort auf eine Frage, die (sich) niemand mehr stellen muss.

Möchten wir die Zeit als eine kontinuierlich verstreichende Größe verstehen, unterstützt die verbildlichte Uhr diese Anschauung mit Hilfe ihrer jeweils gleichförmig rotierenden Zeiger. Das analoge Format schlägt eine Brücke zwischen der bereits erwähnten zyklischen Struktur der Zeit und ihren linearen Dimensionselementen Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft. Beim Blick auf jede Uhr interessiert primär freilich die aktuelle Uhrzeit, das analoge Blatt kann im Rahmen des peripheren Blickfeldes jedoch auch Bezüge zu den genannten, verstandesgemäß konstruierten Zeitdimensionen herstellen, indem vor dem geistigen Auge etwa relative Zeigerstellungen miteinander verglichen werden können. Die Zeit – genauer gesagt der Zeitpunkt – wird im zirkulären Zeigersystem sozusagen aus ihrer dreigliedrigen, prozessualen „Wirklichkeit“ heraus interpretiert. Im digitalen Pendant dagegen wird der instantane Moment aus dieser Vergangenheit und Zukunft umfassenden Realität herausgelöst und ihre natürliche, beobachtbare Erscheinung wegrationalisiert. Mit der gewonnenen Präzision der Digitaluhr erkauft sich der Nutzende eine klinische Zeit mit sequenziellen Gegenwartsmomenten.

Die hier am Exempel der Uhrzeit angedeutete Diskussion inklusive der besprochenen Unterschiede erstreckt sich auch auf andere Bereiche naturwissenschaftsdidaktischer Relevanz. So erscheinen generell Messgeräte aller Art mit Bedeutung für den Unterricht (Thermometer, Volt- und Amperemeter etc.) oder andere Anzeigeformate betrachtenswert, wenn zwischen analogen und digitalen Varianten gewählt werden soll. Ähnlich wie bei der Digitaluhr verschleiert ein digitales Thermometer den eigentlich von statten gehenden physikalischen Prozess und wird seitens der Lernenden aufgrund der sogenannten Technikgläubigkeit noch begünstigt. Dieser zu unkritischen Haltung sind sich junge Schüler*innen in der Regel freilich nicht bewusst und sollte somit zwingend Gegenstand didaktischer Überlegungen sein, um auf Chancen, aber auch Grenzen verschiedener Formate aufmerksam zu machen.

Neben diesen technischen und philosophischen Facetten rücken aber auch reflexive Überlegungen in den Vordergrund, die den gesellschaftlichen Umgang mit der Zeit tangieren und Fragen zum Verantwortungsbewusstsein bezüglich der grundsätzlichen Ausrichtung von (Grundschul-)Bildung aufwerfen. Wenn wir die Erkenntnisse der oben vorgestellten Studien berücksichtigen, die selbstredend nur eine erlesene Auswahl aus Literatur und Forschung darstellen können, erkennen wir kollektive Tendenzen, die über die Grenzen pädagogischer Grundfragen hinausgehen und vielmehr historisch gewachsene Entwicklungen betreffen: die Gefahr des Hilfsmittelmissbrauchs auf Kosten eines tragfähigen Verständnisses. Die Beispiele dafür sind zahlreich; ob es der Taschenrechner, das Smartphone, digitale Navigationsgeräte oder andere technische Hilfsmittel sind, die in der Anzahl ihrer Einsatzbereiche wachsen und uns den Alltag erleichtern oder „zeitsparend“ wirken, muss sich der Konsequenzen für die menschliche Denkleistungsfähigkeit ausdrücklich bewusstgemacht werden. Für Kinder gelten nicht dieselben Regeln wie für Erwachsene, da sich Schüler*innen noch in einem sensiblen, entwicklungsgeprägten Alter befinden [für vertiefende Einblicke sei hier auf das Werk „Digitale Demenz“ des Gehirnforschers Manfred Spitzer verwiesen, 10].

So gewinnt die Debatte im Rahmen der fortschreitenden Digitalisierung auch im Bildungsbereich immens an Bedeutung, da die Art und Weise, wie wir unsere Kinder erziehen und ausbilden, maßgeblich für die Gestaltung der Zukunft entscheidet. Ein Muskel, der nicht trainiert wird, verkümmert. Überlassen wir das Denken zunehmend den Maschinen, welche Aufgabe kommt dann langfristig unserem Gehirn zu?

## 4. Literatur


[1] O.V. (2018): Lehrer diskutieren über die Abschaffung analoger Uhren. In: Spiegel Online, vom 04.05.2018. Online unter: https://www.spiegel.de/lebenundlernen/schule/grossbritannien-lehrer-diskutieren-ueber-die-abschaffung-analoger-uhren-a-1206027.html, [Stand: 26.04.2019].

[2] Friedman, W.J., Laycock, F. (1989): Children’s Analog and Digital Clock Knowledge. In: *Child Development* 60 (2), S. 357-371.

[3] Parry, H. (2017): Time to learn! Eighty percent of Oklahoma City children aged six to 12 don’t know how to read a clock because they rely on smartphones and iPads to tell the time. In: Dailymail Online, vom 15.03.2017. Online unter: https://www.dailymail.co.uk/news/article-4316104/Majority-Oklahoma-City-kids-t-read-clock.html, [Stand: 26.04.2019].

[4] Schorch, G. (1982): Kind und Zeit: Entwicklungen und schulische Förderung des Zeitbewußtseins. Bad Heilbrunn/Obb.: Klinkhardt Verlag.

[5] Korvorst, M., Roelofs, A., Levelt, W.J.M. (2007): Telling Time from Analog and Digital Clocks. A Multiple-Route Account. In: *Experimental Psychology* 54 (3), S. 187-191.

[6] Levelt, W.J.M., Roelofs, A., Meyer, A.S. (1999): A theory of lexical access in speech production. In: *Behavioral and Brain Sciences* 22 (1), S. 1-38.

[7] Bruner, J., Oliver, R., Marks Greenfield, P. (1988): Studien zur kognitiven Entwicklung. Stuttgart: Kohlhammer.

[8] Burny, E., Valcke, M, Desoete, A. (2012): Clock Reading: An Underestimated Topic in Children With Mathematics Difficulties. In: *Journal of Learning Disabilities* 45 (4), S. 351-360.

[9] Leisen, J. (2007): Visualisierungen durch den Wechsel der Darstellungsformen. In: *Praxis Schule 5-10* 78 (5), S. 34-38.

[10] Spitzer, M. (2012): Digitale Demenz. Wie wir uns und unsere Kinder um den Verstand bringen. München: Droemer Verlag.

# PSΦ: Forschungsprogramm zur Studieneingangsphase im Physikstudium

**Anna B. Bauer*, Simon Lahme*, David Woitkowski*, Christoph Vogelsang*, Peter Reinhold***

*Universität Paderborn, Didaktik der Physik, Warburger Str. 100, 33098 Paderborn
anna.bauer@uni-paderborn.de

**Kurzfassung**

Die Studieneingangsphase Physik fordert von den Studienanfängern den Aufbau vielfältiger Fähigkeiten und Fertigkeiten. Diese umfassen fachliche Aspekte, z. B. den Erwerb von Fachwissen, Problemlösefähigkeiten und experimenteller Kompetenz auf universitärem Niveau. Parallel dazu müssen Prozesse der Identitätsaushandlung, Sozialisation und Enkulturation in zunächst noch neuer Lernumgebung und Fachkultur durchlaufen werden. Diese vielfältigen und von den Studierenden oft als nicht trivial empfundenen Lern- und Umstellungsprozesse finden innerhalb kürzester Zeit statt, was eine erhebliche Belastung bedeutet.
Aktuell wird die Paderborner Studieneingangsphase nach und nach inhaltlich und strukturell überarbeitet und aus verschiedenen Blickwinkeln qualitativ und quantitativ erforscht. Insgesamt liefert dieses Forschungsprogramm einen breitgefächerten Überblick über die vielfältigen Aspekte und Wirkungen der Studieneingangsphase sowie Hinweise auf verschiedene Verbesserungsmöglichkeiten.

## 1. Einleitung

Die Studieneingangsphase im Fach Physik an deutschen Universitäten stellt einen komplexen Lernprozess dar, der die ganze Person in erheblicher Weise miteinbezieht [1]. Die Studierenden müssen sich mit einem neuen Umfeld und den damit verbundenen Erwartungen, Anforderungen und Rahmenbedingungen auseinandersetzen [2]. Dieser akademische Identitätsbildungsprozess [3] ist mit Anforderungen auf mehreren Ebenen verbunden.

Auf der fachlichen Ebene müssen kognitive, physikalische und mathematische Vorkenntnisse mit den Anforderungen des Curriculums abgeglichen werden, wo klassische Vorlesungs-Übungs-Praktikums-Kombinationen dominieren, die häufig mit ungünstigen Lehr- und Lernmustern einhergehen [4]. Darüber hinaus passen die Vorkenntnisse der Studierenden häufig nicht zu den tatsächlichen Studienanforderungen [5]. So ergeben sich fachliche Schwierigkeiten, die mit hohen Studienabbruchquoten in Verbindung gebracht werden [6, 7]. Aufgrund der kumulativen Natur des Physiklernens [8] führen diese Schwierigkeiten in der Studieneingangsphase auch im späteren Studium zu hohen Leistungsdisparitäten [9] und einer zu geringen Fähigkeit im Umgang mit grundlegendem Fachwissen [10].

Auf der Ebene der Metakognition müssen die Anforderungen, die mit der Freiheit des Studiums verbunden sind, selbstregulierter bewältigt werden. Dazu gehört die Entwicklung von an die Anforderungen angepassten und stabilen Metastrategien zur Vorbereitung, Überwachung und Evaluation des eigenen Lernprozesses [11]. Hinzu kommt, dass sich diverse Erwartungen der Studierenden an ihr Studium in der Praxis oftmals nicht erfüllen [12].

Auf der Sozialisationsebene müssen die Studierenden die Studieneingangsphase als Entwicklungsanforderung interpretieren und akzeptieren, damit eine erfolgreiche Sozialisation in die in der Fachkultur und der Universität bestehenden Normen, Werte und Einstellungen gelingen kann [3, 13].

Ausgehend von diesem Problemfeld wird im Folgenden das multiperspektivische Forschungs- und Entwicklungsprogramm PSΦ (Paderborner Studieneingangsphase Physik) vorgestellt. Ziele sind die evidenzbasierte Gestaltung eines strukturierten Studieneinstiegs und eine in sich kohärent abgestimmte Studieneingangsphase aus einem Guss (siehe Abb. 1). Dabei werden ein sinnvoll unterstützter Übergang in die sozialen Strukturen und die Fachkultur der Universitätsphysik ebenso wie ein über alle curricularen Lehrveranstaltungen koordinierter Kompetenzaufbau mit sinnvollem Pacing und passenden extracurricularen Unterstützungsmaßnahmen angestrebt.

Die Begleitforschung zu den im Bachelor Physik zu erwerbenden Kompetenzen und Wissensbeständen sowie zur Identitätsbildung ermöglicht eine Erfassung des Status Quo und eine Analyse der relevanten Problemstellungen. Zusätzlich liefert sie theoretische Modelle, auf die bei der Weiterentwicklung und Evaluation der Studieneingangsphase sowie der Unterstützung beteiligter Lehrender zurückgegriffen werden kann.

## 2. Die Paderborner Studieneingangsphase

Die Universität Paderborn bietet für Studienanfänger einen vierwöchigen Vorkurs für Physiker an, in dem die grundlegenden physikalischen und mathematischen Fähigkeiten für das erste Semester behandelt werden. Anschließend finden in der Woche vor Studienbeginn für die gesamte Universität Einführungstage unter dem Titel „Start ins Studium“ statt. In vielen Studiengängen werden diese Tage durch

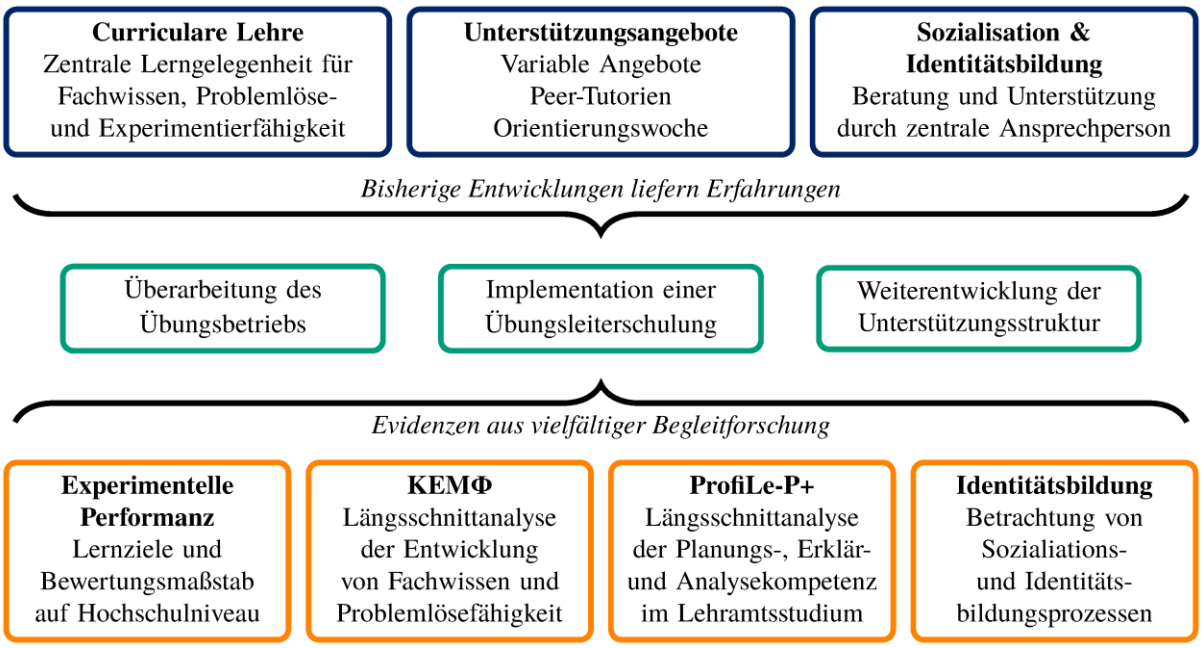



**Abb. 1:** Überblick über das Forschungs- und Entwicklungsprogramm PSΦ.

die jeweiligen Fachschaften gestaltet, so auch im Fach Physik. Inhalte sind hier z. B. das Kennenlernen des Campus und wichtiger Einrichtungen, eine begleitete Lehrveranstaltungswahl und Stundenplanzusammenstellung oder auch soziale Events wie eine Kneipentour.

### 2.1. **Studienstruktur**

Zum Kerncurriculum für alle Studienvarianten der Physik gehören die Veranstaltungen Experimentalphysik A – D und zur Theoretischen Physik A – C, die Anfängerpraktika sowie Seminare zu technischem Englisch. Dazu kommen die je nach Studienvariante unterschiedlich ausgerichteten Mathematik-Kurse.

Unter dem Titel Paderborner Physik Praktikum 3P wurde das viersemestrige Anfängerpraktikum seit 2012 mit dem Ziel eines systematischen Erwerbs der experimentellen Kompetenz neugestaltet [14]. Der Fokus des Konzeptes liegt darauf, die verschiedenen Facetten experimenteller Kompetenz miteinander verknüpft auszubilden, um die Studierenden auf ihre erste Qualifikationsarbeit, die Bachelorarbeit, sowie auf ihre weitere Berufstätigkeit vorzubereiten. Die Modulabschlussprüfung wird mit Portfolios gestaltet, die gezielt auch metakognitive Prozesse anregen und dokumentieren sollen, um so die Studierenden bei der Weiterentwicklung der eigenen Fähigkeiten und Fertigkeiten zu unterstützen [vgl. 15]. Die Evidenzen zur Wirksamkeit und Erfahrungen mit der Implementierung eines systematischen Pacings des Kompetenzaufbaus in eine mehrsemestrige universitäre Lehrveranstaltung können als Ausgangspunkte für die Weiterentwicklung der Studieneingangsphase genutzt werden.

### 2.2. **Das Lernzentrum Physiktreff**

Im Rahmen des Qualitätspakt-Lehre-Projektes „Heterogenität als Chance – Weichenstellungen in entscheidenden Phasen des Student-Life-Cycles“ wurde seit 2011 das Lernzentrum Physiktreff mit dem Ziel der Implementierung einer umfassenden Betreuungs- und Unterstützungsstruktur in der Studieneingangsphase für die „Integration in die Studien- und Fachkultur“ aufgebaut [16], um die durch Übergangsprozesse entstehenden Krisen in ihren Auswirkungen zu mildern oder zu beheben [17]. Die Maßnahmen sind bisher eher punktuell-kompensatorisch angelegt [18].

Die Leitung des Physiktreffs ist hier einerseits die zentrale Ansprechperson für die Studierenden in verschiedenen Beratungsangelegenheiten. Andererseits sorgt sie für eine Vernetzung beteiligter Personengruppen, um möglichst variabel auf neue Bedarfe der Studierenden reagieren zu können und eine Vernetzung der Studieneingangsphase zu gewährleisten.

Weiterhin gehört ein Lernraum mit Lernmaterialien, Gruppentischen und Whiteboards zum Angebot des Physiktreffs. Ziel ist es, kooperative Lern- sowie gruppendynamische Prozesse zu initiieren.

Das weitere Angebot im Lernzentrum wurde im Laufe der Zeit evidenzbasiert den regelmäßig erhobenen Bedarfen und dem Nutzungsverhalten der Studierenden angepasst. Beratungszeiten und Tutorien zu schwierigen Lehrveranstaltungen sowie ein Software-Support sind stark nachgefragt. Das Tutorien-Angebot verfolgt dabei zwei Ziele: Einerseits sollen die fachlichen Fähigkeiten der Studierenden durch Lerngelegenheiten (zusätzlich zu den curricularen Übungen) und eine vertiefte Diskussion der Inhalte gefördert werden. Andererseits dienen die Peer-Tutoren dabei als positives Rollenvorbild und zeigen exemplarisch wünschenswertes Verhalten.

Durch Tutoren wird außerdem eine Beratung „auf Augenhöhe“ erreicht, die geeignet sein könnte, Hemmnisse z. B. im Umgang mit fachlichen oder anderen Schwierigkeiten in der Studieneingangsphase zu senken [19].

Angeregt und begleitet durch die Physiktreff-Leitung findet ein regelmäßiger Austausch zwischen Tutoren und curricular Lehrenden statt. So können bereits im Vorfeld schwierige Inhalte der Vorlesung im Tutorium vorbereitet werden. Umgekehrt melden die Tutoren den Lehrenden fachlich-inhaltliche Verständnisprobleme auf Seiten der Studierenden zurück. In der Lehrveranstaltung kann so auf Nicht-Verstandenes noch einmal eingegangen werden.

Die Tutorien können somit ein Beispiel sein, wie die stärkere Vernetzung der Belange der Studierenden und Lehrenden mit einer fachdidaktischen Perspektive auf die Lernsituation der Studieneingangsphase insgesamt zu einer Verbesserung führen kann.

## 3. Begleitforschung

Verschiedene Forschungsprojekte können im betrachteten Kontext theoretische und empirische Hinweise auf die Wirksamkeit des Status Quo und der Neuentwicklungen geben.

### 3.1. KEMΦ – Kompetenzentwicklung Physik in der Studieneingangsphase

Das Projekt KEMΦ [20] liefert tragfähige Evidenz zur Einschätzung des Fachwissens und der Problemlösefähigkeit der Studierenden und deren Entwicklung. Auf dieser Basis können eine Komplexitätsprogression für die Lehrveranstaltungen und Hinweise auf den gezielten und expliziten Aufbau von Problemlösefähigkeiten erarbeitet werden.

Dazu wird ein Fachwissenstest zu drei Zeitpunkten im ersten Studienjahr eingesetzt, auf dessen Basis das Fachwissen im Rahmen eines Niveaumodells kriterial beschrieben werden kann. Zentrales schwierigkeitserzeugendes Merkmal ist hier empirisch die hierarchische Komplexität einer Anforderung. Diese operationalisiert den Grad der Verknüpfung der zur Lösung heranzuziehenden Informationen [21]. Auf dieser theoretischen Basis ist es möglich, die Schwierigkeit von Aufgaben gezielt zu beeinflussen und ggf. kontrolliert zu steigern. Es zeigt sich, dass etwa ein Drittel der Studierenden auch nach angemessener Studiendauer nicht über Fachwissen auf dem formulierten Zielniveau verfügt [10].

Als zentrale Kodeterminante wird im Projekt die Problemlösefähigkeit angenommen, die qualitativ erhoben wird [22]. Theoretisch liegt diesem ein deskriptives Modell des wissenszentrierten Problemlösens zugrunde [23], welches zwei grundlegende Ressourcen beschreibt: Fachwissen und Problemschemata. Letztere bezeichnen Kenntnisse über Strukturen gängiger Problemstellungen, die eine zentrale Rolle beim Finden eines Lösungsansatzes spielen. Empirisch zeigt sich, dass eine relevante Teilmenge der Studierenden gängige Problemstellungen (auch sog. Standardprobleme) nicht erfolgreich lösen kann und dass fehlende Verfügbarkeit oder Anwendbarkeit von Problemschemata hier eine wesentliche Rolle spielt [22]. Davon ausgehend ergibt sich die Perspektive, Problemlösefähigkeiten und insbesondere Problemschemata explizit zum Gegenstand der Lehre bzw. des Übungsbetriebes zu machen.

### 3.2. Experimentelle Performanz

Trotz vielfacher Weiterentwicklungen der Anfängerlaborpraktika an Hochschulen fehlen bisher valide Testinstrumente für die Messung experimenteller Kompetenz von Physikstudierenden, um so fundierte Aussagen zur Wirksamkeit unterschiedlicher Praktikumskonzepte tätigen zu können [24]. In diesem Projekt wird theoriegeleitet mit Hilfe komparativer Fallstudien und im Rückgriff auf die Vorstellungen von Praktikumsleitern ein Bewertungsmodell für die experimentelle Performanz Studierender entwickelt. Damit werden die zugrundeliegenden Dispositionen vor dem Hintergrund des Gesamtprozesses des Experimentierens mit einem Fokus auf den Spezifika des universitären Experimentierens rekonstruiert. Auf Basis des Bewertungsmodells wird ein Testinstrument entwickelt, dass u. a. in einer Delphi-Studie mit den Leitern der deutschen Anfängerpraktika validiert werden soll [24].

Nach Fertigstellung des Instrumentes können Wirksamkeitsaussagen zu Lehrkonzepten gegeben und weiterführende Wege hin zu einer Diagnose individueller Fähigkeiten vorgeschlagen werden, die als Grundlage für eine Weiterentwicklung bestehender Konzepte dienen können [24].

### 3.3. ProfiLe-P+ – Professionskompetenz im Lehramtsstudium Physik

Die Verbundprojekte ProfiLe-P [25] und ProfiLe-P+ [26] setzen sich primär mit der universitären Lehramtsausbildung im Fach Physik auseinander. Die hier erarbeiteten theoretischen Modelle und empirischen Erkenntnisse können in Analogie auch auf universitäre Lehrsituationen übertragen werden. Hier ergeben sich Antworten auf die Frage, ob und in welchem Umfang Lehrende fachdidaktisch (weiter-) gebildet werden sollten, um insgesamt die Lehrqualität verbessern zu können.

Als ein Aspekt erscheint für die universitäre Lehre vor allem das Erklären physikalischer Zusammenhänge relevant. Das Projekt liefert hier zunächst ein auf einer konstruktivistischen Kommunikationstheorie aufbauendes Modell, welches Merkmale einer „guten Erklärung“ angibt [27]. Empirisch zeigt sich, dass die Qualität einer Erklärung u. a. vom durch fachdidaktisches Wissen mediierten Fachwissen abhängt [28]. Dies unterstreicht die Sinnhaftigkeit einer (hochschul-)fachdidaktischen Weiterbildung der fachlich bereits sehr gut ausgebildeten Lehrenden, um auch fachdidaktisches Wissen für die Hochschullehre aufzubauen.

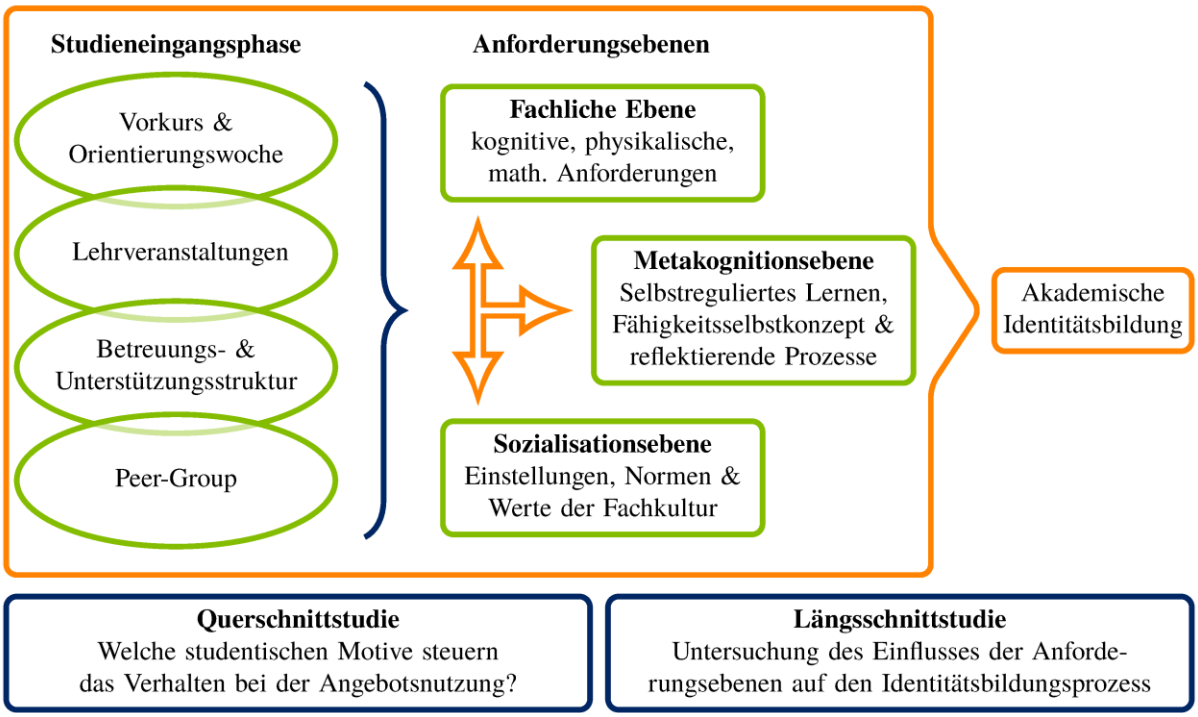



**Abb. 2:** Akademische Identitätsbildung in der Studieneingangsphase

### 3.4. **Identitätsbildung**

Das Forschungsprojekt „Identitätsbildung in der Studieneingangsphase“ nimmt, ausgehend von der Nutzungsevaluation der Angebote des Physiktreffs, die Studieneingangsphase als Phase der Einführung in die Fachkultur und als Identitätsbildung im Sinne eines Physiker-Werdens [12] in den Blick. Es liefert so Erkenntnisse über die komplexen, metafachlichen Abläufe sowie deren Kopplung mit fachlichen Lernprozessen.

Der akademische Identitätsbildungsprozess wird in diesem Projekt auf Ebene der Metakognition und Sozialisation untersucht. Ziel ist es, die Entwicklungsprozesse der Studierenden zu charakterisieren und kritische Stellen in der Studieneingangsphase aufzudecken, um passgenaue Beratungs- und Unterstützungsstrukturen zu etablieren (s. Abb. 2). Ausgangspunkt ist hier eine sehr heterogene Nutzung der Angebote des Physiktreffs [17]. Dabei stellt sich die Frage, welche Motive Studierende für die Nutzung bzw. Nichtnutzung von prinzipiell als relevant angesehenen Unterstützungsangeboten zeigen.

Motive werden hier als Erklärungen für die Intention und Konsistenz menschlichen Handelns aufgefasst [29]. Sie sind dabei situationsabhängig und zeitlichen Veränderungen unterworfen. Sie können Aufschluss über den aktuellen Stand innerhalb des Identitätsbildungsprozesses in Auseinandersetzung mit den fachlichen, universitären und selbstregulatorischen Anforderungen geben sowie mögliche Stellschrauben für Optimierungen der Studieneingangsphase liefern.

#### 3.4.1. **Untersuchungsdesign**

Für die Untersuchung des komplexen Wirkgefüges Studieneingangsphase auf Tiefenebene wurden mit Studierendengruppen narrative Gruppendiskussionen geführt. Erster Schritt war eine explorative, qualitative Studie mit Studierenden der ersten vier Semester (n=24) mit dem Ziel, mögliche Motive für die Nutzung von Angeboten in der Studieneingangsphase zu identifizieren. Im zweiten Schritt werden die komplexen Prozesse der Studieneingangsphase bei zunächst zwei Gruppen längsschnittlich durch halbjährliche Gruppendiskussionen nachvollzogen, um Aussagen zur Entwicklung des Nutzungsverhaltens während der ersten vier Semester zu generieren.

Während Probanden in Interviews meist eher vordergründig vorliegende Meinungen und Einstellungen äußern, die zusätzlich noch dem Phänomen der sozialen Erwünschtheit unterliegen, bieten Gruppendiskussionen die Möglichkeit, auch latent vorliegende Meinungen und Einstellungen zu erfassen [30]. Es wird dabei davon ausgegangen, dass im Verlauf der Diskussionen geäußerte Meinungen bereits vorher vorliegen und durch das diskursive Aushandeln, arbeitsteilige Ergänzen und Argumentieren der Einzelpersonen im Kollektiv nur aktualisiert bzw. explizit konstruiert werden. Die so ausgehandelten Komponenten werden in Abgrenzung zu Motiven als Begründungslinien bezeichnet, aus denen dann die Motive auf Tiefenebene rekonstruiert werden.

Für die Leitung der narrativen Gruppendiskussionen wurde ein theoretisch abgeleiteter Leitfaden entwickelt. Der Leiter nimmt am Diskurs nicht aktiv teil, sondern dient als co-constructor [12] der Narrative. Er greift nur an interessanten Stellen ein oder gibt Denkanstöße für einen Perspektivwechsel. Für die Gruppencharakterisierungen wird zur Kontrastierung

der qualitativen Daten ein Fragebogen eingesetzt, der ausgewählte Themen der Diskussionsrunden auf individueller Ebene erhebt.

#### 3.4.2. Ergebnisse

Anhand der Äußerungen der Studierenden konnten mittels eines induktiven Kategoriensystems insgesamt 17 Motive identifiziert werden, die das Verhalten der Studierenden in der Studieneingangsphase steuern. Diese werden als Grundlage für die Analyse der Begründungslinien genutzt. Dazu werden in den Diskussionen die Stellen untersucht, in denen sich mehrere Befragte im Sinne einer oder mehrerer Motive zu einem Gegenstand bezugnehmend äußern. Die Rekonstruktion der tiefliegenden Motive ermöglicht eine Systematisierung der Begründungslinien, woraus sich jeweils zentrale Erkenntnisse zur Optimierung der Paderborner Studieneingangsphase ableiten lassen. Die folgenden Ergebnisse stellen nur einen exemplarischen Auszug dar:

1. Die Befragten äußern den Wunsch nach unmittelbarer Unterstützung im Bedarfsfall (z.B. bei der Bearbeitung der Hausübungen), was auf eine geringe Selbstwirksamkeitserwartung und den Wunsch nach effizientem Lernen hindeutet. Außerdem bemängeln sie die Passung zwischen Vorlesung und Übung, was letztlich aber auf mangelndes Strategiewissen bei der Aufgabenbearbeitung und fehlende metakognitive Kompetenzen zurückgeführt werden kann. Ein gewisser Zwang zur Angebotsnutzung u. a. durch eine terminliche Bindung oder die Anwesenheit der Kommilitonen wird befürwortet. Als zentrale Erkenntnis kann abgeleitet werden, dass statt extracurricularer Unterstützungsangebote eine curriculare Einbindung von Maßnahmen angestrebt werden sollte, um die Studierenden beim selbstregulierten Lernen zu unterstützen.

2. Die Befragten geben an, dass sie nur nach ihrer Einschätzung kompetenten Lehrenden Fragen stellen und es ihnen wichtig ist, Tutoren „auf Augenhöhe“ ansprechen zu können. Ferner haben sie die Befürchtung, dass sie durch „dumme“ Fragen einen schlechten Eindruck von sich selbst vermitteln oder den Hilfesteller belästigen könnten. Als zentrale Erkenntnis für die Weiterentwicklung der bestehenden Tutorenschulung ergibt sich daher, dass ein idealer Lehrender offen für die Fragen und Probleme der Studierenden und in einer Weise hilfsbereit sein sollte, die von Studierenden auch wahrgenommen wird. Neben Fach- und Erklärkompetenz zeichnet ihn auch ein vertrauliches Verhältnis zu den Studierenden aus.

3. In allen Begründungslinien zeigen sich bei den Studierenden mangelnde Selbstorganisations- und Zeitmanagementfähigkeiten, die auf fehlende metakognitive Prozesse der Selbstregulation und ineffiziente Lernstrategien hindeuten. Außerdem führt die Angst vor Misserfolg zur Vermeidung schwieriger Aufgaben, was mit einer geringen Selbstwirksamkeitserwartung zusammenhängt. Mangelnde Leistungsbereitschaft und Eigeninitiative sowie eine Unterschätzung des Arbeitsaufwandes sind weitere diskutierte Aspekte, die auf fehlende metakognitive Prozesse zur Reflexion der Unterschiede zwischen Schule und Universität hindeuten. Zentrale Probleme in der Studieneingangsphase stellen somit die Selbstorganisation, das Zeitmanagement, der Umgang mit Misserfolg und die Bewältigung universitärer Arbeitsanforderungen dar. Diesen Schwierigkeiten kann mit entsprechenden Maßnahmen z. B. schon in der Orientierungswoche begegnet werden. Im Lehrbetrieb wurden im neugestalteten Praktikum 3P gute Erfahrungen mit Lernportfolios zur positiven Unterstützung dieser Prozesse gesammelt.

## 4. Evidenzbasierte Neugestaltung

Die bisherigen Entwicklungen und Forschungsresultate der Begleitforschung ergeben ein multiperspektivisches Bild einer Studieneingangsphase mit verschiedenen Herausforderungen und Möglichkeiten. Im Folgenden werden beispielhaft sinnvolle nächste Schritte in Richtung einer Studieneingangsphase „aus einem Guss“ und einer z. B. vom Wissenschaftsrat [31] geforderten, evidenzbasierten Weiterentwicklung und Professionalisierung universitärer Lehre vorgestellt.

### 4.1. Unterstützung bei der Sozialisation in die Fachkultur

Auf Basis der Ergebnisse der ersten Studie zur Identitätsbildung wurde die Orientierungswoche in der Physik umfangreich überarbeitet. Der Fokus lag dabei vor allem auf der Sozialisierung in die Fachkultur sowie auf der Vorbereitung auf das selbstregulierte, kooperative Lernen. Zentral ist dabei eine fachdidaktisch aufbereitete Einführung, wie Physikerinnen und Physiker arbeiten, forschen und Probleme lösen. Dabei werden der positiv konnotierte Umgang mit Herausforderungen, das aktive Verstehen von Zusammenhängen und die experimentierende und modellierende Herangehensweise an die umgebende Welt herausgestellt [32].

Auf der sozialen Ebene werden gezielt Gruppenbildungsprozesse unterstützt. Dazu wurden die (zuvor getrennten) Orientierungswochen für Fach- und Lehramtsstudierende weitest möglich zusammengelegt. Die Studierenden werden frühzeitig (z. B. mit Peer-Coaching [19]) instruiert, sozial stabile und auf gegenseitige Verlässlichkeit angelegte Gruppen zu bilden, um Studienabbruch entgegen zu wirken [33].

Einen nächsten Schritt kann die Neugestaltung des Vorkurses für Physiker darstellen. Auf Basis der Erfahrungen im Paderborner Physik Praktikum 3P sowie der Aussagen aus der ersten Studie zur Identitätsbildung sollten die Studienanfänger an grundlegende Arbeitsweisen wie das effektive Vor- und Nachbereiten von Lehrveranstaltungen oder Peer-Coaching herangeführt werden. Weiterhin sollten die Studienanfänger durch eine enge Kooperation mit dem Fachschaftsrat der Physik und Mitgliedern

des Departments Physik bei formlosen Treffen ihr Fachgebiet und die damit verbundenen Normen, Werte und Einstellungen näher kennenlernen.

### 4.2. **Unterstützung in den Lehrveranstaltungen**

Der gegenwärtig recht traditionell ausgerichtete Übungsbetrieb könnte theoriegeleitet in drei Richtungen weiterentwickelt werden: Einerseits lassen die Forschungen zum Problemlösen vermuten, dass ein explizites statt implizites Strukturieren und Einüben von Problemlöseprozessen wirksamer sein könnten als der Status Quo [34]. Als probates Mittel erscheint hier die Umstellung auf Gruppen- bzw. Präsenzübungen, in denen insgesamt ein größerer Anteil der Anwesenden aktiv an Problemstellungen und -lösungen arbeitet [35, 36].

Um der häufig steil ansteigenden Schwierigkeitsentwicklung der Übungsaufgaben entgegenzuwirken, welche ungünstiges Lernverhalten zumindest begünstigen kann [4], kann andererseits eine kontrollierte Schwierigkeitsstaffelung z. B. auf Basis eines Komplexitätsmodells eingesetzt werden. Ein so implementiertes Pacing kann entweder auf jedem Übungszettel (z. B. eine leichte, eine schwierigere Aufgabe, eine auf Klausurniveau und eine Knobelaufgabe) oder über das Semester hinweg ansteigen.

Wie auch bei Schülerinnen und Schülern [37, 38] ist weiterhin auch bei Studierenden ein wichtiges Lernhindernis in konzeptionellen Fehlvorstellungen zu sehen [39, 40]. Diese Vorstellungen können allein mit traditionell-kalkülorientierten Übungsaufgaben kaum überwunden werden [41], sodass neben traditionellen auch konzeptorientierte Aufgaben [wie z. B. 42] eingesetzt werden sollten.

### 4.3. **Übungsleiterschulung**

Der Übungsbetrieb wird durchgehend von Doktorierenden geleistet, die selbst weder (fach-)didaktisch ausgebildet sind noch über langjährige Lehrerfahrungen verfügen. Es ist zu erwarten, dass diese Personen in ihrer eigenen Lehre lediglich den selbst erlebten Übungsbetrieb reproduzieren. Folglich sollte eine wirksame Überarbeitung des Übungsbetriebs mit einer Schulung der Lehrenden einhergehen. Da wesentliche Herausforderungen der Studieneingangsphase fachlicher Natur sind, genügt hier keine allgemein-hochschuldidaktische Fortbildung [43]. Aus den vorhandenen Erfahrungen und Forschungsprojekten ergeben sich vielmehr folgende Inhalte für eine Schulung:

- Grundlegende Klärung der unterschiedlichen Lehrziele von Vorlesung, Übung und ggf. ergänzendem (Peer-)Tutorium.
- Didaktische Gestaltung und Durchführung von Übungen: Planung und Reflexion sowie qualitativ hochwertiges Erklären [27, 28].
- Kenntnisse in Bezug auf bekannte (Fehl-)Vorstellungen Studierender, deren Relevanz für den Lernprozess und Strategien im Umgang damit sowie in Bezug auf einen sinnvollen Einsatz von konzeptorientierten Aufgaben [42].
- Einschätzung und gezielte Beeinflussung der Schwierigkeit von Aufgaben, z. B. auf Basis eines Komplexitätsmodells [10] für die Anknüpfung an individuelles Vorwissen der Studierenden und damit verbunden gezielte Unterstützung der individuellen Lernprozesse.
- Reflexion von Problemlöseprozessen mit dem Ziel, diese explizit statt nur implizit vermitteln zu können [34].

Sowohl die Schulung selbst als auch die von den geschulten Übungsgruppenleitern erwarteten Lehr- und Vorbereitungshandlungen müssen dabei im schmalen Zeitbudget eines Doktorierenden leistbar sein. Dazu sollte jeweils möglichst nah an konkret vorkommenden Lehr- und Problemsituationen gearbeitet werden. Eine semesterbegleitende (Peer-)Hospitation erscheint ebenfalls sinnvoll.

In einem weiteren Schritt könnte z. B. das Lernzentrum Physiktreff konzeptionell zu einem hochschulfachdidaktischen Zentrum weiterentwickelt werden, in dem sowohl die etablierten Unterstützungs- und Beratungsangebote für Studierende als auch nah an der Fach-Lehre orientierte Beratungen für Lehrende angeboten werden. Letztere könnten sich dann z. B. auf die Elementarisierung fachlicher Inhalte, die Berücksichtigung der Vorstellungen von Lernenden und den strukturell sinnvollen Einsatz verschiedener Aufgabenformate und -schwierigkeiten beziehen. Solche fachspezifisch-hochschuldidaktischen Angebote werden von der allgemeindidaktisch arbeitenden Hochschuldidaktik bisher nicht geleistet. Parallel können in einem solchen Zentrum Evaluations- und Forschungsprojekte gebündelt, aufeinander bezogen ausgewertet und zur Weiterentwicklung der Studieneingangsphase herangezogen werden.

## 5. **Zusammenfassung und Fazit**

Die Studieneingangsphase ist geprägt von einer schwer zu überschauenden Vielzahl von fachlichen und metafachlichen Prozessen, die parallel und teilweise interdependent ablaufen. Herausforderungen auf einer Ebene haben nicht selten direkte Auswirkungen auf andere Ebenen; scheinbar unproblematische Schwierigkeiten können sich mitunter zu einer Krise ausweiten [17], die auch zu Studienabbruch führen kann [2].

In Paderborn wurde aktuell begonnen, die Studieneingangsphase aus mehreren, aufeinander beziehbaren Blickwinkeln empirisch forschend zu begleiten. So soll ein mehrperspektivisches Bild von einem sonst häufig nur in Einzelaspekten betrachteten Wirkgefüge entstehen. Parallel dazu bestehen ausgehend vom Lernzentrum Physiktreff Möglichkeiten zur strukturierten Weiterentwicklung der curricularen und außercurricularen Angebote dieser Phase. Während der Physiktreff zunächst rein kompensatorisch ausgerichtet war [18], ergibt sich damit die

Möglichkeit, erprobte Entwicklungen in den curricularen Regelbetrieb zu übernehmen und weiter auszubauen.

Die laufenden empirischen Forschungsprojekte liefern dabei kontinuierlichen, belastbaren und theoretisch unterfütterten Input, auf dessen Basis die Entwicklungen überprüft und angepasst werden können. Theoretische Modelle werden hier erprobt und können Anregungen für weitergehende Verbesserungen liefern. Das alles gelingt nur in einer engen Anbindung an die Fachkultur im Department Physik und in Abstimmung mit den Lehrenden. Bisherige Erfahrungen z. B. mit Tutorien zur theoretischen Physik zeigen, dass dies am ehesten dann gelingt, wenn Entwicklungen und Maßnahmen nicht nur die Belange der Studierenden, sondern auch diejenigen der Lehrenden adressieren und somit helfen, Probleme auf beiden Seiten des Hörsaals zu lösen.

## 6. Literatur


[1] Clark, M.; Lovric, M. (2009): Understanding secondary–tertiary transition in mathematics. In: International Journal of Mathematical Education in Science and Technology 40, Nr. 6, S. 755–776

[2] Heublein, U.; Ebert, J.; Hutzsch, C.; Isleib, S.; König, R.; Richter, J.; Woisch, A. (2017): Studienerwartungen und Studienwirklichkeit, Ursachen des Studienabbruchs, beruflicher Verbleib der Studienabbrecherinnen und Studienabbrecher und Entwicklung der Studienabbruchquote an deutschen Hochschulen. Hannover: DZHW

[3] Rabe, T. (2019): Identitätsaushandlungen zu Physik als Aspekt naturwissenschaftlicher (Grund)Bildung? In: Maurer, C. (Hrsg.): Naturwissenschaftliche Bildung als Grundlage für berufliche und gesellschaftliche Teilhabe. Regensburg: Universität Regensburg, S. 25–38

[4] Woitkowski, D.; Reinhold, P. (2018): Strategien und Probleme im Umgang mit Übungsaufgaben In: Maurer, C. (Hrsg.): Qualitätsvoller Chemie- und Physikunterricht – normative und empirische Dimensionen. Regensburg: Universität Regensburg, S. 726–729

[5] Buschhüter, D.; Spoden, C.; Borowski, A. (2016): Mathematische Kenntnisse und Fähigkeiten von Physikstudierenden zu Studienbeginn. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften 22, Nr. 1, S. 61–75

[6] Albrecht, A. (2011): Längsschnittstudie zur Identifikation von Risikofaktoren für einen erfolgreichen Studieneinstieg in das Fach Physik. Berlin, Freie Universität Berlin,

[7] Heublein, U.; Richter, J.; Schmelzer, R.; Sommer, D. (2014): Die Entwicklung der Studienabbruchquoten an den deutschen Hochschulen: Statistische Berechnungen auf der Basis des Absolventenjahrgangs 2012. Hannover: DZHW

[8] Schecker, H.; Parchmann, I. (2006): Modellierung naturwissenschaftlicher Kompetenz. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften 12, S. 45–66

[9] Riese, J. (2009): Professionelles Wissen und professionelle Handlungskompetenz von (angehenden) Physiklehrkräften. Berlin: Logos

[10] Woitkowski, D.; Riese, J. (2017): Kriterienorientierte Konstruktion eines Kompetenzniveaumodells im physikalischen Fachwissen. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften 23, Nr. 1, S. 39–52

[11] Mandl, H.; Geier, B. (2004): Förderung selbstgesteuerten Lernens. In: Blömeke, S.; Reinhold, P.; Tulodziecki, G.; Wildt, J. (Hrsg.): Handbuch Lehrerbildung. Bad Heilbrunn: Klinkhardt, S. 567–578

[12] Holmegaard, H. T.; Madsen, L. Ml.; Ulriksen, L. (2014): A journey of negotiation and belonging. In: Cultural Studies of Science Education 9, Nr. 3, S. 755–786

[13] Jenert, T.; Brahm, T.; Gommers, L.; Kühner, P. (2017): How do they find their place? In: Learning, Culture and Social Interaction 12, S. 87–99

[14] Bauer, A. B.; Sacher, M. D. (2018): Kompetenzorientierte, universitäre Laborpraktika: Das Paderborner Physik Praktikum (3P). In: PhyDid B, S. 65–72

[15] Bräuer, G. (2007): Portfolios in der Lehrerausbildung als Grundlage für eine neue Lernkultur in der Schule. In: Gläser-Zirkuda, M.; Hascher, T. (Hrsg.): Lernprozesse dokumentieren, reflektieren und beurteilen: Lerntagebuch und Portfolio in Bildungsforschung und Bildungspraxis. Bad Heilbrunn: Klinkhardt, S. 45–62

[16] Haak, I.; Reinhold, P. (2018): Forschungsbasierte Implementierung eines universitären Lernzentrums für Physikstudierende mithilfe von Design-Based Research. In: Szczyrba, B.; Schaper, N. (Hrsg.): Forschungsformate zur evidenzbasierten Fundierung hochschuldidaktischen Handelns. Köln: Cologne Open, S. 175–198

[17] Haak, I. (2017): Maßnahmen zur Unterstützung kognitiver und metakognitiver Prozesse in der Studieneingangsphase: Eine Design-Based-Research-Studie zum universitären Lernzentrum Physiktreff. Berlin: Logos

[18] Reinhold, P.; Haak, I.; Bauer, A. B. (2018): Das Lernzentrum Physiktreff. In: Riegraf, B.; Meister, D. M.; Reinhold, P.; Schaper, N.; Temps, T. T. (Hrsg.): Heterogenität als Chance: Bilanz und Perspektiven des Qualitätspakt Lehre-Projekts an der Universität Paderborn. Paderborn: Universität Paderborn, S. 78–81

[19] Topping, K. J.; Ehly, S. W. (1998): Introduction to Peer-Assisted Learning. In: Topping, K. J.; Ehly, S. W. (Hrsg.): Peer-assisted learning. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum, S. 1–24

[20] Woitkowski, D. (2018): Fachwissen und Problemlösen im Physikstudium: Vorstellung des Forschungsprojektes KEMΦ. In: PhyDid, S. 125–131
[21] Bernholt, S.; Parchmann, I.; Commons, C. L. (2009): Kompetenzmodellierung zwischen Forschung und Unterrichtspraxis. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften 15, S. 219–245
[22] 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
[23] 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
[24] Bauer, A. B.; Sacher, M. D.; Reinhold, P. (2019): Erhebung der experimentellen Performanz (Physik-)Studierender. In: Maurer, C. (Hrsg.): Naturwissenschaftliche Bildung als Grundlage für berufliche und gesellschaftliche Teilhabe. Regensburg: Universität Regensburg, S. 632–635
[25] Kulgemeyer, C.; Borowski, A.; Fischer, H. E.; Gramzow, Y.; Reinhold, P.; Riese, J.; Schecker, H.; Tomczyszyn, E.; Walzer, M. (2012): ProfiLe-P – Professionswissen in der Lehramtsausbildung Physik: Vorstellung eines Forschungsverbundes. In: PhyDid B.
[26] Vogelsang, C.; Borowski, A.; Fischer, H. E.; Kulgemeyer, C.; Reinhold, P.; Riese, J.; Schecker, H. (2016): ProfiLe-P+ – Professionskompetenz im Lehramtsstudium Physik. In: Zlatkin-Troitschanskaia, O.; Pant, H. A.; Lautenbach, C.; Toepper, M. (Hrsg.): Kompetenzmodelle und Instrumente der Kompetenzerfassung im Hochschulsektor (KoKoHs Working Papers, 10). Johannes-Gutenberg-Universität, Humboldt-Universität: Mainz; Berlin, S. 39–43
[27] Kulgemeyer, C.; Tomczyszyn, E. (2015): Physik erklären: Messung der Erklärensfähigkeit angehender Physiklehrkräfte in einer simulierten Unterrichtssituation. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften 21, S. 111–126
[28] Kulgemeyer, C.; Riese, J. (2018): From professional knowledge to professional performance: The impact of CK and PCK on teaching quality in explaining situations. In: Journal of Research in Science Teaching 55, Nr. 10, S. 1393–1418
[29] Heckhausen, H. (1989): Motivation und Handeln. 2. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer
[30] Bohnsack, R. (1999): Rekonstruktive Sozialforschung: Einführung in Methodologie und Praxis qualitativer Forschung. 3. Auflage. Wiesbaden: VS Verlag
[31] Wissenschaftsrat (2017): Strategien für die Hochschullehre: Positionspapier. Halle (Saale): Wissenschaftsrat
[32] Nersessian, N. J. (1995): Should physicists preach what they practice? In: Science & Education 4, Nr. 3, S. 203–226
[33] Bosse, E.; Trautwein, C. (2014): Individuelle und institutionelle Herausforderungen der Studieneingangsphase. In: Zeitschrift für Hochschulentwicklung 9, Nr. 5, S. 41–62
[34] Lind, G.; Friege, G.; Kleinschmidt, L.; Sandmann, A. (2004): Beispiellernen und Problemlösen. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften 10, S. 29–49
[35] Springer, L.; Stanne, M. E.; Donovan, S. S. (1999): Effects of small-group learning on undergraduates in science, mathematics, engineering, and technology. In: Review of Educational Research 69, Nr. 1, S. 21–51
[36] Wahle, M. (2017): Traditionelle Übungen vs. Gruppenübungen in naturwissenschaftlichen Fächern. In: die Hochschullehre 3, S. 1–15
[37] Rhöneck, C. v.; Niedderer, H. (2006): Schülervorstellungen und ihre Bedeutung beim Physiklernen. In: Mikelskis, H. (Hrsg.): Physik-Didaktik. Berlin: Cornelsen Scriptor, S. 52–72
[38] Wiesner, H. (1995): Physikunterricht - an Schülervorstellungen und Lernschwierigkeiten orientiert. In: Unterrichtswissenschaft – Zeitschrift für Lernforschung 23, Nr. 2, S. 127–145
[39] Fromme, B. (2019): Fehlvorstellungen bei Studienanfängern: Was bleibt vom Physikunterricht der Sekundarstufe I? In: PhyDid B, S. 205–215.
[40] Girwidz, R.; Kurz, G.; Kautz, C. H. (2003): Zum Verständnis der newtonschen Mechanik bei Studienanfängern – der Test ‚Force Concept Inventory – FCI'. In: Nordmeier, V. (Hrsg.): Beiträge zur Frühjahrstagung des Fachverbandes Didaktik der Physik der Deutschen Physikalischen Gesellschaft.: Tagungs-CD. Berlin: Lehmanns Media.
[41] Kautz, C. H. (2001): Untersuchung zum konzeptionellen Verständnis des Lehrstoffes bei Studierenden im ingenieurwissenschaftlichen Grundstudium an der Technischen Universität Hamburg-Harburg. Hamburg-Harburg: TUHH Universitätsbibliothek
[42] McDermott, L. C.; Shaffer, P. S. (2009): Tutorien zur Physik. München: Pearson Studium
[43] Reinhold, P. (2004): Fachdidaktische Ausbildung. In: Blömeke, S.; Reinhold, P.; Tulodziecki, G.; Wildt, J. (Hrsg.): Handbuch Lehrerbildung. Bad Heilbrunn: Klinkhardt, S. 410–431

# Physik für Ingenieure

## - Ein Erfahrungsbericht zum "Blended Learning"-

**Dominik Giel**

Hochschule Offenburg, Badstr.24, 77652 Offenburg
dominik.giel@hs-offenburg.de

**Kurzfassung**

Die Vorlesung Physik ist ein grundlegender Baustein der meisten Ingenieursstudiengänge und stellt für viele Studienanfänger eine Hürde zum Studienstart da. Die Vorkenntnisse der Studienanfänger sind zunehmend heterogen und der sichere Umgang mit physikalischen Konzepten erfordert mehr oder wenig Übung, um diese zu festigen oder auch erstmals einzuführen. Um dieses Üben zu ermöglichen, wurde für die Vorlesung "Physik 1" in den Studiengängen Maschinenbau, Werkstofftechnik, Mechatronik, Biomechanik, Biotechnologie und Umwelt- und Verfahrenstechnik der Hochschule Offenburg ein E-Tutorium erarbeitet, das die Übungsaufgaben in Form von 10 Online-Selbsttest mit jeweils vier Übungsaufgaben anbietet. Die Selbsttests beinhalten dabei typische Aufgabenstellungen, deren Zahlenwerte (Masse, Geschwindigkeit usw.) bei jedem Aufruf der Aufgabe variieren. Dadurch lassen sich die Selbsttests zum selbständigen Üben nutzen. Ein reines Abschreiben einer Musterlösung ist durch die veränderlichen Zahlenwerte darüber hinaus unmöglich. Wir beschreiben eine Methode zur effizienten Erzeugung der Moodle-basierten Selbsttests mit Hilfe der Software R/exams und berichten über die Erfahrungen beim ersten Einsatz.

### 1. **Ziele**

Das Nebenfach Physik ist ein häufiger Stolperstein auf dem Weg ins Ingenieurstudium: Viele Studierende der ersten beiden Semester bringen aus der Schule nur geringe Vorkenntnisse mit und sind überrascht vom schnellen Voranschreiten des Vorlesungsstoffes. Um eine Vorbereitung zu ermöglichen, hat eine Arbeitsgruppe aus Professoren und Professorinnen der baden-Württembergischen Hochschulen für Angewandte Wissenschaften (HAW) einen Mindestanforderungskatalog Physik [1] aufgestellt, der die Schulkentnisse, die in der Physik-Vorlesung eines MINT-Faches an der (Fach)hochschule vorausgesetzt werden. Der Mindestanforderungskatalog für Physik ergänzt den Mindestanforderungskatalog Mathematik [2], der eine ähnliche Zielsetzung für die Schulmathematik verfolgt. Aus der Perspektive des Nebenfach-Physikers sind beide Kataloge gleichermaßen notwendig, denn der Physik-Stoff des ersten Semesters beinhaltet Vektorrechnung genauso wie und Ableitungsregeln, bevor die Mathematik-Vorlesung des ersten Semesters diese Themen erreichen kann. Die Physik für Ingenieure steht allerdings in einer gewissen Konkurrenz zu den Spezialvorlesungen der Ingenieursdisziplinen wie Technische Mechanik oder Elektrotechnik, die für den Studienanfänger berufsbildnäher erscheinen als die eher abstrakten Inhalte der Newton'schen Bewegungsgleichungen. Dementsprechend gering ist die Beteiligung der Studierenden an freiwillig angebotenen Tutorien, was sich leider in eher durchwachsenen Resultaten der entsprechenden Klausuren manifestiert. Eine verpflichtende Abgabe von Übungsaufgaben wäre hier eine mögliche Alternative, erfordert allerdings einigen Mehraufwand bei der Konzeption der Aufgaben und Korrektur der Lösung, wenn konventionelle Aufgabenblätter eingesetzt werden.

Vielleicht gibt es durch den Einsatz von elektronischen Hilfsmitteln einen Weg, die Formulierung und die Korrektur von Übungsaufgaben zu erleichtern? Wir beschreiben hier die Erstellung und den Einsatz von Physik-Übungsaufgaben in Form mehrerer Tests (sogenannte „Quizze") auf der Lernplattform Moodle [3]. Die Aufgaben wurden im Rahmen einer Anfängervorlesung zunächst als freiwillige, unbenotete Selbsttest angeboten. Dieses „Blended-Learning"-Angebot ermöglicht auch Studienanfängern mit unterdurchschnittlichen Vorkenntnissen einen erfolgreichen Start ins Studium durch Angebot eines studienbegleitenden, formativen Assessments. Es ist mehr „Fitness-Studio" (Aufbau von Muskelmasse durch eigener Anstrengung) als „Supermarkt" (Tausch von studentischer Anwesenheit gegen physikalisches Geheimwissen). Eine verbindliche Verankerung der Selbsttests wäre mit einer geringfügigen Anpassung der Studien- und Prüfungsordnung möglich. Allerdings schaffen neue Pflichtveranstaltungen nicht unbedingt selbständigere Studierende, so dass das ideale Ziel ein E-Tutorium ist, dessen positive Wirkung von den Studierenden selber erkannt und freiwillig genutzt wird. Begleitet wurden das elektronische Tutorium durch eine ebenfalls freiwilliges Präsenztutorium, das von Studierenden

der höheren Semester geleitet wurde und für das Aufgabenzettel und Musterlösungen auf der Moodle-Plattform angeboten wurde. Die Zugriffszahlen auf den Moodle-Kurs mit allen Vorlesungsfolien und diese Übungsblätter bietet eine Referenz zur Einschätzung der Akzeptanz der Selbsttests im gleichen Kurs.

## 2. **Methoden**

Die an der Hochschule Offenburg eingesetzte Lernplattform Moodle [3] bietet die Möglichkeit, innerhalb eines sogenannten „Quizz" Aufgaben zufällig aus einer Datenbank bzw. verschiedenen Unterkategorien zu ziehen. So erhält jeder Teilnehmer einen individuellen Aufgabensatz und durch den Abgleich der abgegebenen Antwort mit einer vorgegebenen Lösung eine rudimentäre Rückmeldung (richtig/falsch). Zwar ist das Absolvieren eines derartigen „Quizzes" keine Prüfungsleistung, solange keine weiteren Vorkehrungen getroffen werden. Bei entsprechend großer Aufgaben-Datenbank ist aber die Nutzung von Musterlösungen oder das Abschreiben von Kommilitonen zwar möglich, aber letztendlich aufwändiger als die eigenständige Beschäftigung mit dem Stoff, die ja durch die Abschlussklausur nach wie vor notwendig bleibt. Eine Teilnahme am Quizz und das Erreichen einer bestimmten Mindestpunktzahl kann daher als Indiz für eine aktive Teilnahme am E-Tutorium gewertet werden.

Eine Möglichkeit, große Aufgaben-Datenbanken effizient zu erstellen (und die Motivation für die Archivierung von Musterlösungen zu verringern), ist die automatisierte Erzeugung von Aufgabentexten, die zufällig variierende Zahlenwerte enthalten, was wir in der Folge als randomisierte Aufgabenparameter bezeichnen. Die Lernplattform Moodle kann Datenbanken mit Quiz-Aufgaben in dem Dateiformat Moodle-XML importieren und aus diesen individuelle Quizze (mit wiederum zufällig ausgewählten Aufgaben) zusammenstellen. Um eine diesem Format entsprechende Datei zu erzeugen, nutzen wir die Bibliothek R/exams [4], die die weit verbreitete Programmiersprache R um spezielle Befehle zur Erzeugung von Aufgaben in unterschiedlichen Formaten erweitert. Um eine solche Aufgabe zu erzeugen, muss zunächst ein Aufgabenstamm erstellt werden, der neben dem Text der eigentlichen Aufgabenstellung Platzhalter für die Zufallsparameter enthält. Optional kann auch ein Lösungstext mit Hinweisen zum korrekten Lösungsweg angefügt werden, den das Moodle-System je nach Einstellung nach der Abgabe einer Lösung Quizzes anzeigt. Die Bibliothek R/exams unterstütz viele der Fragetypen des Moodle-Systems, unter anderem Antwortwahlfragen (Typ „multiple choice" und „single choice"). Für die Physik-1 Vorlesung wurden überwiegend Aufgaben zur Berechnung eines Zahlenwertes (Moodle-Typ „numeric") verwendet, zum Teil auch mehrere Zahlenwerte zu den gleichen Parameterwerten durch den Moodle-Fragetyp „cloze" zusammengefasst, um z.B. eine physikalische Größe und deren Unsicherheit abzufragen.

Aufgabenstellung und Lösungshinweise sind bei der Nutzung der R/exams Bibliothek im Format des Textsatzsystems Latex [5] zu formatieren. Für Neulinge ist das Erlernen dieses Systems unter Umständen eine Hürde, da bei der Eingabe keine graphische Darstellung erfolgt. Andererseits ist das System für die Eingabe mathematischer Formeln weit verbreitet, so dass viele Anwender direkt mit der Formulierung eigener Aufgabenstellungen beginnen können. Die Berechnung der Parameterwerte, die an die Stelle der Platzhalter in die Aufgabenstellungen eingesetzt werden, erfolgt über Programmcode in der Programmiersprache R. Die Programmiersprache bietet dabei rechnerische Möglichkeiten, die die Anforderungen der Aufgabenstellungen im Rahmen der Physik-1-Vorlesun weit übersteigen. So wird R auch für statistische Problemstellungen der Forschung eingesetzt. Durch die weite Verbreitung der Programmiersprache sind neben R/exams auch weitere Programmerweiterung verfügbar- so lässt sich zum Beispiel über die Bibliothek rSymPy das Computeralgebrasystem SymPy [6] nutzen, dass unter anderem das symbolische Berechnen der Ableitung, aber auch elementare Rechenregeln wie das Bruchrechnen ermöglicht und die Ergebnisse entsprechend der LaTex-Regeln ausgibt.

Über den üblichen Formelsatz hinaus bietet R/exams auch die Möglichkeit, Graphiken wie z.B. Funktionsgraphen oder Histogramme zu generieren und diese in die jeweiligen Aufgabenstellungen einzubinden, was weit über die Moodle-interne Möglichkeit zur Erzeugung von Aufgaben mit zufälligen Parametern hinausgeht.

R/exams unterstützt neben Moodle-XML diverse andere Dateiformate, so dass alle Aufgaben eines Quizzes z.B. in eine PDF-Datei ausgegeben werden können. Damit erhält man die Möglichkeit, die eigenen Aufgabenstellungen und Lösungstexte auch außerhalb der Moodle-Umgebung zu betrachten, was die Fehlersuche und die Überarbeitung erleichtert.

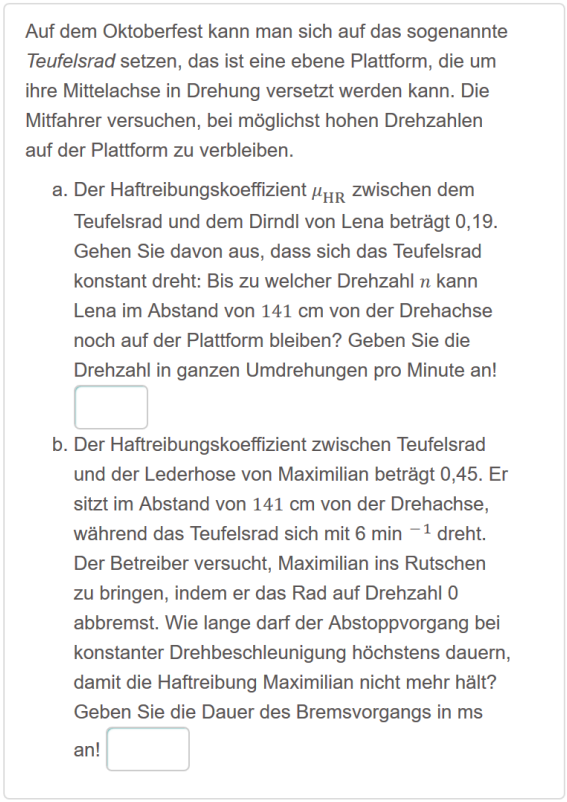
Für die Realisierung der vorlesungsbegleitenden Selbsttests wurden zunächst 44 Aufgaben aus den bestehenden Übungsblättern ausgewählt und bestimmte Zahlenwerte durch entsprechende Platzhalter ersetzt. Aus den 44 so entstandenen Aufgabenstämmen wurden jeweils zehn Varianten erzeugt, so dass insgesamt 440 Aufgaben mit unterschiedlichen Parameterwerten in Moodle importiert wurden. Jeder Selbsttest bestand aus vier Aufgaben, wobei jeweils nach dem Zufallsprinzip eine der zehn Varianten ausgewählt wurde. Die Wahrscheinlichkeit, dass zwei Studierende eine identische Ausgabenauswahl erhielt (oder bei Testwiederholung keine neue Aufgabe gezogen wurde), lag damit bei 1:10.000. Durch einen neuen Aufruf des entsprechenden R-Programmes lässt sich in jedem Semester eine neue Aufgabendatenbank generieren, was das

Anlegen einer Musterlösungssammlung zu einer aufwändigen Sache macht.

Zur automatischen Korrektur des abgefragten Lösungswert muss dieser bei der Erzeugung anhand einer entsprechend parametrisierten Lösungsformel berechnet werden (die natürlich nicht mit ausgegeben wird). Damit das Moodle-System eine Bewertung vornehmen kann, muss für jede Aufgabe ein entsprechendes Lösungsintervall, innerhalb dessen eine studentische Eingabe als korrekt gewertet werden kann. Das Intervall wird durch einen Dezimalbruch und einen entsprechendes Toleranzbereich definiert: ist zum Beispiel der gesuchte Zahlenwert einer Aufgabe der Bruch 1/3, kann man nur ein mehr oder weniger enges Intervall, z.B. in der Form $0{,}333 \pm 0{,}001$ oder $0{,}3 \pm 0{,}1$ als korrekte Lösung werten lassen. Da die Thematik der Messunsicherheit erst im Lauf des ersten Semesters erörtert wird, wurde bei der Konzeption der Aufgaben überwiegend ganzzahlige Lösungen angestrebt und das Toleranzintervall relativ groß gewählt. Diese Praxis umgeht auch die Eingabe von Dezimalkommas, die je nach Ländereinstellungen auf den beteiligten Computersystemen (Endgerät der Studierenden, Moodle-Server, R-Installation) ganz unterschiedlich gehandhabt wird.

## 3. Umsetzung

Abb. 1 zeigt eine Beispiel-Aufgabe aus dem Selbsttest zum Thema Massenträgheitsmoment in der Darstellung als Moodle-Test. Die Lösungswerte sind durch entsprechende Kästen dargestellt. Die Parameterwerte (31,50 kg, 16 cm und 0,60 Nm) sind in der Aufgabenstellung durch Platzhalter in der Form eines Latex-Makros enthalten und auch der korrekte Antwortzahlenwert ist derartig angegeben.


Auf dem Oktoberfest kann man sich auf das sogenannte *Teufelsrad* setzen, das ist eine ebene Plattform, die um ihre Mittelachse in Drehung versetzt werden kann. Die Mitfahrer versuchen, bei möglichst hohen Drehzahlen auf der Plattform zu verbleiben.

a. Der Haftreibungskoeffizient $\mu_{\mathrm{HR}}$ zwischen dem Teufelsrad und dem Dirndl von Lena beträgt 0,19. Gehen Sie davon aus, dass sich das Teufelsrad konstant dreht: Bis zu welcher Drehzahl $n$ kann Lena im Abstand von 141 cm von der Drehachse noch auf der Plattform bleiben? Geben Sie die Drehzahl in ganzen Umdrehungen pro Minute an!

b. Der Haftreibungskoeffizient zwischen Teufelsrad und der Lederhose von Maximilian beträgt 0,45. Er sitzt im Abstand von 141 cm von der Drehachse, während das Teufelsrad sich mit 6 $\mathrm{min}^{-1}$ dreht. Der Betreiber versucht, Maximilian ins Rutschen zu bringen, indem er das Rad auf Drehzahl 0 abbremst. Wie lange darf der Abstoppvorgang bei konstanter Drehbeschleunigung höchstens dauern, damit die Haftreibung Maximilian nicht mehr hält? Geben Sie die Dauer des Bremsvorgangs in ms an!

**Abb.1:** Beispielaufgabe aus einem Moodle-Quizz (Eingabe von zwei numerischen Werten)

Der Zahlenbereich für die Parameterwerte wird durch eine entsprechende Anweisung in der R-Programmiersprache zugewiesen.

Zur Lösung soll eine gleichförmig beschleunigte Drehbewegung des Starren Körpers angenommen werden und die Dauer der Beschleunigung sowie der zurückgelegte Winkel berechnet werden. Derartige Aufgaben sind typisch für die Anforderungen der Klausur des ersten Semesters, bei der viele Studienanfänger Schwierigkeiten besitzen, die physikalischen Einheiten korrekt zu verwenden (was sich z.B. bei der Umrechnung von Umdrehungen pro Minute in $2\pi/\mathrm{s}$ manifestiert), die quadratische Abhängigkeit des Drehwinkels von der Zeit zu erkennen oder die das Massenträgheitsmoment der Scheibe korrekt zu berechnen.

## 4. Resultate

Wie wird das Angebot der freiwilligen Selbsttests angenommen? Um dies zu beantworten, wurden die Nutzungsgrad an den 11 Selbsttests unter den 179 Teilnehmern ausgewertet: Der überwiegende Teil der Teilnehmer hat einen oder gar keinen der 10 Selbsttest aufgerufen (Abb. 2). Nur wenige Studierende haben nach dem ersten Versuch noch einen zweiten Selbsttest gestartet und noch weniger nutzen die Selbsttests im Laufe des Semesters regelmäßig. Diese Verteilung muss im Verhältnis der allgemeinen Zugriffsquoten auf den Moodle-Kursmaterialien (Abb. 3) gesehen werden, die die Zugriffe auf alle Vorlesungsfolien und die konventionellen Übungs-

blätter darstellt: Etwa zwei Drittel der Studierenden greifen auf die Hälfte oder weniger der bereitgestellten Materialien zu, ein Drittel nutzt mehr als die Hälfte aller elektronisch bereitgestellten Materialien. Die freiwilligen Selbsttests können aufgrund dieser Zugriffsstatistiken als relativ unbeliebte Lernhilfen eingestuft werden. Bei Betrachtung der Klausurergebnisse fällt auf, dass die regelmäßigen Nutzer der freiwilligen Selbsttests überdurchschnittliche Klausurleistungen erbringen, die Umkehrung gilt aber nicht. Alle Nutzer, die mehr als vier der Selbsttests freiwillig abgelegt haben, haben die Klausur bestanden. Dies waren aber nur 9% aller Klausurteilnehmer.

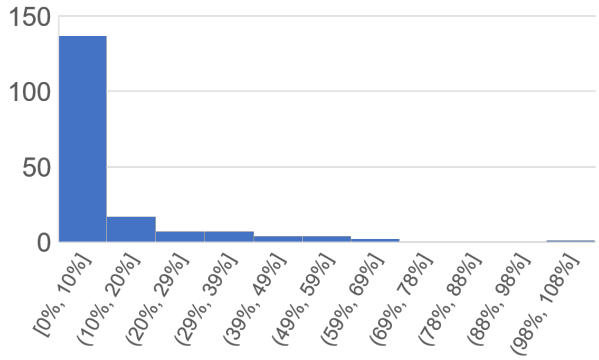



**Abb.2:** Verteilung Zugriffsquoten auf 11 Selbsttests. (Übungsblätter, Lösungen, Selbsttests) *n*=179 Teilnehmer

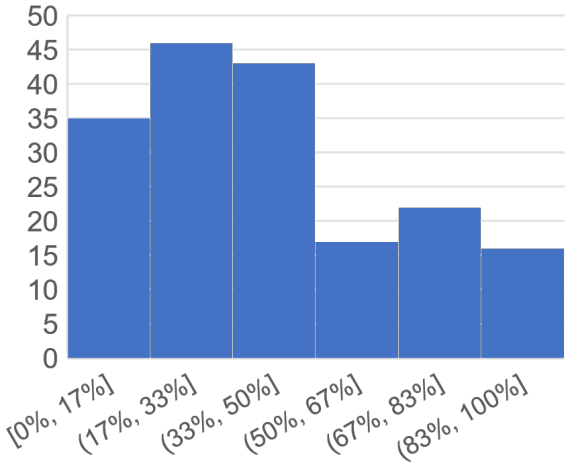



**Abb.3:** Verteilung Zugriffsquoten auf sämtliche elektronischen Dateien (Übungsblätter, Lösungen, Selbsttests) *n*=179 Teilnehmer

## 5. Ausblick

Mit Hilfe von R/exams und Moodle lassen sich mir relativ geringen Mehraufwand Übungsaufgaben mit randomisierten Parameterwerten für Quizze erstellen. Nur ein kleiner Bruchteil der Studierenden nutzt aber derartige Selbsttests zum freiwilligen Training. Um eine besseren Nutzungsgrad zu erreichen, müssen daher weitere Anreizsysteme eingesetzt werden. Letztendlich ist eine Akzeptanz freiwilliger Angebote hauptsächlich durch deren Qualität zu erreichen. Insbesondere muss der Nutzer anhand der angebotenen Lösungen erkennen können, dass und wie das Angebot eines formativen Assessments seinen Lernprozess anregt. Softwarepakete wie R/exams erleichtern hier den Dozenten die Erstellung attraktiver Übungsaufgaben und ermöglichen eine automatisierte Korrektur.

## 6. Literatur

[1] Mindestanforderungskatalog Physik: http://www.hochschuldidaktik.net/documents_public/Mindestanforderungskatalog_Physik_Version_02_-_20190211_Speicherreduziert.pdf (Stand: 2/2019)

[2] Mindestanforderungskatalog Mathematik: https://cosh-mathe.de/download/makV2.0neu.pdf (Version 2.0 Stand 10/2014)

[3] Moodle Kursumgebungssoftware https://moodle.org/

[4] R/exams Software zur Erzeugung von Online-Tests http://www.r-exams.org/

[5] Textsatzsoftware Latex https://www.latex-project.org/

[6] Mathematische Softwarebibliothek SymPy http://www.sympy.org

**Danksagung**

Die Arbeiten wurden gefördert durch das vom BMBF geförderte Projekt „MINT-College“ Förderkennzeichen 01PL16016

# Ergebnisse einer Interviewstudie zur Evaluation von kumulativem Physiklehren und -lernen im Lehramtsstudium Physik

**Tilmann John, Erich Starauschek**

PSE Stuttgart-Ludwigsburg, Reuteallee 46, 71602 Ludwigsburg
tilmann.john@ph-ludwigsburg.de

**Kurzfassung**

Die fachliche Ausbildung von Physiklehrkräften ist häufig zu wenig an den physikalisch-fachlichen Anforderungen des zukünftigen Lehrerberufes ausgerichtet. Daher wurde an der PH Ludwigsburg die Lehre in Mechanik zu einer kumulativen Lehre weiterentwickelt, die sich auf mechanische Grundkonzepte, damit verbundene typische Alltagsvorstellungen und inhaltliche Schulbezüge fokussiert. Dieses Lehrkonzept wird evaluiert. Teil der Evaluation ist eine Interviewstudie mit 16 Studierenden, die untersucht, wie die Studierenden die kumulative Lehre wahrnehmen und über welches Lernverhalten sie berichten. Die Studie zeigt erstens, dass die Studierenden die kumulative Lehre unterschiedlich wahrnehmen, und zweitens, dass ein Zusammenhang zwischen den subjektiven Wahrnehmungen und dem Lernverhalten der Studierenden besteht. Studierende, die ‚tiefenorientiert' lernen nehmen die kumulative Lehre wahr. ‚Oberflächenorientierte' Lerner nehmen dagegen Aspekte der Lehre wahr, die ihnen helfen, Wissen auswendig zu lernen.

## 1. Stand der Forschung

### 1.1. Professionswissen von Physiklehrkräften

Aktuelle Forschungsarbeiten zur Hochschuldidaktik fragen nach den notwendigen Kompetenzen für den Physiklehrerberuf und ob diese im Lehramtsstudium entwickelt werden (vgl. Vogelsang & Woitkowski, 2017). Zur Beantwortung der ersten Frage – „Was muss eine Physiklehrkraft können, um guten Unterricht zu gestalten?" – ist es üblich, das dafür notwendige „Lehrerwissen" nach Shulman (1987) zu kategorisieren. U. a. Baumert & Kunter (2006) zeigen, dass drei Kategorien von Shulman zentral sind: fachdidaktisches Wissen, pädagogisch-psychologisches Wissen und Fachwissen. Dabei gilt als ungeklärt, welche Breite und Tiefe das physikalische Fachwissen aufweisen muss, um ein kompetentes Handeln im Unterricht zu ermöglichen. Merzyn (2017) schließt aus Befragungen von Physikstudierenden, dass das im Studium erworbene Fachwissen für angehende Physiklehrkräfte „unpassend" sei: Es wird als tief bewertet, befähigt die Studierenden jedoch nur unzureichend, die Themen eines Physikcurriculums der Schule souverän zu unterrichten. Weitere Befunde stützen diese These: Nach dem Fachstudium ist ein „schulbezogenes vertieftes Fachwissen" nicht ausreichend vorhanden, angehende Physiklehrkräfte können ihr Fachwissen nicht auf die Schulinhalte beziehen (Riese, 2010; Borowski et al., 2011) und auch Physiklehramtsstudierende weisen am Ende ihres Studiums weiterhin schülertypische Alltagsvorstellungen auf (Abell, 2007).

Traditionell werden Physik-Lehramtsstudierende gemeinsam mit angehenden FachphysikerInnen ausbildet. Die Zielkompetenzen von LehrerInnen und PhysikerInnen unterscheiden sich aber graduell und kategorial. Dieser Konflikt ist der Kern der anhaltenden Debatte um ein Physikehramtsstudiums sui generis (z.B. Korneck et al., 2010).

### 1.2. Lernen im Studium

Die hochschuldidaktische Forschung identifiziert in einer Analyse von Meta-Studien fachunspezifische Variablen für die Hochschullehre, die mit einer hohen Erfolgswahrscheinlichkeit im Studium korreliert sind (Schneider & Preckl, 2017). Demnach gilt z. B. eine klare Form der Präsentation und eine starke Beteiligung der Studierenden sowie die Einbettung von konzeptuell anspruchsvollen Übungen als besonders lernwirksam. Dieser Rahmen berücksichtigt aber nicht explizit die Perspektive der Studierenden. Diese findet sich z. B. im „3p-Modell" (vgl. Abb. 1) von Biggs & Tang (2011). Das „3p-Modell" (*presage, process, product*) setzt die individuellen Voraussetzungen der Studierenden (Vorwissen, Vorerfahrungen zum Lernen) mit deren Wahrnehmung der Lernumgebung und dem daraus resultierenden Lernverhalten (Auswendiglernen vs. tiefgehendes Lernen) sowie dem Lernerfolg in Beziehung. Aus dem Modell folgt insbesondere die Notwendigkeit, die Lehrveranstaltung an die Lehrziele und die spezifischen Voraussetzungen der Studierenden anzupassen (*constructive alignment*).

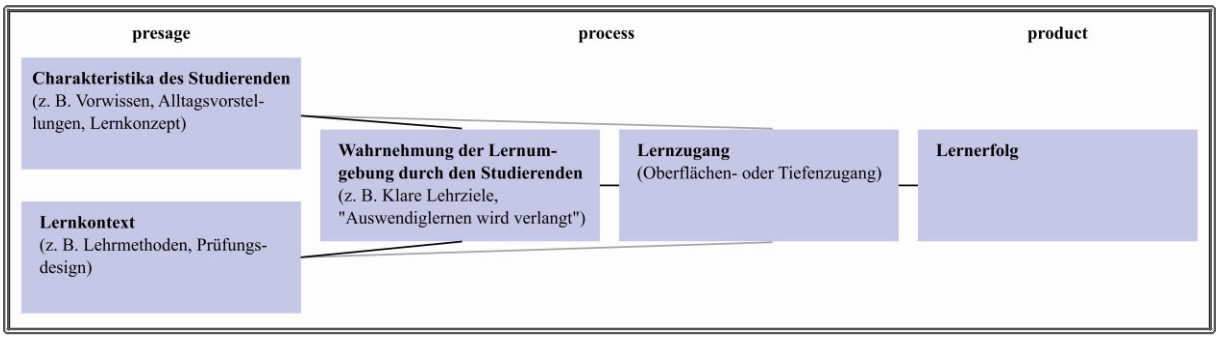



**Abb.1:** "3p - Modell" des universitären Lehrens und Lernens (Abbildung nach Biggs, 1989, S. 11).

Dem Modell liegen verschiedene Studien zum Lernen im Hochschulbereich zugrunde, die zeigen, dass es im Kern zwei unterschiedliche Arten von Lernen gibt: einen Tiefen- und einen Oberflächenzugang (z.B. Säljö, 1982; Marton et al., 1993). Entwistle (1997) charakterisiert Lerner mit Oberflächenzugang über die Intention, sich in einer Lernsituation neue Informationen zu merken, um sie zu einem späteren Zeitpunkt (typischerweise in der Prüfung) zu reproduzieren. Lerner mit Tiefenzugang haben dagegen die Intention, die Inhalte verstehen zu wollen und sich damit auseinanderzusetzen. Diese beiden Lernzugänge wurden auch beim Physiklernen nachgewiesen (Prosser et al., 2000). Die zentrale Aussage des 3p-Modells lautet: Der Lernzugang der Studierenden hängt davon ab, wie diese ihre Lernumgebung wahrnehmen (z. B. Prosser & Millar, 1989). Die Wahrnehmung wiederum hängt u. a. vom Vorwissen und dem Lernkonzept der Studierenden ab. Dabei unterscheidet sich das Lernkonzept (*learning conception*) vom Lernzugang (*approaches to learning*) trotz der Ähnlichkeiten (Marton & Säljö, 1997). Das Lernkonzept ist dem Belief-System zuzuordnen und charakterisiert die Vorstellungen einer Person von Lernen. Marton et al. (1993) zeigen, dass sich Lernkonzepte ausgehend von einem einfachen, allgemeinen zu einem differenzierten Lernkonzept graduell hierarchisch ordnen lassen. Das einfache, allgemeine Lernkonzept konzeptualisiert Lernen als eine Wissenserweiterung („Lernen hat dann stattgefunden, wenn ich mehr weiß, als zuvor“) oder als das Merken und Reproduzieren von Wissen. Ein differenziertes Lernkonzept konzeptualisiert Lernen als selbstständiges Generieren von Bedeutung – z. B. durch Hinterfragen von Wissen: „Woher weiß man das?“ – und geht mit der Veränderung der Person als Folge des Lernprozesses einher („Lernen bedeutet, etwas aus einer anderen Perspektive zu betrachten“, „Verstehen bereichert mich.“). Das Lernkonzept kann sich in der Lernbiografie eines Studierenden weiterentwickeln, wird aber bereits durch erste Lernerfahrungen in der Schule gebildet (Marton et al., 1993).

Es besteht ein Zusammenhang zwischen dem vorhandenen Lernkonzept und dem tatsächlichen Lernzugang. Ein einfaches, allgemeines Lernkonzept führt in einer Lernsituation wahrscheinlich zu einem oberflächenorientierten Lernzugang, ein differenziertes Lernkonzept wahrscheinlich zu einem tiefenorientierten Lernzugang (van Rossum & Schenk, 1982; Meyer & Muller, 1990). Die Wahl des Lernzugangs ist auch an die konkrete Lernsituation gebunden (Meyer & Muller, 1990; Prosser & Trigwell, 2017). Sie indiziert „die Art und Weise, (…) (wie) die Lernsituation erlebt wird, als auch die Art und Weise, wie mit ihr umgegangen wird“ (Marton & Booth, 2014, S. 59). Ist es explizites Ziel einer Lehrveranstaltung, Inhalte auswendig zu lernen, dann wäre eine oberflächenorientierte Herangehensweise angemessen. Stimmen Ziel und Angebot nicht überein – in einer Physikveranstaltung wird z. B. physikalisches Verständnis angestrebt, in den Übungen aber das Ausrechnen von Formeln favorisiert – dann wählen vermutlich auch Studierende mit einem differenzierten Lernkonzept den Oberflächenzugang.

In einem nächsten Schritt müssen die allgemeinen hochschuldidaktischen Modelle für eine Domäne spezifiziert werden. In unserem Fall: Welches physikalische Wissen und welche Alltagsvorstellungen bringen die Erstsemester mit? Welche physikdidaktischen Methoden können an universitäre Lehr-Lern-Arrangements adaptiert werden? Vogelsang & Woitkowski (2017) fassen den Forschungsstand hierzu zusammen: Der Einbezug der Fachdomäne hinsichtlich inhaltlicher Lerngegenstände ist bislang kaum Gegenstand hochschuldidaktischer Forschung (ebd. S. 8). Für die vorliegende Studie wurde mit dem Modell des „kumulativen Lehrens und Lernens im Lehramtsstudium Physik“ eine domänenspezifische Spezifikation vorgenommen und evaluiert.

## 2. Die Evaluationsstudie

### 2.1. Das Lehrkonzept „Kumulatives Lehren und Lernen im Lehramtsstudium Physik“

Evaluationsgegenstand ist das Lehrkonzept „Kumulatives Lehren und Lernen im Lehramtsstudium Physik“, das an der PH Ludwigsburg für Physiklehramtsstudierende der Sekundarstufe 1 entwickelt und exemplarisch in den Veranstaltungen zur Mechanik umgesetzt wurde (Rubitzko, Laukenmann & Starauschek, 2018). Professionelles Fachwissen sollte Physiklehrkräfte dazu befähigen, physikalische Grundkonzepte – hier der Mechanik – flexibel und schulbezogen anwen-

den zu können. Deshalb führt die schulbezogene Lehre mechanischer Grundkonzepte, z. B. das Kraft- oder das Impulskonzept, zu grundlegenden inhaltlichen Entscheidungen für das Lehrkonzept. Die Notwendigkeit der inhaltlichen Fokussierung auf die schulrelevanten Grundkonzepte in der professionsorientierten Hochschullehre kann anhand eines typischen Szenarios erläutert werden. In der theoretischen Mechanik sind z. B. der Lagrange- und Hamiltonformalismus hinsichtlich der Fachphysik wichtige Inhalte. Die Facetten des newtonschen Kraftbegriffs bleiben aber oft undiskutiert und werden zu trägem Wissen. Ansätze der newtonschen Mechanik aus der Experimentalphysik werden unter Umständen nicht explizit aufgegriffen. In diesem Sinn berichtet Wiesner (1994), dass Physikstudierenden die relevanten Kräfte einer Kurvenfahrt nicht fachlich korrekt einzeichnen können, obwohl davon auszugehen ist, dass sie das System im mathematischen Formalismus beherrschen. Letzteres nimmt in der Regel einen erheblichen Umfang in Übungen zur Vorlesung ein.

Die theoretische Basis der kumulativen Lehre bilden allgemeinpsychologische und didaktische Erkenntnisse zum kumulativen Lernen. Physikdidaktisches Wissen fließt in das Lehrkonzept „kumulatives Lehren und Lernen im Lehramtsstudium Physik“ ein (John & Starauschek, 2018). Folgende Aspekte bilden die Leitlinien des Lehrkonzepts und die Grundlage für die Evaluationsstudie: (1) das wiederholte, explizite Aufgreifen und (2) das kontextbasierte Üben von Grundkonzepten der Mechanik bei zunehmender Komplexität der Inhalte; dies entspricht dem kumulativen Lernen der Psychologie, mit den Wissensdimensionen konkret-abstrakt und spezifisch-allgemein. (3) Die gezielte Auseinandersetzung der Studierenden mit eigenen Alltagsvorstellungen, (4) die Sichtbarkeit des Schulbezuges und damit (5) die wahrnehmbare Relevanz der fachlichen Ausbildung.

### 2.2. **Evaluationsfragen**

Das Lehrkonzept „kumulatives Lehren und Lernen im Lehramtsstudium Physik“ soll das vertiefte Physiklernen unterstützen. Ob das Lehrkonzept tatsächlich zu vertieftem Lernen führt, zeigt sich im „3p-Modell“ in der subjektiven Wahrnehmung der Studierenden und deren Lernzugang. Dies führt zu folgende Evaluationsfragen (EF).

**EF 1** Welches Lernkonzept haben die Studierenden?

**EF 2** Welchen Lernzugang übernehmen die Studierenden in der Lehrveranstaltung?

**EF 3** Nehmen die Studierenden die fünf Aspekte der kumulativen Lehre wahr?

**EF 4** Welcher Zusammenhang besteht zwischen der subjektiven Wahrnehmung der kumulativen Lehre, dem Lernkonzept und dem Lernzugang?

### 2.3. **Evaluationsdesign**

Die Studierenden besuchen die Lehrveranstaltung Mechanik während ihres regulären Studiums. Die Evaluationsfragen werden durch eine retrospektive, qualitative Interviewstudie beantwortet.

#### 2.3.1. **Methode und Auswertung**

Zur Beantwortung der Evaluationsfragen wurden leitfadengestützte, problemzentrierte Interviews durchgeführt (Hopf, 2013). Die Auswertung erfolgte in Anlehnung an die Qualitativen Inhaltsanalyse (Schreier, 2012). Die Interviewfragen zum Lernkonzept (EF 1) bilden den ersten Interviewabschnitt und folgen Marton et al. (1993), z. B. „Was bedeutet für Sie Lernen?“. Die Interviewfragen zu EF 2 und EF 3 bilden den zweiten Interviewabschnitt. Hier wird untersucht, wie die Studierenden die Vorlesung erlebt haben: z. B. „Was fanden Sie an der Veranstaltung besonders gut?“, „Denken Sie an einen Inhalt, den Sie besonders gut verstanden haben. Was hat Ihnen dabei geholfen?“. Dabei wird nicht explizit nach der kumulativen Lehre gefragt. Für die Auswertung von EF 2 werden diese Aussagen nach Oberflächenzugang, Tiefenzugang und einer Zwischenstufe kategorisiert. Für die Auswertung von EF 3 bilden die Aspekte der kumulativen Lehre deduktiv die fünf Oberkategorien (vgl. Abschnitt 2.1). Diese fünf Oberkategorien werden in drei induktiv entwickelte Subkategorien differenziert: Wahrnehmung, teilweise oder keine Wahrnehmung des Lehrkonzeptes (vgl. Tab. 2). EF 4 wird durch eine interpretative Analyse der kategorisierten Einzelfälle untersucht.

#### 2.3.2. **Stichprobe**

| **Studierende Lehramt Physik, Sek. 1 (*N*=16)** | | | |
|---|---|---|---|
| | *MW* (*SD*) | | *MW* (*SD*) |
| Alter | 21,6 (2,0) | Semester | 2,1 (0,3) |
| Geschlecht | 31 % weibl. | Abiturnote | 2,6 (0,6) |

**Tab.1:** Deskriptive Daten zur Stichprobe (MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, Studiensemester und Alter zu Beginn der Mechanik-Vorlesung).

## 3. **Ergebnisse**

### 3.1. **Lernkonzept der Studierenden**

Drei Kategorien zum Lernkonzept wurden induktiv aus dem Interviewmaterial gebildet: ein oberflächliches (O) und ein vertieftes (T) Lernkonzept, sowie ein Zwischentyp (Z). Das Ergebnis ist für alle Studierenden in der ersten Zeile der Tab. 2 dargestellt. Die Kategorien bedeuten im Detail:

(O) Oberflächliches Lernkonzept: Lernen als Merken und Reproduzieren

Diese Kategorie beschreibt Lernen als Merken und Reproduktion. Lernen fokussiert hier nicht auf die Bedeutung eines Inhalts (z. B. den Bezug zum mentalen Modell, das mit einer mathematischen Formel verbunden ist), sondern auf den Inhaltsträger selbst (z. B. die Formel). Merken und Reproduzieren sind

Lernhandlung und Lernziel (z. B. die Formel in einer Prüfung abzurufen). Anwenden heißt in dieser Kategorie das Einüben von Aufgabenschemata.

Ankerbeispiel (Fall O14): „Lernen ist eigentlich ein Prozess auf jeden Fall. Und ich habe irgendwo einen Wissensstand, den ich durch mein Lernen erweitern möchte."

(Z) Zwischentyp: Lernen als ein selbstgesteuerter, verstehender Vorgang

In dieser Kategorie wird Lernen als eine Bedeutungskonstruktion aufgefasst. Im Gegensatz zur ersten Kategorie ist es nicht das Ziel, sich „fertiges" Wissens anzueignen, sondern selbstständig durch Informationen Wissen zu erarbeiten.

Ankerbeispiel (Fall Z8): „Wenn man Literatur liest und etwas aus der Literatur nicht versteht, versucht man sich das aus anderen Quellen in einer anderen Form verständnisvoll zu machen. Sprich man sucht dann nach alternativen Erklärungsmöglichkeiten, die das, was man gerade gelernt hat, auf eine andere Art und Weise darstellen."

(T) Vertieftes Lernkonzept: Lernen als Formen und Hinterfragen der eigenen Sichtweise

In Kategorie (T) erhält Lernen zusätzlich zu (Z) eine interpretative Dimension, die eine Veränderung der eigenen Denkweise zur Folge haben kann. Studierende betonen, dass sie sich zunächst ihrer persönlichen Auffassung eines Phänomens oder eines Konzepts bewusst werden müssen.

Ankerbeispiel (Fall T1): „Ganz allgemein würde ich sagen, muss man sich erstmal überlegen, was man überhaupt wissen will. Und sich vor allem überlegen, was das Gesetz aussagt. Man kann zum Beispiel überlegen, warum ein Physiker das Gesetz überhaupt aufgestellt hat, das kommt ja nicht vom Himmel gefallen, sondern er hat sich etwas dabei überlegt, er hat zum Beispiel ein Phänomen gehabt, das er erklären wollte."

### 3.2. Lernzugang der Studierenden zur Lehrveranstaltung

Mit der zweiten Evaluationsfrage wird der Lernzugang bestimmt, den die Studierenden konkret in der Lehrveranstaltung übernehmen. Induktiv wurden drei Kategorien gebildet:

(O) Oberflächenzugang: Lernen durch Merken und Reproduzieren

In dieser Kategorie beschreiben die Studierenden, dass sie in der Vorlesung oberflächliche Lernstrategien angewandt haben, die sich auf das Merken und Reproduzieren von Inhalten verallgemeinern lassen.

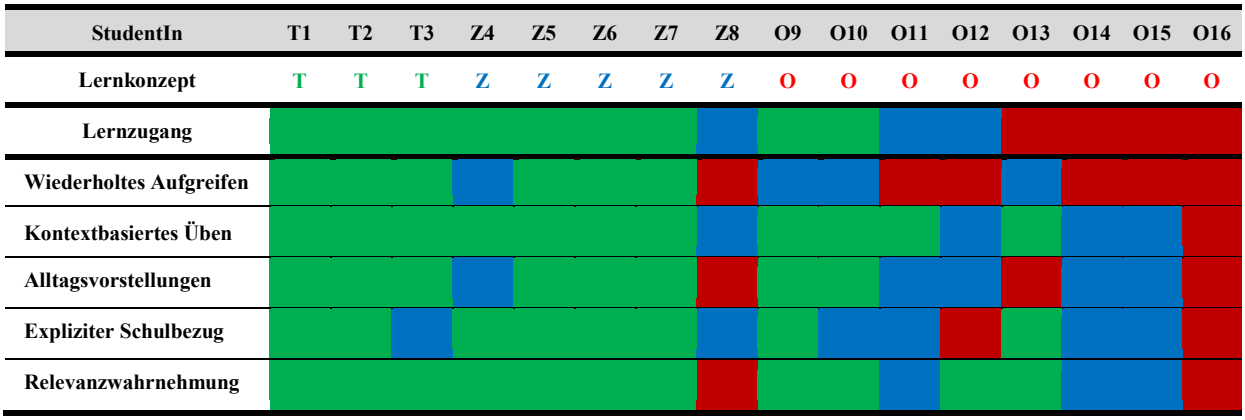
Ankerbeispiel (Fall O16): „Also man wurde gefragt, wie die Kraftpfeile liegen. Wir haben das oft gemacht, aber ich meine, die Formeln sind halt wichtiger, weil da steht ja alles drin. Ich kann mit so Formeln halt besser das nachvollziehen für mich. Also das Qualitative ist viel schwieriger, deshalb mach ich das nicht so gern."

(Z) Zwischentyp: Lernen durch einen selbstgesteuerten, verstehenden Vorgang

In dieser Kategorie beschreiben die Studierenden Lernaktivitäten, die über Merken oder Auswendiglernen hinausgehen. Wissen wird selbstgesteuert generiert, z. B. indem eine Erkenntnis aus einer eigenen Schlussfolgerung resultiert, jemandem etwas erklärt oder intensiv durchdacht wird. Im folgenden Beispiel bemerkt der Student bei studentischen Diskussionen in der Vorlesung, Inhalte nicht richtig verstanden zu haben.

Ankerbeispiel (Fall Z4): „Gerade auch mit dem Partner dann darüber reden. Einfach weil man dann doch nochmal diskutiert, argumentiert und dann vielleicht während dem Aussprechen merkt: Ok das passt nicht, was ich da erzähle. Das hat mir schon viel geholfen."

Es wird in dieser Kategorie auch häufig betont, die Inhalte verstehen *zu wollen*.




**Tab.2:** Wahrnehmungen der kumulativen Maßnahmen nach Lernkonzept geordnet. **Zweite Zeile:** Lernkonzept mit den Bezeichnungen **O**berflächlich, **Z**wischenkategorie, Ver**t**ieft. **Dritte Zeile:** Lernzugang mit folgenden farblichen Darstellungen: Oberflächenzugang (Rot), Zwischenkategorie (Blau), Tiefenzugang (Grün). **Zeilen 4 bis 8** enthalten die Maßnahmen der kumulativen Lehre mit folgenden farblichen Darstellungen: kumulative Maßnahme wurde nicht wahrgenommen (Rot), teilweise wahrgenommen (Grün), vollständig wahrgenommen (Blau).

(T) Tiefenzugang: Lernen durch vertieftes Nachdenken und Hinterfragen

In dieser Kategorie beschreiben die Studierenden, dass sie sich in der Vorlesung vertieft und kritisch mit den Inhalten auseinandergesetzt haben. Im folgenden Beispiel zeigt sich dies im kritischen Hinterfragen der eigenen Sichtweise.

> Ankerbeispiel (Fall T1): „Und man hat sich halt überlegt, warum man es falsch gedacht hatte, also warum es kontraintuitiv ist und was die Theorie oder die Formel eigentlich sagt. Oder das Konzept. Wie passt das mit dem zusammen, was ich schon weiß?“

Die Lernzugänge sind für alle Studierende in Tabelle 2 farblich kodiert. Neun Studierenden weisen einen Tiefenzugang (GRÜN) auf, vier Studierende einem Oberflächenzugang (ROT). BLAU kennzeichnet die Zwischenstufe (Z).

### 3.3. Subjektive Wahrnehmung der kumulativen Lehre

Die Oberkategorien der Wahrnehmung der kumulativen Lehre bilden die fünf Aspekte der kumulativen Lehre selbst (s. 2.1): (1) das wiederholte Aufgreifen von Grundkonzepten, (2) das kontextbasierte Üben, (3) die Auseinandersetzung mit eigenen Alltagsvorstellungen, (4) exemplarische Schulbezüge, (5) die Relevanzwahrnehmung für die eigene fachliche Ausbildung für die Schule. Zu jeder Oberkategorie wurden drei Subkategorien gebildet. ROT: Die Studierenden erkennen das Element der kumulativen Lehre nicht; BLAU: Die subjektive Wahrnehmung stimmt zum Teil mit dem Aspekt überein; GRÜN: Die subjektive Wahrnehmung stimmt vollständig mit der Intention des Aspektes überein. Tabelle 2 zeigt das Ergebnis (s. die Zeilen vier bis acht). Die Tabelle weist ein Muster auf: Die Hälfte der Studierenden nimmt die kumulative Lehre vollständig oder überwiegend entsprechend ihrer Intention wahr (d. h. alle bis auf eine Kategorie sind GRÜN). Sechs Studierende nehmen die kumulativen Aspekte nicht oder nur teilweise wahr (Z8, O11, O12, O14-16). Dies fällt insbesondere für das wiederholte Aufgreifen der Grundkonzepte auf. Die anderen Aspekte wurden von diesen sechs Studierenden häufig der Zwischenkategorie (BLAU) zugeordnet. Ein Beispiel: Es berichten bis auf drei (ROT) alle Studierenden, dass sie selbst Fehlvorstellungen haben. Aber nur die GRÜN kategorisierten Studierenden geben an, sich kritisch mit den eigenen Fehlvorstellungen auseinandergesetzt zu haben.

Folgende zwei Ankerbeispiele illustrieren den Unterschied zwischen einem Oberflächen- und einem Tiefenzugang:

> Ankerbeispiel (Fall O14): „Allgemein einfach Wissen auffrischen war das. Aber auch Schülervorstellungen zu löschen und die richtigen Vorstellungen zu haben.“
>
> Ankerbeispiel (Fall T3): „Und das war oft nicht so ganz klar erstmal, weil man eben vielleicht falsche Vorstellungen hatte oder so. Und durch diese Fragen hat man es sich echt nochmal durchüberlegt so. Halt auch daheim oder auf dem Heimweg nochmal, man muss sich das ja schon selber nochmal durch den Kopf gehen lassen, was diskutiert wurde und ob man es wirklich verstanden hatte auch."

Fall O14 spricht im Interview einerseits davon, dass die Vorlesung ihr ihre eigenen „Schülervorstellungen“ gezeigt hat. Sie berichtet aber an keiner Stelle des Interviews von einer vertieften Auseinandersetzung mit diesen Vorstellungen. Stattdessen beschreibt sie das oberflächliche Prinzip, eine falsche Vorstellung zu „löschen“ und zu „ersetzen“. Anders verhält es sich bei Fall T3. Sie berichtet davon, eigene Vorstellungen nach der Vorlesung noch „durchüberlegt“ und kritisch geprüft zu haben, „ob [sie] es wirklich verstanden hatte“.

### 3.4. Zusammenhang zwischen Lernkonzept, Lernzugang und Wahrnehmung der kumulativen Lehre

Die vierte Evaluationsfrage untersucht, inwiefern ein Zusammenhang zwischen den Lernkonzepten der Studierenden und ihrer Wahrnehmung der kumulativen Lehre und dem Lernzugang besteht. Tabelle 2 zeigt: Studierende mit oberflächlichem Lernkonzept nehmen die Aspekte der kumulativen Lehre weniger wahr als diejenigen mit vertieftem Lernkonzept oder vertieften Anteilen. Davon weichen die Fälle O9 und O10 ab, die wir weiter unten diskutieren, sowie der Fall Z8, der nicht diskutiert wird.

Lernkonzept und subjektive Wahrnehmung der Lernsituation führen nach dem 3p-Modell (s. 1.2) zur Wahl des Lernzugangs. Dies wollen wir exemplarisch an zwei kontrastierenden Fallbeispielen Tiefenzugang (T1) und Oberflächenzugang (O14) zeigen:

> Fallbeispiel tiefenorientierter Zugang (T1): „Bei jeder Aufgabe war etwas, was einen stutzig machen lässt. Und aha das hängt ja damit zusammen und wirklich das Thema durchdringt und dann nicht nur irgendwie oberflächlich drei Formeln im Kopf hat und die einsetzen kann, sondern wirklich die Zusammenhänge versteht, dadurch, dass es Konzepte gab, die einem vermittelt wurden und die dann immer wieder kamen, weil die in der Physik einfach auch ständig wichtig sind. […] Und dadurch, dass ich es selbst tiefer verstanden habe, kann ich es eben besser vermitteln, also kann besser elementarisieren, weil ich einen größeren Überblick über das Fach habe. Und das hilft mir. Das fand ich eben gut, dass man immer das Gefühl hatte, dass es einen weiterbringt auch als Lehrer, was man lernt.“
>
> I: „Was war das konkret, was Ihnen als auch als zukünftiger Lehrer weiterbringt?“
>
> T1: „Einfach sowas wie, dass man die Sachen formulieren können muss. Wir mussten ja oftmals so argumentieren und so. Das habe ich an der Uni nie (..) ja eigentlich fast nie gemacht. […] Aber es

bringt mich weiter, wenn ich es verstanden habe, weil nur wenn ich es wirklich verstanden habe, kann ich es auch richtig vermitteln."

In diesem Zitat deuten die Aussagen zum Lernen „das Thema durchdringen" und „wirklich die Zusammenhänge verstehen" auf eine intrinsische Motivation und damit auf ein tiefenorientiertes Lernkonzept hin. Dieses Lernkonzept wird aus Sicht des Studenten durch die Lehrveranstaltung unterstützt, indem Konzepte „immer wieder kamen". Damit spricht er den kumulativen Lehraspekt des wiederholten Aufgreifens von Grundkonzepten an, die er also auch wahrgenommen hat. Die Vorlesung korrespondiert zu seinem tiefenorientierten Lernkonzept. Dies zeigt sich wiederum in dem vertieften Lernzugang, den der Student in der Lehrveranstaltung wählt, z. B.: „Bei jeder Aufgabe war etwas, was einen stutzig machen lässt. Und aha, das hängt ja damit zusammen". Diese Aussage deutet auf ein kritisches und vertieftes Nachdenken und somit auf den vertieften Lernzugang hin. Die Bedeutung des Lernens liegt für den Studenten neben dem inhaltlichen Verständnis zudem darin, als Lehrer weiterzukommen. Dazu ist es aus seiner Sicht notwendig, die Inhalte „tiefer verstanden [zu haben]". Diese Erwartung macht ihn sensibel für Maßnahmen der Lehre, die ihn dabei unterstützen, als Lehrer besser zu werden. Konkret nimmt der Student dabei die qualitativen Herangehensweisen an physikalische Inhalte als unterstützend wahr („[…] dass man Sachen formulieren können muss").

Beim zweiten Fall ist eine andere Beziehung zwischen der Wahrnehmung der Lehre, Lernkonzept und Lernzugang zu erkennen:

Fallbeispiel Oberflächenzugang (O14): „Da hätte ich halt gern, dass da einfach auch zwei, drei Rechenaufgaben dabei sind. Einfach, dass man auch sich mit den Formeln beschäftigt. Klar braucht man die in der Schule nicht so. Aber wenn es dann halt einfach jemanden gibt, wie mich, die halt gern über Formeln arbeiten, für die ist das dann halt noch einmal eine Hilfe. Dass die Formeln besser im Gedächtnis bleiben. […] Ok, jetzt habe ich ja die Prüfung geschafft, jetzt brauche ich das nicht mehr, jetzt kommt ja wieder was Neues. Wie so ein bisschen den Speicher leeren."

Die Studentin beschreibt Lernen als Merken und Reproduzieren, wenn sie zum Beispiel sagt, „dass die Formeln im Gedächtnis bleiben" und sie nach der Prüfung „den Speicher leeren" kann. Dies entspricht einem Oberflächenzugang zum Lernen in er Lehrveranstaltung. Die Studentin nimmt die Maßnahmen der kumulativen Lehre überwiegend nicht wahr (s. Tab. 2). Stattdessen wünscht sie sich Rechenaufgaben und Formeln, denn diese unterstützen sie nach ihrem subjektiven Lernkonzept, weil sie sich die Formeln gut merken und in der Prüfung reproduzieren kann. Für Student (T1) lag die Bedeutung des Lernens darin, Inhalte zu verstehen, weil es ihn als Lehrer „weiterbringt". Bei Studentin (O14) ist eine solche Bedeutung auch bei Betrachtung ihres gesamten Datenmaterials nicht zu erkennen. Stattdessen lässt sich auf eine extrinsische Motivation des Lernens schließen: Ihr Ziel ist es, die Prüfung zu bestehen. Anschließend argumentiert die Studentin, sie brauche das Wissen danach nicht mehr. Zum Beispiel wird die Möglichkeit, dass sie das erworbene Wissen als zukünftige Lehrerin benötigen könnte, von ihr nicht angesprochen. Sie folgt einem Oberflächenzugang. Dies lässt den Schluss zu, dass ihr Oberflächenkonzept ihren Lernzugang und die Art und Weise, wie die Vorlesung wahrgenommen wird, beeinflusst.

### 3.5. **Die Fälle O9 und O10**

Die Fälle O9 und O10 passen auf den ersten Blick nicht in das bisherige Muster: Die Studenten haben ein oberflächliches Lernkonzept; z. B. konzeptualisiert der Fall O9 Lernen als das Lösen von Aufgaben:

Fallbeispiel (O9) – Oberflächenkonzept und Tiefenzugang: „Man hat etwas verstanden, wenn man es ausrechnen kann".

Gleichzeitig nimmt Fall O9 die kumulative Lehre wahr. Das folgende Zitat zeigt, dass Fall O9 aufgrund der Maßnahmen einen Tiefenzugang wählt (der Fall O10 verhält sich analog).

Fallbeispiel (O9) – Oberflächenkonzept und Tiefenzugang: „Also bei mir ist es oft so, ich denk mir einen physikalischen Zusammenhang, denk mir: Ok das ist eigentlich ganz einfach. Stell mir das so vor, hör das dann vielleicht von einem, der die Lösung sagt und dann: Ja ok, so habe ich es auch gedacht. Aber wenn man dann jetzt sieht, dass zum Beispiel neun das falsch haben und man dann die anderen Meinungen hört von denen, die es nicht wussten, dann merkt man auch teilweise finde ich, dass man es selbst auch nicht so genau wusste, dass man selbst nur die Oberfläche hatte, aber nicht genau den Hintergrund. Wo dann andere sich dann wiederum mehr Gedanken gemacht hatten und deswegen es dann nicht verstanden haben. Manchmal sieht man nur die Oberfläche, hat dann die richtige Lösung, was vielleicht auch mit Glück zusammenhängt und diesen genauen Zusammenhang dahinter kriegt man dann oft durch die genauen Besprechungen."

Insbesondere spricht Fall O9 davon, dass ihm erst durch die Diskussion bewusst wurde, nur oberflächlich gelernt zu haben. Der Student hat aber nicht von sich aus einen Tiefenzugang gewählt. Die Fälle O9 und O10 zeigen, dass es prinzipiell möglich ist, bei Lernern mit Oberflächenkonzept über die kumulativen Lehre Tiefenlernen zu induzieren.

## 4. **Zusammenfassung und Diskussion**

Tabelle 2 zeigt, dass drei der sechzehn Studierenden eindeutig ein vertieftes und acht eindeutig ein oberflächliches Lernkonzept nennen. Ähnliche Zahlen-

verhältnisse zeigen sich auch in bisherigen Studien mit Studierenden in den Anfangssemestern (z. B. Prosser & Millar, 1989). Unsere Auswertung ist also valide. Wir gehen mit der folgenden Deutung über die eigene Evaluationsfrage hinaus: Die eindeutigen Tiefenlerner mit Tiefenkonzept stellen vermutlich immer nur eine Minderheit unter den Studierenden dar (s. 2.2, EF1). Hingegen findet sich bei neun Studierenden ein Tiefenzugang beim Lernen. Nur vier Studierende mit Oberflächenkonzept weisen einen Oberflächenzugang auf (s. 2.2, EF2). Offenbar kann Tiefenlernen durch kumulative Lehre induziert werden. Dies geschieht überwiegend beim Zwischentypus (Z), aber auch bei Lernern mit Oberflächenkonzept (Fälle O9 und O10). Dennoch zeigt sich, dass etwa ein Viertel der Studierenden auch durch eine professionsorientierte und kognitionspsychologisch potenziell wirksame Lehre nicht erreicht wird.

Nach Biggs & Tang (2011) verhalten sich Lernende mit oberflächlichem Lernkonzept beim Lernen weniger selbstständig als solche mit vertieftem Lernkonzept, d. h. sie sind weniger an den Inhalten interessiert und kommen deshalb z. B. ohne inhaltliche Fragen und Erwartungen in eine Vorlesung. Sie können prinzipiell bei gezielter Unterstützung mit einem Tiefenzugang lernen. Dies scheint nach unseren Ergebnissen aber nur mit einem größeren Aufwand als den schon erbrachten möglich zu sein. Unsere Interpretation lautet: Auch mit sehr großem Aufwand bleibt ein Teil der Studierenden im Oberflächenkonzept verhaftet – im Fall des Physiklernens auf einem formelbasierten Lernen.

Nach dem „3p-Modell“ beeinflusst die subjektive Wahrnehmung der Lehre den Wissenserwerb. Gute Lehre sollte als gute Lehre wahrgenommen werden. Die Interviewstudie zeigt allerdings, dass nur ein Teil der Studierenden die kumulative Lehre wahrnimmt. Etwa die Hälfte der Studierenden erkennt die kumulativen Aspekte. Sie berichten, dass das wiederholte Aufgreifen und Üben der Grundkonzepte es ihnen ermöglicht, die Grundkonzepte erstens zu elaborieren und zweitens Zusammenhänge besser zu erkennen. Zudem hat die kumulative Lehre sie auf die eigenen Alltagsvorstellungen aufmerksam gemacht, was ihnen eine vertiefte Auseinandersetzung mit diesen eigenen Vorstellungen ermöglichte. Die Wahrnehmung der expliziten Schulbezüge führt dazu, dass die Studierenden die fachlichen Inhalte auch als relevant für ihren zukünftigen Lehrberuf bewerten. Nach Heublein et al. (2010) tritt insbesondere häufig im Lehramtsstudium eine fehlende Relevanzwahrnehmung zusammen mit Studienabbrüchen auf. Dem könnte die kumulative Lehre nach unserem Modell entgegenwirken. Die andere Hälfte der Studierenden nimmt die kumulativen Aspekte der Lehre hingegen nicht oder nur teilweise wahr.

Wie hängen Lernkonzept, die Wahrnehmung der kumulativen Lehre und der gewählte Lernzugang zusammen (s. 2.2., EF4)? Studierende, welche die kumulative Lehre nicht oder nur teilweise erkennen, weisen in der Tendenz ein oberflächliches Lernkonzept auf. Das zeigt sich darin, dass ihre subjektive Wahrnehmung ihnen auch die (und nur die) Elemente der Lehre zeigt, die zu ihrem Oberflächenkonzept passen. Typischerweise folgt das Lernverhalten dann dem Schema des Merkens und Reproduzierens. Wir bestätigen den engen Zusammenhang zwischen den Lernkonzepten und der Wahrnehmung der Lehre der bisherigen Studien (z. B. Säljö, 1982; Marton & Booth, 2014, S. 63; Prosser & Trigwell, 2017). Da die Zwischentypen Z und zwei Oberflächenlerner einen Tiefenzugang gewählt haben und alle diese Fälle eine Wahrnehmung der kumulativen Lehre aufweisen, können wir begründet einen kausalen Zusammenhang annehmen. Dies müsste weiter untersucht werden.

Die Evaluationsstudie zeigt also, dass ein großer Teil der Studierenden subjektiv durch die kumulative Lehre beim kumulativen, vertieften Physiklernen unterstützt wird. Die vorgeschlagene kumulative Lehre der Physik für Lehramtsstudierende ist daher grundsätzlich geeignet, Grundkonzepte kumulativ zu lehren, Schulbezüge und die damit einhergehende Relevanz wahrnehmbar zu machen und eine vertiefte Auseinandersetzung der Studierenden mit ihren Alltagsvorstellungen zu bewirken. Andererseits gibt es Grenzen: Studierende mit oberflächlichem Lernkonzept lassen sich nur bedingt erreichen. Offen bleibt auch die Frage inwieweit diese Leitlinien für die Gestaltung der konkreten Lehr-Lern-Arrangements hinreichend sind.

Wie ist die Wirkung der kumulativen Physiklehre in die Debatte um die Physikausbildung einzuordnen? Prosser et al. (2000) fordert für die Hochschullehre in den Naturwissenschaften, dass sie das Vorwissen und das Vorverständnis der Studierenden stärker berücksichtigen soll (ebd. S. 71). Merzyn (2004) kritisiert, dass in der naturwissenschaftlichen Lehramtsausbildung in Deutschland „Wissen passiv konsumiert“ werde, was auf die traditionelle Art der Wissensvermittlung zurückzuführen sei (ebd. S. 83) und fordert damit ein „aktiveres Lernen“. Unsere Ergebnisse unterstützen beide Forderungen. Es könnte aber auch eine stabile Gruppe von Studierenden geben, die selbst durch geeignete Maßnahmen nicht zum Tiefenlernen geführt werden können.

Letztendlich können wir mit dieser Studie keine Aussage über die Lernwirksamkeit der kumulativen Lehre machen. Ein weiterer Teil der Evaluationsstudie befasst sich mit den Auswirkungen der kumulativen Lehre auf die Entwicklung des physikalischen Wissens. Die Daten hierzu werden zurzeit ausgewertet und die Ergebnisse demnächst veröffentlicht.

## 5. Literaturverzeichnis

Abell, S. K. (2007). Research on science teacher knowledge. In S. K. Abell & N. G. Ledermann (Eds.), Handbook of Research in Science Education, 1105–1149.

Baumert, J. & Kunter, M. (2006). Stichwort: Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. Zeitschrift Für Erziehungswissenschaft, 9(4), 469–520.
Biggs, J. B. (1989). Approaches to the enhancement of tertiary teaching. Higher Education Research & Development, 8(1), 7–25.
Biggs, J. B. & Tang, C. (2011). Teaching for quality learning at university: What the student does: McGraw-Hill Education (UK).
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.
Entwistle, N. (1997). Contrasting Perspectives on Learning. In F. Marton, D. Hounsell & N. J. Entwistle (Eds.). The experience of learning: Implications for teaching and studying in higher education. Scottish Academic Press, 3–22.
Heublein, U., Hutzsch, C., Schreiber, J., Sommer, D. & Besuch, G. (Eds.) 2010. Ursachen des Studienabbruchs in Bachelor- und in herkömmlichen Studiengängen. HIS: Hochschul-Informations-System GmbH.
Hopf, C. (2013). Qualitative Interviews – ein Überblick. In U. Flick, E. von Kardoff & I. Steinke (Eds.), Qualitative Forschung: Ein Handbuch. Rowohlt Taschenbuch Verlag, 10, 349–359.
John, T. & Starauschek, E. (2018). Kumulatives Lehren und Lernen im Lehramtsstudium Physik: Entwicklung eines Modells zur professionsorientierten Fachausbildung von Physiklehrkräften. In PhyDid B (Ed.), Didaktik der Physik-Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung.
Korneck, F., Lamprecht, J., Wodzinski, R. & Schecker, H. (2010). Quereinsteiger in das Lehramt Physik – Lage und Perspektiven der Physiklehrerausbildung in Deutschland; eine Studie der Deutschen Physikalischen Gesellschaft. Bad Honnef.
Marton, F., DallAlba, G. & Beaty, E. (1993). Conceptions of learning. International Journal of Educational Research, 1993(19), 227–300.
Marton, F. & Säljö, R. (1997). Approaches to Learning: Explaining Differences in Outcome. In F. Marton, D. Hounsell, & N. J. Entwistle (Eds.), The experience of learning. Scottish Academic Press, 39–58.
Marton, F. & Booth, S. (2014). Learning and awareness. Berlin. Logos-Verlag.
Merzyn, G. (2004). Lehrerausbildung–Bilanz und Reformbedarf. Überblick Über Die Diskussion. Baltmannsweiler: 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.
Meyer, J. & Muller, M. W. (1990). Evaluating the quality of student learning. Studies in Higher Education, 15(2), 131–154.
Prosser, M. & Millar, R. (1989). The “how” and “what” of learning physics. European Journal of Psychology of Education, 4(4), 513.
Prosser, M., Trigwell, K., Hazel, E. & Waterhouse, F. (2000). Students’ experiences of studying physics concepts: The effects of disintegrated perceptions and approaches. European Journal of Psychology of Education, 15(1), 61–74.
Prosser, M. & Trigwell, K. (2017). Student learning and the experience of teaching. HERDSA Review of Higher Education, 4, 5–27.
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. & Starauschek, E. (2018). Kumulatives Lehren der Mechanik in der Lehramtsausbildung. In PhyDid B (Ed.), Didaktik der Physik-Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung.
Säljö, R. (1982). Learning and understanding: A study of differences in constructing meaning from a text: Humanities Pr.
Schneider, M. & Preckel, F. (2017). Variables associated with achievement in higher education. Psychological Bulletin.
Schreier, M. (2012). Qualitative content analysis in practice: Sage publications.
Shulman, L. (1987). Knowledge and teaching: Foundations of the new reform. Harvard Educational Review, 57(1), 1–23.
Van Rossum, E. J. & Schenk, S. M. (1984). The relationship between learning conception, study strategy and learning outcome. British Journal of Educational Psychology, 54(1), 73–83.
Vogelsang, C. & Woitkowski, D. (2017). Physikdidaktische Forschung in der Hochschule. Eine Übersicht über Forschungsdesigns und-methoden. Die Hochschullehre, 3(1).
Wiesner, H. (1994). Verbesserung des Lernerfolgs im Unterricht über Mechanik. Schülervorstellungen, Lernschwierigkeiten und fachdidaktische Folgerungen. Physik in der Schule, 32(4), 122–127.

**Danksagung**

Das Vorhaben Lehrerbildung PLUS wird im Rahmen der gemeinsamen „Qualitätsoffensive Lehrerbildung“ von Bund und Ländern aus Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gefördert.

# Mindestanforderungskatalog Physik – ein Vorschlag

**Hanno Käß[1], Manuela Boin[2], Ulrich Braunmiller[1], Karl Heinz Dambacher[3], Dominik Giel[4], Ulrich Harten[5], Bernd Jödicke[6], Günther Kurz[1], Axel Löffler[7], Stephan Pitsch[3], Jürgen Sum[6], Stefan Vinzelberg[5], Talea Wenzel[7], Joachim Werner[2]**

[1]Hochschule Esslingen, [2]Hochschule Ulm, [3]Hochschule Reutlingen, [4]Hochschule Offenburg, [5]Hochschule Mannheim, [6]Hochschule Konstanz, [7]Hochschule Aalen
hanno.kaess@hs-esslingen.de

**Kurzfassung**

Die Studienanfänger in den technischen Studiengängen der Hochschulen für angewandte Wissenschaften haben nicht nur in Mathematik sondern auch in Physik sehr unterschiedliche Vorkenntnisse. Obwohl diese Fächer für das grundlegende Verständnis technischer Vorgänge von großer Bedeutung sind, kann die Ausbildung in diesen Bereichen angesichts der begrenzten dafür im Verlauf des Studiums zur Verfügung stehenden Zeitfenster nicht bei Null anfangen. Für Mathematik wurde daher von der Arbeitsgruppe cosh ein Mindestanforderungskatalog zusammengestellt und 2014 veröffentlicht. Er beschreibt Kenntnisse und Fertigkeiten, die Studienanfänger zur erfolgreichen Aufnahme eines WiMINT-Studiums (Wirtschaft, Mathematik, Informatik, Naturwissenschaft, Technik) an einer Hochschule benötigen. Inzwischen hat sich nun eine Arbeitsgruppe von Physikerinnen und Physikern an Hochschulen in Baden-Württemberg gebildet, deren Ziel es ist, einen analogen Mindestanforderungskatalog für den Bereich Physik zu erstellen. Hier wird der aktuell erreichte Stand der Arbeiten vorgestellt.

## 1. Ausgangslage

Viele der im Bereich Physik an den Hochschulen für Angewandte Wissenschaften (HAW, früher als Fachhochschulen bezeichnet) in Baden-Württemberg tätigen Professorinnen, Professoren und Lehrbeauftragten äußern in Gesprächen im Kollegenkreis ihren subjektiven Eindruck, die in diesem Fach von den Erstsemestern zu Studienbeginn mitgebrachten Vorkenntnisse würden im Lauf der Zeit immer geringer. Auf Nachfrage wird dies mit persönlichen Erfahrungen illustriert, wie sie etwa bei der Korrektur von Klausuren oder der Betreuung von Studierenden im Physiklabor gemacht werden [1]. Natürlich darf auf Basis solcher anekdotischen Erlebnisse keine Generalisierung erfolgen. Dennoch stellt sich aufgrund der weiten Verbreitung dieser Einschätzung die Frage, ob sich diese Wahrnehmung − vielleicht nur in Teilen – auch objektiv belegen lässt.

Ein solcher Nachweis ist im Bereich Physik schwieriger als in der eng benachbarten Mathematik. Dort erheben viele Hochschulen die Kenntnisse und Fertigkeiten der Erstsemester mit Hilfe eines gleich zu Studienbeginn durchgeführten, meist lokal erstellten Mathematik-Tests. Auch an der HAW Esslingen wird seit Jahrzehnten ein dort in den 1970-er Jahren selbst entwickelter Test eingesetzt. Dieser zeigt einen klaren Trend der Abnahme mathematischer Kenntnisse zu Studienbeginn.

Im Bereich Physik werden dagegen die Eingangskenntnisse in der Regel nicht systematisch erhoben und so liegen hier sehr viel weniger gesicherte Informationen über den tatsächlichen Kenntnisstand und seine Entwicklung vor.

Lediglich für die Universitäten ist in diesem Zusammenhang eine Untersuchung in großem Rahmen zu nennen [2]. Für die Studiengänge Physik an 24 Universitäten wurden darin die Testresultate einer Anfängerkohorte aus dem Jahr 2013 mit den Daten aus »Der bundesweite Studieneingangstest Physik« von 1978 verglichen [3]. Die Testleistungen haben demzufolge im Mittel deutlich abgenommen.

Für den Bereich der HAW sind keine vergleichbar breiten Erhebungen bekannt. Dies liegt sicher nicht zuletzt daran, dass die Lehrinhalte in den mit „Physik“ bezeichneten Modulen viel mehr an jeweilige studiengangspezifische Anforderungen angepasst sind, als dies in der Mathematik mit ihrem deutlich einheitlicheren Kanon an Inhalten der Fall ist.

Vor diesem Hintergrund wurde ab WS 2016/17 an der HAW Esslingen begonnen, in Kooperation mit drei weiteren HAW systematisch die Eingangskenntnisse in Physik von Erstsemestern ganz speziell in den Studiengängen Maschinenbau zu erfassen. Schon nach den vier bis jetzt durchgeführten Durchläufen zeigte sich eine abnehmende Tendenz des Kenntnisstands. Eine detaillierte Vorstellung der

Ergebnisse erfolgte auf der DPG-Frühjahrstagung 2019 in Aachen als Beitrag DD 17.2.

## 2. Ansatz zur Klärung und Verbesserung

Die Geschäftsstelle der Studienkommission für Hochschuldidaktik (GHD) unterstützt alle HAW in Baden-Württemberg im Bereich Didaktik. Dazu gehört die Organisation eines - jedes Semester an einer anderen Hochschule - stattfindenden Arbeitstreffens für die Physikerinnen und Physiker an den HAW im Land. Es steht allen daran interessierten Professorinnen, Professoren und Lehrbeauftragten offen. Im Mittel nehmen, in teils wechselnder Besetzung, 20 bis 25 Personen daran teil. Ab 2012 wurden in diesem Kreis die schulspezifischen Bildungspläne für Physik und sich daraus ergebende Folgerungen für den Übergang Schule - Hochschule diskutiert. Dabei musste berücksichtigt werden, dass es zunehmend mehr Wege zur Hochschulzugangsberechtigung und damit zum Studium gibt, was sich insbesondere unter den Studierenden an den HAW bemerkbar macht [4]. Etwa die Hälfte der dort Studierenden hat kein Abitur an einem allgemeinbildenden Gymnasium abgelegt, sondern kommt über Berufskolleg, Berufsoberschule oder Fachgymnasium an eine HAW. Seit einigen Jahren nimmt auch die Anzahl derjenigen zu, die nach erfolgreich abgeschlossener Ausbildung und anschließender Berufstätigkeit oder einer Meisterprüfung ein Studium an einer HAW beginnen [5].

Es zeigte sich, dass die allen diesen Wegen gemeinsame Schnittmenge der Bildungshorizonte in Physik weit unterhalb des Niveaus blieb, das die an den Diskussionen beteiligten Kolleginnen und Kollegen angenommen oder mindestens erhofft hatten. Andererseits wollen sicherlich nicht alle Absolventen der jeweiligen schulischen Bildungsgänge danach ein technisches Studium aufnehmen. Darum muss ein solcher Niveauunterschied auch nicht generell um jeden Preis vermieden werden, wenn es geeignete Maßnahmen und Hilfen gibt, die es allen ernsthaft an einem solchen technischen Studium Interessierten ermöglichen, mit ihrem jeweiligen Schulabschluss den Übergang in das Studium zu meistern.

In diese Zeit fiel die Publikation des „Mindestanforderungskatalogs Mathematik“ der Arbeitsgruppe cosh (**CO**operation **S**chule **H**ochschule) am 23. Juli 2014 [6, 7]. In der Folge fanden auch die Kolleginnen und Kollegen aus der Physik dessen Struktur so überzeugend, dass sie übernommen und adaptiert wurde. Die weiteren Diskussionen standen nun unter der Leitfrage: *Welche Vorkenntnisse in Physik sind für den erfolgreichen Start in ein (WiMINT) Studium an einer HAW notwendig?* Ziel war somit, einen analogen „Mindestanforderungskatalog Physik“ zur Definition dieser Vorkenntnisse zu erstellen.

Ein solcher Katalog würde es erlauben, eventuelle Lücken in den Vorkenntnissen Studieninteressierter festzustellen. Davon wären dann wiederum geeignete Hilfsmaßnahmen aller Art abzuleiten, um die diagnostizierten Lücken zu füllen und so den Weg zu einem erfolgreichen Übergang von der Schule in ein technisches Studium zu ebnen.

## 3. Konzeption des Mindestanforderungskatalogs

In einer Klausurtagung verständigte sich die Arbeitsgruppe zuerst über die mit dem zu erstellenden „Mindestanforderungskatalog Physik“ verfolgten Ziele. Demnach soll er in drei unterschiedlichen Bereichen Orientierung bieten:

- **Beurteilung** des Umfangs der zur erfolgreichen Studienaufnahme benötigten Vorkenntnisse
- **Definition** von – je nach Situation auch individuellen − Hilfsmaßnahmen zu Studienbeginn
- **Kommunikation** mit zukünftigen Studierenden, Schulen, Bildungsträgern und Interessierten

Inhaltlich sollte der Mindestanforderungskatalog nur die von allen Beteiligten als erforderlich angesehenen Vorkenntnisse zu denjenigen Themengebieten enthalten, die nachfolgend im Studium im Rahmen der Lehrveranstaltungen in Physik durchweg von allen (oder mindestens der großen Mehrheit der) Kolleginnen und Kollegen an den HAWs in Baden-Württemberg angesprochen werden. Daher ist zum Beispiel nichts zur Atomphysik enthalten. Als ausgesprochen wichtig wurde jedoch ein ergänzender Bereich „Allgemeine physikalische Kompetenzen“ angesehen und mit aufgenommen. In der aktuellen Version besteht der Mindestanforderungskatalog daher aus fünf Kapiteln:

- Allgemeine physikalische Kompetenzen
- Mechanik
- Elektrizitätslehre
- Wärmelehre
- Optik

Der Aufbau der einzelnen Kapitel ist dabei immer gleich. Zuerst werden die zugehörigen Kompetenzen und Anforderungen stichwortartig aufgeführt. Nachfolgend werden diese Anforderungen dann anhand beispielhafter Fragestellungen erklärt, deren Beantwortung die jeweiligen Kenntnisse erfordern. Diese exemplarischen Fragen sind also nicht als Prüfungsaufgaben zu verstehen.

Der Aufbau des Mindestanforderungskatalogs Physik [8] ist damit völlig analog zu der bewährten Struktur des Mindestanforderungskatalogs Mathematik der cosh Arbeitsgruppe [7].

Die Zusammenstellung der Kompetenzen und Formulierung der Aufgaben erfolgte von 2016 bis 2018 in fünf thematischen Arbeitsgruppen, die sich in eigener Verantwortung damit befassten. Bei den jedes Semester stattfindenden Arbeitstreffen der gesamten Gruppe erfolgte dann gemeinsam in großer Runde mit allen Anwesenden eine Revision der zu den einzelnen Themenbereichen zusammengestell-

ten Kompetenzen und Aufgaben. Zu jedem dieser Arbeitstreffen, die an unterschiedlichen HAW in Baden-Württemberg stattfanden, wurden nach Möglichkeit auch Lehrerinnen und Lehrer aus Schulen vor Ort eingeladen. Einige davon waren auch als Lehrbeauftragte für Physik an einer HAW tätig und kannten daher beide Seiten des Übergangs Schule – Hochschule aus eigener Lehrerfahrung.

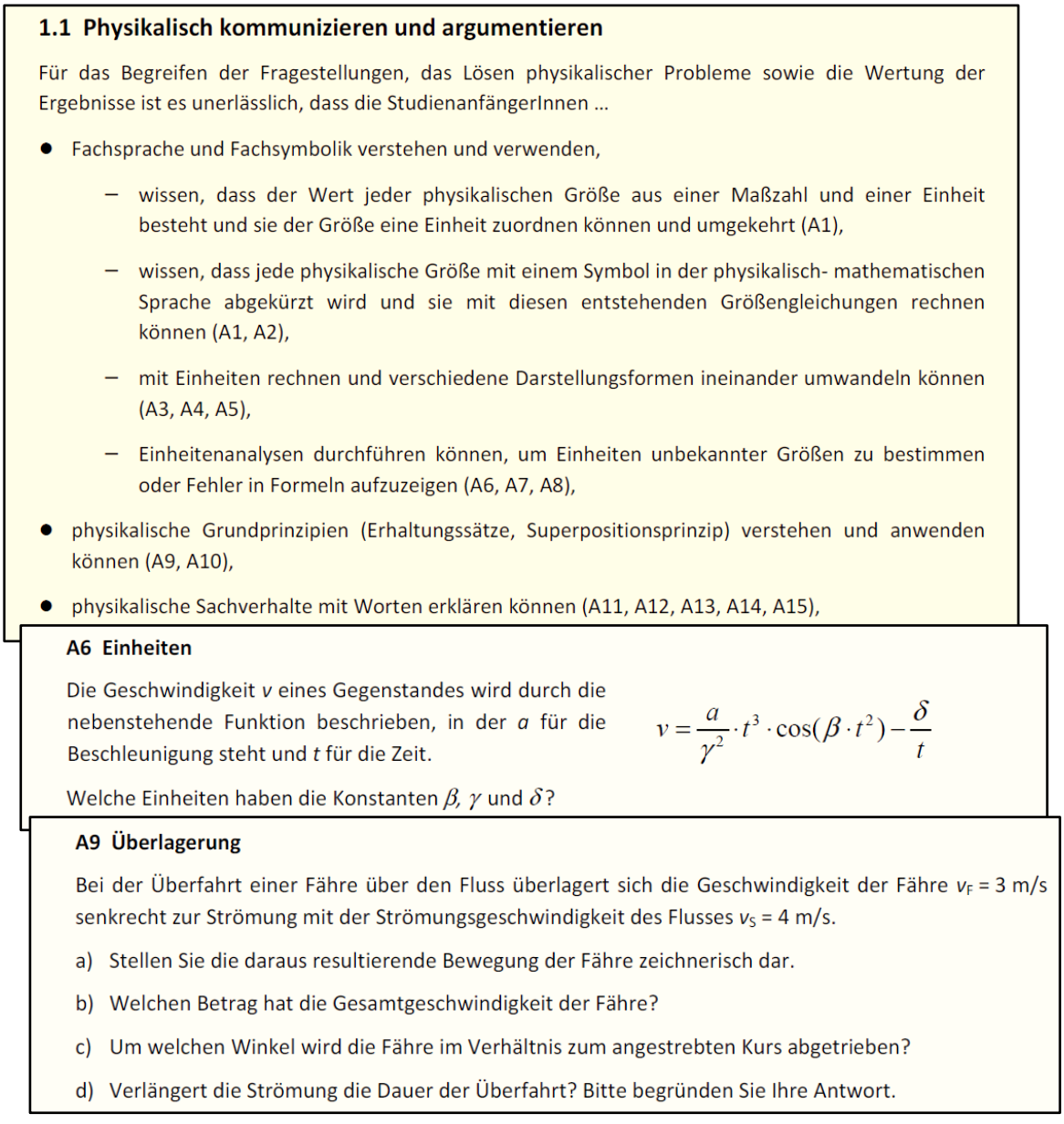
## 4. Einige beispielhafte Abschnitte

Im ersten Kapitel **Allgemeine physikalische Kompetenzen** werden folgende Aspekte angesprochen:

- Physikalisch kommunizieren und argumentieren
- Probleme lösen
- Systematisches Vorgehen
- Plausibilitätsüberlegungen anstellen
- Experiment

Diese Punkte werden jeweils weiter detailliert, um klar zu stellen, was darunter genau zu verstehen ist. Das erfolgt mittels einer an den Kompetenzen orientierten Beschreibung der Inhalte, die die Erstsemester kennen sollten und der Problemstellungen, die damit zu bearbeiten sind. Zur Verdeutlichung wird bei den jeweiligen Beschreibungen mit Verweisen der Art „A1“, „A2“, … auf nachfolgende, erklärende Aufgaben Bezug genommen. In diesem ersten Kapitel „Allgemeine physikalische Kompetenzen“ beginnen die Verweise alle mit einem „A“, in den anderen Kapiteln mit entsprechenden anderen Buchstaben M, E, W und O. So kann auch auf passende beispielhafte Aufgaben aus den anderen Bereichen verwiesen werden und es ist dabei sofort klar, zu welchem Themenfeld die Aufgaben gehören.

Das generelle Vorgehen ist hier am ersten Aspekt dieses Kapitels illustriert. Ein Teil des entsprechenden Abschnitts aus dem Mindestanforderungskatalog ist in der nachstehenden Abbildung 1 zu sehen.



**1.1 Physikalisch kommunizieren und argumentieren**

Für das Begreifen der Fragestellungen, das Lösen physikalischer Probleme sowie die Wertung der Ergebnisse ist es unerlässlich, dass die StudienanfängerInnen …

- Fachsprache und Fachsymbolik verstehen und verwenden,
  - wissen, dass der Wert jeder physikalischen Größe aus einer Maßzahl und einer Einheit besteht und sie der Größe eine Einheit zuordnen können und umgekehrt (A1),
  - wissen, dass jede physikalische Größe mit einem Symbol in der physikalisch- mathematischen Sprache abgekürzt wird und sie mit diesen entstehenden Größengleichungen rechnen können (A1, A2),
  - mit Einheiten rechnen und verschiedene Darstellungsformen ineinander umwandeln können (A3, A4, A5),
  - Einheitenanalysen durchführen können, um Einheiten unbekannter Größen zu bestimmen oder Fehler in Formeln aufzuzeigen (A6, A7, A8),
- physikalische Grundprinzipien (Erhaltungssätze, Superpositionsprinzip) verstehen und anwenden können (A9, A10),
- physikalische Sachverhalte mit Worten erklären können (A11, A12, A13, A14, A15),

**A6 Einheiten**

Die Geschwindigkeit $v$ eines Gegenstandes wird durch die nebenstehende Funktion beschrieben, in der $a$ für die Beschleunigung steht und $t$ für die Zeit.

$$v = \frac{a}{\gamma^2} \cdot t^3 \cdot \cos(\beta \cdot t^2) - \frac{\delta}{t}$$

Welche Einheiten haben die Konstanten $\beta$, $\gamma$ und $\delta$?

**A9 Überlagerung**

Bei der Überfahrt einer Fähre über den Fluss überlagert sich die Geschwindigkeit der Fähre $v_F = 3$ m/s senkrecht zur Strömung mit der Strömungsgeschwindigkeit des Flusses $v_S = 4$ m/s.

a) Stellen Sie die daraus resultierende Bewegung der Fähre zeichnerisch dar.

b) Welchen Betrag hat die Gesamtgeschwindigkeit der Fähre?

c) Um welchen Winkel wird die Fähre im Verhältnis zum angestrebten Kurs abgetrieben?

d) Verlängert die Strömung die Dauer der Überfahrt? Bitte begründen Sie Ihre Antwort.

**Abb. 1:** Einige Ausschnitte aus dem ersten Kapitel „*Allgemeine physikalische Kompetenzen*“ [8]

Im zweiten Kapitel **Mechanik** werden die folgenden Aspekte angesprochen:

- Kinematik
- Statik und Dynamik
- Erhaltungssätze
- Schwingungen

Auch hier wird jeweils detailliert angeführt, was die Erstsemester in diesen Bereichen alles kennen und können sollten. Das Ganze wird dann wieder anhand exemplarischer Aufgabenstellungen illustriert.

Abbildung 2 zeigt einige solcher beispielhafter Ausschnitte aus diesem Kapitel. Hier wird auch, wie oben beschrieben, in einigen Unterpunkten auf ebenfalls passende Aufgaben im ersten Kapitel „Allgemeine physikalische Kompetenzen“ verwiesen. Bei der Arbeit an dem Mindestanforderungskatalog zeigte sich, dass es nicht in jedem Fall eindeutig entschieden werden konnte, ob ein Punkt besser einem spezifischen Kapitel zugeschlagen werden sollte oder doch eher im ersten Kapitel „Allgemeine physikalische Kompetenzen“ anzuführen ist.

**2.1 Kinematik**

Die StudienanfängerInnen sind vertraut mit den Begriffen der Translationsbewegung in einer Dimension, das heißt, sie können …

- eine dem Problem angepasste Koordinatenachse wählen, Positionen anhand dieser Koordinatenachse angeben und daraus Verschiebungen ($\Delta x$) und zurückgelegte Strecken berechnen. Das Vorzeichen der Verschiebung gibt ihre Richtung an (M1).
- die Geschwindigkeit als Quotient aus Verschiebung und Zeitdauer nach $v = \Delta x / \Delta t$ berechnen (M2).
- Momentan- und Durchschnittsgeschwindigkeit unterscheiden und eine Relativgeschwindigkeit als Geschwindigkeitsdifferenz berechnen (M2).
- die Beschleunigung als Quotient aus Geschwindigkeitsdifferenz und Zeitdauer nach $a = \Delta v / \Delta t$ berechnen (M3), (A19a).
- Bewegungsdiagramme (Weg-Zeit, Geschwindigkeit-Zeit, Beschleunigung-Zeit) interpretieren, auswerten und für einfache Bewegungen mit konstanter Beschleunigung zeichnen (A14, A19, A20, A21, A22, A27), (M4).
- Bewegungen mit konstanter Geschwindigkeit beziehungsweise konstanter Beschleunigung mathematisch beschreiben und unbekannte Größen berechnen (A16, A19b), (M5).
- zweidimensionale Bewegungen als Überlagerung zweier eindimensionaler Bewegungen erkennen und daraus abgeleitet Berechnungen durchführen (A9, A21), (M6).

**M3 Bremsvorgang**

Ein Lastwagen fährt auf der Autobahn mit 100 km/h. Der Fahrer sieht vor sich das Ende eines Staus und bremst. Er braucht 20 s, um zum Stillstand zu kommen. Wie groß ist die durchschnittliche Beschleunigung des Lastwagens in SI-Basiseinheiten?

**M4 Fall**

Zeichnen Sie qualitativ das Weg-Zeit-, das Geschwindigkeits-Zeit- und das Beschleunigungs-Zeit-Diagramm für den freien Fall.

**M5 Beschleunigung**

Ein PKW fährt mit einer konstanten Geschwindigkeit von 70 km/h an einem stehenden Polizeiauto vorbei. In dem Moment, in dem er das Polizeiauto passiert, startet dieses mit einer Beschleunigung von 3 m/s², um den PKW einzuholen. Nach welcher Fahrstrecke hat das Polizeiauto den PKW eingeholt?

**M6 Wurf**

Ein Junge wirft einen Ball mit 5 m/s waagerecht gegen eine 4 m entfernte Wand. In welcher Höhe relativ zur Abwurfhöhe trifft der Ball auf die Wand? Die Luftreibung ist zu vernachlässigen.

**Abb. 2:** Einige Ausschnitte aus dem zweiten Kapitel *„Mechanik“* [8]

**E13 Ohmsches Gesetz**

An verschiedene elektrische Bauelemente wird eine variable Spannung angelegt und der zugehörige Stromfluss gemessen. Die entstehenden Messdaten für den Strom *I* in Abhängigkeit von der jeweiligen Spannung *U* sind als Verläufe (a), (b), (c), (d), (e) in der nebenstehenden Grafik aufgetragen.

Welcher Verlauf beschreibt einen ohmschen Widerstand?

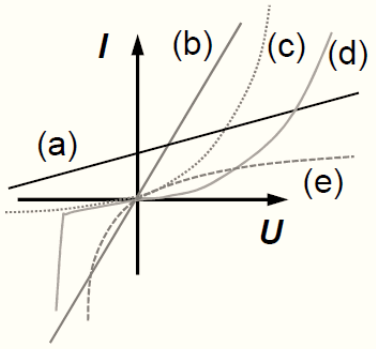



**Abb. 3:** Aufgabe mit Grafik aus dem dritten Kapitel *„Elektrizitätslehre“* [8]

Die übrigen Kapitel **Elektrizitätslehre**, **Wärmelehre** und **Optik** sind in gleicher Weise aufgebaut.

Wo es geboten schien, wurden selbstverständlich auch Grafiken in der Aufgabenstellung verwendet.

Da die WiMINT-Studiengänge an den HAW zum überwiegenden Teil in den Bereich der Ingenieurwissenschaften gehören, wurde darauf geachtet, dass die im Mindestanforderungskatalog verwendeten Größenbezeichnungen und Schrifttypen durchweg den geltenden einschlägigen technischen Normen entsprechen, hier sind insbesondere DIN 1304, DIN 1313 und DIN 1338 zu berücksichtigen. So ist beispielsweise die Federkonstante mit *k* zu bezeichnen, die in Schulbüchern häufig stattdessen verwendete Bezeichnung als *D* oder *c* ist nicht DIN-konform. Zudem sind Größenbezeichnungen immer kursiv zu setzen, Einheiten dagegen nicht. Nicht zulässig ist außerdem die öfters anzutreffende Angabe von Einheiten in eckigen Klammern.

## 5. Status und weiteres Vorgehen

Der hier vorgestellte Vorschlag eines Mindestanforderungskatalogs Physik [8] beruht aktuell auf den gemeinsamen Überlegungen der beteiligten Physikerinnen und Physiker, die überwiegend an HAW in Baden-Württemberg tätig sind.

Damit unterscheidet er sich derzeit in einem wichtigen Punkt von dem Mindestanforderungskatalog Mathematik der Arbeitsgruppe cosh, der direkt aus einer Kooperation von Vertretern des Schul- und des Hochschulbereichs entstand [6, 7]. Wie eingangs ausgeführt, sind die an den einzelnen HAW in Baden-Württemberg vermittelten Lehrinhalte im Bereich Physik weniger einheitlich als in der Mathematik. Daher musste hier zuerst einmal eine einheitliche Sicht der Beteiligten aus den HAW erreicht werden.

Der Mindestanforderungskatalog Physik in der hier vorliegenden Form ist daher explizit als Vorschlag und Diskussionsgrundlage zu betrachten. Er ist nun in einem nächsten Schritt mit allen Interessierten aus Schulen und anderen Bildungseinrichtungen aller Art zu diskutieren. Ziel ist, dabei einen Konsens über seine Inhalte zu erreichen.

Sehr wichtig ist dabei allen Beteiligten die Einbindung der Schulseite. Darum soll in Analogie zur Mathematik nun auch im Bereich Physik eine weitere solche Kooperation Schule – Hochschule entstehen, also eine Arbeitsgruppe „cosh-Physik“. Das Interesse daran ist auf beiden Seiten groß, die Planungen dafür laufen und es ist sicher davon auszugehen, dass es im Lauf des Jahres 2019 zur Etablierung einer solchen Kooperation kommen wird.

## 6. Literatur

[1] Käß, H.: Eigene Zusammenfassung der Äußerungen aus vielen Gesprächen im Rahmen der jedes Semester von der GHD organisierten Arbeitstreffen „Physik vermitteln und verstehen“ an verschiedenen Hochschulen in Baden-Württemberg.

[2] Buschhüter, D.; Spoden, Chr.; Borowski, A. (2017): Physics knowledge of first semester physics students in Germany. A comparison of 1978 and 2013 cohorts. In: International Journal of Science Education, 39 (9), p. 1109–1132 https://doi.org/10.1080/09500693.2017.1318457

[3] Krause, F.; Reiners-Logothetidou, A. (1978): Der bundesweite Studieneingangstest Physik 1978; Phys. Blätter 35, Heft 11, S. 495 ff.

[4] Baden-Württemberg - Ministerium für Kultus, Jugend und Sport: https://www.bildungsnavi-bw.de/schulsystem

[5] Detaillierte Informationen und Zahlen unter www.studieren-ohne-abitur.de

[6] Dürr, R.; Dürrschnabel, K.; Loose, F.; Wurth, R. (Hrsg.) (2015): Mathematik zwischen Schule und Hochschule. Den Übergang zu einem WiMINT-Studium gestalten – Ergebnisse einer Fachtagung, Esslingen 2015 (S. 33 – 80). Wiesbaden: Springer.

[7] Cosh Mindestanforderungskatalog Mathematik für ein WiMINT Studium, entweder unter: https://cosh-mathe.de/materialien bei Eintrag „Mindestanforderungskatalog“.

Oder alternativ: http://lehrerfortbildung-bw.de/u_matnatech/mathematik/bs/bk/cosh/katalog/

[8] Mindestanforderungskatalog Physik für ein WiMINT Studium. Der jeweils aktuelle Stand ist abzurufen unter:

http://www.hochschuldidaktik.net/documents_public/Mindestanforderungskatalog_Physik_Version_02_-_20190211_Speicherreduziert.pdf

alternativ: http://www.hochschuldidaktik.net/
Aktuelles: Mindestanforderungskatalog Physik Stand 11.02.2019

**Danksagung und Förderung**

Für die stetige Unterstützung der Arbeit am Mindestanforderungskatalog danken alle Beteiligten der im Auftrag und mit Finanzierung des Ministeriums für Wissenschaft, Forschung und Kunst (MWK) Baden-Württemberg tätigen Geschäftsstelle der Studienkommission für Hochschuldidaktik (GHD) an der HAW Karlsruhe.

Ein Teil der Arbeiten erfolgte im Grundlagenzentrum (GLZ) der HAW Aalen, das aus Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) unter dem Förderkennzeichen 01PL16015 im Rahmen des „Gemeinsamen Bund-Länder-Programms für bessere Studienbedingungen und mehr Qualität in der Lehre“ gefördert wird.

Wir danken außerdem den zahlreichen weiteren Kolleginnen und Kollegen, die sich in den letzten Jahren im Rahmen der GHD-Seminare *„Physik vermitteln und verstehen“* an den HAW in Baden-Württemberg an engagierten Diskussionen über den Mindestanforderungskatalog beteiligt haben. Einige wenige davon seien hier namentlich genannt: Frank Allmendinger, Volker Bucher, Michael Glunk, Karin Hehl, Bernhard Heislbetz, Richard Huber, Arndt Jaeger, Carsten Raudzis und Ole Wartlick.

# Kumulatives Lehren und Lernen durch kognitiv aktivierende Aufgaben

**Thomas Rubitzko*, Matthias Laukenmann*, Erich Starauschek***

*Pädagogische Hochschule Ludwigsburg, PSE Stuttgart / Ludwigsburg, Reuteallee 46, 71634 Ludwigsburg
rubitzko@ph-ludwigsburg.de, laukenmann@ph-ludwigsburg.de, starauschek@ph-ludwigsburg.de

**Kurzfassung**

Studierende des Lehramtes sollten schon an der Hochschule die Anwendung physikalischer Grundkonzepte anhand schulnaher Kontexte kumulativ lernen, um diese später in Unterrichtssituationen sicher einzusetzen. Dabei geht es nicht zuletzt darum, eigene physikbezogene Alltagskonzepte zu erkennen, zu überwinden und diese später auch bei Schülerinnen und Schülern zu diagnostizieren. Hierzu wurden kognitiv aktivierende Aufgaben erstellt, die auf die zentralen Konzepte der Mechanik fokussieren. Bei den Aufgaben, die zum Üben, aber vor allem zum Aufbau von Konzepten genutzt wurden, wurde unter anderem darauf geachtet, dass sie eher durch Argumentieren als durch Rechnen zu lösen sind. Solche Aufgaben kamen verteilt über drei Semester in unterschiedlicher methodischer Einkleidung nicht nur in der Mechanikvorlesung mit integrierter Übung, sondern auch in einer Experimentalübung zur Schulphysik und in der Elektrodynamikvorlesung zum Einsatz.

## 1. Kumulatives Lehren und Lernen von Grundkonzepten der Mechanik

In einem vom BMBF geförderten Entwicklungs- und Forschungsprojekt wurde an der Pädagogischen Hochschule Ludwigsburg während der letzten drei Jahre eine Veranstaltungsreihe entwickelt, erprobt und evaluiert (siehe Abb. 1). Intendiert war es, schon während des Studiums stabile Grundkonzepte der Mechanik wie das Kraftkonzept oder die Erhaltungssätze von Energie, Impuls und Drehimpuls zu vermitteln. Diese sollen später den angehenden Referendarinnen und Referendaren in schulischen Lehrsituationen flexibel anwendbar zur Verfügung stehen (vgl. hierzu Rubitzko et al., 2018).

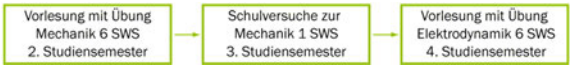



**Abb. 1:** Veranstaltungsreihe zur Mechanik

Der Entwicklungs- und Evaluationsprozess folgte den Ansätzen zum Design-Based-Research (Reinmann, 2005). Die während des aktuellen Entwicklungszyklus (siehe Abb. 2) modifizierten Designkriterien waren zuvorderst Kumulatives Lehren und Lernen (vgl. John & Starauschek, 2018) und kognitive Aktivierung (z.B. Renkl, 2011).

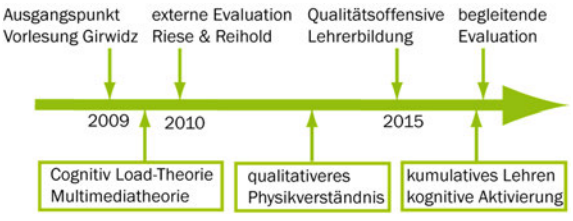



**Abb. 2:** Zeitschiene zum Design-Based-Research Prozess

Die sich aus dem kumulativen Ansatz ergebenden Forderungen (John und Starauschek, 2018)

- Grundkonzepte wiederholt aufgreifen und üben
- Alltagskonzepte der Studierenden berücksichtigen
- in variablen Kontexten anwenden
- Schulbezug beachten
- Kompetenzerfahrung ermöglichen, d.h. die Wahrnehmung der positiven Entwicklung physikalischer Fähigkeiten zu unterstützen

fanden in den für die Veranstaltungsreihe konzipierten Aufgaben, die kognitiv aktivierend sein sollten, ihre Konkretisierung.

## 2. Kognitiv aktivierende Aufgaben

Wenn Aufgaben kognitiv aktivierend sind, so haben sie das Potential, Lehr-Lernprozesse zu initiieren und aufrechterhalten, um den Aufbau von Wissen und Fähigkeiten zu ermöglichen. Hierbei nehmen wir die Perspektive von Renkl (2011) ein, der die Bedeutung einer aktiven mentalen Auseinandersetzung mit dem Lernstoff für einen guten Lernerfolg betont. Er empfiehlt dafür

- auf die zentralen Konzepte des Lernbereichs zu fokussieren.

Aufgaben müssen im Sinne dieses Ansatzes keinesfalls nur als Grundlage von Übungseinheiten oder als Prüfungsgrundlage dienen, vielmehr können sie ins Zentrum der Wissensvermittlung rücken (Leisen, 2005). Leisen (2006) schlägt im Sinne einer anderen Aufgabenkultur für die Schule unter anderem vor:

- Inhalte an Hand von Aufgaben zu erarbeiten, die unterschiedliche Zugangswege und Lösungswege erschließen und so flexibles Denken und Kreativität fördern,

– in Übungsphasen Anwendungsaufgaben in variierenden Kontexten zu verwenden, um damit nicht zuletzt individuelle Lernschwierigkeiten zu diagnostizieren,
– zurückliegende Inhalte in die Erarbeitung und Konsolidierung neuen Stoffes zu integrieren und so die zurückliegenden Inhalte zu üben und sie mit den neuen Inhalten zu verknüpfen.

Schecker & Klieme (2001) erhoben im Rahmen der Ergebnisanalyse der TIMS-Studie ähnliche Forderungen. Zusammengefasst: Mehr verstehendes Lernen und weniger Rechnen in eher offenen Aufgaben. Eine Auswahl en Detail ergänzend zu oben:

– Aufgaben, die eigene Recherche oder Schätzungen zu deren Lösung benötigen,
– Aufgaben, deren Lösung durch verschiedene physikalische Prinzipien möglich ist,
– die Lernenden bei Lernaufgaben die eigenen Fehler finden und die Unterschiede zur physikalischen Lösung benennen lassen.

Diese Empfehlungen zu einer anderen Aufgabenkultur, die für den Schulunterricht ausgesprochen werden, halten wir auch für die anfängliche Hochschullehre für geeignet, um dadurch kumulatives Lernen durch kognitiv-aktivierende Aufgaben anzuregen.

Im Folgenden werden zwei der in der Veranstaltungsreihe eingesetzten Aufgaben mit verschiedenen Formaten vorgestellt, und es wird gezeigt, wie sie den obigen Anforderungen genügen.

### 2.1. Diskussionsaufgabe zu Energieerhaltung und Kräften

**Abb. 3:** Diskussionsaufgabe zu Kräften, die zu keinem Energieübertrag über Systemgrenzen führen

Diese Diskussionsaufgabe wurde im Rahmen der Vorlesung zur Mechanik mit integrierter Übung im Themenbereich Energie gestellt, konkret zum Erarbeiten von Kräften, die von außen über Systemgrenzen hinweg ausgeübt werden, jedoch nicht zu einem Energieübertrag führen, obwohl sie zur Beschleunigung des Fahrzeugs führen.

Methodisch soll die Diskussion in Kleingruppen dabei den Wissenserwerb begünstigen (Springer et al., 1999).

Die Aufgabe greift bereits vor längerem erlernte Inhalte in einem neuen, schulrelevanten Kontext wieder auf, nämlich Antriebe bei Fahrzeugen: Actio gegengleich Reactio am Boden und Reifen des Fahrzeugs sowie Newton II als generelles Prinzip von Antrieben. Der neue Inhalt, nämlich Energiehaltung und Energieübertrag, wird mit dem bereits etablierten Konzept der Kraft verknüpft. Die Hinweise auf Kräfte und Energie fokussieren auf die zentralen Grundkonzepte. Dass keine Arbeit verrichtet wird, ist oft auch für Studierende nicht sofort einsichtig – schließlich werden Kräfte von der Straße von außen auf das Fahrzeug ausgeübt und das Fahrzeug legt auch noch eine Wegstrecke parallel zur Richtung des Kraftvektors zurück.

$$W = \vec{F} \cdot \vec{s} \qquad \{1\}$$

führt hier zuverlässig auf den Holzweg, wenn nicht beachtet wird, dass die Kontaktpunkte, an denen die Straße die Kraft auf den Reifen ausübt, selbst in Ruhe sind. Man kann also hier durchaus Fehler machen und diese anschließend gewinnbringend diskutieren.

Ein alternativer Argumentationsweg verläuft nicht über die Kräfte, sondern über die Energiebilanz: Wenn Energie von außen in das System Fahrzeug gelangen würde, so müsste sie aus der Erde kommen, was keinen Sinn ergibt, weil sich die Energie der Erde während des Beschleunigungsvorgangs nicht ändert. Die Energie kommt von der chemischen Energie im Treibstoff. Ergo kann durch solche Kräfte zwar ein Fahrzeug beschleunigt, aber keine Energie übertragen werden. Rainer Müller (2009) bezeichnet solche Kräfte als “zero-work force“.

Insgesamt kann mit dieser Aufgabe nicht nur inhaltliches Vorankommen erreicht werden, sondern die Studierenden üben das verständliche und zugleich fachlich korrekte sprachliche Formulieren physikalischer Zusammenhänge ein. Das ist für uns neben dem fachlichen Wissen ein wichtiges Lehrziel im Lehramtsstudium. Es besteht Hoffnung, dass Studierenden so einen Zuwachs der Fähigkeit erleben, mit Grundkonzepten zu reüssieren.

### 2.2. Aufgabe zur Fahrradmechanik in einer Veranstaltung zu Schulversuchen

**Abb. 4:** Aufgabe zur Fahrradmechanik in Experimentalübungen

Diese Aufgabe wurde im Rahmen der Veranstaltung zu Schulversuchen (Rubitzko et al., 2019) gestellt, bei normalem Studienablauf also im Semester nach der Mechanikvorlesung. Sie greift auf die ein Semester

zuvor gestellte oben abgebildete Aufgabe zurück, bedarf aber weit darüber hinausgehender Überlegungen: So müssen externe Reibungskräfte berücksichtig, das Konzept des Drehmoments eingebunden und Überlegungen zum Energieumsatz angestellt werden.

Methodisch wurde folgendermaßen verfahren: Die Studierenden sollten Selbsterklärungen (Chi et al., 1994) mit Bildern und Texten schriftlich formulierenen. Danach erfolgte die Diskussionen in Kleingruppen (vgl. Springer, et al., 1999), deren Ergebnisse dann mit der Musterlösung verglichen werden sollten (angelehnt an Renkl & Schworm, 2002). Danach erfolgten ein Vortrag und die gemeinsame Überarbeitung an der Tafel mit mündlichen Prompts zu Grundkonzepten im Sinne der fokussierten aktiven Informationsverarbeitung nach Renkl (2011). Als letztes wurden die Versuche tatsächlich durchgeführt, mit den dann auftretenden Schwierigkeiten, die Beschleunigungen und Geschwindigkeiten adäquat zu bestimmen, Kräfteverhältnisse am Hinterrad und am Pedal zu messen, Luftwiderstände abzuschätzen und von Rollreibungskräften abzugrenzen.

Auch diese Aufgabe greift auf bereits vorhandene Konzepte zurück, stellt sie aber in einen neuen Kontext. Bei dieser offenen Aufgabe muss Einiges geschätzt und oder recherchiert werden (z.B. ist der Mensch in der Lage, etwa 120 Kurbelumdrehungen pro Minute zu treten, er hat eine maximale Leistungsfähigkeit für ein kurzes Zeitintervall in der Größenordnung von 500 Watt, auf dem Rad sitzend und quer zur Fahrtrichtung eine Querschnittsfläche von etwa einem halben Quadratmeter usw. …)

Aber auch das Antriebsprinzip selbst ist zu modellieren. So ist zum Beispiel zu bedenken, dass die Masse der Kette so klein ist, dass zu deren Beschleunigung ebensowenig eine relevante Kraft notwendig ist wie es zur Rotationsbeschleunigung von Kettenblatt und Kurbel samt Pedalen keines relevanten Drehmoments bedarf. Anders verhält es sich beim Hinterrad. Sein Trägheitsmoment ist so groß, dass bei hohen Winkelgeschwindigkeiten durchaus relevante Energiemengen im Hinterrad gespeichert werden. All das ist es wert, diskutiert zu werden.

Insbesondere die immer wieder auch von Studierenden geäußerte hier alltagssprachlich formulierte Vermutung: *„Die Übersetzung am Fahrrad verstärkt Kräfte, deshalb kann man damit schneller…“*

Eine Messung durch zwei Kraftmesser und die genauen Überlegungen zur Übersetzung anhand einer geeigneten Zeichnung zeigen aber, dass die Kräfte, die vom Fuß auf das Pedal ausgeübt werden viel größer sind, als die Kräfte, die der Reifen als Folge dessen auf die Straße ausübt.

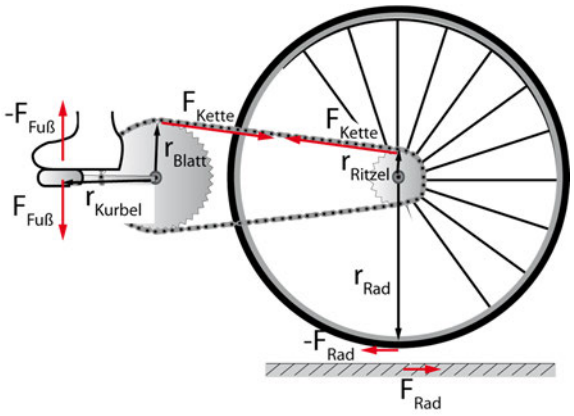



**Abb. 5:** Antriebskonzept des Fahrrades aus der Musterlösung

Das Antriebsprinzip des Fahrrades - ein klassisches Schulthema - wird auch nicht von allen Technikleherern zur Gänze verstanden, wie eine aktuelle Studie von Nepper & Gschwendtner (2019) zeigt.

## 3. Literatur

Chi, M. T. H., de Leeuw, N., Chiu, M. H., LaVancher, C. (1994): Eliciting self-explanations improves understanding. Cognitive Science, Jg. 18, S. 439–477.

John, T. & Starauschek, E. (2018). Kumulatives Lehren und Lernen im Lehramtsstudium Physik. Entwicklung eines Modells zur professionsorientierten Fachausbildung von Physiklehrkräften. Didaktik der Physik Frühjahrstagung Würzburg 2018. PhyDid B.

Leisen, J. (2005). Zur Arbeit mit Bildungsstandards. Lernaufgaben als Einstieg und Schlüssel. MNU 58/5, 308–313

Leisen, J. (2006). Aufgabenkultur im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht. MNU 59/5 260–266.

Müller, R. (2009). Klassische Mechanik: Vom Weitsprung zum Marsflug. Berlin: De Gruyter.

Nepper, H. & Gschwendtner, T. (2019, in Vorbereitung): Identifizierung von Schüler- und Lehrervorstellungen zu physikalisch-technischen Grundlagen als Ansatz zur Optimierung der Sekundarlehrerausbildung im Fach Technik. In: Geißel, B. & Gschwendtner, T. (Hrsg.): Beiträge zur Technikdidaktik, Bd. 5. Berlin: Logos.

Reinmann, G. (2005). Innovation ohne Forschung? Ein Plädoyer für den Design-Based Research Ansatz in der Lehr-Lernforschung. Unterrichtswissenschaft 1, 52-69.

Renkl, A. & Schworm, S. (2002): Lernen, mit Lösungsbeispielen zu lehren. In: Prenzel, M. & Doll, J. (Hrsg.): Bildungsqualität von Schule: Schulische und außerschulische Bedingungen mathematischer, naturwissenschaftlicher und überfachlicher Kompetenzen. Weinheim: Beltz, S. 259–270.

Renkl, A., (2011). Aktives Lernen: Von sinnvollen und weniger sinnvollen theoretischen Perspektiven zu einem schillernden Konstrukt Unterrichtswissenschaft. 39 (3), 197-212.

Rubitzko, T.; Laukenmann, M. & Starauschek E. (2019). Kumulatives Lehren und Lernen in der Lehramtsausbildung am Beispiel der Veranstaltung „Schulversuche zur Mechanik“. In B. Zinn, B. & Starauschek, E. (Hrsg.): Ansätze für die natur- und technikwissenschaftliche Lehrerbildung an der Professional School of Education Stuttgart – Ludwigsburg. Eine Bestandsaufnahme im Rahmen der Qualitätsoffensive Lehrerbildung. Logos Verlag Berlin.

Rubitzko, T.; Laukenmann, M. & Starauschek, E. (2018). Kumulatives Lehren der Mechanik in der Lehramtsausbildung– PhyDid B - Didaktik der Physik-Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung 2018.

Schecker, H. & Klieme, E. (2001) Mehr Denken, weniger Rechnen. Physikalische Blätter; 57, 7/8; 113-117

Springer, L., Stanne, E. S., Donovan, S. (1999): Effects of Small-Group Learning on Undergraduates in Science, Mathematics, Engineering, and Technology: A Meta-Analysis. Review of Educational Research, Jg. 69 (Heft 1), S. 21–51.

**Danksagung**

Die Entwicklung und Evaluation der Lehr-Lern formen zur Unterstützung von kumulativem Lernen von physikalischen Grundkonzepten ist ein Teilprojekt des Verbundvorhabens Lehrerbildung PLUS der PSE Stuttgart-Ludwigsburg.

Lehrerbildung PLUS wird im Rahmen der gemeinsamen „Qualitätsoffensive Lehrerbildung“ von Bund und Ländern aus Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gefördert.

GEFÖRDERT VOM

Bundesministerium für Bildung und Forschung

# Zu lichtelektrischem Effekt und Wirkungsquantum: über Forscher, historische Fakten und Instrumente

**Ulrich Arndt**

I. Physikalisches Institut IA, RWTH Aachen, Sommerfeldstr. 14, 52074 Aachen,
Phys. Praktika, Univ.-Prof. Dr. H. Heinke
ulrich.arndt@rwth-aachen.de

**Kurzfassung**

Schülerinnen und Schüler in Physikkursen haben großes Interesse daran, wie die Forscherinnen und Forscher, denen die Lernenden im Unterricht begegnen, ihren Weg gegangen sind. Dies ist ein Versuch herauszufinden, ob das Thema auf ikonischer Ebene vermittelt werden kann. Vorgestellt wird die Entdeckung des lichtelektrischen Effekts (LE) durch H. Hertz (1887) sowie dessen Darstellung durch W. Hallwachs (1888). Es wird aufgezeigt, wie H. Rubens und F. Kurlbaum mit einem „electrisch geglühten absolut schwarzen Körper“ und sensitiven Messwerkzeugen dessen Strahlung präzise analysierten (1900) und keine Übereinstimmung mit den damals konkurrierenden Theorien (Wien bzw. Rayleigh) fanden. Max Plancks „Strahlungsgesetz-Interpolation“ dieser Daten und sein Weg zu deren quantentheoretischer Begründung (1900) werden skizziert und durch Heisenbergs Schilderung der Entdeckung der Energie-Quantelung (Tondokument 1958) ergänzt. Die Arbeiten A. Einsteins zum LE (1905/1906) werden im Hinblick auf die Art der Wechselwirkung und der Bewertung durch Planck angesprochen.

## 1. Einleitung

Der Energie-Quantelung begegnen Lernende im SII-Physikunterricht beim Franck-Hertz-Versuch oder bei der h-Bestimmung aus dem lichtelektrischen Effekt. Bekanntlich hat Planck die Quantisierung der Energie 1900 auf ganz anderem Wege entdeckt: durch die theoretische Analyse von Wärmestrahlungsmessungen. Weil diese Analyse mit Schulmathematik nicht nachvollziehbar ist, soll deswegen auf ikonischer Ebene der Versuch unternommen werden, die Entdeckung des LE durch Heinrich Hertz zu schildern, sodann die Wärmestrahlungsmessungen von Rubens und Kurlbaum als Test bestehender theoretischer Ansätze unter neuem Blickwinkel vorzustellen, um aufzuzeigen, dass die erhaltenen Daten Planck als empirische Basis für seinen Quantisierungs-Ansatz dienten. Die Vereinigung von Hertz‘ und Plancks Entdeckungen in Einsteins Lichtquantenhypothese wird abschließend mit Plancks Einschätzung nachgezeichnet.

## 2. Zum lichtelektrischen Effekt

Heinrich Hertz erzeugte elektromagnetische Wellen mit Hilfe eines Sender-Dipols (Hertz 1887a),[1] der durch einen Funkeninduktor erregt wurde;[2] dadurch

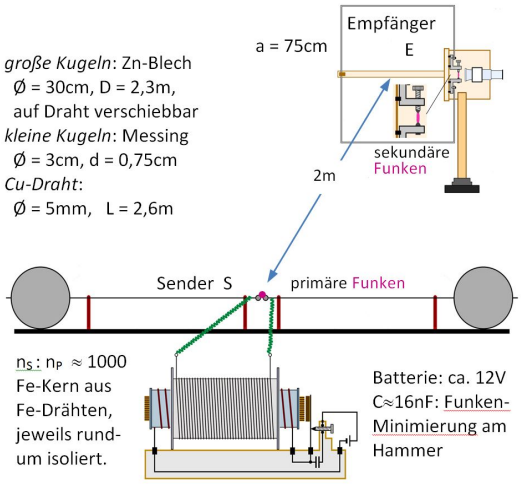



**Abb.1:** Hertz‘ Versuchsanordnung (1887) zum Nachweis elektromagnetischer Wellen. Beim Empfänger E kann die Drahtlückengröße eingestellt werden.

wurden in der Dipol-Mitte lichtstarke Funken erzeugt, (sog. „primäre Funken“). Die ausgesendeten Wellen wies Hertz ca. 2 m entfernt vom Sender mit einer Rahmenantenne nach, (Abb.1): in der Lücke zwischen den Drahtenden konnten „sekundäre Funken“ beobachtet werden.[3]

[1] Hertz hat seine Karlsruher Versuchsapparatur fotografiert. Url: https://maptory.zkm.de/wp-content/uploads/2015/04/ (Stand 5/2019) Dort Hertz_28010_P_Hertz_0026_UKW-Sender@2x.jpg

[2] Informative Abbildungen zum Ruhmkorff-Funkeninduktor in [36], S.5f., Theorie in [37]. Der Unterbrecher erzeugt in der Primärspule eine Spannung wechselnder Polarität: die Induktionsspitze beim Ausschalten einer Induktivität ist im Unterricht vom Glimmlampenversuch her bekannt. Hier wurde die Variante mit einem Wagnerschen Hammer dargestellt, (Türklingel). Hertz verwendete einen schneller arbeitenden und belastbareren, speziellen Hg-Unterbrecher, dessen Funktionsweise deutlich komplizierter ist, (vgl. [6], S.39, Fig.8 und S.41, Fig.9).

[3] Zu H. Hertz und zum Hertzschen Nachweis gibt es ein informatives Video, Bayerischer Rundfunk, α-Centauri,

Um diese lichtschwachen Funken besser sehen zu können, positionierte Hertz lichtdichte Wände so um die Antenne, dass die sekundären Funken noch beobachtet werden konnten, (Hertz 1887b). Entgegen der Erwartung nahm deren Helligkeit ab: genau die Wand W störte, die sich zwischen Sender S und Empfänger E befand. Dies ist zunächst unverständlich, da die Wellenlänge der ausgesendeten elektromagnetischen Strahlung nach Hertz' Abschätzung - korrigiert von Poincaré (Poincaré 1890, Hertz 1892, S.288) - knapp 4m betrug, also wesentlich größer ist als die des Senderfunken-Lichts bei ca. $10^{-7}$m.

Die Funken-Entstehung in der Antenne wird immer dann begünstigt, wenn Licht der Sender-Funken auf die Drahtlücke des Empfängers fällt, (Hertz 1887a, S.443f.). Hertz suchte systematisch nach der Ursache dieses Effekts: da es vorrangig um die sekundäre Funkenentstehung ging, wurde der Empfänger E durch ein Funkenmikrometer F ersetzt, das auch an einen Funkeninduktor angeschlossen war: der Abstand der Mikrometerkugeln wurde so groß gewählt, dass gerade keine Funkenentladung mehr eintrat. Hertz änderte mit Sorgfalt und Ausdauer Parameter für Parameter der Anordnung,[4] um herauszufinden, was die Sekundärfunken wieder einsetzen ließ. Einige Abänderungen sollen hier genannt sein: das Kugel-Material der beiden Funkenstrecken; deren Abstand und gegenseitige Orientierung; das Material der Zwischenwand W wurde variiert: feste, flüssige und gasförmige Materialien kamen zum Einsatz. Die letzteren beiden befanden sich in Gehäusen aus Quarz bzw. hatten ein Quarzglasfenster, weil sich Quarz als besonders begünstigend für die Sekundärfunkenbildung gezeigt hatte. Sodann wurde der Empfänger bei eingesetzter lichtdichter Zwischenwand W mit anderen Lichtquellen bestrahlt: Sonnenlicht, Mg-Blitzlicht, das Licht eines Kohlebogens, und auch der bläuliche Teil einer Kerzenflamme ließen die Sekundär-Funkenentladung wieder einsetzen. Dabei bemerkt Hertz insbesondere: „*Eine Beschattung der Anode hat einen geringeren Einfluss, eine Beschattung der Kathode hebt den grössten Theil der Wirkung auf.*" (Hertz 1887c, S. 994).

Sodann analysiert Hertz das Licht der Primär-Funkenentladung mit Quarz-Prismen: nur der nicht sichtbare UV-Anteil lässt die Sekundär-Funkenentladung wiedereinsetzen. Hertz fasst selbstkritisch zusammen:

„ *Nach den Resultaten unserer Versuche hat das ultraviolette Licht die Fähigkeit, die Schlagweite der Entladungen eines Inductoriums und verwandter Entladungen zu vergrössern. Die Verhältnisse, unter welchen es bei derartigen Entladungen seine Wirkung äussert, sind freilich recht complicirte, und es ist wünschenswerth, die Wirkung auch unter einfacheren Bedingungen, insbesondere unter Vermeidung des Inductoriums zu studiren. Bei dem Versuche, nach dieser Hinsicht Vortheile zu erlangen, bin ich auf Schwierigkeiten gestoßen.*" (Hertz 1887c, S. 1000).

Auch nach dieser Veröffentlichung führte Hertz diese Untersuchung fort, wie eine Anmerkung in seinen Gesammelten Werken zum vorangegangenen Zitat belegt:

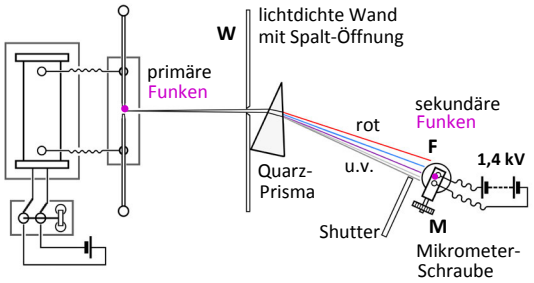



**Abb.2:** Hertz' letzte Versuchsanordnung zum Nachweis des lichtelektrischen Effekts. - Hierbei hat Hertz als Spannungsquelle für die Sekundär-Entladung 1000 Pb-Akkumulatoren á 1,4V eingesetzt. Zur Funktionsweise vgl. die nachfolgende Anmerkung 11 von Hertz.

„*Bedingungen zu finden, bei welchen der so wenig verstandene Vorgang der Funkenentladung durch eine einfachere ersetzt war* (…) *ist zuerst Herrn Hallwachs gelungen*. (…) *Die einfachste Wirkung, welche ich erzielte, war die, dass ich eine Glimmentladung einer Batterie von 1000 kleinen Planté-Accumulatoren zwischen Messingkugeln in freier Luft durch das* [ultraviolette] *Licht zum Ueberschlagen brachte, bei einem Abstand der Kugeln, welchen sie ohne Hülfe des Lichtes nicht zu überspringen vermochte*." (Hertz 1892, Anmerkung 11, S. 289)

Diesen Versuch[5] (Abb.2) zeigt Peter Lingemann (Münster) eindrucksvoll in einem Video.[6]

Url: https://www.youtube.com/watch?v=8-mtuBreP0k (Stand 8/2019, ab 14:45). Allerdings dürfte Hertz statt der Ringantenne eine quadratische Antenne mit 75cm Kantenlänge benutzt haben, (vgl. Deutsches Museum, Inv.-Nr. 40054 u. [9], S.84, Abb.4.6) und den Vortrag von W. Wiesbeck im KIT-Festakt „Heinrich Hertz - 125 Jahre Strahlen elektrischer Kraft", Url: https://www.youtube.com/watch?v=Uz9Lq6iSVXc (Stand 5/2019)

[4]Genau diese Hartnäckigkeit nahmen sich zwei Jugend-forscht-Gruppen am St.-Michael-Gymnasium Monschau zum Vorbild, als sie Untersuchungen zur Hertzschen Theorie der Berührung fester elastischer Körper durchführten, (Stoßdauer, Kugelkette). Url: http://www.mgm-monschau.de/data/media/downloads/KugelstossPendelkette-1_1402689257.pdf (Stand 5/2019)

[5]Die Skizze ist in enger Anlehnung an Original-Abbildungen entstanden, (vgl. [17], Tafel VII, Fig.8 bis Fig.10), wobei Hertz' verbal beschriebene letzte Anordnung eingearbeitet wurde; (vgl. [18], S. 289, Anmerkung 11). Hertz verwendet nicht den großen Dipol, da er diese Untersuchung parallel zur Arbeit [15] ausführte.

[6]http://www.uranmaschine.de/45310.Photoeffekt_nach_Heinrich_Hertz_1887/Fotoeffekt_Lichtelektrischer_Effekt_Film_120535.mp4 (Stand 5/2019).

Wie schon von Hertz bemerkt, gelang es seinem Schüler Wilhelm Hallwachs, den lichtelektrischen Effekt ohne Rückgriff auf eine Funkenentladung darzustellen, (Hallwachs 1888). Der „Hallwachs-Effekt“ ist ein Standard-Schulversuch: Entladung einer gut geschmirgelten, elektrisch negativ aufgeladenen Zinkplatte bei Bestrahlen mit UV-reichem Licht (Hg-Dampflampe).[7] Die Herbeiführung einer vermeintlich schnelleren Entladung durch Lichtbündelung mit einer dicken Glas-Linse stoppt bekanntlich den Entladungsvorgang. Nach Wegnehmen des UV-Absorbers setzt die Entladung wieder ein.

### 3. **Zur Schwarzkörperstrahlung um 1900**

Exkurs: Um 1900 war *ein* Zentralthema der Physik die Erforschung der Schwarzkörperstrahlung. Wilhelm Wien hatte 1896 dazu eine erfolgversprechende Gesetzmäßigkeit für die Strahlungs-Intensität E (sekundlich abgestrahlte Energie pro Volumen) aufgestellt (Wien 1896):

$$E_{Wien}(\nu;T) = \frac{B\cdot\nu^5}{c^5}\cdot\exp(-\frac{A\cdot\nu}{c\cdot T}). \qquad \{1\}$$

Dem jungen Max Planck gelang es 1899, die verbliebenen beiden Parameter theoretisch zu bestimmen (Planck 1899): B=b/c² und A=a·c; in heutiger Terminologie ist b≡h und a≡h/k.[8] Die beiden Größen a und b machte Planck bereits damals als Naturkonstanten aus. In metrologischer Absicht schreibt Planck:

*„Dem gegenüber dürfte es nicht ohne Interesse sein zu bemerken, dass mit Zuhülfenahme der beiden (...) Constanten a und b die Möglichkeit gegeben ist, Einheiten für Länge, Masse, Zeit und Temperatur aufzustellen, welche unabhängig von speciellen Körpern oder Substanzen, ihre Bedeutung für alle Zeiten und für alle, auch ausserirdische und aussermenschliche Culturen nothwendig behalten und welche daher als »natürliche Maasseinheiten« bezeichnet werden können.“* (Planck 1899, S.480f.)

Mit den Konstanten a und b, der Lichtgeschwindigkeit und der Gravitationskonstanten definiert Planck ein Einheiten-System, das wir heute Planck-Skala nennen. Diese setzt in der modernen Physik Maßstäbe bei der Erklärung der Entstehung unseres Universums, (Lesch 2016).

Nun schreibt sich Wiens Gesetz so:

$$E_{Wien}(\nu;T) = \frac{h\cdot\nu^5}{c^3}\cdot\exp(-\frac{h\cdot\nu}{k\cdot T}). \qquad \{1a\}$$

[7] Lehrmittel-Lieferanten bieten hierzu verzinkte Metallplatten an: das Grundmetall hat leider dieselbe Farbe wie die Verzinkung; dass diese durch Schmirgeln abgetragen ist, kann nur durch Ausbleiben des Hallwachs-Effekts bemerkt werden ...

[8] In [23] erscheint auf S.475 in Gl. (55) ein Faktor 2, der aufgrund von Polarisationsbetrachtungen in [27] auf S. 158, Gl. (235) nicht mehr auftaucht.

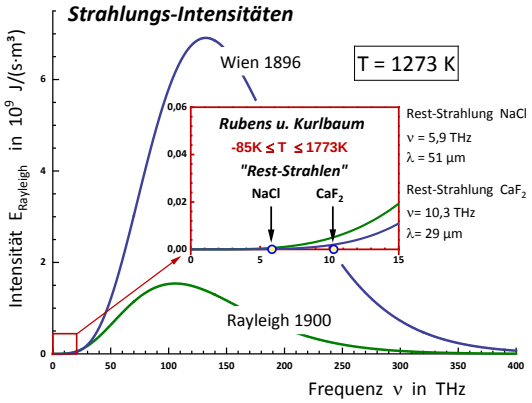



**Abb.3:** Strahlungs-Intensitäten nach Wien und Rayleigh sowie der von Rubens und Kurlbaum experimentell analysierte langwellige Bereich.

In England schlug Rayleigh im Juni 1900 von Seiten der kinetischen Gastheorie her einen anderen theoretischen Ansatz vor, (Rayleigh 1900, Gl. (6) [9] ):

$$E_{Rayleigh}(\nu;T) = \frac{k\cdot\nu^4}{c^3}\cdot T\cdot\exp(-\frac{h\cdot\nu}{k\cdot T}). \qquad \{2\}$$

Für große Wellenlängen (>30µm) bzw. kleine Frequenzen (<10Thz) sind die Ansätze von Wien und Rayleigh nahezu ununterscheidbar. Die Berliner Experimentalphysiker Heinrich Rubens und Ferdinand Kurlbaum hatten sich vorgenommen, durch Verwendung extrem langwelliger Strahlung Klarheit zu schaffen, (Abb.3).

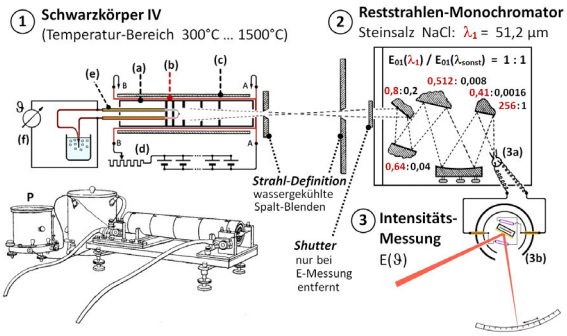



**Abb.4:** Dreiteiliger Experimental-Aufbau von Rubens und Kurlbaum. Die Übernahme von Abbildungen aus [22], S.833, Fig.2 sowie [34], S.655, Fig.1 geschah mit frdl. Genehmigung des Verlages Wiley-VCH, Hamburg (Rechts-Nachf. Verlag J.A. Barth, Leipzig)

Dazu wurden für den untersuchten Temperaturbereich von -188°C bis 1500°C insgesamt sechs verschiedene Schwarzkörper (SK) verwendet. Abb.4 zeigt den Versuchsaufbau mit SK IV, (Lummer & Kurlbaum 1898 u. 1901). Die SK-Anordnung (Querschnitt links oben) besteht (a) aus einem innen geschwärzten Porzellan-Zylinder[10] mit mehreren Kammern, (b) umgeben von einem dünnen Pt- Zylinder,

[9] Konstanten $c_1 = ck$ und $c_2 = hck^{-1}$ in Gl. (6) eingesetzt.

[10] Genauer: einem Rohr mit schwer schmelzbarer Masse, hergestellt in der Königlichen Porzellan-Manufaktur Berlin, vgl. [21], S.109 und [22], S.831.

(elektrisch geheizt, 40cm lang, Ø = 4cm, mit Dicke 0,01mm), (c) dazu koaxialen Wärmedämmungs-Zylindern, (d) mit einer leistungsstarken Stromversorgung für den Pt-Zylinder, (e) einem Thermo-Element[11] (Pt/Pt-Rh) als Temperatur-Sensor mit der rechten Lötstelle innerhalb der primären Heizkammer und dem linken Lötpunkt in einem Eiswasserbad; (f) das Element speist ein empfindliches, temperatur-kalibriertes Drehspulinstrument als Pyrometer P mit Strom. Zwei wassergekühlte Blenden definieren die Richtung der Wärmestrahlung. Die Strahlung wird mit der „Reststrahl-Methode“ monochromatisiert. Nach Braunbek wird dabei von Kristallen diejenige Strahlung bevorzugt (bei NaCl im Verhältnis 4:1) reflektiert, deren Frequenz mit einer Eigenfrequenz des Kristallgitters übereinstimmt. Wird also ein Strahlungsgemisch sukzessive von gleichartigen polierten Kristalloberflächen reflektiert, (s. Abb.4), so resultiert daraus als „Reststrahlung“ im Wesentlichen nur diejenige mit der angeregten Eigenfrequenz, (Braunbek 1971). Die Wellenlänge der ausgewählten Strahlung wurde mit einem Drahtgitter (Du Bois & Rubens 1893) durch Beugung (Rubens & Aschkinass 1898) zu 51,2 µm bestimmt. Für NaCl ist 28° der optimale Einfallswinkel, (Czerny 1923). Die zu untersuchende Strahlung verliert durch die Monochromatisierung deutlich an Intensität, (Abb.4).

Rubens konstruierte daher als Sensor eine hochempfindliche Thermosäule mit Horntrichter: Abb. 4, Detail (3a), (Rubens 1898, Fig.1-3, S. 65f.). Der dort generierte Strom wurde mit einem empfindlichen Panzergalvanometer (Abb.5) gemessen, das mit seiner Eisen-Ummantelung die vom Strom in den Berliner Straßenbahnschienen herrührenden Magnetfelder vom sensitiven Teil der Apparatur abschirmt, (Du Bois & Rubens 1900). An einem dünnen Faden sind zwei Gruppen von Permanentmagnet-Stäbchen fixiert, die jeweils entgegengesetzte Polarität haben, damit das Erdmagnetfeld ohne Wirkung bleibt.

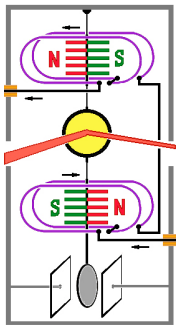



**Abb.5:** Panzer-Galvanometer, innerer Teil. Thermostrom und Lichtzeiger-Auslenkung sind proportional.

Der in der Thermosäule generierte Strom fließt so durch zwei Spulenpaare, dass die Magnetgruppen sich gleichsinnig drehen; die Drehung wird per Lichtzeiger auf einer Skala abgelesen, (rechts unten in Abb.4). Hieraus kann dann die Strahlungs-Intensität E bestimmt werden.

Um die Ergebnisse von Rubens und Kurlbaum in ein Intensitäts-Temperatur-Diagramm einordnen zu können, haben wir zu beachten, dass die Forscher bei konstanter Frequenz und variabler Temperatur gemessen haben. Den Wechsel zu dieser anderen Sichtweise auf das Intensitäts-Gebirge E(ν;T) zeigt Abb. 6, bereits unter Einbeziehung von Plancks Intensitäts-Gleichung von 1900:

$$E_{Planck}(\nu; T) = \frac{h\cdot\nu^5}{c^3}\cdot\frac{1}{\exp\left(\frac{h\cdot\nu}{k\cdot T}\right)-1}\,. \qquad \{3\}$$

Kurlbaum berichtet über die gemeinsam mit Rubens angestellten Versuche am 19.10.1900 in der Deutschen Physikalischen Gesellschaft. In den Verhandlungen steht dazu nur eine Notiz. Die Daten finden sich erstmals in den Sitzungsberichten der Berliner Akademie, (Rubens & Kurlbaum 1900). 1901 werden sowohl die Messwerte und die Ansätze von Wien und Rayleigh[12] als auch der aktuelle Ansatz Plancks aus Gl. {3} alle in einem Diagramm dargestellt: Abb.7 oben, (Rubens & Kurlbaum 1901a/b).
Bei der unterschiedlichen mathematischen Struktur der Ansätze gelang dies dadurch, dass neben dem Fixpunkt bei Zimmertemperatur mit verschwindender Lichtzeiger-Auslenkung ein zweiter bei 1000°C und 120mm durch Multiplikation mit entsprechenden Faktoren konstruiert wurde, wodurch die Graphen verzerrt werden. Um hieraus eine unverzerrte Darstellung zu erhalten, wurde wie folgt vorgegangen. Es wird vorausgesetzt, dass der Planck-Graph korrekt eingezeichnet ist, (Abb.7 oben, rot). Für 18 Temperaturen $T_i = \vartheta_i + 273$ wurden dort die $x_i$-Werte mit einem Datenanalyse-Programm (achsenkonforme Implementation) abgegriffen. Für die Steinsalz-Reststrahlung ($\nu_{NaCl} = 5{,}9$ THz) können die entsprechenden Werte $E_{i\ Planck}(\nu_{NaCl}; T_i)$ ermittelt werden; dies führt auf eine nahezu lineare Beziehung E(x). Entsprechend wurden die Messwerte $x_{RK}(\vartheta)$ von Rubens und Kurlbaum in ein E(T)-Diagramm übertragen: Abb.7 unten. Die nun erscheinende extreme Abweichung des Wienschen Ansatzes wird aufgrund der Metamorphose von Abb.6 verständlich, allerdings auch Rayleighs Kritik am Wienschen Ansatz, der für $T\to\infty$ nicht divergiert sondern gegen den endlichen Wert $h\nu^5c^{-3}$ strebt. Dieser Wert ist doppelt so groß wie der Abstand zwischen den Graphen von Plancks bzw. Rayleighs Ansatz.

## 4. Zu Plancks Analyse der Wärmestrahlung

Planck hat in den Jahren 1897-1899 intensiv am Thema „Irreversible Strahlungsvorgänge“ gearbeitet, wie in den Sitzungsberichten der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin auf über 100 Seiten zu lesen ist, (vgl. Planck 1906, S.221f.). Diese Phase der Suche nach der richtigen Strahlungsgleichung beschreibt Planck in seinem Nobelvortag mit den Worten:

„*Der erste Versuch zu einer Bewältigung mißlang.*“ (Planck 1920, S.123)

[11] Im SI-Unterricht können die Lernenden mittels eines Thermo-Elektromagnets (Hubkraft 50N) mit der Wirkungsweise eines Thermo-Elements vertraut gemacht worden sein, vgl. [2], S.91, Fig.8; Leybold-Didactic 55711.

[12] Für einen Hinweis hierzu danke ich Herrn Dr. O. Passon (Bergische Universität Wuppertal).

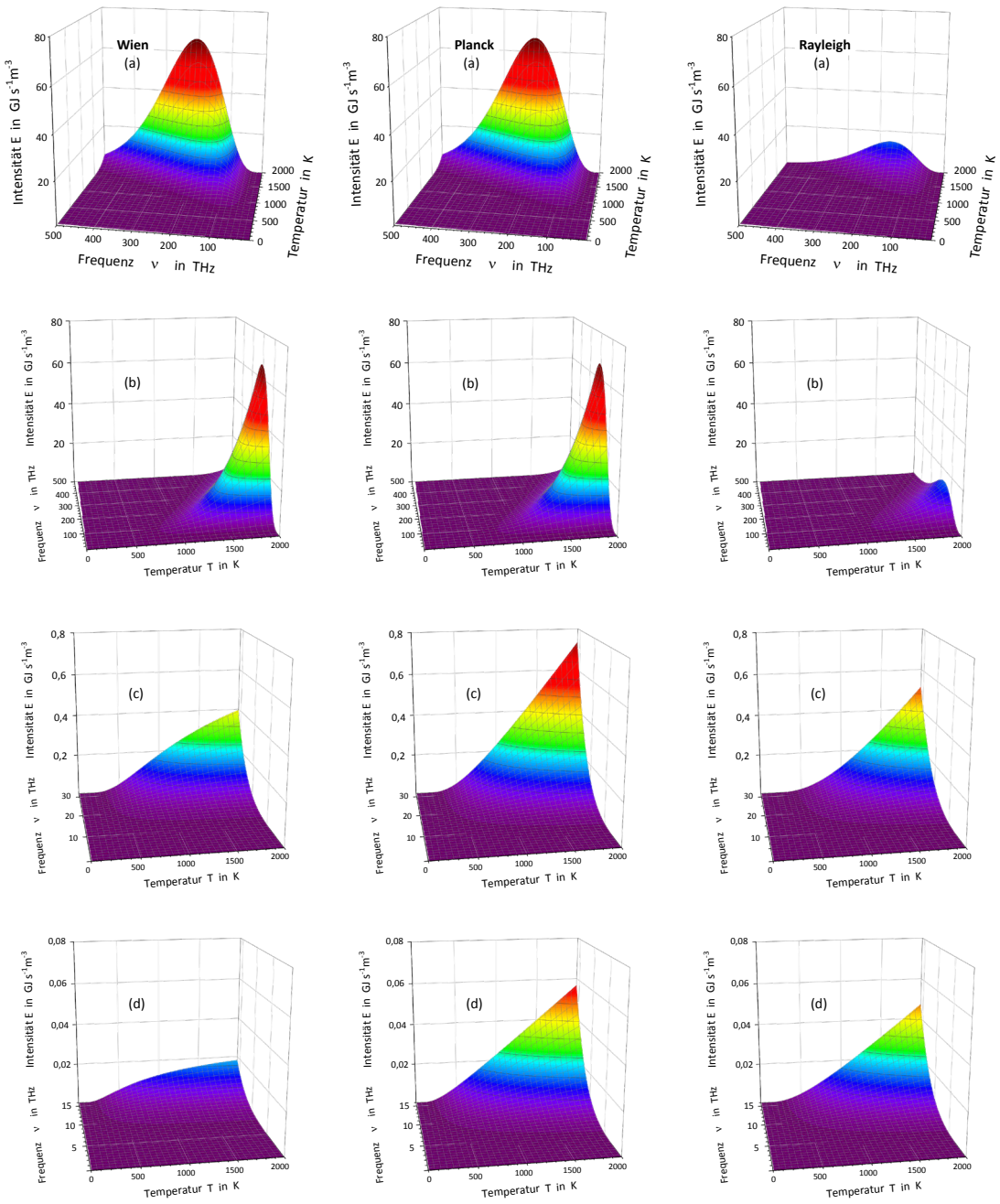



**Abb.6:** Strahlungs-Intensität E für verschiedene Frequenz-Bereiche im Temperatur-Intervall 0…2000K
(A) nach Wien, (B) nach Planck (C) nach Rayleigh
*aus Frequenz-Sicht*
(a) $\nu = 0 \ldots 500$ THz, entsprechend $\lambda \geq 0{,}6\mu m$
*aus Temperatur-Sicht, entsprechend Rubens & Kurlbaum*
(b) $\nu = 0 \ldots 500$ THz,
(c) $\nu = 0 \ldots 30$ THz, entsprechend $\lambda \geq 10{,}0\mu m$
(d) $\nu = 0 \ldots 16$ THz, entsprechend $\lambda \geq 18{,}8\mu m$
Für kleine Frequenzen (d) bzw. große Wellenlängen fittet der Rayleigh-Ansatz die quantentheoretisch richtige Beziehung Plancks besser als der Ansatz von Wien.

In den letzten drei Monaten des Jahres 1900 kam es zu einer dramatisch schnellen Entwicklung: bei einem Besuch Rubens' bei Planck am 7.10.1900 brachte Rubens die Tabelle seiner Messungen mit. (Heisenberg 1958, S.8). Noch an diesem Sonntag-Abend teilte Planck Rubens seine Gleichung {3} „*auf einer Postkarte mit, die dieser am nächsten Morgen erhielt. Ein oder zwei Tage später darauf ging Rubens wieder zu Planck und konnte ihm die Nachricht bringen, daß die neue Formel vorzüglich mit seinen Beobachtungen stimme. Am Freitag der folgenden Woche, dem 19. Oktober, berichtete Kurlbaum in der Sitzung der Physikalischen Gesellschaft über Rubens' und seine Strahlungsmessungen, und im Anschluß daran teilte Planck seine Formel mit und zeigte ihre Übereinstimmung mit den Beobachtungen an einigen Zahlenbeispielen.*" (Hettner 1922, S.1036 u. Planck 1900a).

Aber nun begann, wie Heisenberg berichtet, für Planck erst die eigentliche Arbeit, (Heisenberg 1958, S.9). Planck schreibt dazu:

„*Aber selbst wenn die Strahlungsformel sich als absolut genau bewähren sollte, so würde sie, lediglich in der Bedeutung einer glücklich erratenen Interpolationsformel, doch nur einen recht beschränkten Wert besitzen. Daher war ich von dem Tage ihrer Aufstellung an mit der Aufgabe beschäftigt, ihr einen wirklichen Sinn zu verschaffen* (…).

(Planck 1920, S.102).

Dazu war es nötig, „*in der Reihe der Schlussfolgerungen, welche zum Wien'schen Energieverteilungsgesetz führten, dasjenige Glied ausfindig zu machen, welches einer Abänderung fähig ist; sodann aber wird es sich darum handeln, dieses Glied aus der Reihe zu entfernen und einen geeigneten Ersatz dafür zu schaffen.*" (Planck 1901, S.553).

Es folgte eine intensive Analyse Plancks, „*bis sich nach einigen Wochen der angestrengtesten Arbeit meines Lebens das Dunkel lichtete* (…)." (Planck 1920, S.102).

So sagt Planck am 14.Dezember 1900 in der Sitzung der Physikalischen Gesellschaft: „*Indessen liegt mir heute* (…) *vielmehr daran, Ihnen den eigentlichen Kernpunkt der ganzen Theorie möglichst übersichtlich darzulegen* (…). *Wir betrachten aber - und dies ist der wesentlichste Punkt der ganzen Berechnung -* [die Energie] *E als zusammengesetzt aus einer ganz bestimmten Anzahl endlicher gleicher Teile und bedienen uns dazu der Naturconstanten* $h = 6{,}55.10^{-27}$ *[erg × sec]. Diese Constante mit der gemeinsamen Schwingungszahl ν der Resonatoren multiplicirt ergiebt das Energieelement ε in erg, und durch Division von E durch ε erhalten wir die Anzahl P der Energieelemente,* (…)."
(Planck 1900b, S. 238f.) Kurz:

$$E = P \cdot \varepsilon \,, \quad \text{mit} \quad \varepsilon = h \cdot \nu \quad \text{und} \quad P \in \mathbb{N}. \qquad \{4\}$$

Plancks Entdeckung der Quantisierung (vgl. Planck 1901, S. 556, Gl. (4) u. S. 561 Mitte) kommentiert Heisenberg so: „*Diese Arbeit hat Planck mehr als ein halbes Jahrzehnt beschäftigt. Ich erwähne diese Zeitspanne, weil es oft in den populären Schriften so aussieht, als würde eine große Entdeckung sozusagen über Nacht gemacht; als komme dem Forscher ein glücklicher Einfall und damit wäre das Problem gelöst. Fast immer aber steht hinter diesem glücklichen Einfall eine lange Forschungsarbeit, oft die angestrengteste Arbeit von vielen Jahren.*" (Heisenberg 1958, S.8).

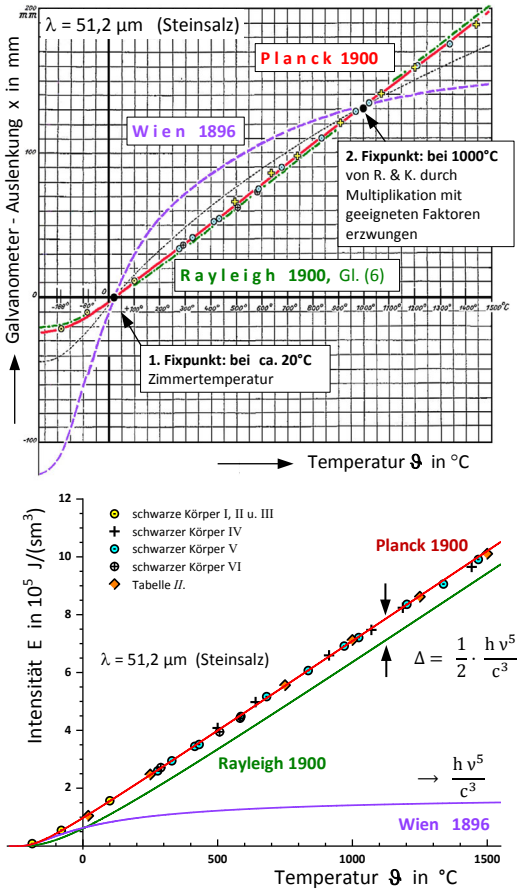



**Abb.7:** Zum Messergebnis von Rubens & Kurlbaum
*oben*: ergänzte Original-Skizze ([34], S. 660, Fig.8; Tabelle II, S. 664,
*unten*: Intensitäts-Darstellung; die Umrechnung x → E erfolgte m.H. der Planckschen Intensitäts-Gleichung.

Zu Plancks privatem Schicksal eine Bemerkung von Erwin Schrödinger:

„*Erfolg, Ehren, Anerkennung, innere Befriedigung im Bewusstsein größter Leistung - und doch vom bittersten Unglück verfolgt sein ganzes Leben lang, immer ärger, immer ärger, genau wie im Buch Hiob.*" (Hermann 2000) Plancks erste Frau Marie verstarb 1909; alle vier Kinder aus dieser Ehe verstarben früh: Sohn Karl fiel 1916 vor Verdun, Tochter Grete verstarb 1917 bei der Geburt ihres ersten Kindes, ebenso im Kindbett 1919 Tochter Emma, Januar 1945 wird Sohn Erwin im Zusammenhang mit einem Hitler-Attentat hingerichtet. (Hermann 1973, S.135).

## 5. **Zu Einsteins Lichtquantenhypothese**

Die Arbeit Einsteins zum Photoeffekt in 1905 ist allgemein bekannt; daher soll hier nur auf Folgendes hingewiesen werden: Einstein schließt darin ausdrücklich nicht aus, dass Photonen ihre Energie auch teilweise an die Elektronen abgeben können. (Einstein 1905, S.145). - Die Einleitung des Artikels (S.132f.) und der Beginn von §8 („*Über die Erregung von Kathodenstrahlen durch Belichtung fester Körper*“, S.145 f.) vor Aufstellen der lichtelektrischen Einstein-Gleichung

$$\Pi\varepsilon = \frac{R}{N}\beta \cdot \nu - P \qquad \{5\}$$

sind meiner Ansicht nach als Beispiel dafür geeignet, wie im Unterricht Schülerinnen und Schülern durch die Lektüre von Originalliteratur bedeutende Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler durch ihr Werk näher gebracht werden können.[13]
In seiner Arbeit von 1906 schreibt Einstein, Planck habe die Lichtquantenhypothese bereits implizit verwendet, (Einstein 1906, S.199).

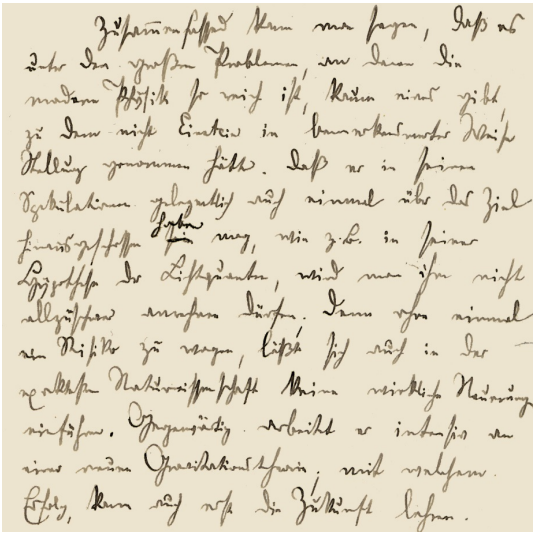


**Abb.8:** Aus dem Wahlvorschlag Plancks zu Einsteins Aufnahme in die Berliner Akademie vom 12. Juni 1913. (Mit frdl. Genehmigung aus dem Archiv der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften BBAW, PAW (1812-1945), II-III-36, Bl. 37r)

Bei Planck rief diese Ansicht Einsteins damals Verwunderung hervor, wie in dem nur handschriftlich vorliegenden Original seines Wahlvorschlags für Einsteins Aufnahme in die Berliner Akademie aus 1915 zu lesen ist. Da der Text oft verkürzt zitiert wird, hier der typographische Text von Abb.8: „*Zusammenfassend kann man sagen, daß es unter den großen Problemen, an denen die moderne Physik so reich ist, kaum eines gibt, zu dem nicht Einstein in bemerkenswerter Weise Stellung genommen hätte. Daß er in seinen Spekulationen gelegentlich auch einmal über das Ziel hinausgeschossen haben mag, wie z.B. in seiner Hypothese der Lichtquanten, wird man ihm nicht allzusehr anrechnen dürfen; denn ohne einmal ein Risiko zu wagen, läßt sich auch in der exaktesten Naturwissenschaft keine wirkliche Neuerung einführen. Gegenwärtig arbeitet er intensiv an einer neuen Gravitationstheorie; mit welchem Erfolg kann auch erst die Zukunft lehren.*“

[13] Den Sprachduktus vor mehr als hundert Jahren wird die Lehrkraft kommentieren, ebenso die ungewohnte Gleichungs-Syntax.

## 6. **Literatur**


[1] Braunbek, W.(1971): Reststrahlmethode. In: Franke, H., Hrsg.(1971): dtv-Lexikon der Physik, Bd. 7, Stuttgart 1971, S.316

[2] Cortel, A. (2007): Thermoelectric generators. In: Physics Education 42, Nr.1, 88-92. Url: https://iopscience.iop.org/issue/0031-9120/42/1

[3] Czerny, M. (1923): Über eine neue Form der Rubensschen Reststrahlenmethode. In: Zeitschrift für Physik 16, Nr.1, 321-331

[4] Du Bois, H.; Rubens, H. (1893): Ueber Polarisation von Wärmestrahlen durch Drahtgitter. In: Naturwissenschaftliche Rundschau 8, Nr.36, S.454, Fig.1. Url: http://www.digizeitschriften.de/download/PPN385489110_0008/PPN385489110_0008___LOG_0715.pdf (Stand 5/2019)

[5] Du Bois, H.; Rubens, H. (1900): Panzergalvanometer. In: Zeitschrift für Instrumentenkunde 20, Nr.3, 65-78. Url: https://ia902706.us.archive.org/10/items/zeitschriftfrin06gergoog/zeitschriftfrin06gergoog.pdf (Stand 5/2019)

[6] Du Moncel, Th. (1867): Notice sur L'Appareil D'Induction Électrique de Ruhmkorff, Paris 1867, 5. Auflage

[7] Einstein, A. (1905): Über einen die Erzeugung und Verwandlung betreffenden heuristischen Gesichtspunkt. In. Annalen der Physik 322, Nr.6, 132-148. Url: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/andp.19053220607 (Stand 5/2019)

[8] Einstein, A. (1906): Zur Theorie der Lichterzeugung und Lichtabsoption. In: Annalen der Physik 325, Nr.6, 199-206. Url: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/andp.19053220607 (Stand 5/2019)

[9] Gollwitzer, J. (2007): Die Anfänge der Funktechnologie. In: Wolfschmidt, G. (Hrsg.): Von Hertz zum Handy. Entwicklung der Kommunikation (= Nuncius Hamburgensis - Beiträge zur Geschichte der Naturwissenschaften, Band 6), 77-124, Norderstedt 2007

[10] Hallwachs, W. (1888): Ueber den Einfluss des Lichtes auf electrostatisch geladene Körper. In: Annalen der Physik 269, Nr.2, 301-312. Url: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/andp.18882690206 (Stand 5/2019)

[11] Heisenberg, W. (1958): Festrede zum 100. Geburtstag von Max Planck, In: Stimmen aus

dem Maxgymnasium 6, Sept. 1958, 6-17; wiederabgedruckt in: Heisenberg, W.: Gesammelte Werke Bd. IV, München u. Zürich 1986, 99-110. Ein *Tondokument* (Auszug aus der Rede) ist unter den *Zusatzmaterialien* zu finden: Heisenberg-Audio München 1958. Vgl. hierzu auch [12], S.31 ff.

[12] Hermann, A. (1969): Frühgeschichte der Quantentheorie.1899-1913, Mosbach in Baden 1969

[13] Hermann, A. (1973): Max Planck, Reinbek bei Hamburg 1973

[14] Hermann, A. (2000): „Ich dachte mir nicht viel dabei“. Die wichtigste Gedankenschöpfung des 20. Jahrhunderts: Wie Max Planck auf die Idee der Quantentheorie kam. In: Süddeutsche Zeitung, Sa. 9.12.2000, SZ am Wochenende, Seite ROM1

[15] Hertz, H. (1887a): Ueber sehr schnelle electrische Schwingungen. In: Annalen der Physik und Chemie 267, Nr.7, 421-448 u.Tafel III, Fig.23-29. Url: ohne Tafel III: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/andp.18872670707; Tafel III im *Zusatzmaterial*. Wiederabgedruckt in [18], S. 32-58, dort Figuren in Text integriert.

[16] Hertz, H.: (1887b): Über einen Einfluss des ultravioletten Lichts auf die elektrische Entladung. In: Sitzungsberichte der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin Jahrgang 1887, 2. Halbband, 487-490, Url: http://bibliothek.bbaw.de/bibliothek-digital/digitalequellen/schriften/anzeige/index_html?band=10-sitz/1887-2&seite:int=46 und ff. (Stand 5/2019)

[17] Hertz, H. (1887c): Ueber einen Einfluss des ultravioletten Lichtes auf die electrische Entladung. In: Annalen der Physik und Chemie 267, Nr.8, 983-1000 u. Tafel VII, Fig. 8-11. Url ohne Tafel VII: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/andp.18872670827; Tafel VII im *Zusatzmaterial*. Wiederabgedruckt in [18], S.69-86, dort Figuren in Text integriert.

[18] Hertz, H. (1892): Gesammelte Werke, Bd.II, Untersuchungen über die Ausbreitung der elektrischen Kraft, Leipzig 1892. Url: https://de.wikisource.org/wiki/Elektrische_Kraft_Hertz:001 u. ff.

[19] Hettner, G. (1922): Die Bedeutung von Rubens Arbeiten für die Plancksche Strahlungsformel. In: Die Naturwissenschaften 10, Nr.48, 1033-1040. Url: https://www.digizeitschriften.de/dms/img/?PID=GDZPPN001131281 u. ff. (Stand 5/2019)

[20] Lesch, H. (2016): Was ist die Planck-Welt? In: alpha-Centauri v. 17.03.2019, Erstausstrahlung 10.07.2016, 14:45h, Online bis 08.11.2022. Url: https://www.br.de/mediathek/video/alpha-centauri-17032019-was-ist-die-planck-welt-av:5b0b1ea3fcf6530017739210 (Stand 5/2019)

[21] Lummer, O. u. Kurlbaum, F. (1898): Der electrisch geglühte „absolut schwarze“ Körper und seine Temperaturmessung. In: Verhandlungen der Physikalischen Gesellschaft zu Berlin 17, 106-111

[22] Lummer, O. u. Kurlbaum, F. (1901): Der elektrisch geglühte „schwarze“ Körper. In: Annalen der Physik 310, Nr.8, 829-836. Url: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/andp.19013100809 (Stand 5/2019)

[23] Planck, M. (1899): Über irreversible Strahlungsvorgänge. Fünfte Mittheilung (Schluss). In: Sitzungsberichte der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin 1899, 1. Halbband, 440-480. Url: http://bibliothek.bbaw.de/bibliothek-digital/digitalequellen/schriften/anzeige/index_html?band=10-sitz/1899-1&seite:int=454 u. ff. (Stand 5/2019)

[24] Planck, M. (1900a): Ueber eine Verbesserung der Wien’schen Spectralgleichung. In: Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft 2, 181 u. 202-204. Url: https://ia802605.us.archive.org/11/items/verhandlungende01goog/verhandlungende01goog.pdf

[25] Planck, M. (1900b): Zur Theorie des Gesetzes der Energieverteilung im Normalspectrum. In: Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft 2, 235 u. 237-245. Url: s. [24]

[26] Planck, M. (1901): Ueber das Gesetz der Energieverteilung im Normalspectrum. In: Annalen der Physik 309, Nr.3, 553-563. Url: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/andp.19013090310

[27] Planck, M. (1906): Vorlesungen über die Theorie der Wärmestrahlung, Leipzig 1906. Url: https://ia802609.us.archive.org/28/items/vorlesungenberd04plangoog/vorlesungenberd04plangoog.pdf (Stand 5/2019)

[28] Planck, M. (1920): Die Entstehung und bisherige Entwicklung der Quantentheorie. (Nobelvortrag, gehalten vor der Königlich Schwedischen Akademie der Wissenschaften zu Stockholm am 2. Juni 1920). In: Planck, M.: Wege zur physikalischen Erkenntnis, Leipzig 1944, 4.Aufl., 98-111. 5. erw. Aufl. unter dem Titel “Vorträge und Erinnerungen“ Stuttgart 1949. Url: http://www.theo-physik.uni-kiel.de/~bonitz/D/vorles_17ws/planck_nobel.pdf (Stand 5/2019) https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1918/planck/lecture (Stand 5/2019)

[29] Poincaré, H. (1890): Contribution à la theorie des expériences de M. Hertz. In: Comptes Rendus des Séances de L’Academie des Sciences 111, Nr.7, 322-326, Url: https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k3067d/f321 und ff. (Stand 5/2019)

[30] Lord Rayleigh (1900): Remarks on the Law of Complete Radiation. In: The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science 49, Nr. 301, 539-540. Url:

https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/14786440009463878 (Stand 5/2019)
[31] Rubens, H. (1898): Ueber eine neue Thermosäule. In: Zeitschrift für Instrumentenkunde 18, Nr.3, 65-69. Url: https://ia800901.us.archive.org/8/items/zeitschriftfrin12gergoog/zeitschriftfrin12gergoog.pdf (Stand 5/2019)
[32] Rubens, H.; Aschkinass, E. (1898): Die Reststrahlen von Steinsalz und Sylvin. In: Annalen der Physik und Chemie 301, Nr.6, 241-256. Url: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/andp.18983010602 (Stand 5/2019)
[33] Rubens, H.; Kurlbaum, F. (1900): Über die Emission langwelliger Wärmestrahlen durch den schwarzen Körper bei verschiedenen Temperaturen. In: Sitzungsberichte der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin 41, 929-941. Url: http://bibliothek.bbaw.de/bibliothek-digital/digitalequellen/schriften/anzeige/index_html?band=10-sitz/1900-2&seite:int=228 u. ff. (Stand 5/2019)
[34] Rubens, H; Kurlbaum, F. (1901a): Anwendung der Methode der Reststrahlen zur Prüfung des Strahlungsgesetzes. In: Annalen der Physik 309, Nr.4, 649-666. Url: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/andp.19013090402 (Stand 5/2019)
[35] Rubens, H.; Kurlbaum, F. (1901b): On the Heat-Radiation of Long Wave-Length emitted by Black Bodies at different Temperatures. In: Astrophysical Journal 14, 335-348. Url: http://articles.adsabs.harvard.edu//full/1901ApJ....14..335R/0000335.000.html u. ff. (Stand 5/2019)
[36] Secor, H.W. (1920): The How and Why of Radio Apparatus. A Treatise on the Principles Underlying the Operation of Wireless Transmitting and Receiving Instruments, New York 1920. Url: https://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=mdp.39015067209000;view=1up;seq=7 u. ff. (Stand 5/2019)
[37] Valentiner, S. (1927): Auf der Induktion beruhende Apparate. In: Geiger, H. u. Scheel, K. (Hrsg.): Handbuch der Physik XVI, Apparate und Messmethoden für Elektrizität und Magnetismus, Berlin 1927, 87-120
[38] Wien, W. (1896): Ueber die Energievertheilung im Emissionsspectrum eines schwarzen Körpers. In: Annalen der Physik 294, Nr.8, 662-669 Url: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/andp.18962940803

**Danksagung**

Frau Univ.-Professor Dr. Heinke danke ich für die Ermöglichung dieser Arbeit, den Herren Dr. R. Detemple, Dr. Chr. Salinga und Dr. A. Voigt für hilfreiche Diskussionen. Frau Dipl.-Bibl. I. Cleven (Bibliothek der Phys. Institute) gehört mein Dank für das sorgfältige Einscannen von Tafeln aus schwer zugänglichen historischen Quellen (*Zusatzmaterial*). Dem Maximiliansgymnasium München, insb. Frau E. Rommel, bin ich für eine digitale Audio-Kopie der Heisenberg-Rede von 1958 zu Dank verpflichtet, Herrn M. Schwarzenau vom Stadtarchiv München für die entsprechende Kopie der Schulschrift „Stimmen aus dem Maxgymnasium“ und Frau Dr. V. Enke vom Archiv der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften für ein Photo des Manuskripts aus dem Wahlvorschlag Planks zu Einstein. Ebenso danke ich der Familie Heisenberg und der Heisenberg-Gesellschaft, insb. Herrn Prof. Dr. Kleinknecht, für die Genehmigung, einen Ausschnitt der Heisenberg-Tonaufzeichnung öffentlich zur Verfügung zu stellen, (*Zusatzmaterial*).

# Contemporary Science @ school

## - Aktuelle Forschung als Gegenstand von Lehrerbildung und Unterricht -

**Andreas Bednarek*, Rita Wodzinski***

*Universität Kassel, Didaktik der Physik, Heinrich-Plett-Straße 40, 34132 Kassel
bednarek@physik.uni-kassel.de, wodzinski@physik.uni-kassel.de

**Kurzfassung**

Im Rahmen des Projekts „Contemporary Science in der Lehrerbildung“ wurde eine Lernumgebung entwickelt, welche fachwissenschaftliche und fachdidaktische Studienanteile mit Blick auf aktuelle naturwissenschaftliche Forschung vernetzt (Roetger & Wodzinski, 2016). Im Anschlussprojekt „Contemporary Science @ school“ ist zusätzlich eine Verknüpfung mit der Schulpraxis vorgesehen. Die Lernumgebung bietet den Studierenden in der ersten Phase die Möglichkeit, über einen Aufenthalt in einer Arbeitsgruppe der Experimentalphysik authentische Einblicke in naturwissenschaftliche Forschungspraxis zu gewinnen. In einer zweiten Phase reflektieren die Studierenden die Erfahrungen fachdidaktisch, planen auf deren Grundlage Universitätsbesuche für Schulklassen und führen diese durch. Die Besuche sollen den Schülerinnen und Schülern sowie deren Lehrkräften wiederum relevante Einblicke in die Praxis naturwissenschaftlicher Forschung gewähren.
Die Wirkungen dieser erweiterten Lernumgebung werden auf Seiten der Studierenden, der Schülerinnen und Schüler sowie der beteiligten Lehrkräfte qualitativ im Prä-Post-Design erfasst. Mithilfe von Portfolios beziehungsweise Interviews wird erhoben, welche Relevanz der naturwissenschaftlichen Forschungspraxis als Lerngegenstand von Physikunterricht beigemessen wird. Der Beitrag stellt das Konzept der erweiterten Lernumgebung sowie das Untersuchungsdesign vor.

## 1. Contemporary Science @ school

„Contemporary Science @ school“ ist ein Teilprojekt des Kasseler Projekts „**Pro**fessionalisierung durch Ver**net**zung“ (PRONET²) der zweiten Runde der Qualitätsoffensive Lehrerbildung[1]. Es ist das Anschlussprojekt von „Contemporary Science in der Lehrerbildung“, welches die Professionsentwicklung angehender naturwissenschaftlicher Lehrkräfte durch eine gezielte Vernetzung fachwissenschaftlicher und fachdidaktischer Studienanteile zum Ziel hatte. Mit dem neuen Projekt soll zusätzlich eine Verknüpfung mit der Schulpraxis erfolgen.

### 1.1. Aktuelle Forschung als Gegenstand von Lehrerbildung

Im Rahmen des vorangegangenen Projekts „Contemporary Science in der Lehrerbildung“ wurde eine Lernumgebung entwickelt, welche fachwissenschaftliche und fachdidaktische Studienanteile mit Blick auf aktuelle naturwissenschaftliche Forschung vernetzt (Roetger & Wodzinski, 2016). Dabei standen authentische Einblicke in reale naturwissenschaftliche Forschung im Fokus, die der Anregung von „Reflexionen zu Aspekten von Nature of Science“ dienten (Roetger & Wodzinski, 2018, S. 103). Die Wirkung der Lernumgebung auf das Verständnis von Nature of Science konnte bei angehenden Lehrpersonen gezeigt werden (Roetger & Wodzinski, 2018).

### 1.2. Aktuelle Forschung als Gegenstand von Unterricht

Ein angemessenes Verständnis von Nature of Science kann die Meinungsbildung bzw. die informierte Teilhabe an der Diskussion und Lösung „gesellschaftlich relevante[r] und naturwissenschaftlich bedeutsame[r] Probleme[n]“ ermöglichen (Gebhard et al., 2017, S. 95; Driver et al., 1996). Darüber hinaus kann ein angemessenes Verständnis zu Nature of Science helfen, zwischen „guter, schlechter oder auch Pseudo-Wissenschaft“ zu differenzieren (Gebhard et al., 2017, S. 95; Hodson, 2008). Diese Kompetenz kann für die Bewertung entsprechender Probleme, welche oftmals in den Medien erscheinen und eine Einschätzung durch den Konsumenten erfordern, hilfreich sein (Hodson, 2012; Gebhard et al., 2017; Driver et al., 1996).

Vergleichbares ist in den KMK-Bildungsstandards formuliert. Physikunterricht soll „die Fähigkeit zur Differenzierung nach physikalisch belegten, hypo-

[1] Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde im Rahmen der gemeinsamen „Qualitätsoffensive Lehrerbildung“ von Bund und Ländern mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 01JA1805 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

thetischen und nicht naturwissenschaftlichen Aussagen“ fördern und einen Überblick über „Grenzen naturwissenschaftlicher Sichtweisen“ schaffen (KMK, 2005, S.10). Darüber hinaus soll naturwissenschaftliche Bildung die „Meinungsbildung über […] naturwissenschaftliche Forschung“ unterstützen (KMK, 2005, S. 6).

Dies kann nur durch Auseinandersetzung mit aktueller Forschung selbst erreicht werden, wofür authentische Einblicke in die Forschungspraxis einer Universität Ausgangspunkt sein können (France & Compton, 2012).

Im Projekt „Contemporary Science @ school“ wird deshalb die im Vorgängerprojekt entwickelte Lernumgebung, welche bereits fachwissenschaftliche und fachdidaktische Studienanteile vernetzt, durch eine Verknüpfung mit der Schulpraxis erweitert, indem Universitätsbesuche für Schulklassen durch Lehramtsstudierende geplant und durchgeführt werden.

## 2. **Das Konzept der erweiterten Lernumgebung**

Die Lernumgebung wird als Wahlpflichtseminar für Lehramtsstudierende der Schulformen Gymnasium, Haupt- und Realschule sowie Berufsbildende Schulen, welche die grundlegenden Fachveranstaltungen bereits absolviert haben (Studierende ab dem fünften Fachsemester), angeboten. Die Universitätsbesuche werden für Schülerinnen und Schüler ab der zehnten Jahrgangsstufe angeboten[2].

Die Ziele der Lernumgebung können für Studierende, teilnehmende Lehrkräfte sowie Schülerinnen und Schüler in folgender Weise unterschieden werden.

- Studierende und Lehrkräfte sollen ihre Vorstellungen über die Relevanz von Nature of Science erweitern.
- Studierende sollen darüber hinaus das didaktische Potenzial von Nature of Science für die Bewertung gesellschaftlich relevanter und naturwissenschaftlich bedeutsamer Probleme einordnen.
- Schülerinnen und Schüler sollen ihre Vorstellungen über aktuelle naturwissenschaftliche Forschung und Wissenschaftspraxis erweitern und in ihre Vorstellungen zu Nature of Science einordnen.

### 2.1. **Struktur der erweiterten Lernumgebung**

Die Lernumgebung wird in drei Phasen durchlaufen: einer fachwissenschaftlichen (FW), einer fachdidaktischen (FD) sowie einer schulpraktischen Phase (Schulpraxis). In der ersten Phase (FW) haben die Studierenden die Möglichkeit, über einen Aufenthalt in einer Arbeitsgruppe der Experimentalphysik[3] eigene Einblicke in die Praxis naturwissenschaftlicher Forschung zu gewinnen. Dies beinhaltet auch die Teilnahme an fachwissenschaftlichen Vorträgen von (Fach-)Wissenschaftlern[4] sowie den Besuch von Arbeitsgruppensitzungen. Mehrtägige Hospitationen und die Begleitung von Fachwissenschaftlern in ihrem beruflichen Alltag geben Einblicke in die Methoden und Arbeitsweisen aktueller Forschung. In einer Podiumsdiskussion, bei welcher Fachwissenschaftler aus diversen Bereichen (weitere Arbeitsgruppen der Experimentalphysik, theoretische Physik sowie Biologie und Chemie) vertreten sind, können die Studierenden etwas über die aktuelle Forschungspraxis (Finanzierung, nationale und internationale Zusammenarbeit, kulturelle und soziale Einflüsse, etc.) erfahren.

In der zweiten Phase (FD) werden die Erfahrungen auf Grundlage von fachdidaktischer Literatur zu Nature of Science reflektiert. Hierbei werden die Studierenden zunächst mit typischen Schülervorstellungen konfrontiert, wie zum Beispiel:

- „Wissenschaftlicher Konsens beruht auf Einsicht in Fakten und nicht auf Übereinstimmung.“ (Höttecke & Hopf, 2018, S. 280)
- „Außerwissenschaftliche Faktoren können Naturwissenschaften nicht beeinflussen.“ (Höttecke & Hopf, 2018, S. 280)

Ein weiteres Element ist die Auseinandersetzung mit Darstellungen zum naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozess und zur Forschungspraxis in Medien (TV-Serien) sowie mit „pseudowissenschaftlichen“ Sachverhalten auf Internetseiten. Die Studierenden bewerten unter Einbezug von Kriterien für wissenschaftliche Expertise (Gebhard et al., 2017, S. 90) Szenen aus der Serie „Big Bang Theory“, die Aspekte zu Nature of Science veranschaulichen (Li & Orthia, 2016; Weitekamp, 2017), sowie Internetseiten, welche die Themen „Elektrosmog“ oder „Handystrahlung“ zum Inhalt haben (Gebhard et al., 2017, S. 87). Diese Aktivitäten werden mit dem Ziel ausgeführt, die Vorstellungen zum didaktischen Potenzial von Nature of Science zu erweitern.

[2] Die didaktische Reduktion der Inhalte aktueller physikalischer Forschung wird zunächst an Schülerinnen und Schülern aus der gymnasialen Oberstufe bzw. aus dem zehnten Jahrgang erprobt. Eine Erweiterung auf jüngere Jahrgänge erscheint für Studierende vorerst zu anspruchsvoll.

[3] Im ersten Durchgang (Wintersemester 2018/2019) hat sich die Arbeitsgruppe Funktionale dünne Schichten & Physik mit Synchrotronstrahlung (Universität Kassel) an der Lernumgebung beteiligt. Diese Arbeitsgruppe kann durch Teilnahme an der Lernumgebung des vorangegangenen Projekts sowie der Darstellung Ihrer Forschung bei öffentlichen Veranstaltungen (Tag der Physik, Hessentag, etc.) bereits diverse Erfahrungen vorweisen.

[4] Im folgenden Beitrag wird aus Gründen der besseren Lesbarkeit ausschließlich die männliche Form verwendet. Sie bezieht sich auf Personen beiderlei Geschlechts.

In der dritten Phase der Lernumgebung (Schulpraxis) werden die Erfahrungen aus den ersten beiden Phasen (FW & FD) in die Schulpraxis transferiert. Die Studierenden planen in Gruppen[5] jeweils einen halbtägigen[6] Universitätsbesuch für eine Schulklasse bzw. einen Kurs aus der gymnasialen Oberstufe (vgl. Abs. 2.). Hierbei werden die Studierenden durch die Fachwissenschaftler unterstützt. Fester Bestandteil der Universitätsbesuche ist ein Vortrag von den Fachwissenschaftlern, eine Laborbesichtigung sowie eine Expertenbefragung. Beim Vortrag erhalten die Schülerinnen und Schülern Einblicke in die physikalischen Inhalte der aktuellen Forschung. Bei der Laborbesichtigung werden die Inhalte anhand von Erläuterungen zu einzelnen Experimenten vertieft. Darüber hinaus bekommen die Schülerinnen und Schüler Einblicke in Methoden und Arbeitsweisen aktueller Forschung. In der Expertenbefragung haben die Schülerinnen und Schüler die Möglichkeit, Fachwissenschaftler aus unterschiedlichen Arbeitsgruppen der Experimentalphysik zu befragen, wodurch Einblicke in die aktuelle Forschungspraxis gewonnen werden können. Die Aufgabe der Studierenden besteht darin, die Fachwissenschaftler bei der Planung des Vortrags und der Laborbesichtigung zu unterstützen[7]. Das Thema und der Ablauf der Expertenbefragung sowie der Rahmen der Universitätsbesuche wird vollständig durch die Studierenden geplant. Hierbei erhalten diese fachdidaktische Unterstützung durch die beteiligten Lehrkräfte und die Dozenten des Seminars.

Die Lehrkräfte begleiten während der Universitätsbesuche ihre Schülerinnen und Schüler. Auf diese Weise und durch den Austausch mit den Studierenden haben sie die Möglichkeit, ihre Vorstellungen über die Relevanz von Nature of Science im Kontext aktueller Forschung zu diskutieren und zu erweitern.

In Abbildung 1 ist die Struktur der erweiterten Lernumgebung zusammenfassend dargestellt.

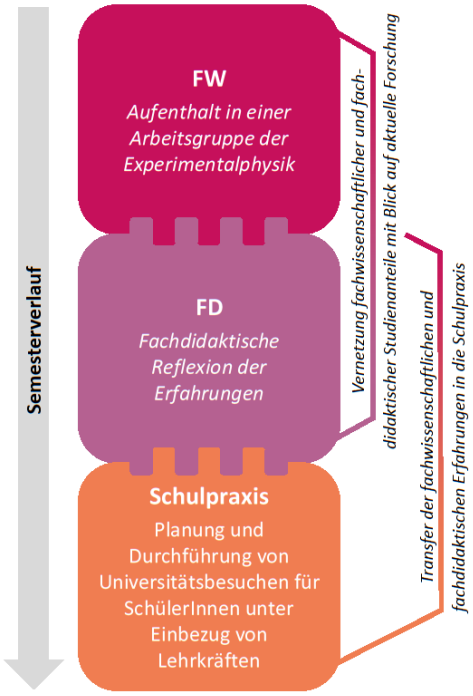



Abbildung 1: Struktur der erweiterten Lernumgebung

## 3. Das Forschungsdesign

Die Wirkungen der erweiterten Lernumgebung auf Seiten der Studierenden, der teilnehmenden Lehrkräfte sowie der Schülerinnen und Schüler werden mithilfe von Interviews bzw. Portfolios im Prä-Post-Design erfasst.

### 3.1. Forschungsfragen

Die Forschungsfragen werden für Studierende, teilnehmende Lehrkräfte sowie Schülerinnen und Schüler aufgrund divergenter Ziele unterschieden. Auf Seiten der Studierenden hat die Lernumgebung das Ziel, die Vorstellungen über die Relevanz und das didaktische Potenzial von Nature of Science für die Bewertung gesellschaftlich relevanter und naturwissenschaftlich bedeutsamer Probleme zu erweitern. Daraus ergeben sich folgende Forschungsfragen:

**FF1)** Welche Relevanz wird Nature of Science vor dem Beginn der Lernumgebung im Physikunterricht beigemessen?

**FF2)** Inwiefern beeinflusst die Lernumgebung die Vorstellungen der Studierenden zur Relevanz von Nature of Science im Physikunterricht?

**FF3)** Inwiefern beeinflusst die Lernumgebung die Vorstellungen der Studierenden zum didaktischen Potenzial von Nature of Science für die Bewertung gesellschaftlich relevanter und naturwissenschaftlich bedeutsamer Probleme?

Die ersten beiden Forschungsfragen beziehen sich auf die Relevanz von Nature of Science im Physikunterricht. Die dritte Forschungsfrage betrifft das didaktische Potenzial von Nature of Science für die Bewertung gesellschaftlich relevanter und naturwissenschaftlich bedeutsamer Probleme. Die Studierenden verwenden in der zweiten Phase der Lernumgebung (FD) Kriterien wissenschaftlicher Expertise zur Bewertung naturwissenschaftlicher Darstellungen in den Medien (vgl. Abs. 2.1). Diese Aktivität hat zum Ziel, die Vorstellungen zum didaktischen Potenzial von Nature of Science zu erweitern. Da die kritische Auseinandersetzung mit Medien grundsätzlich auch im Physikunterricht Anwendung finden kann, wird erwartet, dass dies die Vorstellungen der Studieren-

[5] Jede Gruppe setzt sich aus zwei bis drei Studierenden zusammen.
[6] Die Schulklassen bzw. Kurse reisen meistens am frühen Vormittag an und bleiben bis zur Mittagszeit, sodass für die Universitätsbesuche drei bis vier Stunden zur Verfügung stehen.
[7] Die Lehramtsstudierenden geben den Fachwissenschaftlern Hinweise bei der didaktischen Reduktion.

den zur Relevanz von Nature of Science im Physikunterricht beeinflusst.

Auf Seiten der teilnehmenden Lehrkräfte hat der Universitätsbesuch zum Ziel, die Vorstellungen zur Relevanz von Nature of Science im Kontext aktueller Forschung zu erweitern. Daraus ergeben sich folgende Forschungsfragen:

**FF4)** Welche Relevanz wird Nature of Science im Physikunterricht vor dem Universitätsbesuch beigemessen?

**FF5)** Inwiefern beeinflusst der Universitätsbesuch die Vorstellungen der Lehrkräfte zur Relevanz von Nature of Science im Physikunterricht?

Die Forschungsfragen beziehen sich bei den Lehrkräften auf den Physikunterricht. Die Erfahrungen, welche die Lehrkräfte während des Universitätsbesuchs zu Nature of Science machen, sind durch den Kontext aktuelle Forschung gekennzeichnet. Diese können Auswirkungen auf den Physikunterricht haben. Daher wird erwartet, dass sich die Vorstellungen zur Relevanz von Nature of Science im Physikunterricht erweitern.

Für Schülerinnen und Schüler besitzt der Universitätsbesuch das Ziel, die Vorstellungen zur aktuellen naturwissenschaftlichen Forschung sowie zur Wissenschaftspraxis zu erweitern. Daraus ergeben sich folgende Forschungsfragen:

**FF6)** Welche Vorstellungen zu aktueller naturwissenschaftlicher Forschung und Wissenschaftspraxis besitzen die Schülerinnen und Schüler vor dem Universitätsbesuch?

**FF7)** Inwiefern beeinflusst der Universitätsbesuch die Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler zu aktueller naturwissenschaftlicher Forschung und Wissenschaftspraxis?

Die Schülerinnen und Schüler machen während des Universitätsbesuchs diverse Erfahrungen mit aktueller naturwissenschaftlicher Forschung, sodass erwartet wird, dass sich ihre Vorstellungen erweitern.

### 3.2. **Forschungsinstrumente**

Zur Untersuchung der Wirkungen auf Seite der Studierenden werden sowohl Interviews als auch semesterbegleitende Portfolioaufgaben eingesetzt. Die Portfolioaufgaben werden wöchentlich als Vor- bzw. Nachbereitung der einzelnen Sitzungen gestellt und können jeweils auf ein bis drei Din-A4-Seiten bearbeitet werden. Sie umfassen Vorstellungen und Erwartungen zum Aufenthalt in der Forschungsgruppe, Vorstellungen zur Relevanz von Nature of Science bzw. aktueller Forschung aus Sicht von Schülerinnen und Schülern sowie Erfahrungen zu Nature of Science nach Abschluss des Aufenthalts in den Forschungsgruppen. Darüber hinaus wird mithilfe der Portfolioaufgaben die didaktische Begründung für die Planung der Universitätsbesuche dokumentiert.

Die Interviews mit den Studierenden finden vor sowie nach Durchlaufen der Lernumgebung statt. Am Anfang werden jeweils Vorstellungen zur aktuellen Physik sowie zu Nature of Science erhoben. Im Anschluss wird den Studierenden eine mögliche Definition zum Begriff „Aktuelle Physik“ sowie zum Begriff „Nature of Science“ präsentiert, um eine gemeinsame Basis zu erlangen. Folglich werden zur Untersuchung der Forschungsfragen die Vorstellungen zur Relevanz von Nature of Science im Physikunterricht sowie zum didaktischen Potenzial von Nature of Science für die Bewertung gesellschaftlich relevanter und naturwissenschaftlich bedeutsamer Probleme erfasst.

Zur Untersuchung der Wirkungen auf Seite der teilnehmenden Lehrkräfte sowie der Schülerinnen und Schüler werden ausschließlich Interviews eingesetzt. Diese finden sowohl vor als auch nach dem Universitätsbesuch statt. Auch diese erfassen zu Beginn jeweils die Vorstellungen zur aktuellen Physik bzw. zu Nature of Science, welche im Anschluss durch eine mögliche Definition unterstützt werden. Zur Untersuchung der Forschungsfragen auf Seiten der Lehrkräfte werden anschließend die Vorstellungen zur Relevanz von Nature of Science im Physikunterricht und auf Seiten der Schülerinnen und Schüler die Vorstellungen zu aktueller naturwissenschaftlicher Forschung und Wissenschaftspraxis erfasst.

## 4. **Ausblick**

Die erweiterte Lernumgebung wurde erstmals im Wintersemester 2018/2019 eingesetzt. Vier Studierende haben die Lernumgebung durchlaufen und eine Schulklasse aus dem 10. Jahrgang sowie ein Kurs aus der gymnasialen Oberstufe hat an den Universitätsbesuchen teilgenommen. Dieser Durchgang diente der Pilotierung der eingesetzten Instrumente sowie der Erprobung des Lernumgebungskonzepts. Eine Auswertung der durchgeführten Interviews folgt in Kürze. Auf Grundlage dessen wird die Lernumgebung sowie das Forschungsdesign überarbeitet.

## 5. **Literatur**

Driver, R., Learch, J., Millar, R. & Scott, P. (1996): Young People’s Images of Science. Buckingham: Open University Press.

France, B. & Compton, V. (Eds.). (2012): Bringing Communities Together. Connecting Learners with Scientists or Technologists. Rotterdam: Sense Publishers.

Gebhard, U., Höttecke, D. & Rehm, M. (2017): Pädagogik der Naturwissenschaften. Ein Studienbuch. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH.

Hodson, D. (2008): Towards Scientific Literacy: A Teachers' Guide to the History, Philosophy and Sociology of Science. Rotterdam: Sense Publishers.

Hodson, D. (2012): Connections to Support Learning about Science. In: France, B. & Compton, V. (Eds.). Bringing Communities Together. Connecting Learners with Scientists or Technologists. Rotterdam: Sense Publishers, S. 15-42.

Höttecke, D. & Hopf, M. (2018): Schülervorstellungen zur Natur der Naturwissenschaften. In: Schecker, H., Wilhelm, T., Hopf, M. & Duit, R. (Hrsg.). Schülervorstellungen und Physikunterricht. Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis. Berlin: Springer Spektrum, S. 271-287.

Li, R. & Orthia, L.A. (2016): Communicating the Nature of Science Through *The Big Bang Theory*: Evidence from a Focus Group Study. In: International Journal of Science Education 2016, 6(2), 115-136.

Roetger, R. & Wodzinski, R. (2016): Contemporary Science in der Lehrerbildung. Entwicklung und Evaluation einer Lernumgebung zur Förderung der Professionsentwicklung angehender Physiklehrkräfte. In: PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung, 1 (2016), S. 1-3. Url: http://phydid.physik.fu-berlin.de/index.php/phydid-b/article/view/702 (Stand 5/2019)

Roetger, R. & Wodzinski, R. (2018): Naturwissenschaftliches Arbeiten in Forschung und Physikunterricht. In: Meier, M., Ziepprecht, K. & Mayer, J. (Hrsg.). Lehrerausbildung in vernetzten Lernumgebungen. Münster: Waxmann, S. 93-105.

Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (KMK). (2005): Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss. Beschluss vom 16.12.2004. München, Neuwied: Wolters Kluwer Deutschland GmbH. Url: https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2004/2004_12_16-Bildungsstandards-Physik-Mittleren-SA.pdf (Stand 5/2019)

Weitekamp, M.A. (2017): The image of scientists in The Big Bang Theory. In: Physics Today 2017, 70(1), 40-48.
Url: http://dx.doi.org/10.1063/PT.3.3427 (Stand 5/2019)

# Qualifizierung von Quereinsteiger*innen

– Begleitforschung zum Kompetenzerwerb von Q-Masterstudierenden im Land Berlin –

**Novid Ghassemi Tabrizi, Julia-Josefine Milster, Volkhard Nordmeier**

Freie Universität Berlin, Arnimallee 14, 14195 Berlin

nghassemi@zedat.fu-berlin.de, julia.j.milster@fu-berlin.de, volkhard.nordmeier@fu-berlin.de

**Kurzfassung**

An der „Qualitätsoffensive Lehrerbildung“ (QLB) ist die Freie Universität Berlin mit dem Projekt „K2teach“ (Know how to teach) beteiligt. Begleitet durch das Teilprojekt „Q-Master: Qualifizierung von Quereinsteiger*innen im Master of Education“ startete im Wintersemester 2016/17 ein Modellstudiengang im Land Berlin, und im Wintersemester 2019/20 wurde bereits die vierte Studienkohorte eingeschrieben. Das Projekt verfolgt das Ziel, Quereinsteiger*innen innerhalb eines viersemestrigen Master of Education für den anschließenden Vorbereitungsdienst zu qualifizieren. Dabei soll ein adäquates Ausbildungsniveau im Vergleich zu regulären Lehramtsstudierenden erreicht werden. Ob dies gelingt, wird im Rahmen der Begleitforschung und Evaluation des Studienganges untersucht. Hierbei liegt das Augenmerk auf der Entwicklung professioneller Kompetenzen von Lehrkräften. Im Fach Physik werden studienbegleitend fachdidaktisches Wissen (FDW), Fachwissen und Überzeugungen erhoben. Erste Ergebnisse zur Entwicklung des FDW werden in diesem Beitrag vorgestellt. Für die erste Kohorte (reguläre Lehramtsmasterstudiere und Q-Masterstudierende) zeigt sich ein Zuwachs des FDW zwischen Beginn und Ende des Lehramtsmasterstudiums.

## 1. Ausgangslage

Die „Sondermaßnahmen zur Gewinnung von Lehrkräften zur Unterrichtsversorgung“ (KMK, 2013) bilden die Grundlage zur Einstellung von Quer- und Seiteneinsteiger*innen in den Schuldienst[1]. Mit Hilfe dieser Maßnahme wurde ein Steuerungsinstrument geschaffen, um Unterschiede zwischen dem Angebot regulär ausgebildeter Lehrkräfte und dem Lehrkräfteeinstellungsbedarf der Länder kompensieren zu können. Quer- und Seiteneinsteiger*innen werden inzwischen nicht nur in den naturwissenschaftlichen Fächern eingestellt, sondern auch für die Fremdsprachen, sowie für die Fächer Deutsch, Sport und insbesondere im Grundschullehramt kommen die Sondermaßnahmen zur Anwendung (KMK, 2018b).

Im Jahre 2018 waren von 36.084 neu eingestellten Lehrkräften 4.789 Quer- und Seiteneinsteiger*innen; das entsprich 13% (KMK, 2018a). Die Quote neueingestellter Quereinsteiger*innen ist, abhängig von Schulfach, Schulform und Bundesland, stark heterogen. Beispielsweise waren 2018 im Land Berlin 40% und in Sachsen über 50% aller neu eingestellten Lehrkräfte Quer- und Seiteneinsteiger*innen. Andere Länder dagegen (wie z. B. Bayern oder Baden-Württemberg) beziehen neue Lehrkräfte momentan kaum bzw. nicht aus diesen Gruppen (ebd.).

Im Unterrichtsfach Physik wurden in den Jahren 2002 bis 2008 ca. 3.000 Quer- und Seiteneinsteiger*innen eingestellt (Korneck, Lamprecht, Wodzinski & Schecker, 2010). Die bundesweite Quote der Quereinsteiger*innen unter den Referendar*innen im gymnasialen Bereich stieg für das Fach Physik von 10% (2002) auf zwischenzeitlich 64% (2006) (ebd.).

Derzeit sind bundesweit etwa 80% der unterrichtenden Physiklehrkräfte voll ausgebildet (erstes und zweites Staatsexamen für das Unterrichtsfach Physik) (Heise, Sinzinger, Struck & Wodzinski, 2014). So weist auch die Stichprobe des IQB-Bildungstrends 2018 einen Anteil von 17% Quer- und Seiteneinsteiger*innen bei den unterrichtenden Lehrkräften in der Sekundarstufe I im Fach Physik auf (Richter et al., 2019).

Kurz-, mittel- und langfristig (2019-2030) besteht der höchste Lehrkräfteeinstellungsbedarf für weiterführende Schulen in den Fächern Mathematik, Chemie, Physik und Informatik sowie Englisch, Französisch, Kunst und Musik (KMK, 2018b). Dabei sollte berücksichtigt werden, dass sich die KMK-Prognosen zum Einstellungsbedarf im Primarbereich zuletzt als deutlich zu gering herausgestellt haben (Klemm & Zorn, 2019). Damit ist die Notwendigkeit der Anwendung der Sondermaßnahmen zur Gewinnung von Lehrkräften für die kommenden Jahre weiterhin sehr wahrscheinlich.

[1] Wir schließen uns der Terminologie von Korneck, Lamprecht, Wodzinski und Schecker (2010) an und verwenden den Begriff *Quereinsteiger*innen* für Lehrkräfte, welche zwar den lehramtsbezogenen Vorbereitungsdienst durchlaufen (haben), jedoch kein Lehramtsstudium abgeschlossen haben. Als *Seiteneinsteiger*innen* bezeichnen wir Lehrkräfte, welche weder ein Lehramtsstudium abgeschlossen noch den berufsbegleitenden Vorbereitungsdienst absolviert haben.

## 2. Forschungsstand

Innerhalb der wissenschaftlichen Gemeinschaft sowie über diese hinaus wird die Praxis des Quer- und Seiteneinstiegs kritisch diskutiert. Einerseits besteht der Wunsch nach vollständiger Unterrichtsversorgung, andererseits bestehen Zweifel an der Professionalität Quer- und Seiteneinsteiger*innen (FAZ, 2018).

Bei Quer- und Seiteneinsteiger*innen kann nicht uneingeschränkt von einer adäquaten Ausprägung von Professionswissen und professionsbezogenen Überzeugungen ausgegangen werden (Kleickmann & Anders, 2011; Kunina-Habenicht, 2013; Oettinghaus, Lamprecht & Korneck, 2014).

Defizite im Professionswissen können im Referendariat nicht aufgeholt werden (Korneck et al., 2010). Auch trägt Berufserfahrung nicht zum Aufbau von Fachwissen und fachdidaktischem Wissen bei (Brunner et al., 2006; Kleickmann et al., 2013).

Letztlich könnten geringere Leistungen und Lernfortschritte der Schüler*innen Folge dessen sein (Laczko-Kerr & Berliner, 2002; Darling-Hammond, Holtzman, Gatlin & Heilig, 2005). Im deutschen Sprachraum wurde in den Fächern Mathematik, Physik, Chemie und Biologie bis jetzt allerdings kein signifikanter Zusammenhang zwischen Ausbildungsweg der Lehrkraft und den mittleren Kompetenzen der Schüler*innen nachgewiesen (Richter et al., 2019)[2].

## 3. Zielstellung und Konzeption des Q-Masterstudiengangs

Notprogramme zur Deckung des Lehrkräfteeinstellungsbedarfs werden kritisch gesehen (Heise et al., 2014). Stattdessen wird, neben Maßnahmen zur Reduzierung der Studienabbrecher*innen-Quote, eine vorausschauende, gezielte Werbung für den Beruf der Physiklehrkraft gefordert (ebd.). Mittels systematischer und adressatengerechter Qualifizierungsmaßnahmen soll eine angemessene Unterrichtsqualität gesichert werden (GFD, 2018).

Eine diesen Forderungen entsprechende Qualifizierungsmaßnahme soll der im Wintersemester 2016/17 im Fach Physik (sowie in den Fächern Mathematik, Informatik und den romanischen Sprachen) an der Freien Universität Berlin gestartete *Masterstudiengang für das Lehramt an Integrierten Sekundarschulen und Gymnasien mit dem Profil Quereinstieg* (Q-Master) darstellen[3]. Ziel des Projekts ist es, „Quereinsteiger*innen […] KMK-konform für den anschließenden Vorbereitungsdienst zu qualifizieren“ (Milster & Nordmeier, 2018).

Zulassungsvoraussetzungen des Q-Masters sind ein nicht lehramtsrelevanter berufsqualifizierender Hochschulabschluss sowie fachwissenschaftliche Studienanteile in den als Q-Master angebotenen Fächern, welche „den Ländergemeinsamen inhaltlichen Anforderungen für die Lehrerbildung für die Fachwissenschaften und Fachdidaktiken in der Lehrerbildung entsprechen“ (FUB, 2019b, S. 179). Diese Leistungen müssen einen Umfang von mindestens 110 LP haben, aus welchen sich mindestens 20 LP einem zweiten Studienfach zuordnen lassen (ebd.).

Bei der Planung des Modellstudiengangs wurden sowohl Vorgaben der Berliner Senatsverwaltung für Bildung und die Standards für die Lehrkräftebildung als auch aktuelle Erkenntnisse der Lehrkräftebildungsforschung berücksichtigt (Milster & Nordmeier, 2016):

So soll ein Lehramtsstudium unter anderem auf den Erwerb von Fachwissen (FW) und fachdidaktischem Wissen (FDW) abzielen (KMK, 2008). Diese Komponenten des Professionswissens gelten als wichtige Prädiktoren für die Qualität von Unterricht (Kunter et al., 2011; Vogelsang, 2014). Der Erwerb von FW, FDW und pädagogischem Wissen (erziehungs- bzw. bildungswissenschaftliches Wissen) sowie die Aneignung von lernförderlichen Überzeugungen wird mit der Nutzung institutioneller Lerngelegenheiten verbunden (Blömeke, 2008; Riese & Reinhold, 2012; Oettinghaus et al., 2014). Ebensolche Lerngelegenheiten bietet die universitäre Phase der „regulären“ Lehramtsausbildung.

Die Qualifikationsziele des Modellstudiengangs sind identisch mit den Zielen des „regulären“ Lehramtsmasterstudiengangs *(Masterstudiengang für das Lehramt an Integrierten Sekundarschulen und Gymnasien*) der Freien Universität Berlin (FUB, 2018, 2019a). Das Q-Master-Curriculum weist eine hohe Überschneidung mit den Bachelor- und Mastercurricula der „regulären“ Lehramtsstudierenden auf. Es umfasst vier Semester, in denen fachwissenschaftliche Module für ein (zweites) Schulfach, fachdidaktische Module zweier Fächer, erziehungswissenschaftliche Module und ein Praxissemester zu absolvieren sind.

Im Wintersemester 2016/17 startete der Modellstudiengang und im Wintersemester 2019/20 nahm bereits die vierte Studienkohorte ihr Studium auf.

## 4. Forschungsfragen und Hypothesen

Die Begleitforschung zielt darauf ab, Erkenntnisse über Ausprägung und Entwicklung professioneller Handlungskompetenzen der Studierenden beider Lehramtsmasterstudiengänge zu generieren. Dabei wird im Projekt K2teach exemplarisch auf das Fach Physik fokussiert und aus den vorangegangenen

[2] Im Zuge des IQB-Bildungstrends wurden Quer- und Seiteneinstieg zusammengefasst und wichtige Faktoren, wie fachliche Qualifikation und Professionswissen der Lehrkräfte, nicht erhoben bzw. nicht in den Analysen berücksichtigt.

[3] Die Konzeption und Erprobung des Q-Masters ist Teil des Projekts **K2teach** (http://www.fu-berlin.de/k2teach), das im Rahmen der gemeinsamen „Qualitätsoffensive Lehrerbildung“ von Bund und Ländern aus Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gefördert wird.

Überlegungen zu Zielen und Konzeption der Studiengänge folgt die zentrale Forschungsfrage:

*$F_1$: Inwiefern gibt es Unterschiede zwischen Q-Masterstudierenden und „regulären" Lehramtsmasterstudierenden des Fachs Physik hinsichtlich der Ausprägung und Entwicklung von fachdidaktischem Wissen, Fachwissen und Überzeugungen (zum Lehren und Lernen im Fach)?*

Darüber hinaus werden auch Berufswahlmotive und Berufsbiografien der Studierenden beider Studiengänge betrachtet. Über Q-Masterstudierende ist diesbezüglich wenig bekannt. Erkenntnisse zu Quereinsteiger*innen deuten auf unterschiedliche Berufswahlmotive von Quereinsteiger*innen im Vergleich zu regulären Lehrkräften hin (Lamprecht, 2011). Dabei könnte ein Vergleich aller Q-Master-Fächer eine erste Basis bilden für Hypothesen bezüglich der Übertragbarkeit der Erkenntnisse aus der Physik auf weitere Fächer.

Angesichts der kleinen Kohorten (n<8 Q-Masterstudierende im Fach Physik pro Jahrgang) scheint es zielführend, zunächst alle Masterstudierenden gemeinsam zu betrachten. Unter Berücksichtigung der Forschungslage ist ein Zuwachs des mittleren fachdidaktischen Wissens der Lehramtsmasterstudierenden mit Fortschreiten des Masterstudiums wahrscheinlich (Riese & Reinhold, 2012). Als erste Hypothese, welche im vorliegenden Artikel vorläufig geprüft werden soll, wird daher formuliert:

*$H_1$: Das fachdidaktische Wissen der Studierenden ist am Ende das Masterstudiums höher als zu Beginn.*

## 5. Erhebungsdesign

Aufgrund der kleinen Kohorten von Q-Masterstudierenden im Fach Physik pro Jahrgang und der wenig fortgeschrittenen Erkenntnislage zu dieser Gruppe werden qualitative und quantitative Methoden zur Ergründung des Forschungsanliegens kombiniert.

Es sollen FDW, FW und Überzeugungen (zum Lehren und Lernen im Fach) in ihrer Ausprägung und Entwicklung untersucht werden. Zu diesem Zweck wird ein Pre-Post-Erhebungsdesign gewählt (Erhebung zu Beginn des zweiten Mastersemesters sowie am Ende des vierten Mastersemesters) welches auf bestehende Instrumente zurückgreift (Riese, 2009; Korneck, Krüger & Szogs, 2017; Lamprecht, 2011).

Ergänzt wird dies durch eine fächerübergreifende Erhebung der Berufswahlmotive zu Beginn des Masterstudiums (Watt et al., 2012) sowie Leitfaden-Interviews zu den Themen Berufsbiografie, Berufswahlmotive und Überzeugungen zum Lehren und Lernen.

## 6. Erste Ergebnisse zum fachdidaktischen Wissen (FDW)

Für die erste Kohorte des Q-Masterstudiengangs im Fach Physik wurden die Pre-Erhebung (zu Beginn des zweiten Mastersemesters / SoSe 2017) und die Post-Erhebung (am Ende des vierten Mastersemesters / SoSe 2018) durchgeführt, und der auf das FDW bezogene Teil (Riese, 2009) wurde codiert und ausgewertet.

Der schriftliche FDW-Test besteht aus offenen und geschlossenen Testitems (unter anderem Multiple-Choice-Aufgaben und Unterrichtsvignetten). Die Testhefte wurden von zwei Rater*innen unabhängig anhand des zugehörigen Codier-Manuals bewertet. Die Interrater-Reliabilität deutet auf eine mindestens akzeptable Übereinstimmung bei der Codierung hin ($\kappa$=.81; $\alpha$=.67[4]). In der sich an die Codierung anschließenden Diskussion konnte für alle zuvor unterschiedlich bewerteten Fällen eine übereinstimmende Bewertung erreicht werden.

Von 16 Masterstudierenden (davon drei Q-Masterstudierende) können die Datensätze zu Pre-Post-Paaren verbunden werden. Das entspricht 60% der gesamten Kohorte und auch 60% der Q-Masterstudierenden des Jahrgangs[5].

Für die Kohorte zeigt sich ein signifikanter Zuwachs des FDW (d=.67[6]) (Abb. 1). Für teilgruppenbezogene Aussagen ergeben interferenzstatistische Hypothesentests keine signifikanten Ergebnisse. Jedoch liegen deskriptive Daten vor (Tab. 1).

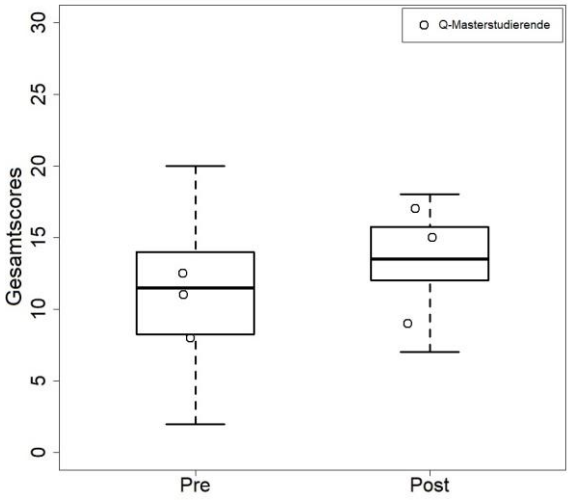



**Abb. 1:** Entwicklung des fachdidaktischen Wissens im Fach Physik im Lehramtsmasterstudium.

[4] Das gewichtete Cohens $\kappa$ entspricht einer erheblichen Übereinstimmung nach Landis und Koch (1977). Das Krippendorffs $\alpha$ entspricht dagegen einer akzeptablen Übereinstimmung nach Krippendorff (2011).
[5] Angesichts der nur befriedigenden Rücklaufquote wurden weitere Maßnahmen individuellen Rekrutierung von Studierenden ergriffen mit dem Ziel, alle Teilnehmer*innen der Pre-Erhebung auch für die Post-Erhebung zu gewinnen. Diese Maßnahmen griffen zum Zeitpunkt der hier vorgestellten Auswertung noch nicht.
[6] Dies entspricht einem großen Effekt nach Eid, Gollwitzer und Schmitt (2010); einseitiger abhängiger t-Test mit n = 16 und p < .05.

| | | *N* | *M* | *(SE)* |
|---|---|---|---|---|
| Regulärer Master | Pre | 13 | **11.5** | (1.4) |
| | Post | | **13.5** | (0.8) |
| Q-Master | Pre | 3 | **10.5** | (1.4) |
| | Post | | **13.7** | (2.4) |
| Gesamt | Pre | 16 | **11.3** | (1.2) |
| | Post | | **13.5** | (0.8) |

**Tab. 1:** Entwicklung des fachdidaktischen Wissens im Fach Physik im Lehramtsmasterstudium.

## 7. Ausblick

Das Interesse an dem Q-Masterstudiengang bleibt am Standort FU Berlin in den MINT-Fächern konstant: 14 Q-Masterstudierende wurden im Wintersemester 2019/20 in den Fächern Mathematik (als Erstfach 6 / als Zweitfach 7), Physik (3 / 2) und Informatik (4 / 5) neu immatrikuliert.

Mit der Akkumulation der Datensätze über mehrere Kohorten wird es wahrscheinlich, teilgruppenbezogene Hypothesen mittels interferenzstatistischer Verfahren sinnvoll prüfen zu können. So sollen Pre-Post-Vergleiche der Q-Masterstudierenden vorgenommen und Vergleiche zwischen „regulären“ und Q-Masterstudierenden durchgeführt werden.

Derzeit werden Interviewleitfäden zu den Themen Berufsbiografie, Berufswahlmotivation und Überzeugungen (zum Lehren und Lernen im Fach) entwickelt. Diese sollen ab dem Sommersemester 2020 verwendet werden. Zudem wird ein Konzept für eine Follow-up-Erhebung erarbeitet.

## 8. Literatur


Blömeke, S. (Hrsg.) (2008). *Professionelle Kompetenz angehender Lehrerinnen und Lehrer*. *Wissen, Überzeugungen und Lerngelegenheiten deutscher Mathematikstudierender und -referendare; erste Ergebnisse zur Wirksamkeit der Lehrerausbildung,* Münster, New York, München, Berlin: Waxmann.

Brunner, M., Kunter, M., Krauss, S., Baumert, J., Blum, W., Dubberke, T., Jordan, A., Klusmann, U., Tsai, Y.-M. & Neubrand, M. (2006). Welche Zusammenhänge bestehen zwischen dem fachspezifischen Professionswissen von Mathematiklehrkräften und ihrer Ausbildung sowie beruflichen Fortbildung? *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, *9*(4), 521–544.

Darling-Hammond, L., Holtzman, D.J., Gatlin, S.J. & Heilig, J.V. (2005). Does Teacher Preparation Matter? Evidence about Teacher Certification, Teach for America, and Teacher Effectiveness. *Education Policy Analysis Archives*, *13(42)*.

Eid, M., Gollwitzer, M. & Schmitt, M. (2010). *Statistik und Forschungsmethoden*. *Lehrbuch,* Weinheim, Bergstr: Beltz, J.

FAZ (2018). Neue Lehrer braucht das Land. Quereinsteiger gesucht. https://www.faz.net/aktuell/karriere-hochschule/campus/quereinsteiger-gesucht-neue-lehrer-braucht-das-land-15361744.html (12.11.2019).

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/2018/ab272018.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. http://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).

Heise, H., Sinzinger, M., Struck, Y. & Wodzinski, R. (2014). *DPG-Studie zur Unterrichtsversorgung im Fach Physik und zum Wahlverhalten der Schülerinnen und Schüler im Hinblick auf das Fach Physik,* Bad Honnef: Deutsche Physikalische Gesellschaft.

Kleickmann, T. & Anders, Y. (2011). Lernen an der Universität. In Kunter, M., Baumert, J., Blum, W., Klusmann, U., Krauss, S. & Neubrand, M. (Hrsg.), *Professionelle Kompetenz von Lehrkräften*. *Ergebnisse des Forschungsprogramms COACTIV* (S. 305–315). Münster: Waxmann.

Kleickmann, T., Richter, D., Kunter, M., Elsner, J., Besser, M., Krauss, S. & Baumert, J. (2013). Teachers' Content Knowledge and Pedagogical Content Knowledge. *Journal of Teacher Education*, *64*(1), 90–106.

Klemm, K. & Zorn, D. (2019). Lehrkräfte dringend gesucht. Bedarf und Angebot für die Primarstufe. https://www.bertelsmann-

stiftung.de/fileadmin/files/BSt/Publikationen/GrauePublikationen/BST-17-032_Broschuere-Lehrkraefte_dringend_gesucht_GESAMT_WEB.pdf.

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 (2018a). *Einstellung von Lehrkräften 2018*. *Zusammengefasste Modellrechnungen der Länder.* STATISTISCHE VERÖFFENTLICHUNGEN DER KULTUSMINISTERKONFERENZ Nr. 218.

KMK (2018b). *Lehrereinstellungsbedarf und -angebot in der Bundesrepublik Deutschland 2018 – 2030*. *Zusammengefasste Modellrechnungen der Länder.* STATISTISCHE VERÖFFENTLICHUNGEN DER KULTUSMINISTERKONFERENZ Nr. 216.

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., Lamprecht, J., Wodzinski, R. & Schecker, H. (2010). *Quereinsteiger in das Lehramt Physik*. *Lage und Perspektiven der Physiklehrerausbildung in Deutschland*. Eine Studie der Deutschen Physikalischen Gesellschaft e.V.

Krippendorff, K. (2011). Agreement and Information in the Reliability of Coding. *Communication Methods and Measures*, *5*(2), 93–112.

Kunina-Habenicht, O. (2013). Die Bedeutung der Lerngelegenheiten im Lehramtsstudium und deren individuelle Nutzung für den Aufbau des bildungswissenschaftlichen Wissens. The significance of learning opportunities in teacher training courses and their individual use for the development of educational-scientific knowledge. In , *Zeitschrift für Pädagogik* (Band 1) (S. 1–23): Beltz Juventa.

Kunter, M., Baumert, J., Blum, W., Klusmann, U., Krauss, S. & Neubrand, M. (Hrsg.) (2011). *Professionelle Kompetenz von Lehrkräften*. *Ergebnisse des Forschungsprogramms COACTIV,* Münster: Waxmann.

Laczko-Kerr, I. & Berliner, D.C. (2002). The Effectiveness of „Teach for America“ and Other Under-certified Teachers on Student Academic Achievement: A Case of Harmful Public Polic. *Education Policy Analysis Archives*, *10 (37)*.

Lamprecht, J. (2011). *Ausbildungswege Und Komponenten Professioneller Handlungskompetenz*. *Vergleich Von Quereinsteigern Mit Lehramtsabsolventen Für Gymnasien Im Fach Physik,* Berlin: Logos Verlag Berlin.

Landis, J.R. & Koch, G.G. (1977). The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. *Biometrics*, *33*(1), 159.

Milster, J.-J. & Nordmeier, V. (2016). Qualifizierung von Quereinsteiger*innen im Master of Education. Ein Modellversuch. In Nordmeier, V. & Grötzebauch, H. (Hrsg.), *PhyDid B. Didaktik der Physik*. Beiträge der DPG-Frühjahrstagung. Berlin.

Milster, J.-J. & Nordmeier, V. (2018). Professionelle Kompetenzen von Quereinsteiger*innen im Q-Master. In Maurer, C. (Hrsg.), *Qualitätsvoller Chemie- und Physikunterricht - normative und empirische Dimensionen. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik*. Jahrestagung in Regensburg 2017 (S. 714–717).

Oettinghaus, L., Lamprecht, J. & Korneck, F. (2014). Analyse der professionellen Kompetenz von Referendaren. In Bernhold, S. (Hrsg.), *Naturwissenschaftliche Bildung zwischen Science- und Fachunterricht*. *Beiträge zur GDCP Jahrestagung München 2013* (S. 135–137). Kiel.

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.

Riese, J. & Reinhold, P. (2012). Die professionelle Kompetenz angehender Physiklehrkräfte in verschiedenen Ausbildungsformen. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, *15*(1), 111–143.

Vogelsang, C. (2014). *Validierung eines Instruments zur Erfassung der professionellen Handlungskompetenz von (angehenden) Physiklehrkräften*. *Zusammenhangsanalysen zwischen Lehrerkompetenz und Lehrerperformanz,* Berlin: Logos.

Watt, H.M.G., Richardson, P.W., Klusmann, U., Kunter, M., Beyer, B., Trautwein, U. & Baumert, J. (2012). Motivations for choosing teaching as a career: An international comparison using the FIT-Choice scale. *Teaching and Teacher Education*, *28*(6), 791–805.

# Scaffolding im Anfängerpraktikum für Lehramtsstudierende

**Norman Joußen*, Jasmin Thiel*, Heidrun Heinke***

*I. Physikalisches Institut (IA), RWTH Aachen University
joussen@physik.rwth-aachen.de, jasmin.thiel@rwth-aachen.de, heinke@physik.rwth-aachen.de

**Kurzfassung**

Vor einigen Jahren wurde an der RWTH Aachen ein adressatenspezifisches Anfängerpraktikum für Lehramtsstudierende mit dem Fach Physik entwickelt, das explizit an deren Bedürfnissen orientiert ist. Das zweisemestrige *Anfängerpraktikum* ist dabei dreiteilig aufgebaut und besteht aus einem *Kompetenzpraktikum*, einem *Versuchspraktikum* und einem *Projektpraktikum*. Mit der Dreiteilung des Praktikums wird ein Scaffolding-Ansatz umgesetzt, mit dem den Studierenden auf ihren aktuellen Kenntnisstand angepasste Unterstützungsangebote im Lernprozess bereitgestellt werden. Ziel des Kompetenzpraktikums ist dabei zunächst der Erwerb verschiedener Kompetenzen im Bereich des Experimentierens und insbesondere das Erlernen wichtiger experimenteller Fähigkeiten und Fertigkeiten. Hierzu gehört auch das Anfertigen von Versuchsberichten, mit dem die Studierenden bislang wie in Physikpraktika üblich vom ersten Versuchstag an konfrontiert wurden. Die Erfahrung der letzten Semester zeigt jedoch, dass diese Anfertigung von Versuchsberichten mit dem vorliegenden Vorkenntnisstand der Praktikumsteilnehmer eine große Herausforderung für die Studierenden darstellt, die viele andere Praktikumsziele in den Hintergrund rückt. Daher wurde auf der Ebene des Kompetenzpraktikums ein weiterer Scaffolding-Ansatz verfolgt, um die Studierenden schrittweise an methodische Fertigkeiten im Bereich der Datenauswertung und damit an eine effiziente Erstellung von adäquaten Versuchsberichten heranzuführen.

## 1. Einleitung

Als Konsequenz einer Umfrage unter Studienreferendarinnen und Studienreferendaren in Nordrhein-Westfalen wurde im Jahr 2004 mit der Entwicklung und Evaluation eines adressatenspezifischen Anfängerpraktikums für Lehramtsstudierende mit dem Fach Physik an der RWTH Aachen begonnen, das sich an den Bedürfnissen zukünftiger Physiklehrerinnen und -lehrer orientieren sollte (Frühwein & Heinke, 2005; Frühwein & Heinke, 2007). Die zugrundeliegende Umfrage zeigte, ähnlich wie andere empirische Untersuchungen zu Beginn des neuen Jahrtausends, Defizite in der universitären Ausbildung von Lehramtsstudierenden (z.B. Merzyn, 2002). Insbesondere im Bereich der experimentellen Fähigkeiten wurde nach Einschätzung der Befragten ihr Studienausgangsniveau den Anforderungen an zukünftige Physiklehrkräfte nur unzureichend gerecht. Da solche experimentellen Fähigkeiten im Hochschulstudium vor allem in physikalischen Praktika ausgebildet werden sollen, lohnt ein Blick auf den damaligen Status Quo von Physikpraktika.

An Universitäten wurde meist das gleiche physikalische Praktikum mit nur geringfügigen Modifikationen für verschiedene Studiengänge angeboten. Gleichzeitig gab es Diskussionen zu den Zielen und zur Wirksamkeit von Physikpraktika (Haller, 1999; Hucke, 1999; Welzel et al., 1998). In Folge dieser Diskussionen wurden adressatenspezifische Praktika, beispielsweise für Medizinstudierende (Theyßen, 1999) oder für Physikstudierende (Neumann, 2004), entwickelt, auch um die wahrgenommene Relevanz der Lehrveranstaltung in der jeweiligen Fachrichtung bei den Studierenden zu erhöhen. In Anlehnung an Grundideen des von Neumann entwickelten Praktikums für Physikstudierende entstand auch das neu konzipierte Anfängerpraktikum für Lehramtsstudierende der Physik an der RWTH Aachen (Frühwein & Heinke, 2005; Frühwein & Heinke 2007). Ein adressatenspezifisches Anfängerpraktikum für Lehramtsstudierende der Physik wird aktuell ebenfalls im CAU-LiB Projekt an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel entwickelt und evaluiert („Gute Lehre Lehramt. LeaP – Lehramt mit Perspektive an der CAU“, o.D.).

Im Anfängerpraktikum für Lehramtsstudierende an der RWTH Aachen wurde bei der Entwicklung ein Scaffolding-Ansatz verfolgt. Unter *Scaffolding* werden dabei Maßnahmen verstanden, die Lernende in einem Prozess unterstützen sollen und mit zunehmendem Lernforschritt schrittweise zurückgenommen werden (Wood, Bruner & Ross, 1976). Scaffolding-Ansätze finden sich auch beispielsweise im Paderborner Physik Praktikum (3P) (Bauer & Sacher, 2018) und haben sich darüber hinaus auch in verschiedenen Bereichen der Physikdidaktik bewährt – so beispielsweise bei der Förderung experimenteller Kompetenz (Bohrmann & Möller, 2016).

Dem Begriff der experimentellen Kompetenz liegt im vorliegenden Beitrag das Modell experimenteller Kompetenz (eXkomp-Modell) zugrunde (Schreiber, Theyßen & Schecker, 2009). In diesem wird der Experimentierprozess in die drei Phasen *Planung*,

*Durchführung* und *Auswertung* unterteilt. Diese Phasen sind wiederum in insgesamt 13 Teilaspekte aufgeschlüsselt. So sind der Phase der Auswertung beispielsweise die Aspekte *Messdaten aufbereiten*, *Messdaten verarbeiten* und *Ergebnisse interpretieren* zugeteilt. Die Aspekte *Versuchsplan entwerfen* und *Umgang mit Problemen und Fehlern* sind nicht eindeutig einer Phase zugeordnet.

Das Angebot adressatenspezifischer physikalischer Praktika impliziert auch eine stetige Evaluation und Weiterentwicklung dieser Praktika. So zeigte sich im Anfängerpraktikum für die Lehramtsstudierenden an der RWTH Aachen in den letzten Semestern, dass sich die Erstellung von Versuchsberichten durch die Studierenden zunehmend problematisch gestaltete. Obgleich ca. 60 % der Studierenden mehr als 5 Stunden pro Woche für die Vor- und Nachbereitung der Lehrveranstaltung aufwenden, waren die Versuchsberichte als Produkt dieser Bemühungen oft nicht zufriedenstellend. Da sich vor allem in den Versuchsberichten auch die Fähigkeiten der Studierenden im Bereich der Datenauswertung manifestieren, wurden somit wichtige Praktikumsziele nicht erreicht.

Die Weiterentwicklung des Anfängerpraktikums für Lehramtsstudierende soll daher insbesondere auch die Erstellung von Versuchsberichten effizienter und effektiver gestalten. Gleichzeitig soll das Anfängerpraktikum durch eine frühe Verortung im Studienverlauf und damit verbunden durch eine frühe experimentelle Praxisphase im Lehramtsstudium helfen, Studienabbruchquoten zu verringern und durch geeignete Unterstützungsmaßnahmen und das Scaffolding das Kompetenzerleben bei den Lehramtsstudierenden fördern.

Das überarbeitete Praktikumskonzept wird im vorliegenden Beitrag vorgestellt. Im Folgenden wird in Kapitel 2 zunächst auf das Anfängerpraktikum als Gesamtes eingegangen und aufgezeigt, wie auf der übergeordneten Ebene des dreiteiligen physikalischen Praktikums ein Scaffolding-Ansatz umgesetzt wurde. Im Kapitel 3 wird anschließend der erste Teil des Anfängerpraktikums – das Kompetenzpraktikum – näher betrachtet und der Scaffolding-Ansatz auf dieser Ebene des physikalischen Praktikums beschrieben, der insbesondere den Problemen der Studierenden bei der Datenauswertung und der Erstellung der Versuchsberichte begegnen soll. Das überarbeitete Konzept des Kompetenzpraktikums wird dabei vorgestellt.

## 2. Scaffolding auf der Ebene des Anfängerpraktikums

Das Anfängerpraktikum für Lehramtsstudierende mit dem Fach Physik an der RWTH Aachen ist in drei Teile gegliedert: ein *Kompetenzpraktikum* (2. Fachsemester, 4 CP / 3 SWS), ein *Versuchspraktikum* (3. Fachsemester, 4 CP / 4 SWS) und ein *Projektpraktikum* (3. Fachsemester, 2 CP / 1 SWS).

Das Praktikum ist dabei durch die Auswahl der Versuche, der Experimentiermaterialien und die Prüfungsformen auf die Bedürfnisse zukünftiger Physiklehrkräfte abgestimmt.

Lernziel des Anfängerpraktikums ist das Kennenlernen und exemplarische Nutzenlernen wichtiger Arbeits- und Erkenntnismethoden der experimentellen Physik. So sollen die Studierenden insbesondere die Handhabung von schultypischen Geräten erlernen. Gleichzeitig sollen sie grundlegende experimentelle Kompetenzen erlangen und dabei Experimente planen, aufbauen, durchführen und auswerten können. Zudem sollen weitere Aspekte wie die Modellierung und Analogiebildung sowie die Reflexion hierüber thematisiert werden.

Als ein übergeordnetes Ziel des Anfängerpraktikums sollen zusätzlich Erkenntnisse der Fachdidaktik durch eine Methodenvielfalt frühzeitig im Lehramtsstudium erlebbar gemacht werden. Die dabei gesammelten Erfahrungen können dann im weiteren Studienverlauf durch fachdidaktische Veranstaltungen vertieft werden.

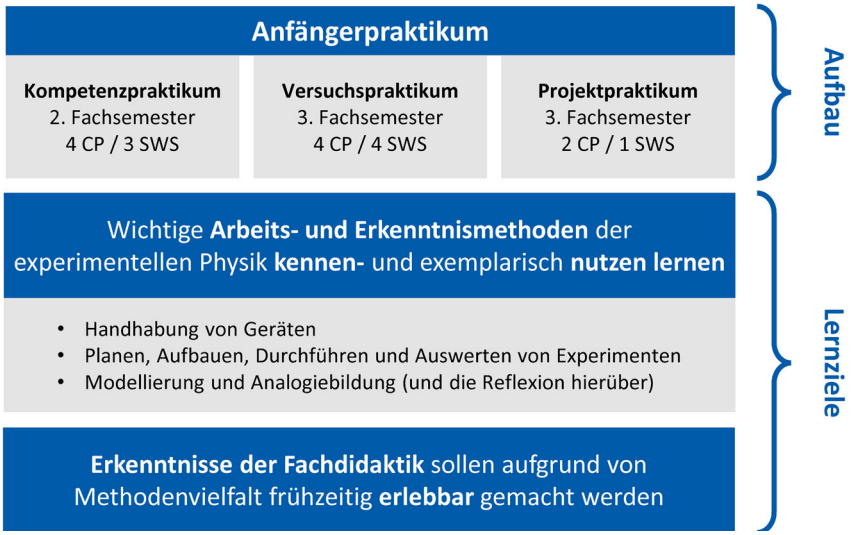



**Abb. 1:** Aufbau und Ziele des dreiteiligen Anfängerpraktikums für Lehramtsstudierende mit Fach Physik an der RWTH Aachen.

Eine Übersicht über den Aufbau und die Ziele des dreiteiligen Anfängerpraktikums für Lehramtsstudierende mit dem Fach Physik an der RWTH Aachen ist in Abb. 1 dargestellt. Mit der sichtbaren Dreiteilung des Praktikums wurde ein Scaffolding-Ansatz auf der Ebene des Anfängerpraktikums verfolgt, der im Folgenden näher beschrieben wird.
Im Kompetenzpraktikum sollen die Studierenden wesentliche physikalische Methoden und experimentelle Fertigkeiten erlernen. Dies legt die Grundlagen für das anschließende Versuchs- und Projektpraktikum. Auf die Ziele des Kompetenzpraktikums wird in Kapitel 3 noch näher eingegangen. Im Versuchspraktikum steigt die Komplexität der Anforderungen an die Studierenden. So sollen die experimentellen Fertigkeiten der Studierenden erweitert werden und die Studierenden insbesondere umfangreichere Versuchsanordnungen selbständig planen und anschließend umsetzen. Die Versuchstermine sind angereichert durch eine Methodenvielfalt in der Gestaltung der einzelnen Versuchstermine. So können die Studierenden Methoden, wie beispielsweise Gruppenpuzzle oder Stationenlernen, im Rahmen des Versuchspraktikums selbst erleben.
Im dritten Teil des Anfängerpraktikums wird die Komplexität gemäß einem Scaffolding-Ansatz erneut erhöht und Unterstützungsmaßnahmen werden zurückgenommen. Diesen abschließenden Praktikumsteil bildet das Projektpraktikum, in dem die Studierenden in Gruppen á 4 Personen einen unter Rücksprache mit den Praktikumsbetreuern selbstständig gewählten physikalischen Sachverhalt näher untersuchen. Dieser physikalische Sachverhalt soll dabei auch Alltagsthemen in den Blick nehmen. Die Studierenden müssen geeignete Experimente selbständig planen, aufbauen, durchführen und auswerten. Ihre Experimente und Ergebnisse stellen sie zum Abschluss im Rahmen eines 30-minütigen Experimentalvortrags vor Studierenden und wissenschaftlichen Mitarbeitern vor.

## 3. Scaffolding auf der Ebene des Kompetenzpraktikums

Im Folgenden wird nun näher auf den ersten Teil des Anfängerpraktikums – das Kompetenzpraktikum – eingegangen. Hierbei werden zunächst die Ziele des Kompetenzpraktikums beschrieben und anschließend wird das neue Konzept des Kompetenzpraktikums vorgestellt, bei dem ein weiterer Scaffolding-Ansatz verfolgt wurde.
Wie im vorherigen Abschnitt schon kurz erläutert, sollen die Lehramtsstudierenden im Kompetenzpraktikum wichtige physikalische Methoden und fundamentale experimentelle Fertigkeiten erlernen, die als Grundlage für ein erfolgreiches Experimentieren im weiteren Verlauf der praktischen Lehrveranstaltungen im Studienverlauf und auch im späteren Berufsalltag dienen sollen.
Die Studierenden sollen dabei insbesondere Messunsicherheiten physikalischer Größen kennen und abschätzen können. Des Weiteren sollen schultypische Messgeräte bedient und zielgerichtet eingesetzt werden können. Auch sollen die Studierenden einfaches experimentelles Material selbst anfertigen können. Hierfür werden grundlegende Fertigkeiten im Sägen, Feilen, Bohren und Löten erlernt. Zudem sollen den Studierenden Grundlagen im Erstellen von 3D-Modellen und im Umgang mit einem 3D-Drucker vermittelt werden. Als weiteres Teilziel des Kompetenzpraktikums sollen die Lehramtsstudierenden Computer und mobile Endgeräte, wie Tablets und Smartphones, zur Messwerterfassung und -auswertung einsetzen können. Betont wird an dieser Stelle, dass die genannten Teilziele jeweils aus einer Schulperspektive betrachtet werden, indem zur Umsetzung eines adressatenspezifischen Anfängerpraktikums, das an den Bedürfnissen zukünftiger Physiklehrerinnen und -lehrer orientiert ist, eine Fokussierung beispielsweise auf schultypische Messgeräte vorgenommen wird. Eine Übersicht der Ziele des Kompetenzpraktikums zeigt Abb. 2.
Wie eingangs bereits erwähnt, waren insbesondere zunehmende Probleme der Studierenden bei der Erstellung von Versuchsberichten in der Phase der Auswertung der Experimente Anlass für die Überarbeitung des Kompetenzpraktikums und die damit verbundene Konzeption eines weiteren Scaffolding-Ansatzes auf dieser Ebene des Anfängerpraktikums. Daher werden im Folgenden zunächst kurz der bisherige Aufbau des Kompetenzpraktikums beschrieben und

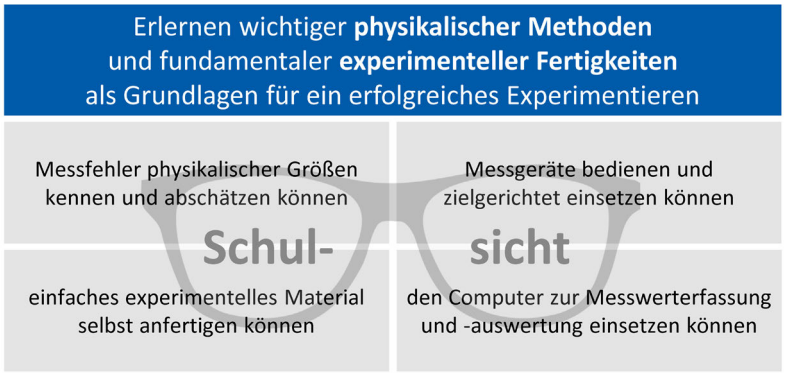



**Abb. 2:** Ziele des Kompetenzpraktikums als Teil des Anfängerpraktikums für Lehramtsstudierende mit dem Fach Physik an der RWTH Aachen. Die Betrachtung der Teilziele erfolgt jeweils aus Schulsicht.

anschließend das überarbeitete Praktikumskonzept vorgestellt.

### 3.1. **Bisheriger Aufbau des Kompetenzpraktikums**

Das Kompetenzpraktikum gliederte sich bisher in einen zweiwöchigen Einführungsblock, in dem ein Versuch zur Aufnahme und Auswertung von Messdaten durchgeführt wurde und die Studierenden an einem Tutorium zur Datenauswertung teilgenommen haben. Im Anschluss folgte ein zehnwöchiger Block mit zehn Praktikumsversuchen. Ein Praktikumstermin war dabei in eine 30-minütige Nachbesprechung zum Versuch vor zwei Wochen, eine 30-minütige Vorbesprechung zum aktuellen Versuch und eine 75-minütige Durchführung dieses Versuches aufgeteilt. Die Studierenden waren aufgefordert ab dem ersten Versuch – also der dritten Praktikumswoche – einen Versuchsbericht zu erstellen und in der darauffolgenden Woche beim jeweiligen Praktikumsbetreuer einzureichen. Die Rückgabe der korrigierten Versuchsberichte erfolgte dann zwei Wochen später in der Nachbesprechung. Den Abschluss des Kompetenzpraktikums bildete eine Prüfung, die auch einen experimentellen Anteil beinhaltet. Aus organisatorischen Gründen entfiel durch die Prüfung die Erstellung eines Versuchsberichtes bei den letzten beiden Versuchen des zehnwöchigen Blocks.

### 3.2. **Neues Konzept des Kompetenzpraktikums**

Gemäß eines Scaffolding-Ansatzes wird im überarbeiteten Konzept des Kompetenzpraktikums der zuvor beschriebene zehnwöchige Praktikumsblock des Kompetenzpraktikums in drei Phasen mit gestuften Unterstützungsmaßnahmen für die Erstellung von Versuchsberichten unterteilt. Ein Überblick des neuen Konzeptes findet sich in Abb. 3.

Der zweiwöchige Einführungsblock bleibt unverändert zum bisherigen Praktikumskonzept. Danach wird in einer ersten dreiwöchigen Phase in der jeweiligen Praktikumswoche ein zweiter Präsenztermin vor Ort eingeführt, in dem jeweils Tutorien stattfinden. Die drei Tutorien beinhalten dabei die Schwerpunktsthemen *Fehlerrechnung*, *Datenaufbereitung* und *graphisches Auswerten*. Die Tutorien sind so aufgebaut, dass nach einem Inputteil eine betreute Auswertung des mit dem Tutorium verknüpften Versuches unter besonderer Schwerpunktsetzung des Tutoriumsthemas durchgeführt wird. Die Versuche in diesem dreiwöchigen Block entstammen aus dem Versuchskanon des alten Praktikums. Sie wurden unter dem Gesichtspunkt ausgewählt, dass sich auf Grundlage ihrer Versuchsinhalte die o.g. Themen der Datenauswertung besonders gut vermitteln lassen.

In einer anschließenden fünfwöchigen Praktikumsphase wird ebenfalls ein zweiter Präsenztermin vor Ort in der jeweiligen Praktikumswoche eingeführt. Bei diesem Präsenztermin wird die Unterstützung für die Studierenden teilweise zurückgefahren. Die Studierenden sind aufgefordert bei diesem Präsenztermin die Versuchsauswertung zum jeweiligen Versuch durchzuführen. Bei Problemen oder Rückfragen kann der jeweilige Praktikumsbetreuer direkt vor Ort angesprochen werden. Der Praktikumsbetreuer hat zudem die Möglichkeit auf eventuelle Besonderhei-

**Abb. 3:** Überblick über das neue Konzept des Kompetenzpraktikums. Der zehnwöchige Block der regulären Versuche wurde gemäß einem Scaffolding-Ansatz in drei Phasen unterteilt, wobei in den Phasen 1 und 2 die Unterstützung für die Studierenden schrittweise zurückgenommen wird. Für weitere Details siehe Text.

ten in der Versuchsauswertung einzugehen oder versuchsspezifische Tipps und Hinweise zu geben. In dieser zweiten fünfwöchigen Phase sollen die Studierenden in der jeweils darauffolgenden Praktikumswoche einen vollständigen Versuchsbericht abgeben. Dieser wird ähnlich zum bisherigen Konzept eine weitere Woche später in einer Nachbesprechung den Studierenden korrigiert zurückgegeben.
In einer zweiwöchigen letzten Phase entfällt ähnlich zum bisherigen Praktikumskonzept die Erstellung eines Versuchsberichts aufgrund organisatorischer Rahmenbedingungen des Praktikums. Ebenfalls findet in dieser Phase kein zusätzlicher Präsenztermin statt.
Den Abschluss des Praktikums bildet wie bisher eine Prüfung mit experimentellem Anteil.
Es sei hier noch betont, dass trotz der zusätzlichen Präsenztermine erwartet wird, dass der zeitliche Gesamtaufwand für die Lehrveranstaltung sich für die Studierenden nicht erhöht. In dem neuen Konzept des Kompetenzpraktikums werden zum einen durch die Studierenden drei vollständige Versuchsberichte weniger erstellt, was mit einer erheblichen Zeitersparnis verbunden sein sollte. Zudem wird die Annahme der Netto-Zeitersparnis durch Beobachtungen von Bachelorstudierenden (dort der Biologie und Biotechnologie) bei der Erstellung von Praktikums-Versuchsberichten in Heimarbeit nahegelegt, die auf eine sehr ineffiziente Arbeitsweise gerade bei den ersten Versuchsberichten schließen lassen (Hamacher, Trinenberg & Heinke, 2018). Mit dem neuen Konzept der begleiteten Erstellung der ersten Versuchsberichte wird erwartet, dass hier eine deutliche Steigerung der Effizienz im Gesamtprozess erreicht werden kann.

## 4. Zusammenfassung und Fazit

Im vorliegenden Beitrag wurde die Weiterentwicklung eines adressatenspezifischen Anfängerpraktikums für Studierende des Lehramts Physik an der RWTH Aachen vorgestellt, das an den Anforderungen zukünftiger Lehrkräfte orientiert ist. In einem dreiteiligen Anfängerpraktikum wird gemäß einem Scaffolding-Ansatz dabei die Komplexität der Anforderungen an die Studierenden schrittweise erhöht und gleichzeitig werden Unterstützungsangebote zunehmend zurückgenommen. Durch eine frühe Verortung des Anfängerpraktikums im Studienverlauf sollen zudem die Abbrecherquote durch diese frühe experimentelle Praxisphase verringert werden und durch Scaffolding das Kompetenzerleben der Studierenden gefördert werden.
Im Beitrag wurde gezeigt, dass angestoßen durch zunehmende Probleme der Studierenden in den letzten Jahren bei der Erstellung von Versuchsberichten auf der Ebene des ersten Teils des Anfängerpraktikums – des Kompetenzpraktikums – ein weiteres Scaffolding konzipiert wurde. Durch gestufte Unterstützungsmaßnahmen in Form von Tutorien und zusätzlichen Präsenzphasen mit Beratungsmöglichkeiten durch die Praktikumsbetreuer sollen Lernziele im Bereich der Datenauswertung effizienter und effektiver erreicht werden, was insbesondere auch in einer erfolgreicheren Erstellung adäquater Versuchsberichte sichtbar werden soll.
Das überarbeitete Konzept des Kompetenzpraktikums hat sowohl bei Studierenden als auch bei den Praktikumsbetreuern und -verantwortlichen breite Zustimmung gefunden. Eine erste Erprobung und Evaluation des Konzeptes findet im aktuellen Sommersemester 2019 statt und ist Grundlage für eine weitere Optimierung der Lehrveranstaltung sowohl hinsichtlich ihrer Lernwirksamkeit als auch ihres Motivationspotenzials.

## 5. Literatur


Bauer, Anna; Sacher, Marc (2018): Kompetenzorientierte, universitäre Laborpraktika. Das Paderborner Physik Praktikum (3P). In: PhyDid B – Didaktik der Physik. Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung in Würzburg 2018.

Bohrmann, Mareike; Möller, Kornelia (2016): Förderung experimenteller Kompetenzen im Sachunterricht der 3. Klasse. In: C. Maurer (Hrsg.): Authentizität und Lernen - das Fach in der Fachdidaktik. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Berlin 2015. (S. 270). Universität Regensburg

Frühwein, Oliver; Heinke, Heidrun (2005): Entwicklung eines berufsfeldorientierten Anfängerpraktikums für Studierende des Lehramts Physik. In: Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung in Berlin 2005.

Frühwein, Oliver; Heinke, Heidrun (2007): Umsetzung eines Anfängerpraktikums für Lehramtsstudierende mit Fach Physik. In Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung in Regensburg 2007.

Gute Lehre Lehramt. LeaP – Lehramt mit Perspektive an der CAU (o.D.): https://www.gute-lehre-lehramt.uni-kiel.de/lib-projekte/physik/ (Stand 05/2019)

Hamacher, John; Trinenberg, Eva; Heinke, Heidrun (2018): Analyse der Erstellung und Interpretation graphischer Auswertungen. In: C. Maurer (Hrsg.): Qualitätsvoller Chemie- und Physikunterricht- normative und empirische Dimensionen. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Regensburg 2017. (S. 352). Universität Regensburg.

Haller, Kerstin (1999): Über den Zusammenhang von Handlungen und Zielen. Eine empirische Untersuchung zu Lernprozessen im physikalischen Praktikum. In: Niedderer, H.; Fischler, H.; Sumfleth, E. (Hrsg): Studien zum Physiklernen. Bd. 5. Logos.

Hucke, Lorenz (1999): Handlungsregulation und Wissenserwerb in traditionellen und computergestützten Experimenten des physikalischen Praktikums. In: Niedderer, H.; Fischler, H.; Sumfleth, E. (Hrsg): Studien zum Physiklernen. Bd. 8. Logos.

Merzyn, Gottfried (2002): Stimmen zur Lehrerausbildung. Ein Überblick über die Diskussion. Hohengehren: Schneider.
Schreiber, Nico; Theyßen, Heike; Schecker, Horst (2009): Experimentelle Kompetenz messen?!. In: PhyDid-A., Nr. 8, Band 3, 2009.
Welzel, M.; Haller, K.; Bandiera, M.; Hammelev, D.; Koumaras, P.; Niedderer, H.; Paulsen, A.; Robinault, K.; von Aufschnaiter, S. (1998): Ziele, die Lehrende mit dem Experimentieren in der naturwissenschaftlichen Ausbildung verbinden. Ergebnisse einer europäischen Umfrage. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, Jg. 4, Heft 1, S. 29-44.
Wood, D.; Bruner, J. S., Ross, G. (1976): The role of tutoring in problem solving. Journal of Child Psychology and Psychiatry and Allied Disciplines, 17, 89-100.

# Inter TeTra – Ein Projekt zur Implementierung von Mathematikdidaktik in die PhysiklehrerInnenbildung

**Eduard Krause[*], Simon Kraus[*], Frederik Dilling[*], Kathrin Holten[*], Jochen Geppert[*], Ina Militschenko[*], Nguyen Van Bien[+], Tran Ngoc Chat[+], Nguyen Phuong Chi[+], Tuan Le Anh[+], Chu Cam Tho[+] & Vu Dinh Phuong[+]**

[*] Universität Siegen, Deutschland
[+]Hanoi University of Education, Vietnam
krause@physik.uni-siegen.de

**Kurzfassung**

Die Vorteile von interdisziplinärem Lehren und Lernen in der Schule werden schon seit längerem diskutiert. Dabei offenbaren sich auch zahlreiche Herausforderungen. Um LehrerInnen adäquat auszubilden, d.h. sie in die Lage zu versetzen, solchen Herausforderungen angemessen begegnen zu können, sollten schon in der ersten Phase der Lehramtsausbildung Synergien zwischen den Fächern herausgestellt und genutzt werden. Mathematik und Physik sind aus erkenntnistheoretischer Sicht und von ihrer Geschichte her sehr eng miteinander verwoben. Im Physikunterricht stellt zudem gerade die zugrundeliegende Mathematik Lernende immer wieder vor Schwierigkeiten. Das im Vortrag vorgestellte Projekt Inter TeTra (Interdisciplinary Teacher Training) beruht auf der Annahme, dass bei der Professionalisierung von Physiklehrkräften neben fachmathematischen Inhalten auch mathematikdidaktische Aspekte von hoher Relevanz sind. In einer interdisziplinären Kooperation arbeiten daher die Mathematik- und Physikdidaktik der Universität Siegen und der Hanoi National University of Education an der Konzeption und Evaluation von interdisziplinären Lehrinterventionen in der Lehrerbildung.

## 1. Gründe für die Zusammenarbeit von Physik- und Mathematikdidaktik

### 1.1. Zum Zusammenhang von Physik und Mathematik

Da es in der Physik sehr häufig um die Bestimmung von quantitativen Werten geht, ist die Mathematik als Werkzeug der Physik nicht wegzudenken. Die Beschränkung auf den Werkzeugcharakter allein greift bei Beschreibung der Bedeutung von Mathematik für die Physik aber zu kurz. Die Mathematik kann in der Physik auch als strukturgebende Instanz oder als Sprache angesehen werden, durch die physikalische Sachverhalte präzise und allgemeingültig ausgedrückt werden können. Darüber hinaus spielt die Mathematik in der Physik auch eine sehr wichtige erkenntnistheoretische Rolle (Krause, 2017a). Seit Galilei sind nicht mehr nur empirisch induktive Schlüsse maßgeblich für die Erkenntnisgewinnung in der Physik, sondern logisch deduktive Schlüsse (Militschenko & Kraus, 2017). Durch diese Implementierung der Mathematik in die Physik in der sogenannten experimentellen Methode gilt Galilei als der Begründer der Physik im eigentlichen Sinne (Schwarz, 2009; Kuhn, 2016 oder auch Galili, 2018). Die Mathematik gehört folglich genuin zur Physik. Wohl unterscheidet sich die Schulphysik von der allgemeinen Physik gerade im Gebrauch der Mathematik (Krause, 2016a), aber auch im Physikunterricht ist die Mathematik unerlässlich (DPG, 2016). Das schlägt sich auch in der Physikdidaktik nieder. Die Rolle der Mathematik beim Lehren und Lernen von Physik wurde in der jüngeren Vergangenheit in einigen Arbeiten beforscht. Exemplarisch sei auf die Dissertationen von Olaf Uhden (2012) und Olaf Krey (2012) sowie auf das Heft zur Mathematik im Physikunterricht von Pospiech und Karam (2016) verwiesen. Dabei setzt sich die Physikdidaktik vor allem mit den praktischen Problemen auseinander, die SchülerInnen im Umgang mit Formeln haben, wie etwa dem Umgang mit unterschiedlichen mathematischen Darstellungsformen (Geyer & Pospiech, 2017) oder dem Umgang mit Formeln (Strahl et al. 2017, 2015; Strahl & Thoms 2012; Müller & Heise, 2006). Es zeigt sich, dass die Probleme, die SchülerInnen mit der Mathematik im Physikunterricht haben, daher rühren, dass mathematisches Wissen und Fertigkeiten nur sehr schwer in den Physikunterricht transferiert werden können (Rebello et al., 2007; Redish, 2006; Bing & Redish, 2009). Wie sollte die Physikdidaktik mit den Herausforderungen, die die Mathematik in der Physik mit sich bringt, umgehen? Im Physikunterricht sind damit nicht nur Inhalte der Mathematik und deren technische Handhabe relevant, sondern auch die Denk- und Arbeitsweisen der Mathematik (Pospiech et al., 2015) und damit auch die Didaktik der Mathematik (Krause, 2017b). In den genannten Forschungen der Physikdidaktik zur Rolle der Mathematik in der Physik wird zwar auch die Mathematikdidaktik bedacht, aber es

sind in der Regel keine Forschungstätigkeiten, bei denen Physik- und Mathematikdidaktik gleichermaßen zusammenarbeiten. Eine solche Kollaboration könnte neue Perspektiven auf den Umgang mit Mathematik im Physikunterricht eröffnen, Synergien identifizieren und nutzen, denn die Verbindung zur Physik ist auch aus mathematikdidaktischer Perspektive sehr bedeutsam. Neben der Erfahrung von Mathematik als deduktiv geordnete Welt eigener Art und dem Problemlösecharakter von Mathematik, sollen SchülerInnen die Mathematik auch in verschiedenen Anwendungen kennenlernen (Winter, 1996). Sie sollen mittels Mathematik Erscheinungen der Welt in einer spezifischen Art wahrnehmen und verstehen können. Jedoch wird bei solchen lebensweltlichen Bezügen nicht selten die Authentizität in Frage gestellt (Jahnke, 2005), da sich Kontextualisierungen häufig als eingekleidete Standardtechniken entpuppen. Eine Möglichkeit die Mathematik in „echten" Anwendungskontexten zu erfahren liegt in der Eröffnung physikalischer Kontexte. MathematiklehrerInnen sollten demnach neben physikalischem Fachwissen auch über physikdidaktisches Wissen verfügen (Krause, 2017b).

### 1.2. Vorteile und Herausforderungen von interdisziplinärem Lehren und Lernen und deren Konsequenzen für die LehrerInnenbildung

Trotz der beschriebenen Synergien zwischen Physik und Mathematik (vgl. Krause et al., 2017) fällt es auf, dass die universitäre LehrerInnenbildung nach wie vor weitestgehend disziplinenorientiert organisiert ist. Daher wundert es nicht, wenn Lehrerinnen und Lehrer die mangelnde Passung einer nicht integrierten LehrerInnenbildung mit den Anforderungen eines fachübergreifenden Unterrichts (Bröll & Friedrich, 2012) immer wieder als Einwand gegen einen integrierten Unterricht anführen (Jürgensen, 2012; Rehm, et al. 2008). Um Synergien zwischen einzelnen Fächern zu nutzen und interdisziplinäres Lehren und Lernen mehr sein zu lassen als die additive Aneinanderreihung von Wissenselementen aus unterschiedlichen Fachdisziplinen (Wellensiek, 2002 S. 80), sollten die Hochschulen dann nicht ganzheitliche Konzepte zur integrativen LehrerInnenbildung entwickeln und umsetzen? Solche Fragen, die die Wirkungsbereiche einer einzelnen Fachdidaktik überschreiten, sind von dieser allein nur begrenzt erkundbar. Die Physikdidaktik z. B. ist laut Kircher von sich aus bereits eine interdisziplinäre Wissenschaft (Kircher, 2015, S. 9), dabei führt er jedoch ausschließlich andere Fachwissenschaften wie die Pädagogik oder die Chemie etc. auf, ohne andere Fachdidaktiken in den Blick zu nehmen. Daher versucht dieser Beitrag fachdidaktikenübergreifende Forschungs- und Lehrprojekte am Beispiel der integrativen LehrerInnenbildung zu motivieren und eine Zusammenarbeit der verschiedenen Fachdidaktiken in möglichen Themen für eine Wissenschaftskollaboration zu konkretisieren.

### 1.3. Ziele des Inter TeTra Projekts

Aufgrund des beschriebenen Zusammenhangs zwischen Mathematik und Physik arbeitet die Mathematikdidaktik in Siegen eng mit der Physikdidaktik zusammen, z. B. in interdisziplinären Lehrveranstaltungen wie FäMaPDi (Krause & Witzke, 2015) oder InForM PLUS (Holten & Krause, 2018). Das hier vorgestellte Projekt Inter TeTra (Interdisciplinary Teacher Training) umfasst die Zusammenarbeit der Mathematik- und Physikdidaktik der Universität Siegen und der Hanoi National University of Education (HNUE). In Vietnam werden LehrerInnen nur in einem Fach ausgebildet, wodurch sich eine besondere Relevanz solcher interdisziplinärer Lehrinterventionen ergibt. Die Zusammenarbeit zwischen den Arbeitsgruppen in Siegen und Hanoi ist zudem darin begründet, dass das Bildungssystem in Vietnam durch die Entwicklung eines stärker kompetenzorientierten Lehrplans reformiert werden soll. Vietnam möchte hier von den Erfahrungen mit der Bildungsreform in Deutschland nach der Jahrtausendwende profitieren. Dabei sollen auch neue Konzepte für die LehrerInnenbildung erarbeitet werden. Die Outcomes dieses Projekts sind die Konzeption eines Moduls für die Lehrerausbildung in den Fächern Mathematik und Physik an der HNUE, die Durchführung einer Fortbildung für praktizierende Lehrer in Vietnam, sowie die Erstellung eines Sammelbands, in dem Themen der Mathematik- und Physikdidaktik vergleichend diskutiert werden. Die Begleitforschung befasst sich vordergründig mit der Frage, wie das Bewusstsein für die Relevanz der Didaktik benachbarter Fächer durch interdisziplinäre Lehrveranstaltungen gesteigert werden kann. Die Ergebnisse dazu werden in anderen Publikationen veröffentlicht. Hier sollen die Projektidee und das Konzept der Lehrveranstaltungen vorgestellt werden.

## 2. Ein Beispiel zur Relevanz mathematikdidaktischer Inhalte für den Physikunterricht

Ein besonderes Fehlerpotential beim Lernen von Physik liegt in der Verwendung von Formeln (Strahl et al., 2010). PhysiklehrerInnen selbst sollten sicher im Umgang mit Mathematik sein, aber darüber hinaus sind auch mathematikdidaktische Kompetenzen wichtig, um SchülerInnen beim Umgang mit Mathematik im Physikunterricht zu unterstützen. In der Mathematikdidaktik werden typische Fehler im Umgang mit Formeln schon länger diskutiert. Im deutschsprachigen Raum im Bereich der Didaktik der Algebra sind vor allem die Werke von Günther Malle zu nennen. Das Werk von Günther Malle zu didaktischen Problemen der elementaren Algebra (Malle, 1993) wurde in einer Phase verfasst, in der die Mathematikdidaktik sehr stoffdidaktisch geprägt war. Bis heute sind Malles Beiträge zur Didaktik der Algebra rege zitiert (z. B. Göbel und Barzel, 2017). Auch in

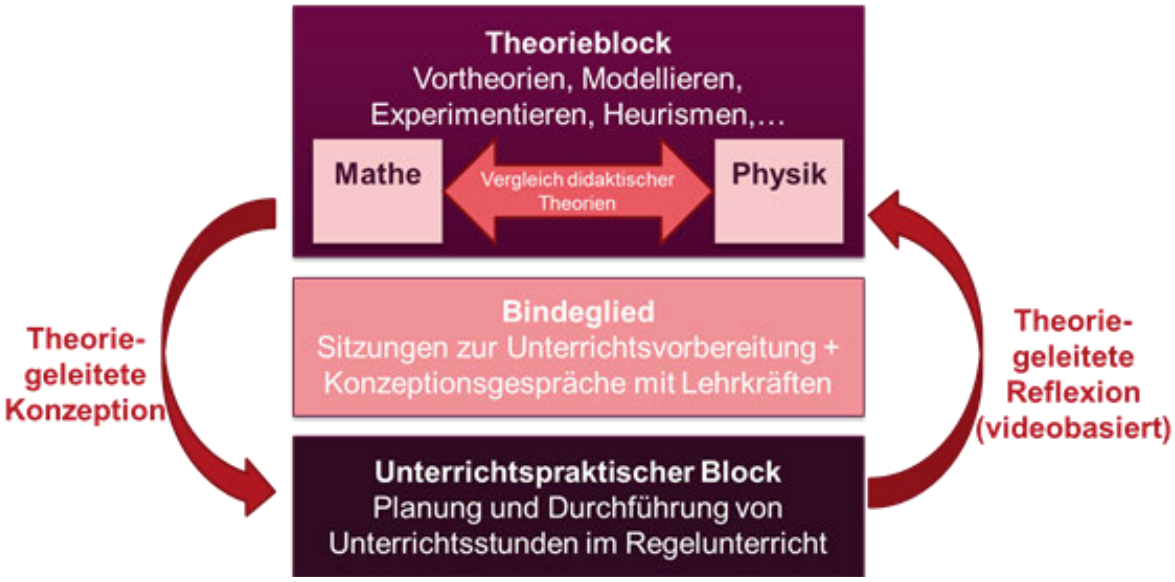



**Abb. 1**: Schematische Darstellung des Konzepts der Lehrveranstaltungen im Inter TeTera Projekt.

entsprechenden Lehrveranstaltungen wird Malles Monographie häufig als Grundlage verwendet. Nach Malle sind beim Umgang mit Formeln neben den naheliegenden syntaktischen Fehlern, wie Rechenfehlern oder die Missachtung syntaktischer Konventionen, folgende semantische Fehler möglich:

*Objekt-Zahl-Konvention*: Dabei muss beachtete werden, dass ein mathematisches Symbol eine Variable ausdrückt und nicht den Gegenstand selbst.

*Prozess-Resultat-Konvention*: Algebraische Terme mit Operationszeichen werden von Lernenden oft als Handlungsaufforderung aufgefasst. Zum Erstellen einer Formel muss eine Verständigung darüber vorliegen, dass Operationszeichen Teil eines Terms sein dürfen ohne, dass damit eine Handlung aufgefordert wird. Ähnlich ist es mit dem folgenden Punkt.

*Handlungs-Beziehungs-Konvention*: Eine Formel kann als Aufforderung zur Rechenhandlung verstanden werden, gleichzeitig sagt eine Formel aber auch etwas über die Beziehung zwischen den jeweiligen Variablen aus.

*Konvention der Bedeutungskonstanz*: Wenn eine Größe mit einem mathematischen Symbol versehen wird, sollte dieses im Zusammenhang mit dieser Formel immer mit diesem Symbol dargestellt werden und nicht mit anderen. Andererseits sollten andere Variable nicht mit diesem Symbol versehen werden. Dabei sollten auch allgemeine Konventionen berücksichtigt werden, dass z. B. in der Geometrie Winkel mit griechischen Buchstaben symbolisiert werden, Seitenlängen mit kleinen lateinischen und Punkte mit großen lateinischen Buchstaben.

*Gleichheit als Entsprechung*: Die Konvention der Mathematik besagt, dass das Gleichheitszeichen numerische Gleichheit darstellt. Die von Hotelwerbungen oft gebrauchte Ausdrucksweise 4=3, die ausdrücken will, dass 4 Nächte zum Preis von 3 gebucht werden können, ist mathematisch inkorrekt. Ebenso muss gewährleistet sein, dass links und rechts vom Gleichheitszeichen Größen der gleichen Dimension stehen und nicht etwa 1 l Limo = 1€.

*Auswahl und Anordnung von Symbolen*: Die Anzahl der Symbole in einer Formel sollte minimal sein. Bei nicht kommutativen Operationen muss die Anordnung bedacht werden (z. B. welches Symbol ist Minuend und welches ist Subtrahend in einer Differenz).

Im Rahmen einer Studie konnten Geyer und Krause alle diese Fehlertypen in SchülerInnenlösungen aus dem Physikunterricht wiederfinden (vorauss. 2019). Dazu wurde eine physikalische Aufgabenstellung analysiert, die die Wärmegleichung betrifft. Diese wird im Physikunterricht der 8. Klassenstufe an sächsischen Gymnasien nicht nur qualitativ, sondern ebenso quantitativ behandelt und ggf. experimentell erarbeitet. Es sollte dazu eine Standardaufgabe, wie sie im Physikunterricht vorkommt, gelöst werden. Diese betrifft die Anwendung der Formel im Sinne einer Rechnung:

Eine Wärmflasche wird mit heißem Wasser gefüllt. Das Wasser hat die Masse 1 kg und die Temperatur 77 °C. Im Bett kühlt sich das Wasser über Nacht auf die Körpertemperatur des Menschen (37 °C) ab. Berechne die vom Wasser abgegebene Wärme.

*(Hinweis:* $c_{Wasser} \approx 4{,}2\,\frac{kJ}{kg \cdot K}$*)*

Die weitere Aufgabe besteht aus drei Teilaufgaben: Erstens einer Interpretation der Formel

$$Q = 0{,}5kg \cdot 4{,}19\,\frac{kJ}{kg \cdot K} \cdot (90°C - 12°C)\ \{1\},$$

zweitens der Konstruktion einer ähnlichen Formel für den Vorgang „Eine mit heißem Tee gefüllte Tasse kühlt um 30 °C ab“,

und drittens einer Zuordnung der ersten Formel zu einem gegebenen $Q(\Delta T)$-, $\vartheta(t)$- oder $\vartheta(Q)$-Diagramm.

Mathematikdidaktische Inhalte sind folglich auch für PhysiklehrerInnen der Sekundarstufe I von hoher Relevanz, wenn sie falsche Lösungen nicht gleich als solche abtuen wollen, sondern mittels differenzierter Diagnose gezielter Fördern wollen.

Neben diesem einen Beispiel lassen sich noch weitere Inhalte der Mathematikdidaktik nennen, die für den Physikunterricht relevant sind und entsprechend auch physikdidaktische Inhalte, die für den Mathematikunterricht relevant sind. Im Projekt Inter TeTra sollen durch die Zusammenarbeit von Physik- und Mathematikdidaktik solche Inhalte identifiziert und in die LehrerInnenausbildung an der HNUE in Vietnam implementiert werden.

## 3. Das Konzept der Lehrveranstaltungen im Rahmen von Inter TeTra

Die Laufzeit des Inter TeTra-Projekts beträgt vier Jahre. Im ersten Jahr (2018) haben sich die vietnamesischen Kollegen in Siegen an dem Pilotprojekt InForM PLUS (Holten & Krause, 2018) beteiligt und beide Seiten haben den theoretischen Rahmen des Projekts Inter TeTra diskutiert. Die Kurse für die HNUE werden im Jahr 2019 konzipiert und finden 2020 in Hanoi statt und werden 2021 wiederholt. Diese Kurse bestehen aus einem theoretischen und einem praktischen Teil (Abb. 1). Ziel der Lehrveranstaltungen ist es, die im Studium erlernten didaktischen Theorien der eigenen Disziplin mit den didaktischen Theorien des anderen Fachs zu vergleichen. Da für den theoretischen Teil nur eine begrenzte Anzahl von Sitzungen zur Verfügung steht, kann nur eine Auswahl von Themen getroffen werden, die für beide Fächer relevant sind. Ein Forschungsdesiderat, das sich aus dem Projekt ergibt, ist die Explikation von Themen, die für die Mathematik- und Physikdidaktik in Vietnam relevant sind. Aus diesem Grund werden Handbücher und Tagungsbände der Mathematik- und Physikdidaktik im Asiatischen Raum systematisch verglichen, um Schnittmengen zu identifizieren. Auch wenn die Ergebnisse dieser Studie noch ausstehen, kann eine exemplarische Auswahl von Themen, die für diesen interdisziplinären Austausch geeignet sind, auf Grundlage einer entsprechenden Untersuchung in Deutschland (Dilling et al., 2019) bereits aufgeführt werden: Nature of Science und Beliefs of Mathematics, Modellieren und Modelle, Problemlösen, Vortheorien. Diese Bereiche wurden im Sommer 2018 auf einer Klausurtagung in Hanoi diskutiert und als fruchtbare Anknüpfungspunkte festgehalten.

Neben dem theoretischen Block umfassen die in diesem Projekt geplanten Kurse auch den Unterricht an Schulen. Die Tatsache, dass die Didaktik eines benachbarten Fachs für das eigene Fach relevant sein kann, sollte durch die Konzeption, Umsetzung und Reflexion von Unterrichtsstunden bewusstgemacht werden. Die Unterrichtsstunden werden videografiert. Das Datenmaterial wird zur videogestützten Reflexion verwendet (Hoffart & Helmerich, 2016). Eine solche theoriebasierte Reflexionsforschung im Unterricht ist noch nicht Teil der Lehrerausbildung in Vietnam. Bei dieser Reflexion werden nicht die Unterrichtsstunden als Ganze bewertet, sondern nur ausgewählte Szenen diskutiert, in denen die Didaktik des jeweils anderen Faches relevant wird.

## 4. Zusammenfassung

Forschungsziele des Inter TeTra-Projekts sind die Klärung relevanter Themen für den interdisziplinären Austausch zwischen Mathematik und Physikdidaktik in Vietnam und die Konzeption und Umsetzung eines entsprechenden Kurses im Rahmen der Lehrerausbildung und einer Lehrerfortbildung an der HNUE. Die Evaluation dieser Lehrinterventionen soll Aufschluss darüber geben, ob sich durch diese Lehrformate das Bewusstsein für die Relevanz der Didaktik des Nachbarfaches steigern lässt.

Da in diesem Projekt ein gedanklicher Austausch zwischen (lat. „inter“) insgesamt vier (gr. „tetra“) Instituten (jeweils die Mathematik- und Physikdidaktiken in Hanoi und Siegen) zustande kommen wird, trägt das Projekt den Namen Inter-TeTra.

## 5. Literaur


Bing, T. J., & Redish, E. F. (2009). Analyzing problem solving using math in physics: Epistemological framing via warrants. Physical Review Special Topics – Physics Education Research, 5(2).

Deutsche Physikalische Gesellschaft (2016). Physik in der Schule – Zusammenfassung. Eine Studie der Deutschen Physikalischen Gesellschaft e. V., Januar 2016.

Dilling, F.; Holten, K.; Krause. E. (vorauss. 2019). Explikation möglicher Themen für eine Wissenschaftskollaboration der Mathematik- und Physikdidaktik – Eine vergleichende Inhaltsanalyse von aktuellen Handbüchern und Tagungsbänden. In: mathematica didactica.

Galili, I. (2018). Physics and Mathematics as Interwoven Disciplines in Science Education. Science und Education, 27, 7-37.

Geyer, M.-A., & Pospiech, G. (2016). Diagramme im Physikunterricht. Hintergründe und Anregungen zur Förderung des Umgangs mit Diagrammen. Naturwissenschaften im Unterricht Physik. Mathematik im Physikunterricht 153/154 (27), 36-40.

Geyer, M.-A.; Krause, E. (eingereicht): Typische Fehler beim Umgang mit Formeln im Physikunterricht. In: *Physik und Didaktik in Schule und Hochschule (PhyDid A)*.

Göbel, L., & Barzel, B. (2017). Vergleich verschiedener dynamischer Visualisierungen zur Konzeptualisierung von Parametern bei quadratischen Funktionen. *Beiträge zum Mathematikunterricht 2017* (S. 457-460). Münster: WTM-Verlag.

Hoffart, E. & Helmerich, M. (2016). „In der Situation ist mir das gar nicht aufgefallen!“ Reflexionsanlässe in der Lehrerbildung als Bindeglied zwischen Theorie und Praxis. In: U. Kortenkamp & A. Kuzle (Hrsg.): Beiträge zum Mathematikunterricht 2016. Münster: WTM-Verlag, 433-436.

Holten, K. & Krause, E. (2018) InForM PLUS vor der Praxisphase - Zwischenbericht eines interdisziplinären Elements in der Lehramtsausbildung an der Universität Siegen. Proceedings of the Conference: Herausforderung Kohärenz, Praxisphasen in der universitären Lehrerbildung (HerKuLes), Wuppertal, 260-274.

Jahnke, T. (2005): Zur Authentizität von Mathematikaufgaben. In: *Beiträge zum Mathematikunterricht*, 38.

Kircher, E. (2015b). Einführung: Was ist Physikdidaktik? In Kircher, E., Girwidz, R. & Häußler, P. (Hrsg.). Physikdidaktik. Theorie und Praxis (S. 3-14). Berlin, Heidelberg: Springer.

Krause, E.; Witzke, I. (2015): Fächerverbindung von Mathematik und Physik im Unterricht und in der didaktischen Forschung. In: PhyDidB – Didaktik der Physik, Beitrag DD 8.3.

Krause, E. (2016). Erkenntnistheoretische Parallelen zwischen Mathematik und Physik. In: PhyDidB - Didaktik der Physik, Beitrag DD 8.4.

Krause, E. (2017a). Einsteins EJASE-Modell als Ausgangspunkt physikdidaktischer Forschungsfragen – Anregungen aus einem Modell zur Natur der Naturwissenschaft. *Physik und Didaktik in Schule und Hochschule (PhyDid A)* 1/16, 57-66.

Krause, E. (2017b): Physikdidaktik in der Mathematiklehrerbildung? Anregungen zur fachdidaktischverbindenden Lehrerbildung In: Beiträge zum Mathematikunterricht 2017. Münster: WTM-Verlag, S. 565-568.

Krause, E.; Witzke, I.; Struve, H. (2017): Mathematik und Physik für den Schulunterricht gemeinsam denken – Ideen und Perspektiven für eine Zusammenarbeit. In: *Der Mathematikunterricht*, Jg. 63, Heft 5, S. 3-11.

Krey, O. (2012). *Zur Rolle der Mathematik in der Physik. Wissenschaftstheoretische Aspekte und Vorstellungen Physiklernender.* Dissertation an der Universität Potsdam.

Kuhn, W. (2016). Ideengeschichte der Physik – Eine Analyse der Entwicklung der Physik im historischen Kontext. 2. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum.

Malle, G.; Wittmann, E. Ch., Bürger, H. (Hrsg.) (1993). *Didaktische Probleme der elementaren Algebra.* Wiesbaden: Vieweg.

Militschenko, I.; Kraus, S. (2017) Entwicklungslinien der Mathematisierung der Physik – die Rolle der Deduktion in der experimentellen Methode. In: *Der Mathematikunterricht*, Jg. 63, Heft 5, S. 21-29.

Müller, R., & Heise, E. (2006). Formeln in Physikalischen Texten: Einstellung und Textverständnis von Schülerinnen und Schülern. *Physik und Didaktik in Schule und Hochschule*, 2/5, 62-70.

Pospiech, G. (2016). Formeln, Tabellen und Diagramme. Einsatz verschiedener mathematischer Darstellungsformen im Physikunterricht. Naturwissenschaften im Unterricht Physik. Mathematik im Physikunterricht 153/154 (27)

Pospiech, G., & Karam, R. (2016). Mathematik im Physikunterricht. Naturwissenschaften im Unterricht Physik. Mathematik im Physikunterricht 153/154 (27)

Rebello, N. S., Cui, L., Benett, A. G., Zollman, D. A., Ozimek, D. J. (2007). Transfer of learning in problem solving in the context of mathematics and physics. In Jonassen, D. (Hrsg.), *Learning to Solve Complex Scientific Problems.* New York: Lawrence Earlbaum Associates.

Redish, E. F. (2006). Problem solving and the use of math in physics courses. ArXiv Physics e-prints.

Rehm, M., Bünder, W., Haas, T., Buck, P., Labudde, P., Brovelli, D., Ostergaard, E., Rittersbacher, C, Wil-helm, M., Gensenberger, R, Svoboda, G. (2008): Legitimationen und Fundamente eines integrierten Unterrichtsfachs Science. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 14, 99–123.

Schwarz, O. (2009) Die Theorie des Experiments – Aus der Sicht der Physik, der Physikgeschichte und der Physikdidaktik. In 180/2009, 15-20.

Strahl, A., Müller, R., Hagendorf, S., Grobe, J. (2017). Just How Deterring Are Formulas? *Scientia in educatione 8* (Special Issue), 247-253.

Strahl, A., Hemme, D., Herbst, M., Müller, Rainer (2015). Wie Studierende Formeln gliedern? *PhyDid B – Didaktik der Physik – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung* Wuppertal 2015.

Strahl, A., Grobe, J., Müller, R. (2010). Was schreckt bei Formeln ab? – Unterstützung zur Darstellung von Formeln. *PhyDid B – Didaktik der Physik – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*, Hannover 2010.

Uhden, O. (2012). *Mathematisches Denken im Physikunterricht – Theorieentwicklung und Problemanalyse.* Dissertation an der Technischen Universität Dresden.

Wellensiek, A. (Hrsg.) (2002). Interdisziplinäres Lehren und Lernen in der Lehrerbildung: Perspektiven für innovative Ausbildungskonzepte. Weinheim, Basel: Beltz.

Winter, H (1996): Mathematikunterricht und Allgemeinbildung. In: Mitteilungen der Gesellschaft für Didaktik der Mathematik Nr. 61, 3746.

# Conceptions of experiments in teaching mathematics and teaching physics in Vietnam

**Van Bien Nguyen[1], Ngoc Chat Tran[1], Eduard Krause[2] and Hai My Ngan Le[3]**

[1]Hanoi University of Education, Faculty of Physics, Vietnam
[2]Universität Siegen, Didaktik der Mathematik, Deutschland
[3]HCMC University of Education, Faculty of Physics, Vietnam
biennv@hnue.edu.vn

**Abstract**

This article presents a part of the Inter-Tetra project. This study firstly reviews the literature on conceptions of experiments in didactics of math and didactics of physics to design questionnaires to survey the conceptions of experiments in teaching physics and teaching math in Vietnam. Thereafter, the survey has been conducted among the math and physics pedagogical students in the Hanoi National University of Education (HNUE). The results of the survey have revealed the similarities and differences of the concepts of an experiment in teaching math and physics. In addition, this study also discusses the causes and consequence of the similar and dissimilar concepts of experiments.

## 1. Introduktion

Mathematics and Physics have an intimate relationship. Not only do they complement each other, but both share the similarities in the historical development (Krause & Witzke, 2015). The interaction of mathematics and physics lead educators to implement integrated teaching of math and science (Galili, 2018). This also facilitates the teaching activities to enhance students' competency. The aim of the Inter-TeTra (Interdisciplinary Teacher Training) project is to implement the fruitful discussions about the similarities and differences between mathematics and physics in teacher training (Krause et al., 2019). In this study, we built a questionnaire based on different notions of experiments to record data about the perception of math and physics teacher students in order to find out the similarities and differences in perception of pedagogical students in these two subjects on experiments and on the way of using experiments in teaching physics and math.

## 2. Experiments in research and teaching

### 2.1. Experiments in Physics and Mathematics

Galilei and the first physicists used empirical research methods to emphasize the aspect of arbitration between arguments, while mathematicians like Gauß often approached experiments as initial symbols or a way to illustrate abstract objects (Philipp et al., 2015).

Despite the similarities between these two subjects, the roles of experiments in physics and mathematics are still different due to the characteristics of each subject. The experiment in physics research plays a key role in the history of physics. The role of experiments in mathematics research has just been more apparent recently as the numerical methods and the simulation software appear.

Experiments in physics can be classified into 4 aspects: observation, measurement, the experiment itself and the epistemological role of the experiment – the so-called experimental method (Schwarz, 2009). This is quite similar to the classification of (Etkina et al. 2002) in which they stated 3 types of experiments: observational experiments, testing theory model experiments, and application experiments.

In order to have a comparison on the role of experiments in mathematics and in physics, we base on two typical notions which are shown the table 1.

| Experiments in physics (Etkina, 2002) | Experiments in mathematics (Borwein & Bailey, 2008) |
|---|---|
| 1. Observational experiment: The goal is to observe a new phenomenon. Students later devise explanations for the observations.<br>2. Testing experiment: The goal is to test whether the explanation devised for some observed phenomenon works. Students use explanations that they constructed for type 1 experiments to make a prediction about the outcome of a new experiment.<br>3. Application experiment: The goal is to apply the explanation that has been tested in type 2 experiments to explain new phenomena | 1. Gaining insight and intuition.<br>2. Discovering new patterns and relationships.<br>3. Using graphical displays to suggest underlying mathematical principles.<br>4. Testing and especially falsifying conjectures.<br>5. Exploring a possible result to see if it is worth formal proof.<br>6. Suggesting approaches for formal proof.<br>7. Replacing lengthy hand derivations with computer-based derivations.<br>8. Confirming analytically derived results. |

| | |
|---|---|
| or to design technical devices. | |

**Tab. 1**: Conception on experiments in physics and mathematics

Borwein (2008) also notes that the above activities are quite similar to the role of laboratory experimentation in the physical and biological sciences, especially "computational experimentation" in physical science and engineering.

### 2.2. Role of experiments in physics teaching and mathematics teaching

In teaching physics, an experiment is an indispensable medium. This is not only reflected in textbooks but also in any literature on the didactics of physics. The experiment is always considered as a multi-purpose tool bringing high value for learning.

Besides, it is quite unusual to integrate experiments into teaching math. The number of articles applying experiments in teaching math is still limited. There are two ways to use experiments in teaching math. The first form is experimental mathematics, the numerical method and simulation software. The second form is using hands-on mathematics – like „Mathematik zum Anfassen" (Beutelspacher, 2018).

In the first approach from Jinyuan-Li (2003), it is recommended that the following steps can be used to apply experiments into math teaching:

• set out from some practical examples (including examples designed by students themselves)

• do experiments on the computer

• find out the rules among them

• make abstractions

• verify and prove your abstractions.

In the second approach, experiments in teaching maths are homologous with exploration experiments or hands-on experiment in physics, though Beutelspacher (2018) distinguishes mathematics from sciences such as physics or chemistry, where experiments are used to verify a theory or to falsify a wrong hypothesis. Also, mathematical experiments are not used to simply illustrate a definition or a theorem. The role of a mathematical experiment works "bottom-up": starting from experience, leading to insight. It is an impulse. If the experiment is good, this impulse is so strong that it enables the visitor to ask the right questions, to get the right conceptions and, finally to get by an "Aha-moment" the right insight.

In reality, teachers also take some experiments or retell some illustrative experiences as teaching students some math topics at elementary and junior high schools (Beutelspacher, 2018). Hamiltons' Icosian Game, the "Tower of Hanoi" and the Soma cube - Hein or tessellation (Ilucová, 2006), are examples of such types of experiments.

In some cases, math teachers also use experiments for testing the hypothesis or for theoretical reasoning. For example, to find the relationship between the height of a person and the length of footsteps when walking (Axel & Michael, 2015).

Thus, we see that the conception of experiments in mathematics and physics are quite similar (in a simulated experiment, illustrated experiment) but there are still many differences. In order to detect how these conceptions of experiments affect pedagogical students, the specific research questions are:

Is there a difference between conceptions about the experiment (definition, role, a necessity in teaching) of physics and math pedagogical students?

Is there a difference between conceptions about the experiment (definition, role, a necessity in teaching) of students before and after studying didactics of their subjects?

## 3. Method of study

### 3.1. Context

The HNUE is one of the biggest and oldest universities in Vietnam, training teachers and lecturers in educational research. Most of researchers in physics and math education in Vietnam before 2000 were considerately influenced by the Soviet education because almost all of them studied there. In recent years, the German education have also been conveyed with a source of staff studied in Germany. Despite the trend of globalization as well as the comfort in accessing information resources with the diversity of education perspective, the current researches of mathematics and physics in Vietnam have still influences and thereby have many similarities with the kind of teaching in Germany.

For that reason, the physics pedagogical students at the HNUE are fully trained and have similar views on the use of experiments in teaching physics. Besides, the use of experiment in teaching math is just quite a bit mentioned in the studies of math teaching (Trần, 2009). Now a few students have reached to hands-on math through open math days with active participation of several private STEM math or education centers (Pomath-center).

It is noticed that math has always been considered a "king subject" in Vietnam for a long time, the best students will choose math and the entrance exam to the mathematics department of HNUE is always the most demanding among the universities in Vietnam.

### 3.2. Sample selection

Because the curriculum in HNUE is in the parallel model in which students will study the subjects of fundamentals of teaching of math and science in the 2nd and 3rd year, we choose first-year students (before being taught the fundamentals of teaching) and the third-year student (after studying the fundamental of teaching) to attend the survey (tab. 2).

| | | | |
|---|---|---|---|
| Gender | Male 75 (22%) | Female 261 (76,5) | Others 5 (1,5%) |
| Year | 1st Year 134 (39,3%) | 2nd year 90 (26,4%) | 3rd year 107 (31,4 %) |
| Subjects | Math 103 (30,2%) | Physics (69,8%) | |
| Total | N = 341 | | |

**Tab. 2**: Population of research

### 3.3. **Questionnaire (see Appendix)**

The questionnaire is designed based on two notions. The first one is the theory about conceptions about experiments in mathematics and in physics. The second one is the experiences of the authors including observations and answers of short interviews with teachers and students through the following questions:

- What is an experiment?
- What functions do experiments perform in teaching?
- Tell about an experiment which is most impressive to you as you a student.

Based on these, we discussed and clarified that there are six possible conceptions about experiments as follows.

1. Experiment as a part of a scientific method
2. Experiment as a way for proving a hypothesis
3. Experiment as a measurement for inducing a new law
4. Experiment as a simulation or demonstration tool
5. Experiment as a game
6. Experiment as a trial activity

Each of these perspectives was made explicit in the items in the questionnaire (see appendix). With the question number 3, the sentences corresponding to the types of conceptions are: item 1 for type 1; item 5 and item 9 for type 2; item 4 and item 7 for type 3; item 3, item 6 and item 8 for type 4; item 9 for type 5; item 2 for type 6.

With the question number 4, we coded by clarifying the students' conceptions given in the 6 types above. In the case that the students give a definition that coincides with two or more of the above conceptions, we take the most obvious conception or the conception first recorded by the student as a student's conception.

On the other hand, these conceptions have shown the reliability with open answers and tasks that require students to draw the most impressive experiment. From the students' answers, we classify students' perception of an experiment according to the 6 conceptions as above.

The questions 5 and 6 go into students' perspective about the importance and function of experiments in teaching physics and teaching mathematics.

## 4. **Results and conclusion**

### 4.1. **Comparison of conceptions of experiment between math and physics students**

#### 4.1.1. **Conceptions of experiment**

About the conceptions of experiments, the result of the frequency of selection and data analysis shows that the conceptions of physics and math students are different on items 1, 4, 5, 8, and 10. Besides, we find out that students in the two faculties do not agree in the conception of considering an experiment as a part of the scientific method and as a simulation and demonstration tool. Physics students tend to treat an experiment as a part of the scientific method and a way of proving a hypothesis. Meanwhile, math students tend to consider experiments as the first step of the cognitive process or as just a trial and error method. Taking the data of question number 4, the frequency of the choice of the definition according to the types of experiments between the math and physics students is also distinctive with the results which are revealed in Fig. 1.

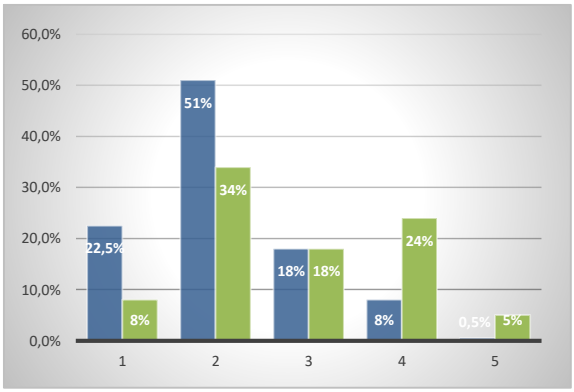



**Fig. 1:** Comparison of frequency distribution of selecting the type of experiment of math (green) and physics (blue) students.

#### 4.1.2. **Role of experiments in teaching**

There is no difference between the first-year physics student and the first-year math student. Based on what is shown in question number 5, we draw a conclusion on the students' perspectives for the necessity of experiment in teaching.

Both math and physics students think that the use of experiments in physics is more crucial than in mathematics and there is no statistically significant difference in the results of this perspective of math and physics pedagogical students (tab. 3).

| Group Statistics | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | **Faculty** | **N** | **Mean** | **Std. Deviation** | **Std. Error Mean** |
| **5_nes_math** | **Phy** | **238** | **3.63** | **.734** | **.048** |
| | **Math** | **103** | **3.84** | **.801** | **.079** |
| **5_nes_phys** | **Phy** | **238** | **4.76** | **.444** | **.029** |
| | **Math** | **103** | **4.76** | **.474** | **.047** |

**Tab. 3:** Mean score of question 5

#### 4.1.3. **Functional aspects of the experiment**

The survey result of the 6th question is analyzed in the following table.

| Roll of experiment | Physics students | | Math Students | |
|---|---|---|---|---|
| | Yes | No | Yes | No |
| Help students to understand the lesson | 215 (90,3%) | 23 (9,7%) | 93 (90,3%) | 10 (9,7%) |
| Engage the students more | 219 (92 %) | 19 (8%) | 89 (86,4%) | 14 (13,6%) |
| Illustrate the teacher's words | 140 (58,8%) | 98 (41,2%) | 69 (67%) | 34 (33%) |
| Check the prediction | 178 (74,8%) | 60 (25,2%) | 67 (65%) | 36 (35%) |
| Improve hands-on skills | 103 (43,3%) | 135 (56,7%) | 31 (30,1%) | 72 (69,9%) |
| Develope mathematical thinking | 123 (51,7%) | 115 (48,3%) | 62 (60,2%) | 41 (39,8%) |
| Develope physics thinking | 238 (91,6%) | 20 (8,4%) | 76 (73,8%) | 27 (26,2%) |
| Consolidate the students' belief on knowledge | 182 (76,5%) | 56 (23,4%) | 72 (69,9%) | 31 (30,1%) |

**Tab. 4**: Frequency of attribution about students choice

The result is significantly different between the conception of math and physics students. Physics teacher students believe more in the role "engage"; "check the prediction" and "improve hand on skills" more than math teacher students do (tab. 4). Regarding the conception of experiments function in teaching, there is a statistically significant difference in all factors apart from the conception of illustrating teacher's words. The most significant difference between math and physics students is the conception of the function for the development of thinking and hands-on skills. While math students believe in functions of illustrating knowledge and develop math thinking, physics students have more faith in the functions of enhancing the interest, checking the prediction, improving hands-on skills, developing physics thinking and consolidating belief on knowledge.

### 4.2. **Compare the conceptions on the experiment of pedagogical students before and after learning fundamental of teaching**

#### 4.2.1. **The conception of the experiment**

Given in answer number 3, we see a clear difference between the 1st year and 3rd year students in items 1, 2, 3, 5, 6, 10. The remaining items are not quite different. The difference between the conception of an experiment of students in year 1 and year 3 is not enough ($p = 0.068$) in question number 4. The analysis showed that learning the subjects didactics just helps students realize the diversity of experiment in teaching but not change the students' understanding of the experiment.

Regarding the level of necessity which is got from the answer number 5, we realize that more and more pedagogical students comprehend the importance of physics after studying subjects' didactics. In contrast with what happened with physics, fewer students think that experiment is necessary for math after learning the subject. This proves that the subject fundamental theory of teaching in both mathematics and physics has not clearly clarified the important role of experiment in teaching math (tab. 5).

| Group Statistics | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | year | N | Mean | Std. Deviation | Std. Error Mean |
| 5_nes_math | 1 | 134 | 3.99 | .649 | .056 |
| | 3 | 107 | 3.43 | .741 | .072 |
| 5_nes_phys | 1 | 134 | 4.73 | .462 | .040 |
| | 3 | 107 | 4.81 | .415 | .040 |

**Tab. 5:** Comparison mean between 1st year and 3th year students

Regarding the function of the experiment, students before and after learning the fundamental theory of teaching almost have no differences of perspective in functions of helping students understand the lesson, illustration the knowledge, improving hands-on skills, developing physics thinking. Meanwhile, the belief in the function of engaging students, checking the hypothesis and consolidating the belief of the experiment in teaching are significant diferent between two groups ($p < 0.01$). Just only the belief

of students in the function of mathematics thinking is decreased ($p < 0.05$).

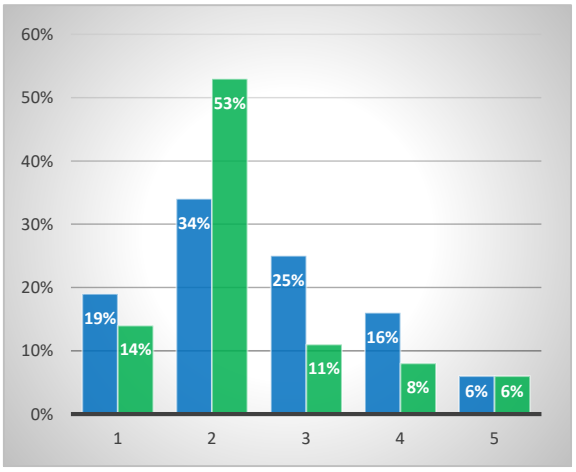



**Fig. 2:** Comparison of frequency distribution of selection the type of experiment of 1st year and 3th year students

### 4.2.2. The Role of experiments in teaching

With the selection of students about the role of an experiment in teaching, we can find that students from 1st year and 3rd year are not a statistically significant difference. Their perception about the function of the experiment doesn't change in positive trend after studying subjects dicatics (tab. 6.). After studying subjects didactics, 3rd-year students just believe more in the rolls "engage" and "check the prediction" but less in the roll "develop mathematical thinking" (tab. 6).

| Roll of experiment | 1st year students | | 3rd year students | |
|---|---|---|---|---|
| | Yes | No | Yes | No |
| Help students to understand the lesson | 123( 91,8%) | 11 (8,2%) | 97 (90,7 %) | 10 (9,3 %) |
| Engage the students more | 113 ( 84,3 %) | 21 (15,7 %) | 103( 96,3%) | 4 (3,7 %) |
| Illustrate the teacher's words | 82 ( 61,2%) | 52 ( 38,8%) | 62 ( 57,9%) | 34 (43,1 %) |
| Check the prediction | 75( 56%) | 59 ( 44%) | 89 (83,2%) | 18 (16,8 %) |
| Improve hands-on skills | 54 ( 40,3%) | 80 ( 59,7%) | 41( 38,3%) | 66( 61,7%) |
| Develope mathematical thinking | 87 (64,9 %) | 47(35,1 %) | 57 ( 53,3%) | 50(46,7 %) |
| Develope physics thinking | 111 (82,8%) | 23 ( 17,2%) | 93( 86,9%) | 14(13,1 %) |
| Consolidate the students' belief on knowledge | 96 (71,6 %) | 38 ( 28,4%) | 83( 77,6%) | 24 (22,4 %) |

**Tab. 6:** Selection of students about roll of experiment before and after studying subjects didactics

## 5. Conclusion

There is a difference in the perception of math and physics pedagogical students on an experiment. Physics students have the notion of considering an experiment almost as a part of the scientific method, and a way to check the hypothesis, while math students often emphasize the functions of illustration, experience and simulation.. There is no difference in the awareness of year 1 and year 3 students about an experiment, the fundamental theory of teaching subjects just help students understand the diversity of the experiment but not have the impact in changing students' conceptions on experiments. STEM integration requires physics and math pedagogical students to have the same conceptions about using experiments. A clear idea of experiments is an indispensable part of the scientific foundation for teacher students in mathematics and physics.

## 6. Literatur


Axel, G., & Michael, K. (2015). Experiementieren-Mathematische Zusamenhange erforschen. *Praxis Der Mathematik in Der Schule*, *65*(557), pp. 2–8.

Beutelspacher, A. (2018). Mathematical Experiments—An Ideal First Step into Mathematics. In G. Kaiser, H. Forgasz, M. Graven, A. Kuzniak, E. Simmt, & B. Xu (Eds.), *Invited Lectures from the 13th International Congress on Mathematical Education* (pp. 19–29). Cham: Springer International Publishing.

Borwein, J., & Bailey, D. (2008). *Mathematics by Experiment: Plausible Reasoning in the 21st Century*.

Etkina, E., Van Heuvelen, A., Brookes, D. T., & Mills, D. (2002). Role of Experiments in Physics Instruction — A Process Approach. *The Physics Teacher*, *40*(6), pp. 351–355. https://doi.org/10.1119/1.1511592

Galili, I. (2018). Physics and Mathematics as Interwoven Disciplines in Science Education. *Science and Education*, *27*(1–2), pp. 7–37. https://doi.org/10.1007/s11191-018-9958-y

Ilucová, L. (2006). Tessellations by Polygons in Mathematics Education. In *Researching the Teaching and Leraning of Mathematics 11*.

Jinyuan-Li. (2003). *The Role of Mathematical Experiment in Mathematics Teaching*. *Mathematical Modelling in Education and Culture: ICTMA 10*. Horwood Publishing Limited. https://doi.org/10.1016/B978-1-904275-05-3.50029-8

Krause, E., Bien, N. Van, Chat, T. N., Chi, N. P., Dilling, F., Geppert, J., … Tho, C. C. (2019). Inter TeTra – Interdisciplinary Teacher Training with Mathematics and Physics. In *CERME 11*.

Krause, E., & Witzke, I. (2015). Fächerverbindung von Mathematik und Physik im Unterricht und in der didaktischen Forschung. *PhyDidB – Didaktik Der Physik, Beitrag DD 8.3*, pp. 1–4.

Philipp, K., Barzel, B., Eichler, A., Leuders, T., & Wittmann, G. (2015). *Experimentelles Denken*. Springer Spektrum.

Schwarz, O. (2009). Die Theorie des Experiments–Aus der Sicht der Physik, der Physikgeschichte und der Physikdidaktik. *GEOGRAPHIE UND SCHULE*, (180), pp. 15–20.

Trần, A. D. (2009). Experiment in mathematics and the viewpoint on experiment in mathematics teaching. *Journal of Science of HCMUE*, pp. 78–86.

**Acknowlegdement:**

To conduct this study, the research team would like to thank the pedagogical students who participated in the survey. The project is implemented within the framework of the Inter-Tetra project, which is supported by the DAAD (German Academic Exchange Service) with funds from the Federal Ministry for Economic Cooperation and Development.

**Appendix: Perspectives of Experiments in Teaching**

Below are some questions to gather demographic information. This data will not be used for any other purpose than for the research.

| Personal Information | | | |
|---|---|---|---|
| Name (optional): | | Gender | |
| Age: | | | |
| Department: | | Year: | |
| University Entrance Exam Score | | | |
| Math | Physics | Chemistry | Biology |

| | |
|---|---|
| 1. Sketch an experiment which is the most typical one in physics (explain if needed). | 2. Is there any Math content considered as an experiment? If yes, please give an example (explain if needed). |

**3. Which of the following actions is an experiment?**

| Action description | Yes | No | Other ideas |
|---|---|---|---|
| **1.** Lan supposes that drinking water frequently would benefit the skin. She tests this theory as following. In the first week, she drinks water as prescription and observes the skin, following by a week in which she drinks less water and observes the skin again. Then she compares the results between the two weeks. | | | |
| **2.** Lan goes to Hoa's house to take something for Hoa. So Hoa gives Lan her set of keys to open the door. Lan tries the keys one by one to get in the house. | | | |
| **3.** Lan tries to solve a problem calculating the velocity of a jumping parachutist. Lan applies different ways using different knowledge and manners such as computer modeling and formula transformation. | | | |
| **4.** Lan rolls the dice to find out the rule that if we roll the dice so many times, it will be approximately the same probability for each face to perform. | | | |
| **5.** From the Pythagoras' theorem $a^2 + b^2 = c^2$, Lan deduces that if we cut 3 squares having the sizes a, b, and c, respectively, from the same sheet and then weigh all of them, the mass of the c-size square is equal to the sum of the other two masses. Lan conducts the experiment to test and draws this conclusion. | | | |
| **6.** Lan solves the quadratic equation $x^2 - 3x + 2 = 0$ and obtains roots as $x_1 = 1$ and $x_2 = 2$. After solving, she puts the two roots $x_1$, $x_2$ back into the equation to see if they match or not. | | | |
| **7.** From the formula of the circumference of the circle, Lan measures by the following way. She draws a lot of circles of different diameter, uses a tape to measure the diameter and circumference of the circles and then calculates the ratio between the circumference and diameter. The average value of these ratios is $\pi$. | | | |
| **8.** To find what the graph of equation $y = m / x^2$ looks like, Lan in turn inputs different values of m = 1,2,3,... then draws the respective | | | |

| | | | |
|---|---|---|---|
| graphs. From the graphs, she draws a preliminary conclusion about the behavior of the graph. | | | |
| **9.** Lan predicts that the larger the mass is, the more likely it would be sinked in water. Lan checks her prediction by putting objects of different masses in the water to see, if that is true or not. | | | |
| **10.** In the "Math is fun" book there is a guide on how to guess the age of a friend: First, multiply your own age by 2, add the product with 5, then multiply the sum with 5. Give me your result, then I will say your age. After several tries, Lan finds out the rule is that by subtracting the first 2 digits of the result by 2, we can have correct age. | | | |

**4. According to you, what is an experiment?**

.....

.....

**5. The necessity of using experiments in teaching.**

| | *Absolutely necessary* | *Very necessary* | *Of average* | *Of little necessity* | *Unnecessary* |
|---|---|---|---|---|---|
| In Math | | | | | |
| In Science | | | | | |

**6. The role of experiment in teaching**

A. Help students to understand the lesson
B. Engage the students more
C. Ilustrate the teacher's words
D. Check a prediction
E. Improve hands-on skills
F. Develope mathematical thinking
G. Develope physics thinking
H. Consolidate the students' belief on knowledge

# Mathematik im Lehramtsstudium Physik an der Universität Stuttgart

**Philipp Scheiger*, Anna Donhauser+, Ronny Nawrodt*, Holger Cartarius***

*Physik und ihre Didaktik, Universität Stuttgart
+Didaktik der Physik, Universität Erlangen-Nürnberg
p.scheiger@physik.uni-stuttgart.de

**Kurzfassung**

Für die Beschreibung und Kommunikation physikalischer Phänomene sind mathematische Kompetenzen grundlegend und mathematisches Fachwissen ist für ein tiefes Verständnis physikalischer Probleme, wie sie an der Universität behandelt werden, entscheidend. An der Universität Stuttgart spielt häufig nur eine Einführungsvorlesung, die ausschließlich das mathematische Handwerkszeug der Physik sowie dessen Anwendungen ohne Vertiefung oder Herleitung vorstellt, eine zentrale Rolle in der mathematischen Ausbildung im Lehramtsstudium für das Gymnasiallehramt. Erste Befragungen von Studierenden, nach der Einführungsvorlesung, deuten an, dass sie den Zusammenhang zwischen den beiden Fachdisziplinen oft nicht herstellen. Außerdem scheinen sie dem mathematischen Formalismus der Theorievorlesungen in der Physik nur im geringen Umfang folgen zu können. Um diesem Umstand entgegen zu wirken, wurden Begleitprogramme zu existierenden Vorlesungen entwickelt. Diese Begleitprogramme nehmen Bezug zu der mathematischen Einführung im ersten Semester und den Theorievorlesungen im dritten und vierten Semester. Hier soll beschrieben werden, mit welchen Ansätzen das gelingen soll. Regelmäßiges Feedback der Studierenden deutet an, dass die Angebote geschätzt werden und dem subjektiven Empfinden nach fachlich hilfreich sind. Dennoch nimmt die Teilnehmerzahl stark ab.

## 1. Mathematik und Physik

„Die Natur ist in der Sprache der Mathematik geschrieben." Galileo Galileis Aussage würden so vermutlich die meisten Physiker bestätigen. Und auch in der fachdidaktischen Forschung wurde das Zusammenspiel von Mathematik und Physik immer wieder untersucht. Eine gute Zusammenfassung stellt hier die Dissertation von Krey [1] dar: „Die Mathematik erfüllt gewisse Funktionen in der Physik, eine kognitive Entlastungsfunktion, eine Exaktheit fördernde Funktion, eine Kommunikationsfunktion und eine Objektivität fördernde Funktion." Mit zunehmender Komplexität und Abstraktheit physikalischer Inhalte nehmen diese mathematischen Funktionen eine immer wichtigere Rolle für das Verständnis der Physik ein, insbesondere eben dann, wenn anschauliche Vorstellungen nicht mehr ausreichend sind oder sogar in die Irre führen. Dies ist bei Stoffinhalten auf Universitätsniveau sehr häufig der Fall und wurde in der Delfi-Studie von Neumann et al. [2] bestätigt: Viele Lehrende sind der Auffassung, dass die an der Universität unterrichtete Physik nur verstanden werden kann, wenn zuvor die mathematischen Grundlagen erworben wurden, auf denen physikalische Theorien fußen.

Dem gegenüber steht, dass das komplette Ausmaß der Verknüpfung und der Abhängigkeit der Physik von der Mathematik vielen Studierenden nicht bewusst wird [3]. So haben sie Probleme mit dem korrekten Umgang mit Formeln und können offensichtliche Fehler auch nicht identifizieren, siehe Strahl et al. [4].

Auch unter Dozierenden der Universität Stuttgart entstand der Eindruck, dass viele Studierende dem mathematischen Formalismus und somit dem physikalischen Inhalt vor allem in den Theorievorlesungen nicht folgen können und folglich kein Wissenszuwachs möglich sei.

Von diesen Ergebnissen ausgehend, erscheint es uns notwendig, dass gehandelt wird, um den Erfolg der universitären Lehre zu steigern. Dies möchten wir an der Universität Stuttgart im Rahmen von freiwilligen Zusatzangeboten tun, die im Folgenden beschreiben werden. Im ersten Semester ist dies eine Zusatzvorlesung für alle Studierenden, die Anwendungsbeispiele der Mathematik in verschiedenen Bereichen der Physik aufzeigt. Das Begleitangebot zur Theorievorlesung ist ein Seminar für Lehramtsstudierende, das Unterstützung bei auftauchenden Problemen bieten soll, die Studierende und Dozierende sehen. Ziel dieser Veranstaltungen ist es Interesse an Mathematik und Physik zu wecken, die Abhängigkeit der Physik von der Mathematik aufzuzeigen und den Studierenden Unterstützung zu bieten Wissenslücken parallel zu Vorlesungen aufzuarbeiten.

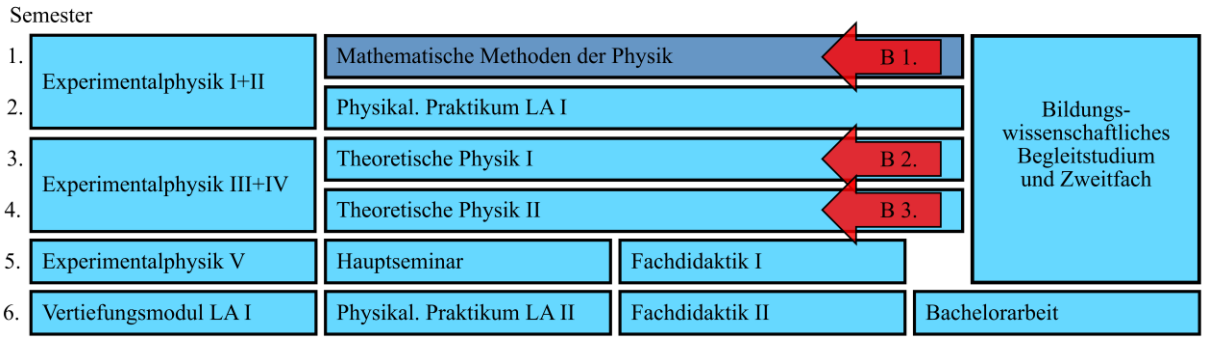



**Abb.1:** Modulplan des BA Lehramt an der Universität Stuttgart. Einzige Mathematikausbildung (dunkelblau) ist die Vorlesung Mathematische Methoden der Physik. Die Begleitangebote (rote Pfeile) richten sich an diese Vorlesung und an die Theoretische Physik. B 1.: Anwendungsbeispiele der Mathematik in der Physik. B 2.: Begleitseminar zu den Themenfeldern Klassische Mechanik, Quantenmechanik. B 3.: Begleitseminar zu den Themenfeldern Elektrodynamik und Thermodynamik/Statistische Physik.

## 2. Ausgangslage an der Universität Stuttgart

Neben diesen subjektiven Eindrücken der Dozierenden gibt es auch strukturell geprägte Schwächen in der mathematischen Bildung der Lehramtsstudierenden an der Universität Stuttgart. Im Modulplan für das Lehramt Physik ist lediglich die Erstsemestervorlesung „Mathematische Methoden der Physik“ (ab hier auch MMP) als mathematische Bildung vorgesehen. Diese Vorlesung wurde ursprünglich aber nicht dafür konzipiert. Eigentliches Ziel ist eine schnelle mathematische Bildung aller Physikstudierender auf Hochschulniveau, auf die in Physikvorlesungen zurückgegriffen werden kann. Diese mathematischen Inhalte werden im Fachstudium in Mathematikvorlesungen wiederholt und vertieft. Lehramtsstudierende mit Zweitfach Mathematik vertiefen und verfestigen ebenfalls in denselben Vorlesungen ihre Kenntnisse, die aber im Zweitfach verortet sind, weshalb der Fachbereich Physik die Kombination Mathematik/Physik empfiehlt. Das entspricht aber immer seltener den Wünschen der Studierenden. Und die Frage, die sich hier aufdrängt, ist, ob diese geringe mathematische Ausbildung genügt, um erfolgreich ein Physikstudium zu bestehen.

In ersten Gesprächen mit den Studierenden nach dem Besuch der MMP im Wintersemester 17/18 sollte überprüft werden, wie gefestigt das mathematische Wissen nach dem ersten Semester ist und ob die subjektiven Eindrücke der Dozierenden berechtigt sind. Die Gespräche deuten darauf hin, dass viele der komplexen Inhalte nicht tief durchdrungen werden. Ebenso scheinen die Studierenden die Abhängigkeit der Physik von der Mathematik nicht zu erkennen *„...vielleicht weiß ich einfach nicht, wofür man das braucht* [Anm. die Vektoranalysis]...“ und die Disziplinen nur getrennt gelernt werden *„...also ich weiß wie man sie ausrechnet* [Anm. die Eigenwerte und –vektoren beim Trägheitstensor], *aber ich weiß nicht so genau die Bedeutung.“*

Die Aussagen der Studierenden wurden als Beleg gesehen, dass Handlungsbedarf besteht. Eine Aufstockung der mathematischen Bildung im Fach Physik wäre allerdings nur bei gleichzeitiger Reduzierung physikalischer Inhalte möglich. Deshalb haben wir uns dazu entschieden, Unterstützungsprogramme auf freiwilliger Basis zu entwickeln. Dass Zusatzprogramme hilfreich sein können, bestätigten auch Aussagen von Studierenden in den Gesprächen über eine Fragestunde für Lehramtsstudierende, die im Wintersemester 17/18 neu eingerichtet wurde. Das Ziel dieser Fragestunde war, eine Anlaufstelle für die Studierenden, bei Problemen von fachlicher und organisatorischer Art zu sein: *„Ohne die Fragestunde hätte ich schon längst aufgeben.“*

Aus den Gesprächen mit den Studierenden lassen sich zwei Defizite ableiten, gegen die wir mit unseren Begleitprogrammen vorgehen möchten:

1. Der Zusammenhang von Mathematik und Physik wird oft nicht erkannt.
2. Das Mathematikwissen der Studierenden trägt kaum zum Verständnis der Physik bei.

## 3. Entwicklung der Begleitprogramme

Mit unseren Begleitprogrammen möchten wir diesen beiden Defiziten an zwei Stellen entgegenwirken. Im ersten Semester parallel zur Vorlesung MMP (Begleitprogramm 1 – B 1.) und in Semester 3 & 4, begleitend zu den Theorievorlesungen (B 2. & B 3. in Abbildung 1). Bis zum Stand der Frühjahrstagung wurden die Zusatzvorlesungen zur MMP im Wintersemester 17/18 gelesen und im Wintersemester 18/19 gelesen und beobachtet. Das Begleitseminar wurde im Wintersemester 18/19 parallel zur Quantenmechanik gestartet. Die Programme sollen im Rahmen einer didaktischen Rekonstruktion [5] über mehrere Jahrgänge entwickelt und verbessert werden. Wir orientieren uns dabei an einer leicht abgewandelten Variante der didaktischen Rekonstruktion nach Engelmann [6], angewandt auf eine andere Zielgruppe

(Studierende statt Schüler). Bei der inhaltlichen Ausarbeitung sind eine Elementarisierung der physikalischen Grundkonzepte entscheidend wie dies beispielsweise von Girwidz & Berger für Unterricht im Allgemeinen vorgeschlagen wird [7] und die Versprachlichung von Formeln [8].

### 3.1. **Zusatzvorlesungen zu den MMP (B 1.)**

Neben der regulären Vorlesung werden weitere Termine angeboten, in denen Anwendungsbeispiele der Mathematik in der Physik präsentiert werden, für die in der regulären Vorlesung keine Zeit ist. Ziel ist, die Physik hinter der Mathematik zu diskutieren und weiterführendes Interesse bei den Studierenden zu wecken sowie diese zum Nachdenken über das Wechselspiel Mathematik-Physik anzuregen. In den bisherigen Veranstaltungen legte der Dozent deshalb großen Wert auf eine möglichst rege Debatte. Der Fokus wurde immer wieder auf die Verknüpfung und die Abhängigkeit zwischen Mathematik und Physik gelegt. Insgesamt gab es im Wintersemester 18/19 sechs Zusatztermine zu je 90 Minuten zu folgenden Themen:

1. Konservative mechanische Systeme in einer Dimension (Differenzieren und Integrieren)
2. Zwei-Niveau-System – Spin des Elektrons (komplexe Zahlen)
3. Entwicklung des Skalenparameters in der Kosmologie (Differentialgleichungen)
4. Die stationäre Schrödingergleichung (Differentialgleichung als Eigenwertproblem)
5. Das 1/r-Potential der Gravitation (Linienintegrale)
6. Rotationsellipsoid als Permanentmagnet (krummlinige Koordinaten)

### 3.2. **Begleitseminar zur Theoretischen Physik**

Ziel des Begleitseminars ist es, einen Raum mit Lernatmosphäre zu entwickeln, in dem die Inhalte der Theorievorlesung nachgearbeitet werden können, um so die Verständnisprobleme aufzudecken und anschließend möglichst rasch aus dem Weg zu räumen. Es sollte auch auf die Vorlesung vorbereiten, indem die benötigten mathematischen Grundlagen wiederholt werden. Auf Wunsch der Studierenden soll an manchen Stellen ein Bezug der fachlichen Inhalte zur Schulphysik hergestellt werden.

Das Seminar startete in der Mitte des Wintersemesters 18/19 als die Vorlesung von der klassischen Mechanik in die Quantenmechanik wechselte. In diesem Semester fand das Seminar einmal in der Woche für 90 Minuten statt. Die wichtigsten Themengebiete aus diesem Semester werden im Folgenden kurz vorgestellt.

#### 3.2.1. **Mathekurs zur Wiederholung**

Vor allem für die Studierenden ohne Mathematik als Zweitfach wurden zwei Termine zur Wiederholung der wichtigsten mathematischen Themen in der Quantenmechanik durchgeführt. Die Termine wurden aber auch von Studierenden mit Mathematik als Zweitfach besucht. Der Fokus wurde auf folgende Themen gelegt:

a. komplexe Zahlen
b. Vektoren
c. Matrizen
d. Delta-Funktion
e. Potenzreihen
f. Differentialgleichungen

#### 3.2.2. **Fachliche Aufarbeitung**

Zum einen wurde den Studierenden die Möglichkeit gegeben, Themen aus der Vorlesung zu nennen, bei denen sie Verständnisprobleme hatten und die im Seminar vertieft aufgearbeitet wurden. Hier wurden die Fouriertransformation und -reihen genannt sowie der Tunneleffekt.

Zum anderen sollten nach dem Seminar die Grundbegriffe der Quantenmechanik klar sein wie: Zustand, Wellenfunktion, Operatoren, Messungen, Physikalische Messgrößen und die statistische Interpretation. Deshalb wurde hierauf im Seminar besonders eingegangen und am Beispiel des Stern-Gerlach-Experiments detailliert diskutiert und erklärt.

#### 3.2.3. **Schulbezug**

Für eine Lehrkraft ist es nach Schecker et al. [9] elementar, die möglichen Schülervorstellungen bei Lernenden zu kennen, um gegebenenfalls auf diese eingehen zu können. Die Schülervorstellungen der Quantenmechanik sind deshalb parallel zur Vorlesung angesprochen worden, damit die Studierenden selbst überprüfen konnten, ob sie bei sich selbst Schülervorstellungen finden. Inhaltlich wurde hierbei eng an Schecker et al. [9] gearbeitet und es wurden die Schülervorstellungen bei Determinismus und Wahrscheinlichkeitsdeutung, der Welle-Teilchen-Dualismus, der Potentialtopf, die Quantisierung der Energie und die Heisenbergsche Unbestimmtheitsrelation angesprochen.

Eine Lehrkraft sollte in der Lage sein, sich selbständig in neue Themen einzuarbeiten. Im Seminar wurde dies am Beispiel der Verschränkung und dem „Knallertest“ – Messung ohne Interaktion geübt. Beide Themen waren nicht explizit Inhalt der Vorlesung, doch den Studierenden wurden zwei Ausschnitte aus einem Schulbuch [10] gegeben. Die Studierenden mussten sich die Inhalte selbst aneignen und anschließend gegenseitig erklären. Ziel war es, die Hemmung sich mit Unbekanntem zu beschäftigen zu senken und neue Inhalte zu vermitteln.

## 4. **Beobachtung und Feedback**

Um die Qualität der Zusatzangebote zu überprüfen und in Iterationsprozessen zu verbessern, wurden die Zusatzangebote beobachtet und Feedback der Studierenden gesammelt. Bei den Zusatzvorlesungen zu den

MMP (B 1.) wurden die Fragen der Studierenden sowie die Fragen des Dozenten und die Antworten der Studierenden darauf notiert. Im Begleitseminar (B 2.) wurde dokumentiert, bei welchen Themen die Studierenden Verständnisprobleme zeigten und auf welche Erklärungsansätze sie ansprechen. Eine vollständige qualitative Auswertung der Beobachtung und Kommentare steht noch aus, einige Aussagen können dennoch bereits getroffen werden.

### 4.1. **Beobachtungen zu den Anwendungsbeispielen (B 1.)**

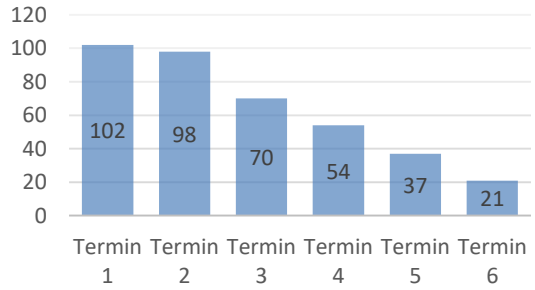



**Abb.2:** Anzahl der Studierenden, die die freiwilligen Zusatzvorlesungen besucht haben.

Auffälligste Beobachtung ist die deutlich abnehmende Teilnehmerzahl in den freiwilligen Vorlesungen. Der Jahrgang 18/19 startete mit 174 Teilnehmern der Vorlesung „Mathematische Methoden der Physik“ (B.Sc. Physik und Lehramt Physik). Den ersten Zusatztermin besuchten 102 Studierende. Ab dem dritten Termin nahm die Teilnehmerzahl stark ab (siehe Abbildung 2). Zur Klausur zugelassen waren 113 Studierende. Der Rückgang in den Zusatzterminen ist folglich größer und nicht durch den Schwund im Jahrgang zu erklären. Als freiwilliges Angebot konkurrieren diese Vorlesungen jedoch mit Pflichtveranstaltungen wie Scheinklausuren, die insbesondere gegen Ende des Semesters von den Studierenden hohen zeitlichen Einsatz fordern.

Die Fragen der Studierenden lassen sich nach einer ersten Überprüfung in folgende Kategorien einordnen:

a. Rechentechniken
b. Hinweise auf Fehler
c. Weiterführendes Interesse
d. Schnittstelle Mathematik/Physik

Auffällig ist, dass sich die Studierenden in den ersten Terminen noch kaum Fragen aus den Kategorien c. und d. gestellt wurden, was sich mit der Zeit aber änderte. Die Antworten der Studierenden auf Fragen des Dozenten müssen noch untersucht werden.

### 4.2. **Beobachtungen und Feedback zum Begleitseminar Quantenmechanik**

Vor der Mathematikwiederholung des Seminars wurde den Studierenden ein kleiner Test zur Bearbeitung vorgelegt. In fünf Aufgaben sollten die Kenntnisse der Studierenden geprüft werden, die nach Korsch [11] benötigt werden, um sich auf einem mathematisch angemessenen Niveau mit der Quantenmechanik auseinandersetzen zu können. Dieser Test ist ebenfalls bei Korsch [11] zu finden. Es handelt sich dabei um einfachste Aufgaben bei komplexen Zahlen, der Vektorrechnung, der Matrixmultiplikation, der Delta-Funktion und Differentialgleichungen. Ein Beispiel aus der Vektorrechnung:

„Ein Vektor **a** = (1,1,2) ist gegeben. Konstruieren Sie Vektoren **b** und **c**, die orthogonal zu **a** und zueinander sind.“ [11]

Zur Bearbeitung hatten die Studierenden 15 Minuten Zeit. Die Ergebnisse sind ernüchternd. Es nahmen 9 Studierende teil. Bei keiner Aufgabe wurden im Kursschnitt mehr als 50% der möglichen Punkte erreicht, wenn nach den Regeln einer schriftlichen Klausur korrigiert würde. Eine Person gab keine Lösung ab, da nichts bearbeitet wurde. Die Ergebnisse von allen Aufgaben sind in Abbildung 3 dargestellt.

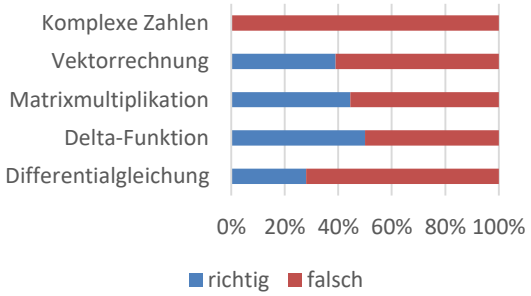



**Abb.3:** Durchschnittlich erreichter Prozentsatz der möglichen Punktzahl pro Aufgabe.

Die Studierenden waren unvorbereitet und die Bearbeitungszeit war knapp bemessen. Hier sollte jedoch getestet werden, wieviel mathematisches Wissen den Studierenden zur Verfügung steht, wenn sie ohne besondere Vorbereitung eine Vorlesung besuchen.

Bei der Wiederholung der Inhalte musste viel Zeit für die Klärung grundlegender Dinge wie das Skalarprodukt aufgewandt werden, da hier das Schulwissen äußerst vorherrschend war. Zum Beispiel schien das Konzept einer Dimension auf die Raumrichtungen beschränkt zu sein.

Ähnlich sah es auch bei anderen Themenfeldern aus. Obwohl die Inhalte in teils mehreren Vorlesungen behandelt wurden, waren vielen Studierenden die Grundkonzepte des Tunneleffekts und der Fouriertransformation nicht geläufig. Genauso verhielt es sich bei den Grundbegriffen der Quantenmechanik (Zustand, Messung, Wellenfunktion usw.). Nach einer Unterrichtseinheit im Seminar wurden diese in der Beispielrechnung des Stern-Gerlach-Experiments nur mühsam und nach viel Hilfestellung von den Studierenden identifiziert oder konnten mit dem Bra-Ket-Formalismus in Verbindung gesetzt werden.

Laut eigener Aussage der Studierenden sind bei diesen auch nach dem Besuch der Vorlesung noch viele

Schülervorstellungen im Bereich der Quantenmechanik zu finden: *„Schülervorstellungen durchzusprechen war gut, da einige bei mir selbst noch vorherrschen und ich mir darüber bewusst bin, dass es Fehlvorstellungen sind.“*

Die direkte Ansprache der Fehlvorstellung kam gut bei den Studierenden an, da sie das Gefühl hatten, fachlich dazugelernt zu haben. Auch diese Aussagen bestätigen den Eindruck, dass die Studierenden den in der Vorlesung eingeführten Formalismus nur in geringem Maße mit der Physik in Verbindung setzten.

Bei der Behandlung von Verschränkung und dem „Knallertest“ zeigte sich, dass immer noch Präkonzepte eine Rolle spielen. Den Schulbezug und die inhaltliche Auseinandersetzung mit der Quantenmechanik in noch unbekannten Themenfeldern empfanden die Studierenden als positiv.

Ein generelles Problem kann dabei sein, dass im Gymnasiallehramt in Baden-Württemberg zwei Fächer studiert werden und die Interessen der Studierenden nicht in der Physik liegen: *„Ich denke, mir fällt das Verstehen schwer, weil mich das Thema nicht so interessiert.“*

Auch entsteht im Seminar der Eindruck, dass die Studierenden sich kaum trauen, Fehler zu zeigen oder Fragen zu stellen. Das findet man insbesondere auch dann, wenn das Seminar von einer Person geführt wird, die keine Prüfungsberechtigung hat oder mit dem Prüfer in Verbindung steht.

### 4.3. **Zusammenfassung des Inhalts**

Wir haben in dieser Arbeit Begleitangebote zur mathematischen Bildung von Physik-Lehramtsstudierenden vorgestellt. Diese Angebote sollen einerseits auf die Verknüpfung von Mathematik und Physik aufmerksam machen und andererseits Defizite in der mathematischen Bildung abbauen. Insgesamt scheinen sich in den Begleitprogrammen die Eindrücke der Stuttgarter Dozierenden zu bestätigen:

Ohne weitere Wiederholung haben die Studierenden nur ein geringes mathematisches Wissen spontan abrufbereit, was der kleine Test zur Mathematik in der Quantenmechanik und viele Gespräche mit Studierenden belegen. Vermutlich werden auch auf Grund dieser Tatsache viele Inhalte aus der Vorlesung der Theoretischen Physik von Studierenden nicht mitgenommen. Prinzipiell sind die Studierenden dankbar für ein erweitertes Zusatzangebot und signalisieren einen Nutzen an der Teilnahme der Angebote. Dennoch nimmt diese im Lauf des Semesters ab. Dies gilt allerdings für Studierende mit dem Zweitfach Mathematik und ohne gleichermaßen.

## 5. **Ausblick**

Das Begleitseminar wird im Sommersemester parallel zur Theorievorlesung Elektrodynamik/Statistische Physik weitergeführt. Mit weiteren Gesprächen mit den teilnehmenden Studierenden sollen die Angebote weiter verbessert und fachlich breiter aufgestellt werden. Eine Untersuchung, welche Motivation der Studierenden haben solche Angebote wahrzunehmen, erscheint notwendig, damit das Programm daran angepasst werden kann, um den Teilnehmerschwund zu reduzieren.

## 6. **Literatur**


[1] KREY, Olaf: Zur Rolle der Mathematik in der Physik: Wissenschaftstheoretische Aspekte und Vorstellungen Physiklernender. Zugl.: Diss. Berlin: Logos-Verl., 2012 (Studien zum Physik- und Chemielernen 130), S. 17-73

[2] NEUMANN, Irene; PIGGE, Christoph; HEINZE, Aiso: Welche mathematischen Lernvoraussetzungen erwarten Hochschullehrende für ein MINT-Studium? Kiel, 2017

[3] KREY, Olaf: Zur Rolle der Mathematik in der Physik: Wissenschaftstheoretische Aspekte und Vorstellungen Physiklernender. Zugl.: Diss. Berlin: Logos-Verl., 2012 (Studien zum Physik- und Chemielernen 130), S. 247-257

[4] STRAHL, Alexander; HEMME, Dirk; HERBST, Markus; MÜLLER, Rainer: Wie Studierende Formeln gliedern? In: PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung 2015 (2015), S.1-6, URL: http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/618 (Stand 05/2019)

[5] KATTMANN, Ulrich; DUIT, Reinders: Das Modell der didaktischen Rekonstruktion. In: Zur Didaktik der Physik und Chemie Tagung 1996 (1997), S. 122–124

[6] ENGELMANN, Philipp: Fächerübergreifende Naturwissenschaften in der Lehrerbildung, Jena, Friedrich-Schiller-Universität, Dissertation (in Bearbeitung), 2019

[7] WIESNER, Hartmut (Hrsg.); SCHECKER, Horst (Hrsg.); HOPF, Martin (Hrsg.): Physikdidaktik kompakt. 3. Auflage. Seelze: Aulis Verlag, 2017, S. 72-77

[8] JANßEN, Wiebke; POSPIECH, Gesche: Versprachlichung von Formeln - Die Bedeutung von Formeln und ihre Vermittlung. In: PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung 2015 (2015), S. 1-6, URL: http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/608 (Stand 05/2019)

[9] SCHECKER, Horst (Hrsg.); WILHELM, Thomas (Hrsg.); HOPF, Martin (Hrsg.); DUIT, Reinders (Hrsg.): Schülervorstellungen und Physikunterricht: Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2018, S 209-221

[10] BADER, Franz (Hrsg.): Dorn Bader: Physik Gymnasium (G8) 11/12. Braunschweig: Schroedel, 2013, S 276, S 308-309

[11] KORSCH, Hans-Jürgen: Mathematik der Quantenmechanik: Grundlagen, Beispiele, Aufgaben,

Lösungen. 1. Aufl. Barsinghausen: Binomi-Verl., 2013, S. 15-28

# Wer studiert wie und warum Grundschullehramt und Sachunterricht?

- eine empirische Studie an der Freien Universität Berlin -

**Philipp Straube, Daniel Rehfeldt & Hilde Köster**

Freie Universität Berlin, AB Grundschulpädagogik / Sachunterricht,
Habelschwerdter Allee 45, 14195 Berlin, philipp.straube@fu-berlin.de

**Kurzfassung**

Im Zuge der Maßnahmen gegen den sich bundesweit abzeichnenden Lehrkräftemangel - gerade an Grundschulen - wurden auch an der Freien Universität Berlin die Studierendenzahlen erhöht. Bislang gaben Studierende für das Lehramt bezüglich ihrer Studienwahl besonders häufig den Wunsch an, Umgang mit Menschen zu haben. Die berufsbezogene motivationale Orientierung fiel eher intrinsisch aus, zeigte jedoch auch extrinsische Komponenten (z. B. Boeger, 2016, S. 76). Karriere- und leistungsorientierte Berufsziele waren unterdurchschnittlich ausgeprägt (Willich et al., 2011, S. 320). Unklar ist, inwiefern diese Befunde auch unter der neuen Rahmenbedingung eines erheblich erweiterten Kreises von Studierenden weiterhin Gültigkeit besitzen und ob sie sich im Laufe des Studiums verändern. Die hier dargestellte Studie ist als Längsschnittstudie über die nächsten Jahre geplant und soll zwei Kohorten vom ersten Semester bis zum Masterabschluss begleiten. Dabei werden unter anderem die Studienmotivation, Überzeugungen zum Lehren und Lernen und das Selbstkonzept erhoben. Erste Ergebnisse deuten darauf hin, dass die hier untersuchte Kohorte im Wesentlichen die bisherigen Erkenntnisse wiederspiegelt: So zeigen die Studierende eine hohe intrinsische Motivation in Bezug auf die Arbeit mit Kindern und das Fach, die von einer etwas geringer ausgeprägten extrinsischen Motivation (soziale Einflüsse und Nützlichkeit) flankiert wird. Sowohl die offene als auch die geschlossene Lernsteuerung werden gleichermaßen präferiert. Die transmissiven lerntheoretischen Überzeugungen sind leicht über Mittelmaß ausgeprägt.

## 1. Einleitung

Der Bedarf an Lehrer*innen ist bundesweit immer noch ungebrochen hoch und ungleich verteilt. Während in den westdeutschen Bundesländern teilweise ein Überangebot an Lehrkräften vorherrscht, ist insbesondere in den ostdeutschen Bundesländern (inkl. Berlin) eine Unterdeckung des jährlichen Bedarfs vorhanden (KMK, 2018, S.5). Diese Entwicklung ist besonders in den berufsbildenden und in den primarstufenbezogenen Lehrämtern stark ausgeprägt (vgl. a.a.O., S. 5f).

Im Zuge dieser Entwicklung wurden die Studierendenzahlen für den Bachelorstudiengang Grundschulpädagogik an der Freien Universität Berlin in den letzten Jahren drastisch erhöht. Während in den Jahren 2011-2014 jeweils etwa 100 neue Studierende in dieses Lehramt immatrikuliert wurden, stieg die Zahl seit dem Wintersemester 2014/15 kontinuierlich an. Zuletzt wurden 2018 zum Wintersemester 451 Studierende immatrikuliert (vgl. FU Berlin, 2019a). Trotz dieser Entwicklung gehen die Modellrechnungen der Kultusministerkonferenz davon aus, dass „in den ostdeutschen Ländern [inkl. Berlin] […] sich über den gesamten Zeitraum [2018-2030] eine massive Unterdeckung von Lehrkräften des Primarbereichs […] zeigt." (KMK, 2018, S. 16). So fehlen im Land Berlin bis ins Jahr 2030 jährlich mindestens 350 Absolvent*innen des Grundschullehramts (KMK, 2018, Anlage S. 23).

Es kann davon ausgegangen werden, dass sich durch die deutliche Erhöhung der Studierendenzahlen neue Personen(gruppen), die bislang z.B. aufgrund von Auswahlkriterien nicht zugelassen wurden, immatrikulieren. So zeigt sich beispielsweise, dass sich der NC von 1,6 im Studienjahr 2013/14 auf 2,4[1] im Studienjahr 2018/2019 veränderte (FU Berlin, 2019b). Des Weiteren stellt sich die Frage, inwiefern die durch den Lehrer*innenmangel verursachte „Einstellungsgarantie" verbunden mit der kürzlich in Berlin erfolgten Angleichung der Gehälter an diejenigen für die Lehrämter der Sekundarstufe dazu führt, vermehrt Personen mit stärkeren extrinsischen Motivlagen anzuziehen. Welche Auswirkungen solche Entwicklungen ggf. haben und welche Folgen dies auch für die universitäre Lehre haben könnte, soll im Rahmen dieser Studie in den kommenden Jahren untersucht werden.

Die Studie ist als Längsschnitt über zwei gesamte Studierendengenerationen geplant und erstreckt sich über sechs Jahre. Im Rahmen dieses Artikels wird über die deskriptiven Ergebnisse der ersten Befragung berichtet.

[1] jeweils Auswahlgrenze (NC) der Quote „Leistung"

## 2. Theoretischer Hintergrund und Forschungslage

Für die Erforschung der Lehrer*innenaus- und Fortbildung hat in den letzten Jahren das Modell *professioneller Handlungskompetenz von Lehrkräften* (Baumert & Kunter, 2006) großen Einfluss gehabt. Dabei werden die Bereiche *Professionswissen, selbstregulative Fähigkeiten, motivationale Orientierungen* und *Überzeugungen/Werthaltungen* unterschieden (a.a.O., S. 482). Innerhalb unserer Studie stehen ausgewählte Konstrukte der beiden letztgenannten Bereiche im Fokus.

*Überzeugungen / Werthaltungen* werden ihrerseits in *Wertbindungen, epistemologische Überzeugungen, subjektive Theorien über das Lehren und Lernen* und *Zielsysteme für Curricula und Unterricht* unterteilt (a.a.O., S. 499). Als weitverbreitete subjektive Theorie über Lehren und Lernen (z. B. Dubberke, Kunter, McElvany, Brunner & Baumert, 2008) werden hier transmissive lerntheoretische Überzeugungen untersucht, die „Lernen vornehmlich als lehrergeleitete Vermittlung und übendes Wiederholen […]“ verstehen (Dubberke et al., 2008, S. 195). Die Höhe der Ausprägung der transmissiven lerntheoretischen Überzeugungen der Lehrkräfte erwies sich als prädiktiv für die Gestaltung des Unterrichts und die Leistungen der Schüler*innen. So stellen Lehrkräfte mit ausgeprägten transmissiven lerntheoretischen Überzeugungen „weniger herausfordernde und zur aktiven Auseinandersetzung mit den Lerngegenständen auffordernde Lerngelegenheiten […] und [gehen] gleichzeitig eher fehlervermeidend als konstruktiv unterstützend vor […] [D]as geringe kognitive Aktivierungsniveau erwies sich als nachteilig für den Lernerfolg der Schülerinnen und Schüler“ (a.a.O., S. 203).

Überdies ist in diesem Bereich die Frage relevant, ob Lehrkräfte eher offene oder geschlossene Lehr-Lern-Arrangements bevorzugen bzw. an deren Wirksamkeit für das Lernen glauben. Diese gemäß Wahl, Weinert & Huber (2007) als präferierte Lernsteuerung zu bezeichnende Einstellung umfasst darüberhinausgehend auch, inwieweit Lehrkräfte Verantwortung für die Leistungen ihrer Schüler*innen übernehmen. Eine Metaanalyse (Giaconia & Hedges, 1982) konnte keine Effekte offener Unterrichtsformen auf die Lernleistung der Schüler*innen nachweisen, jedoch zeigte sich dort, „dass geöffnete Unterrichtsformen nicht-kognitive Aspekte wie Kreativität, Selbstständigkeit, Kooperationsfähigkeit und Hilfsbereitschaft sowie die Einstellung gegenüber der Schule etwas stärker fördern als der ‚traditionelle‘ Unterricht“ (Hess & Lipowsky, 2017, S. 26).

Der Bereich *Motivationale Orientierungen* im Modell von Baumert und Kunter umfasst *Kontrollüberzeugungen und Selbstwirksamkeitserwartungen* sowie *intrinsische motivationale Orientierungen: Lehrer[*innen]enthusiamus* (Baumert & Kunter 2006, S. 502). Die Lehrer*innenselbstwirksamkeitserwartung (L-SWE) ist definiert als „the teacher's belief in his or her capability to organize and execute courses of action required to successfully accomplish a specific teaching task in a particular context” (Tschannen-Moran, Hoy & Hoy, 1998, S. 233). Eine hohe L-SWE geht typischerweise mit signifikant höheren Leistungen der Schüler*innen einher (vgl. Tschannen-Moran et al., 1998, S. 215).

Die Motivation von Lehrer*innen kann einerseits intrinsische Faktoren beinhalten, „weil die Tätigkeit selbst, im Studium bzw. im dadurch angestrebten Beruf, als spannend, interessant oder herausfordernd eingeschätzt wird.“ (Künsting & Lipowsky 2011, S. 106) Andererseits können auch extrinsische Faktoren eine Rolle spielen, wenn die Absicht besteht durch den (angestrebten) Lehrer*innenberuf „positive Folgen außerhalb der Kerntätigkeit herbeizuführen (z. B. die erwartete spätere berufliche Absicherung) oder negative Folgen zu vermeiden (z. B. ein befürchteter Misserfolg in anderen Studiengängen)“ (ebd.).

Die Motivation von Lehramtsstudierenden wurde bereits in verschiedenen Studien untersucht. Durchgängig zeigt sich dabei das Bild einer ausgeprägten intrinsischen Motivation. So geben Lehramtsstudierende allgemein besonders häufig den Wunsch an, mit Kindern und Jugendlichen zu arbeiten (König et al., 2013, S. 568; Trojer 2018, S. 122)**.** Daneben spielen auch eine wahrgenommene eigene Lehrbefähigung und der Wunsch, etwas für die Gesellschaft zu leisten, eine Rolle (König et al., 2013, S. 568). Darüber hinaus werden als Gründe für die Studienwahl beispielsweise aber auch die berufliche Sicherheit und die Vereinbarkeit von Beruf und Familie genannt (ebd.). Verglichen mit anderen Berufsfeldern zeigen Lehramtsstudierende unterdurchschnittlich wenig karriere-, erfolgs- und leistungsorientierte Berufsziele (Willich et al., 2011, S. 320). Insgesamt zeichnen sich Grundschulpädagogik Studierende durch eine hohe intrinsische Motivation, die nochmals stärker ausgeprägt als im Durchschnitt der Lehrämter ist, aus (Boeger, 2016, S. 76). Gleichzeitig werden aber auch verstärkt extrinsische Motive deutlich (ebd.). Im internationalen Vergleich zeigen sich ähnliche Beweggründe für diese Berufs- bzw. Studienwahl, wenn sich auch die Ausprägung der extrinsischen Motive im jeweiligen soziokulturellen Umfeld unterscheidet (Watt & Richardson, 2015, S. 65).

Die längerfristigen Auswirkungen der verschiedenen Motivlagen sind bislang nur unzureichend untersucht (a.a.O., S. 66). Es deutet sich aber an, dass insbesondere die Wahl des Berufs als „Fallback-“Lösung oder aufgrund sozialer Einflüsse (z. B. Rat von Eltern und Freunden) negative Auswirkungen auf das Lehrer*innenverhalten in den ersten Berufsjahren hat. Umgekehrt zeigen der Wunsch der Arbeit mit Kindern und Jugendlichen sowie eine berufsbezogene intrinsische Motivation positive Einflüsse (ebd.). Gleichzeitig

können aber „allzu einseitige oder idealistische Erwartungen Gefahr laufen, in der Berufsrealität enttäuscht zu werden“ (Rothland & Terhard, 2009, S. 794)

## 3. Fragestellungen

Ausgehend von dieser Theorie- und Forschungslage sollen die folgenden Fragestellungen hier untersucht werden:

1. Welche Art der Studienmotivation zeigen die Grundschulpädagogik Studierenden zu Beginn des Studiums?
2. Welche Art der Lernsteuerung präferieren die Grundschulpädagogik-Studierenden zu Beginn des Studiums?
3. Inwiefern zeigen die Grundschulpädagogik-Studierenden zu Beginn des Studiums ein transmissives Lernverständnis?
4. Wie ist die Lehrer*innenselbstwirksamkeitserwartung bei Grundschulpädagogik-Studierenden zu Beginn des Studiums ausgeprägt?

## 4. Studiendesign und Testinstrumente

Die Studie ist als Kohorten-Studie im Längsschnitt geplant und soll zwei Studienkohorten vom erste Bachelorsemester bis zum Ende ihres Masterstudiums untersuchen. Die in diesem Artikel dargestellten Konstrukte werden zu Beginn und Ende des Bachelorstudiums und am Ende des Masterstudiums erhoben. Dabei kommen folgende Instrumente als Online-Fragebögen zum Einsatz (jeweils Beispielitems):

- FEMOLA-Skalen zur **Studienmotivation** (Pohlmann & Möller, 2010): „Ich habe das Lehramtsstudiums gewählt, weil…“
    - „…ich als Lehrer/in gut verdiene“ (Nützlichkeit)
    - „…ich gern mit Kindern und Jugendlichen arbeite.“ (Pädagogik)
    - „…mir in der Familie nahegelegt wurde, das Lehramtsstudium aufzunehmen.“ (soziale Einflüsse)
    - „…das Studium nicht so anstrengend ist“ (geringe Schwierigkeit)
    - „…ich die Inhalte des Fachs Sachunterricht interessant finde.“ (Fachinteresse)
- Skalen zur **präferierte Lernsteuerung (**Hesse & Latzko, 2009, S. 183**)**
    - Geschlossen: „Der Unterricht würde so verlaufen, wie ich ihn geplant habe.“
    - Offen: „Die Ideen, Einfälle und Wünsche meiner Schüler*innen würden meinen Unterricht beeinflussen.“
- **Skalen zum transmissiven Lernverständnis** (Baumert, 2009, zitiert nach Kunter et al., 2013, S. 73)
    - „Schüler*innen lernen am besten, indem sie den Erklärungen der Lehrkraft folgen.“
- **Skalen zur Lehrer*innen-Selbstwirksamkeitserwartung** (L-SWE, Pfitzner-Eden, 2015): Ich könnte…
    - „…eine alternative Erklärung oder ein anderes Beispiel finden, wenn Schüler*innen etwas nicht verstehen.“ (Instruktion)
    - „...störendes Verhalten im Unterricht kontrollieren.“ (Klassenführung)
    - „…Schüler*innen, die wenig Interesse am Unterricht haben, motivieren. (Motivierung)

Zusätzlich werden passend zu den jeweiligen Interventionen (z. B. in Seminaren des Sachunterrichts-Studiums) Skalen zum Selbstkonzept eingesetzt.

## 5. Beschreibung der Stichprobe

Die erste Befragung fand mittels Paper-and-Pencil-Test sowie Online-Befragungen im Rahmen der Seminare des ersten Studiensemesters statt. Es wurden 275 Studierende befragt, deren Altersdurchschnitt bei 23,31(6,32) Jahren lag. Die Befragten verteilten sich gleichmäßig auf die an der Freien Universität Berlin wählbaren Schwerpunkte Sachunterricht & Naturwissenschaften bzw. Sachunterricht & Gesellschaftswissenschaften. Die durchschnittliche Abiturnote lag bei 2,32(0,48), Median 2,4.

## 6. Ergebnisse

Sämtliche Ergebnisse sind auf einer 6-stufigen Likertskala von 1 – *trifft überhaupt nicht zu* bis 6 – *trifft völlig zu* dargestellt.

Auf den beiden Skalen zur intrinsischen Motivation des FEMOLA-Instruments (Pädagogik und Fach) werden hohe Zustimmungswerte erreicht, wobei die Zustimmung auf der Skala Pädagogik noch etwas höher ausfällt (M = 5.37(0.82) und M = 5.06(0.78)). Die Ergebnisse der drei Skalen zu extrinsischen Motiven der Studienwahl zeigen ein differenzierteres Bild: Während sich die Ausprägungen der Aspekte *Nützlichkeit* und *soziale Einflüsse* im mittleren Bereich bzw. leicht darüber bewegen (M = 4.03(1.05) bzw. M = 3.27(1.32)), wird das Motiv der „geringen

Schwierigkeit“ größtenteils abgelehnt (M = 2.03(1.00)).

Das Merkmal „präferierte Lernsteuerung – offen“ ist sehr hoch und homogen ausgeprägt (M = 5.19(0.60)), das der geschlossenen Lernsteuerung ebenfalls, wenn auch in geringerem Maße (M = 4.18(0.67)).

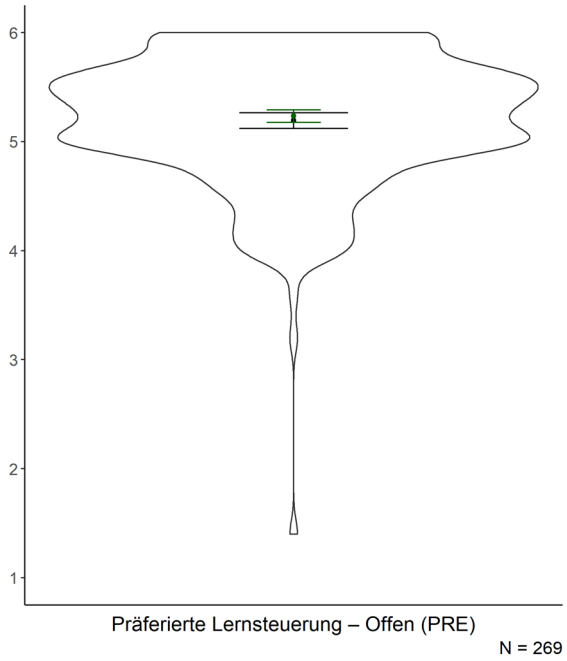



**Abb.1:** Ausprägung der Zustimmung zur Skala „präferierte Lernsteuerung – offen“ und Vergleich mit einer Kohorte des 4.-5. Semesters (grün).

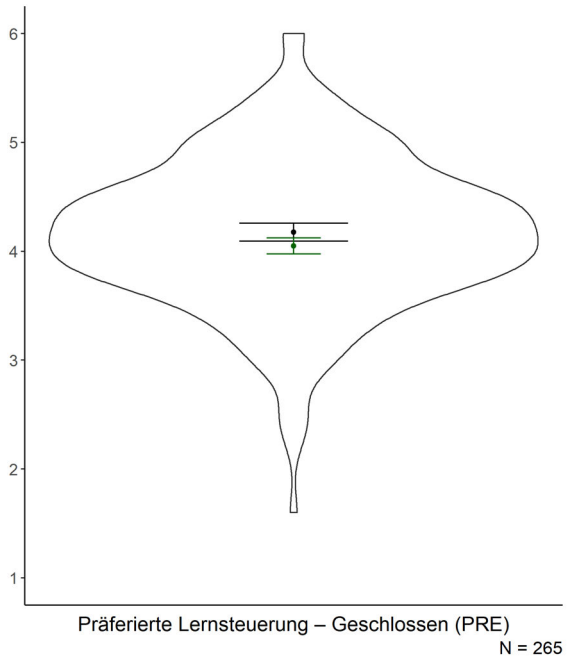



**Abb.2:** Ausprägung der Zustimmung zur Skala „präferierte Lernsteuerung – geschlossen“ und Vergleich mit einer Kohorte des 4.-5. Semesters (grün)

Der Vergleich mit einer im 4.-5. Semester befragten Kohorte an der Freien Universität Berlin (Klempin et al., eingereicht) zeigt keine messbaren oder bedeutsamen Veränderungen (siehe Abb. 1 und 2).

Die Ausprägung des Merkmals „transmissive Lernsicht“ liegt leicht über der Skalenmitte (M = 4.03(0.88)). Der Vergleich mit der Kohorte des 4.-5. Semester (s.o.) zeigt, dass in höheren Semestern die Ausprägung dieses Konstrukts abzunehmen scheint (siehe Abb. 3).

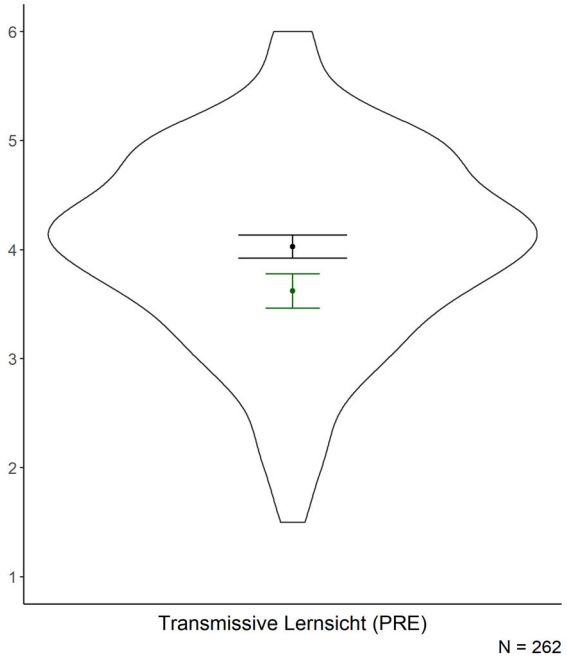



**Abb.3:** Ausprägung der Zustimmung zur Skala „transmissive Lernsicht“ und Vergleich mit einer Kohorte des 4.-5. Semesters (grün).

Die allgemeine L-SWE ist eher hoch ausprägt. Die Skala „L-SWE-Instruktion“ erreicht M = 4.70(0.76), die Skala „L-SWE Klassenführung“ erreicht M = 4.56(0.94) und „L-SWE Motivierung“ erreicht M = 4.92(0.73).

Die Ausprägung des Selbstkonzepts im Fach Sachunterricht liegt mit M = 3.83(0.66) im mittleren Bereich.

## 7. Diskussion

Die Ergebnisse der Skalen zur Studienmotivation mit einem intrinsischen Fokus (pädagogisches und fachliches Interesse) deuten beide auf eine hohe intrinsische Studienmotivation der Studierenden hin. Das pädagogische Interesse ist im Vergleich zum Fachinteresse noch etwas höher ausgeprägt. Auch das erhobene extrinsische Interesse ist in den Bereichen „Nützlichkeit“ und „soziale Einflüsse“ eher höher ausgeprägt, wenngleich die Ausprägung deutlich niedriger als beim intrinsischen Interesse ausfällt. Lediglich zum Motiv der geringen Schwierigkeit des Studiums als ein Aspekt der extrinsischen Motivation

zeigt sich eine deutlich ablehnende Haltung. Insgesamt deuten die Ergebnisse zur Studienmotivation auf eine hohe intrinsische Motivation, die von etwas schwächer ausgeprägten extrinsischen Motiven begleitet wird. Damit werden die Ergebnisse, die schon Boeger (2016, S. 76) gefunden hat, widergespiegelt: Demzufolge zeigt auch die durch die Erhöhung der Studierendenzahlen deutlich vergrößerte Kohorte (vgl. Einleitung) eine hohe intrinsische Motivation. Gleichzeitig werden die berufsbezogenen Vorteile, die ein Lehramt mit sich bringt, anscheinend aber auch positiv eingeschätzt.

Der Großteil der Studierenden präferiert eine offene Lernsteuerung. Gleichzeitig stimmt aber auch eine Mehrheit der geschlossenen Lernsteuerung zu. Dieser scheinbare Widerspruch wirkt resistent und zeigt sich auch im höheren Semestern. Spannend wird hier die Beobachtung möglicher Veränderungen im Laufe des eher auf offenen Unterricht fokussierenden Grundschulpädagogik-Studiums sein.

Die transmissiven lerntheoretischen Überzeugungen der Studierenden liegen leicht über der Skalenmitte. Im Verlauf des Studiums nimmt diese gemäß Quasi-Längsschnitt leicht ab. Demnach scheint sich die konstruktivistische Sicht auf Lehren und Lernen, die in allen Sachunterrichtsseminaren thematisiert wird, langsam durchzusetzen.

Die L-SWE ist in allen drei untersuchten Bereichen etwa gleich im mittleren Bereich ausgeprägt, auch hier werden Entwicklungen während des Studiums einen spannenden Einblick in mögliche Wirkungen der Studienmodule geben können.

Aktuell wird mit den vorliegenden Daten eine Typisierung der Grundschullehramtsstudierenden angestrebt, wie sie Trojer (2018) bereits für allgemeine Lehramtsstudierende vorgenommen hat. Mittels PAM-Clusteranalyse (Reynolds et al., 2006) werden so spezielle Studierendengruppen identifiziert, deren Entwicklung neue Erkenntnisse für die Grundlagenforschung zu Grundschullehramtsstudierenden und nützliche Hinweise für eine Anpassung der universitären Lehre an neue Studierendenkohorten bringen kann.

Die hier vorgestellten Ergebnisse sind nur der erste Teil einer längsschnittlichen Erhebung, die zwei Kohorten über ihre gesamte Studienzeit von fünf Jahren begleiten soll. Sobald mehrere Messzeitpunkte vorliegen, sollen die Messungen zudem mittels latenter Wachtumskurvenmodelle untersucht werden, um messfehlerbereinigte Schätzungen der Entwicklungsverläufe anstellen zu können.

## 8. Literatur


Baumert, J. & Kunter, M. (2006). Stichwort: Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. In: *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft* 9 (4), 469–520.

Baumert, J., Blum, W., Brunner, M., Dubberke, T., Jordan, A., Klusmann, U. et al. (2009). Professionswissen von Lehrkräften, kognitiv aktivierender Mathematikunterricht und die Entwicklung von mathematischer Kompetenz (COACTIV). Dokumentation der Erhebungsinstrumente. (Materialien aus der Bildungsforschung. 83). Berlin: Max-Planck-Institut für Bildungsforschung.

Boeger, A. (2016). Risikomerkmale und Erfolgsprädiktoren des Lehramtsstudiums: Ergebnisse einer Erstsemesterbefragung. In A. Boeger (Hrsg.), *Eignung für den Lehrerberuf,* Bd. 21. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 59–90.

Dubberke, T., Kunter, M., McElvany, N., Brunner, M., & Baumert, J. (2008). Lerntheoretische Überzeugungen von Mathematiklehrkräften. Einflüsse auf die Unterrichtsgestaltung und den Lernerfolg von Schülerinnen und Schülern. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 22, 193-206.

Freie Universität Berlin [FU Berlin] (2019a). *Studierende nach Studienfach, Abschlussziel und Fachsemester.* Zugriff am 16.05.2019. Verfügbar unter https://www.fu-berlin.de/studium/studienorganisation/immatrikulation/weitere-angebote/statistik/daten/WiSe1819_Stg_Abschl_Sem_Stand_Dez_2018.pdf

Freie Universität Berlin [FU Berlin] (2019b). *NC-Tabelle für Studiengänge mit dem Abschlussziel Bachelor oder Staatsexamen.* Zugriff am 16.05.2019. Verfügbar unter https://www.fu-berlin.de/studium/docs/DOC/ncliste_staatsexamen_und_monobachelor.pdf

Giaconia, R. M. & Hedges, L. V. (1982). Identifying Features of Effective Open Education. *Review of Educational Research*, *52*(4), 579–602.

Hess, M. & Lipowsky, F. (2017). Lernen individualisieren und Unterrichtsqualität verbessern. In F. Heinzel & K. Koch (Hrsg.), *Individualisierung im Grundschulunterricht* (S. 23–31). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.

Hesse, I. & Latzko, B. (2009). *Diagnostik für Lehrkräfte*. Opladen: Barbara Budrich.

Klempin, C., Rehfeldt, D., Seibert, D., Brämer, M., Köster, H., Lücke, M. et al. (eingereicht). Prävention des Praxisschocks über Komplexitätsreduktion: Das Lehr-Lern-Labor-Seminar (LLLS) als theoriegestützte Praxiserfahrung für angehende Lehrende vierer Fachdidaktiken. *Unterrichtwissenschaft*.

König, J., Rothland, M., Darge, K., Lünnemann, M., Tachtsoglou, S. (2013). Erfassung und Struktur berufswahlrelevanter Faktoren für die Lehrerausbildung und den Lehrerberuf in Deutschland, Österreich und der Schweiz. In *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft.* 16(3), 553–577.

Kultusministerkonferenz [KMK]. (2018). Lehrereinstellungsbedarf und –angebot in der Bundesrepublik Deutschland 2018-2030. Zusammengefasste Modellrechnungen der Länder. Zugriff am 16.05.2019. Verfügbar unter https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/pdf/Statistik/Dokumentationen/Dok_216_Bericht_LEB_LEA_2018.pdf

Künsting, J. & Lipowsky, F. (2011). Studienwahlmotivation und Persönlichkeitseigenschaften als Prädiktoren für Zufriedenheit und Strategienutzung im Lehramtsstudium. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 25(2), 105–114.

Kunter, M., Linninger, C., Schulze-Stocker, F., Kunina-Habenicht, O. & Lohse-Bossenz, H. (2013). Evaluation des reformierten Vorbereitungsdienstes in Nordrhein-Westfalen – Bericht an das Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen. Frankfurt am Main: Johann-Wolfgang-Goethe-Universität Frankfurt.

Pfitzner-Eden, F. (2015). Evaluation of a teacher preparation program using the development of teacher self-efficacy as an outcome - a longitudinal study. Berlin: Dissertation am Fachbereich Erziehungswissenschaft und Psychologie der Freien Universität Berlin.

Pohlmann, B., & Möller, J. (2010). Fragebogen zur Erfassung der Motivation für die Wahl des Lehramtsstudiums (FEMOLA). *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 24(1), 73.

Rothland, M. & Terhart, E. (2010). Forschung zum Lehrerberuf. In R. Tippelt & B. Schmidt (Hrsg.), *Handbuch Bildungsforschung* (S. 791–810). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.

Reynolds, A. P., Richards, G., de la Iglesia, B. & Rayward-Smith, V. J. (2006). Clustering Rules: A Comparison of Partitioning and Hierarchical Clustering Algorithms. *Journal of Mathematical Modelling and Algorithms*, 5(4), 475–504.

Trojer, P. (2018). *Wer wird Lehrer/Lehrerin? Konzepte der Berufswahl und Befunde zur Entwicklung des Berufswunsches Lehrer/in und ihre Bedeutung für das Studium.* Bad Heilbrunn: Verlag Julius Klinkhardt.

Tschannen-Moran, M., Hoy, A. W., & Hoy, W. K. (1998). Teacher efficacy: Its meaning and measure. *Review of educational research*, 68(2), 202-248.

Wahl, D., Weinert, F. E. & Huber, G. L. (2007). *Psychologie für die Schulpraxis: ein handlungsorientiertes Lehrbuch für Lehrer* (7. Aufl.). München: Kösel.

Watt, H. M.G. & Richardson, P. W. (2015). Teacher Motivation. In *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences* (S. 64–71). Amsterdam: Elsevier.

Willich, J., Buck, D., Heine, C. & Sommer, D. (2011). *Studienanfänger im Wintersemester 2009/2010. Wege zum Studium- Studien- und Hochschulwahl, Situation bei Studienbeginn* (Forum Hochschule, 6). Hannover: HIS. Zugriff am 10.05.2019. Verfügbar unter https://www.dzhw.eu/pdf/pub_fh/fh-201106.pdf

# Entwicklungsprojekt: „Experimentelle Methoden der Naturwissenschaften ganzheitlich begreifen und vermitteln“

**Jana Tampe*, Verena Spatz***

* Didaktik der Physik, Technische Universität Darmstadt, Hochschulstraße 12, 64289 Darmstadt
jana.tampe@physik.tu-darmstadt.de, verena.spatz@physik.tu-darmstadt.de

**Kurzfassung**

Im Rahmen des Projekts MINTplus$^2$ an der Technischen Universität Darmstadt wird ein neues Modul entwickelt, das sich gezielt an Studierende mit mindestens einem naturwissenschaftlichen Fach (Biologie, Chemie, Physik) richtet. Obwohl diese drei Fächer eng über die vier gemeinsamen Kompetenzbereiche der KMK-Bildungsstandards miteinander verknüpft sind, lernen die Studierenden die naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung und Arbeitsweise in der Regel aus einer rein fachspezifischen Perspektive kennen. Das neue Modul wird den Studierenden ermöglichen, in einem Seminar gemeinsam didaktische und methodische Aspekte der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung zu erarbeiten und diese in einem praktischen Schulprojekt zu erproben. In diesem Beitrag werden erstmals die Ziele des Moduls ausgehend von Projekt MINTplus$^2$ vorgestellt. Außerdem gibt der Artikel einen kurzen Überblick über die geplante Modulstruktur und die angestrebte Evaluation des Erstdurchlaufs.

## 1. Das Projekt MINTplus$^2$

Das Projekt MINTplus$^2$ „Systematischer und vernetzter Kompetenzaufbau in der Lehrerbildung im Umgang mit Digitalisierung und Heterogenität“ steht in Kontinuität mit dem Vorgängerprojekt MINT$^{plus}$ „Systematischer und vernetzter Kompetenzaufbau im Lehramtsstudium“ für die MINT-spezifische Lehramtsausbildung an der Technischen Universität Darmstadt.

Kernpunkt des Projekts MINT$^{plus}$ war die Entwicklung eines MINT-spezifischen Studiengangs für Studierende das Gymnasiallehramts, in diesem Rahmen fand auch die Neuorganisation des Studiengangs für Berufsschullehrende statt. Besonders an diesem neuen Studiengang ist vor allem ein verpflichtender Vernetzungsbereich, der insgesamt über zwanzig Leistungspunkte verfügt. Wie in Abb. 1 dargestellt fungiert er als verbindendes Element zwischen den Grundwissenschaften und den beiden Fächern. Dabei sollen allerdings nicht nur Vertiefungen und Bezüge im Rahmen der eigenen Fächer möglich sein. Im Gegenteil ist es sogar eine der drei Zieldimensionen, den eigenen Horizont auch bezüglich anderer Unterrichtsfächer zu erweitern [1].

Neben der „Horizonterweiterung“ sind die „inhaltliche Vernetzung“ und die „soziale Vernetzung“ als Zieldimensionen des Vernetzungsbereiches zu nennen, die durch den Fachbereich Psychologie in einem Paper-Pencil-Test mit 30 Items erfasst und ausgewertet wird. Zur Korrelation mit den Items der Zieldimensionen wurden außerdem Items zur Relevanz bestimmter Aspekte im Studium (z. B. Lehrqualität, Praxisbezug, Interdisziplinarität) sowie zur Extraversion und Offenheit eingepflegt [2].

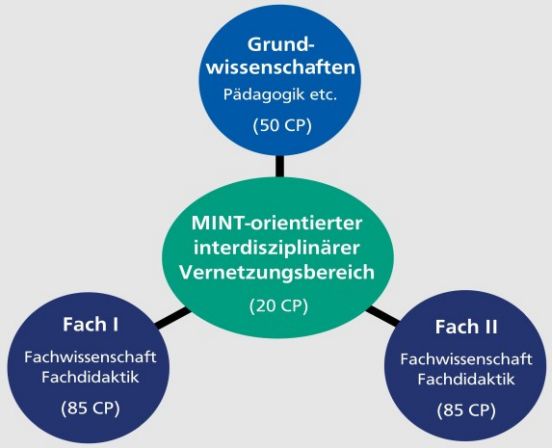



**Abb. 1:** Vernetzungsbereich als verknüpfendes Element des neuen MINT-Lehramtsstudiums

Diese Gesamtbefragung wird mit der Evaluation der einzelnen Module gekoppelt, um eine Aussage darüber machen zu können, inwieweit der Vernetzungsbereich die angestrebten Kompetenzziele erreicht. Die Evaluation des hier fokussierten Moduls „Experimentelle Methoden der Naturwissenschaften“ erfolgt nach dem Desing-Based-Research-Ansatz [3]. Mithilfe von Theorie und einer Vorstudie im kommenden Sommersemester wird das Design des Moduls erarbeitet. Beginnend mit der Pilotierung im folgenden Wintersemester, deren Planung in Kapitel 4 detaillierter dargelegt wird, erfolgt die erste Implementierung und Analyse. In den darauffolgenden Semestern wird, wie in Abb. 2 dargestellt, das Seminar über mehrere Durchläufe und Evaluationen weiterentwickelt und gezielt verbessert.

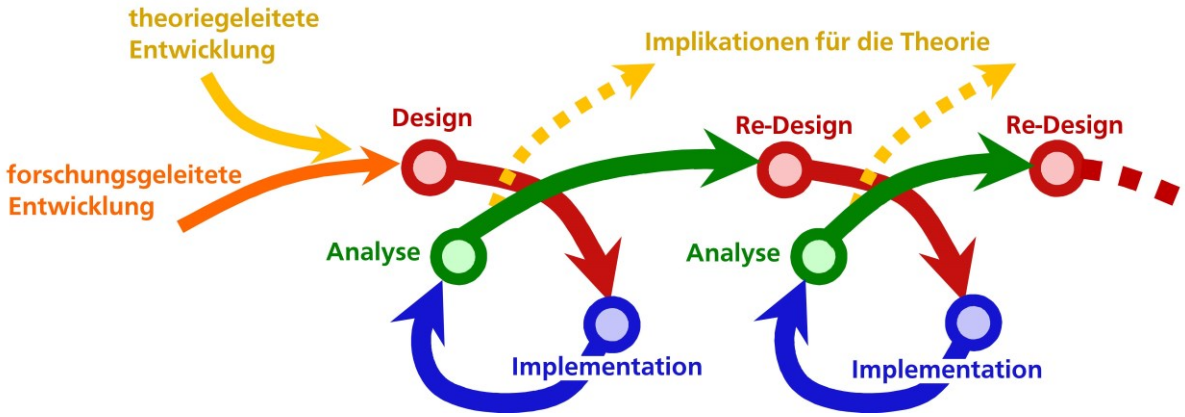



**Abb. 2**: Design-Based-Research-Ansatz [4]

## 2. Zielsetzung des neuen Moduls

Da das Modul Teil des Vernetzungsbereichs ist, ist es wichtig, dass bei der Konzeption des Moduls die bereits in Kapitel 1 angesprochenen Zieldimensionen bzw. Kompetenzziele berücksichtigt werden. Gleichzeitig werden spezielle Modulziele festgelegt, die das Modul innerhalb des Vernetzungsbereichs profilieren sollen, um den besonderen Beitrag des einzelnen Moduls zum Vernetzungsbereich zu beschreiben. Beide Aspekte, die Ziele des Vernetzungsbereichs und die speziellen Modulziele, sind in den nächsten beiden Abschnitten dargestellt.

### 2.1. Ziele des Vernetzungsbereichs

Als Ausgangspunkt für die Konzeption des Vernetzungsbereichs kann die Forderung des Nationalen MINT Forums genannt werden: „Fachwissenschaft, Fachdidaktik und Erziehungswissenschaft müssen verzahnt werden und das Lehramtsstudium gemeinsam gestalten und verantworten." [5] Dementsprechend besteht die Arbeitsgruppe, die sich konkret mit dem Vernetzungsbereich beschäftigt, aus Professoren und Wissenschaftlichen Mitarbeitern sowohl aus den Erziehungswissenschaften als auch aus den Fachwissenschaften und Fachdidaktiken. Gleichzeitig sind die Fachrichtungen Pädagogik, Mathematik, Physik, Informatik, Geschichte, Philosophie, Germanistik und Sport vertreten. Somit wurden die Kompetenzziele von einem interdisziplinären Expertengremium festgelegt. Diese Arbeitsgruppe dient jedoch nicht nur einmalig der Festlegung der Ziele, sondern besteht weiterhin in ständigem Austausch und regelmäßigen Treffen, um die einzelnen Module gezielt weiter aufeinander abzustimmen und zu verzahnen. Beispielsweise ist in der aktuellen Konzeption für das Modul „Experimentelle Methoden der Naturwissenschaften" ein Expertenbesuch der Germanisten vorgesehen, in dem die sprachliche Gestaltung von Versuchsanleitungen oder auch Protokollen fokussiert werden soll. So erfahren die Studierenden aus einer zusätzlichen Perspektive, wie sprachsensibler naturwissenschaftlicher Unterricht [6] gestaltet werden kann.

Das eben genannte Beispiel macht deutlich, wie die Zieldimension der „Horizonterweiterung" durch gegenseitige Expertenbesuche in den Veranstaltungen des Vernetzungsbereiches erfüllt werden kann. Doch auch die Tatsache, dass alle Module zwar interdisziplinär, aber doch im Kern von einem bestimmten Fachbereich konzipiert sind, gibt den Studierenden die Möglichkeit, im Wahlpflichtbereich auch fachfremde Schwerpunkte auszuwählen, um Perspektiven über die eigenen Fächer hinaus kennenzulernen.

Die zweite Zieldimension der „inhaltlichen Vernetzung" bezieht sich vor allem auf die vielfältigen Bezüge der Module zu Naturwissenschafts- und Technikinhalten [7], die im Rahmen der Schwerpunktsetzung MINT immer wieder angestrebt werden. Hinter dem Zusatz „plus" verbirgt sich jedoch auch die Erweiterung um eine geistes- und sprachwissenschaftliche Perspektive. „Inhaltliche Vernetzung" bedeutet dabei jedoch keinesfalls inhaltliche Dopplung, darauf wurde und wird durch den ständigen Austausch innerhalb der Arbeitsgruppe Vernetzungsbereich geachtet. Konkret wurde sich daher auf folgendes Vorgehen bei der Entwicklung eines neuen Moduls geeinigt: Die Idee für ein Modul stammt in der Regel von einem konkreten Fachbereich, der zunächst eine Grobstruktur für das Modul erarbeitet. Anschließend wird diese im Rahmen eines Treffens der Arbeitsgruppe Vernetzungsbereich vorgestellt und im Plenum diskutiert, an welchen Stellen sinnvollerweise Aspekte aus anderen Fachbereichen eine Rolle spielen könnten, um den interdisziplinären Charakter zu stärken. Anschließend finden nochmals zweiseitige Expertengespräche mit Vertretern eines jeden Fachbereichs statt, um die Vernetzungsideen im Detail genauer auszuarbeiten. Auf diesem Wege konnten für das Modul „Experimentelle Methoden der Naturwissenschaften" bereits Bezüge zu Germanistik, Sport und Philosophie herausgearbeitet werden.

Im Rahmen der „inhaltlichen Vernetzung" wurden auch gemeinsame Kompetenzziele festgelegt. Angelehnt an die „Ländergemeinsamen inhaltlichen Anforderungen für die Fachwissenschaften und Fachdidaktiken in der Lehrerbildung" in der Fassung von 2015 wurden insbesondere die folgenden zentralen Ideen als Schwerpunkt für den Vernetzungsbereich formuliert: „Vertrautheit mit grundlegenden Arbeits- und Erkenntnismethoden wie Konstruieren, Experimentieren, Beweisen sowie empirischen Methoden",

„Fähigkeit zur Erfassung, Strukturierung und Bewertung von Sachverhalten“ und die „mündliche und schriftliche Ausdrucksfähigkeit“ [1]. In den Modulen des Wahlpflichtbereichs, zu denen das Modul „Experimentelle Methoden der Naturwissenschaften“ gehört, soll zudem explizit mindestens eine der vier folgenden Kompetenzen gefördert werden: „fachübergreifende Methodenkompetenz“, „Medien- und Informationskompetenz“, „berufsfeldbezogene Kompetenz“ sowie „interdisziplinäre Vernetzung“ [1]. Das Modul „Experimentelle Methoden“ wird insbesondere die Weiterentwicklung der Studierenden bezüglich der erst- und der beiden letztgenannten Kompetenzfacetten in den Mittelpunkt stellen. Dies wird im folgenden Abschnitt genauer erläutert.

### 2.2. **Konkrete Ziele des Moduls**

Die „interdisziplinäre Vernetzung“ erfolgt innerhalb dieses Moduls spezifisch zwischen den drei Naturwissenschaften Biologie, Chemie und Physik. Auch wenn im Sinne des Vernetzungsbereichs auch Bezüge zur Sprachwissenschaften (z. B. sprachliche Hindernisse in Versuchsanleitungen) oder zur Geisteswissenschaft (historisch-philosophische Wurzeln der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung) hergestellt werden, so steht jedoch die Auseinandersetzung mit dem eigenen naturwissenschaftlichen Fach im Kontext einer ganzheitlichen naturwissenschaftlichen Grundbildung, wie sie beispielsweise durch Scientific Literacy [8] gefordert wird, im Mittelpunkt. Durch das Kennenlernen fachdidaktischer Konzepte von Erkenntnisgewinnung [9, 10, 11, 12] sowie den Austausch und die Reflexion des eigenen bisher erworbenen Wissens und bis dahin gemachter individueller Erfahrungen sollen die Studierenden auf der einen Seite ihre eigene Fachidentität stärken, aber auch auf der anderen Seite einen Zugang zu naturwissenschaftlich-integrierten Ansätzen erhalten [13]. Neben dieser „interdisziplinären Vernetzung“ wird durch den Modulschwerpunkt „Erkenntnisgewinnung“ gleichzeitig die „fachübergreifende Methodenkompetenz“ gefördert. In diesem Rahmen wird nicht nur im Seminar diskutiert, wie bestimmte Facetten der KMK-Kompetenz Erkenntnisgewinnung [14, 15, 16] im Unterricht konkret gefördert werden können. Neben der Nutzung von Modellen wird sowohl in theoretischer als auch praktischer Hinsicht vor allem das Planen, Durchführen und Auswerten von naturwissenschaftlichen Untersuchungen gezielt behandelt. Unter dem Stichwort „Nature of Science“ [17] wird dabei auch darauf eingegangen, inwieweit in der Schule eine adäquate Vorstellung von naturwissenschaftlichen Arbeitsweisen vermittelt werden kann. Mit diesem Methodenwissen sollen die Studierenden selbst Experimentiersettings entwickeln und erproben und somit eine spezifische „berufsfeldbezogene Kompetenz“ weiterentwickeln. Die Erprobung dieser Experimentiersettings erfolgt im Rahmen eines Projekttages an einer Schule. Neben den einzelnen Experimenten muss die Gesamtgruppe mit Unterstützung durch die Modulleitung auch die Rahmenorganisation des Projekttages übernehmen. Dazu gehört beispielsweise die räumliche Organisation, eine gemeinsame Materialplanung, die zeitliche Abstimmung sowie das Finden eines gemeinsamen Mottos, unter dem der Projekttag durchgeführt wird. Auf diese Art und Weise entwickeln die Lehramtsstudierenden auch ihre Fähigkeiten und Fertigkeiten bezüglich der Projektorganisation weiter, die ebenfalls eine wichtige berufsfeldbezogene Kompetenz für Lehramtsstudierende ist.

Anhand der in diesem Abschnitt erläuterten Zielstellungen wurden für die Modulbeschreibung konkret die folgenden Kompetenzziele formuliert:

Die Studierenden können nach dem Modul …

- … fachspezifische und interdisziplinäre Aspekte der Erkenntnisgewinnung beschreiben,
- … beschreiben, welche Rollen das Experiment in Wissenschaft und Unterricht einnimmt,
- … konkrete unterrichtliche Umsetzungsideen zur Förderung des Kompetenzerwerbs im Bereich der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung entwickeln,
- … bezüglich unterschiedlicher Zielstellung begründet Experimentiersettings für Lernende planen und zur Durchführung anleiten,
- … die Wirkung eines Experimentes antizipieren und reflektieren,
- … naturwissenschaftlich-integrierten Projektunterricht mit Experimenten planen, organisieren und durchführen.

**Abb. 3:** Kompetenzziele des Moduls

Auf diesen Kompetenzzielen basiert die Planung der inhaltlichen und methodischen Grobstruktur, die im folgenden Kapitel 3 dargestellt wird. Auf welche Art und Weise das Erreichen der Kompetenzziele erstmals in der Pilotierung evaluiert wird, ist anschließend in Kapitel 4 dargestellt.

## 3. **Geplante Modulstruktur**

Das Modul besteht im Wesentlichen aus drei Phasen, wobei diese eng miteinander verknüpft sind und sich sowohl inhaltlich als auch zeitlich überlappen.

Die erste Phase ist eine Erarbeitungsphase, die in Seminarform stattfindet. Da die Studierenden aus ihren Fächern bereits eine eigene Fachexpertise mitbringen, stehen in methodischer Hinsicht überwiegend kooperative Lernformen im Mittelpunkt, bei denen die Studierenden voneinander lernen und profitieren können. Ergänzt werden diese durch Impulsreferate der Lehrperson und kleine praktische Übungen.

Zu Beginn des Seminars findet eine Ausgangsniveausicherung statt, in der über das Erstellen von Concept Maps geklärt wird, welche Vorstellungen und Konzepte zur naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung die Studierenden bereits mitbringen.

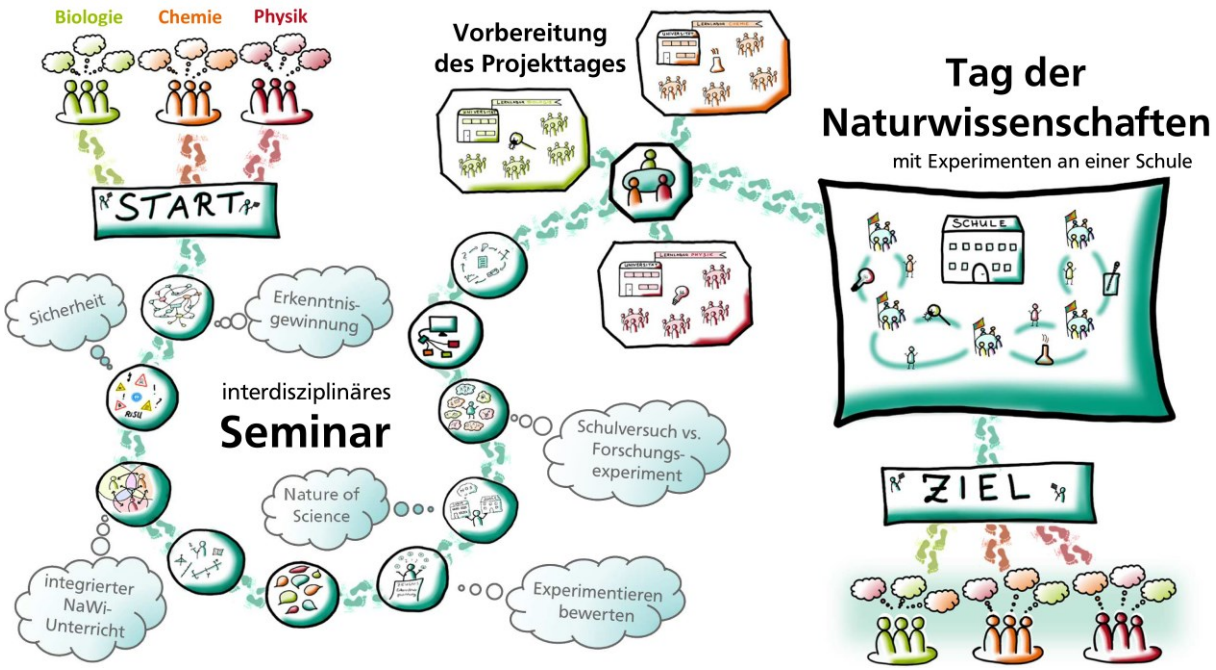



**Abb. 4**: geplante Modulstruktur

Anschließend werden inhaltlich unterschiedliche Facetten der Erkenntnisgewinnung behandelt, von denen einige bereits in Kapitel 2 dargestellt wurden, beispielsweise die unterschiedlichen fachdidaktischen Modelle der Erkenntnisgewinnung [9, 10, 11, 12] oder die Formen des naturwissenschaftlich-integrierten Unterrichts [13]. Auch der Begriff „Nature of Science“ [17] wurde bereits in Kapitel 2 genannt. In diesem Zusammenhang soll vor allem die Rolle von Versuchen im naturwissenschaftlichen Unterricht in Abgrenzung zur Rolle von Experimenten in der naturwissenschaftlichen Forschung diskutiert werden [18], um daraus Konsequenzen für den Unterricht abzuleiten. Im Rahmen des Seminars soll außerdem ein Blick in wichtige Dokumente wie die Bildungsstandards [14, 15, 16] oder die Richtlinie zur Sicherheit im Unterricht [19] geworfen werden. Auch eine Analyse von Schulbüchern und anderen Unterrichtsmaterialien mit Versuchsbeschreibungen ist vorgesehen. Weitere Themenschwerpunkte wie das Kennenlernen von außerschulischen Lernorten für naturwissenschaftlichen Unterricht (z. B. Exkursion in die Lernlabore der TU Darmstadt), Bewertungsmöglichkeiten der Kompetenz „Erkenntnisgewinnung“ [20] oder Möglichkeiten inklusiven experimentellen Unterrichts [21] sind ebenfalls angedacht.

Innerhalb des Seminars wird zudem die zweite Phase des Moduls eingeleitet. Es handelt sich dabei um die Vorbereitung eines interdisziplinären Projekttages, dessen Durchführung und Reflexion die dritte und letzte Phase des Moduls darstellt.

Vorbereitende Elemente, die bereits während des Seminars stattfinden, sind ein einleitender Impulsvortrag zu den Grundlagen der Projektplanung, -organisation und -durchführung [22] durch die Lehrperson. Außerdem erhalten die Studierenden im Seminar alle konkreten Informationen zur Zusammenarbeit mit der Schule sowie die Möglichkeit, Rollen innerhalb der Projektorganisation festzulegen und sich auf ein gemeinsames Rahmenthema zu einigen.

Die konkrete Vorbereitung der experimentellen Stationen findet in Kleingruppenarbeit außerhalb der Seminarzeit statt. Bezüglich Material und Expertenberatung ist eine enge Kooperation mit den Lernlaboren der TU Darmstadt geplant.

Die Durchführung des Projekttages soll für die Studierenden den Höhepunkt des Seminars bilden, an dem sie ihre eigenen Experimentiersettings ausprobieren können. Er dient im Rahmen der Modulkonzeption als „Abschlussprojekt“. Untersuchungen zu Forschendem Lernen im universitären Kontext haben gezeigt, dass sich solche Projekte als motivationsförderlich erweisen [23].

Während des gesamten Moduls, aber insbesondere als Abschluss nach dem Projekttag werden die Studierenden durch gezielte Fragestellungen zur Reflexion angeregt. Diese soll in einem Portfolio dokumentiert werden, dessen abschließende Präsentation gleichzeitig als Lernerfolgsevaluation für das gesamte Modul dient. Auf Grundlage des Portfolios kann für die Studierenden eine Reflexion auf zwei Ebenen stattfinden [23]: Zum einen können die Studierenden inhaltlich ihren Lernprozess reflektieren, zum anderen kann auch die Methodik bezüglich der Planung und Durchführung des eigenen Projekts im Portfolio individuell analysiert werden. Darüber hinaus kann der Reflexionsprozess der Studierenden auch Aufschluss über die Gestaltung der Lehrveranstaltung geben [23], daher wird das Portfolio auch in die Evaluation der Erstdurchführung des Moduls einbezogen, die im folgenden Kapitel dargestellt wird.

## 4. Geplante Evaluation des Pilotdurchgangs

Da es sich um ein von Grund auf neu konzipiertes Modul handelt, soll die Evaluation des Pilotdurchgangs auf rein qualitativer Basis erfolgen, um gezielt Besonderheiten und Verbesserungspotential zu identifizieren. Die Auswertung erfolgt dementsprechend rein explorativ mittels qualitativer Inhaltsanalyse und dokumentarischer Methode [24, 25].

Neben der bereits angesprochenen Analyse der Portfoliobeiträge werden Interviews zu Beginn und Ende der Modulveranstaltung geführt. Einerseits werden zu Beginn der Veranstaltung Erwartungen und zum Ende der Veranstaltung Feedback erfragt, um allgemein Stärken und Schwächen des ersten Moduldurchgangs zu ermitteln und daraus Verbesserungen abzuleiten. Andererseits werden die Studierenden anhand von Vignetten in Form von Experimentiermaterial angeregt, ihre Ideen zur unterrichtlichen Umsetzung zu schildern. Auf diese Art und Weise soll eine Aussage über den Lernfortschritt möglich sein.

Während die Interviews vor allem dazu dienen, das Seminar als Ganzes zu evaluieren, wird die Analyse einzelner Portfolioaufgaben und der One-Minute-Papers, die am Ende jeder Seminarsitzung ausgefüllt werden, dazu genutzt, einzelne Modulelemente gezielt zu verbessern.

Ein weiterer Schwerpunkt der Auswertung liegt auf der Auswertung von Concept Maps, die die Studierenden zu Beginn und zum Ende des Moduls zum Thema „Erkenntnisgewinnung“ erstellen. So soll identifiziert werden, welche Begriffe und Verknüpfungen die Studierenden zum Beginn und zum Ende des Moduls in ihre Concept Maps integrieren. Dabei ist interessant, ob sich die Concept Maps zu Beginn des Moduls abhängig von dem studierten naturwissenschaftlichen Fach unterscheiden. Durch einen Vergleich mit den Concept Maps, die die Studierenden am Ende des Semesters erstellen, soll untersucht werden, inwieweit das konzeptionelle Wissen bezüglich der Erkenntnisgewinnung durch das Modul steigt. Zudem soll die Fragestellung untersucht werden, ob sich das konzeptionelle Wissen eher ausdifferenziert (Stärkung der Fachidentität) oder eher um vollständig neue Begriffsgruppen und Verknüpfungen erweitert (Aufnahme interdisziplinärer Aspekte).

Die entsprechenden Evaluationsinstrumente wie Vignetten, Interviewleitfäden und Reflexionsaufgaben für das Portfolio müssen bis zum Modulstart im Wintersemester 2019/20 entwickelt werden. Sie werden auf die Ziele, Inhalte und Methoden des Moduls abgestimmt und sind daher eng mit der Ausdifferenzierung der Modulplanung, die im folgenden Ausblick dargestellt ist, verknüpft.

## 5. Ausblick

Die Konzeption des Moduls fußt bis jetzt auf zwei wesentlichen Arbeitsschritten: erstens auf der Integration des Moduls in das Projekts MINTplus$^2$, insbesondere in Bezug auf die Vereinbarungen, die innerhalb der Arbeitsgruppe des Vernetzungsbereichs getroffen wurden, und zweitens auf einer Literaturrecherche zum Thema „Erkenntnisgewinnung“ in den drei Fachdidaktiken der Naturwissenschaften. Vor dem Modulstart im kommenden Wintersemester 2019/20 werden in einer Vorstudie noch zwei weitere Perspektiven erfasst. Zum einen werden Studierende in einer Paper-Pencil-Abfrage zu ihren Erwartungen an ein naturwissenschaftlich-integriertes Modul zur Erkenntnisgewinnung befragt. Zum anderen werden Experten aus den Fachdidaktiken der Biologie, Chemie und Physik der TU Darmstadt um Rat gebeten, um weitere Ideen und Ansätze zu integrieren und das Modul in die Studienordnung der drei Fächer einzupassen, sodass die Modulinhalte für die Studierenden als Ergänzung und Vertiefung und nicht als Dopplung erscheinen. Aus den Ergebnissen dieser Vorstudie werden weitere Implikationen für das Modul abgeleitet, sodass eine weitere Ausdifferenzierung der hier dargestellten Planung erfolgen kann.

## 6. Literatur


[1] Gallenbacher, J.; Bruder, R. (2017): Ein Vernetzungsbereich als neues Studienelement im MINT-orientierten Studiengang Lehramt am Gymnasium. In: MINT$^{plus}$ – systematischer und vernetzter Kompetenzaufbau in der Lehrerbildung, S. 18-19.

[2] Löw, M. (2018): Evaluierung des Vernetzungsbereichs – aktueller Stand. In: Protokoll Projektsitzung MINT$^{plus}$ und MINTplus$^2$, S. 4.

[3] Wilhelm, T.; Hopf, M. (2014): Design-Forschung. In: Krüger, D., Parchmann, I. & Schecker, H. (Hrsg.), Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung (S. 31–42). Berlin: Springer Spektrum.

[4] Fraefel, U. (2014). Professionalization of preservice teachers through university-school partnerships Partner schools for Professional Development»: development, implementation and evaluation of cooperative learning in schools and classes, S. 9.

[5] Nationales MINT Forum (Hrsg.) (2013): Zehn Thesen und Forderungen zur MINT-Lehramtsausbildung. Empfehlungen des Nationalen MINT Forums, S. 14

[6] Leisen, J. (2010): Handbuch Sprachförderung im Fach - Sprachsensibler Fachunterricht in der Praxis. Varus, Bonn.

[7] Bruder, R.; Bachmann, Y. (2017): Das Projekt MINT$^{plus}$ im Überblick. In: MINT$^{plus}$ – systematischer und vernetzter Kompetenzaufbau in der Lehrerbildung, S. 6-7.

[8] Bybee, R. (2002): Archieving Scientific Literacy: Myth or Reality. In Döbrich, P. (Hrsg.): Scientific Literacy - Naturwissenschaftliche Bildung in der Diskussion, S. 8–9.

[9] Nerdel, C. (2017): Grundlagen der Naturwissenschaftsdidaktik. Kompetenzorientiert und

aufgabenbasiert für Schule und Hochschule, Berlin: Springer Spektrum, S. 116.
[10] Mikelskis-Seifert, S.; Duit, R. (2010): Naturwissenschaftliches Arbeiten. In Duit, R. (Hrsg.): PIKO-Briefe. Der fachdidaktische Forschungsstand kurzgefasst (Band 6).
[11] 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.
[12] Straube, P. (2016): Modellierung und Erfassung von Kompetenzen naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung bei (Lehramts-) Studierenden im Fach Physik. Dissertation. Logos Verlag Berlin GmbH.
[13] Labudde, P. (2017): Facettenreiche Naturwissenschaft. Perspektiven und Herausforderungen integrierten naturwissenschaftlichen Unterrichts. In: Naturwissenschaften im Unterricht Physik, 28 (161), S. 2–7.
[14] Kultusministerkonferenz (2004): Bildungsstandards im Fach Biologie für den Mittleren Schulabschluss. (Beschluss der KMK vom 16.12.2004).
[15] Kultusministerkonferenz (2004): Bildungsstandards im Fach Chemie für den Mittleren Schulabschluss. (Beschluss der KMK vom 16.12.2004).
[16] Kultusministerkonferenz (2004): Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss. (Beschluss der KMK vom 16.12.2004).
[17] Höttecke, D. (2008). Was ist Naturwissenschaft? Physikunterricht über die Natur der Naturwissenschaften. Naturwissenschaften im Unterricht–Physik, 19 (103), S. 4–11.
[18] Höttecke, D.; Rieß, F. (2015): Naturwissenschaftliches Experimentieren im Lichte der jüngeren Wissenschaftsforschung – Auf der Suche nach einem authentischen Experimentbegriff der Fachdidaktik. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 21 (1), 127–139.
[19] Kultusministerkonferenz (2016): Richtlinie zur Sicherheit im Unterricht. (Empfehlung der KMK vom 09.09.1994 i. d. F. vom 26.02.2016).
[20] Emden, M. (2011). Prozessorientierte Leistungsmessung des naturwissenschaftlich-experimentellen Arbeitens: eine vergleichende Studie zu Diagnoseinstrumenten zu Beginn der Sekundarstufe I: Logos Verlag Berlin GmbH.
[21] Küpper, A.; González, L.; Hennemann, T.; Schulz, A. (2019): Kontext „Star Wars“: Inklusiven Physikunterricht zu den Grundlagen der Optik mit dem „Modell dualer Unterrichtsplanung“ gestalten. In: Naturwissenschaften im Unterricht Physik, 30 (170), S. 26-31.
[22] Schelle, H. (2010): Projekte zum Erfolg führen. Projektmanagement systematisch und kompakt, München: Dt. Taschenbuch-Verl.
[23] Sonntag, M.; Rueß, J.; Ebert C.; Friederici, K.; Schilow, L.; Deicke, W. (2017): Forschendes Lernen im Seminar. Ein Leitfaden für Lehrende, Berlin: Humboldt-Universität zu Berlin; Bologna.lab.
[24] Nohl, A.-M. (2012): Interview und dokumentarische Methode. 4. Auflage. Wiesbaden: Springer VS.
[25] Mayring, P. (2016): Einführung in die qualitative Sozialforschung. Eine Anleitung zu qualitativem Denken, Weinheim, Basel: Beltz.

**Dank**

Die Ausarbeitung des Moduls „Experimentelle Methoden der Naturwissenschaften ganzheitlich begreifen und vermitteln“ ist Teil des Projekts „MINTplus$^2$: Systematischer und vernetzter Kompetenzaufbau in der Lehrerbildung im Umgang mit Digitalisierung und Heterogenität“, das im Rahmen der gemeinsamen „Qualitätsoffensive Lehrerbildung“ von Bund und Ländern aus Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gefördert wird.

**Anmerkung**

In dieser Veröffentlichung wird konsequent der Arbeitstitel „Experimentelle Methoden der Naturwissenschaften ganzheitlich begreifen und vermitteln“, wie er im MINTplus$^2$-Projekt verankert ist, verwendet. Da sich das Modul aber über das Experiment hinaus dem gesamten KMK-Kompetenzbereich „Erkenntnisgewinnung“ widmen soll, wurde der Modultitel inzwischen in „Erkenntnisgewinnung in den Naturwissenschaften ganzheitlich begreifen und vermitteln“ geändert.

# Naturwissenschaftliches Denken im Lehramtsstudium

– Vergleich klassischer und adaptiver Leistungsmessung

**Volker Brüggemann, Volkhard Nordmeier**

Freie Universität Berlin, Didaktik der Physik, Arnimallee 14, 14195 Berlin
volker.brueggemann@fu-berlin.de, volkhard.nordmeier@fu-berlin.de

**Kurzfassung**

Die Projekte Ko-WADiS und ValiDiS untersuchen die Kompetenzentwicklung naturwissenschaftlichen Denkens bei Lehramtsstudierenden. Das im Rahmen der ersten Projektphase (Ko-WADiS) entwickelte Testinstrument zur Erfassung dieser Kompetenzen befindet sich aktuell in der Validierungsphase (ValiDiS). Da das bisherige Format im Einsatz sehr zeitaufwändig ist und eine geringe Messgenauigkeit aufweist, wurde eine zweite Version entwickelt: Ein computeradaptiver Multi-Stage-Test. Dieses Testformat ermöglicht im Vergleich zu papierbasierten Instrumenten kürzere Befragungen bei gleichbleibender Messgenauigkeit.
In diesem Beitrag werden das methodische Vorgehen und die Ergebnisse einer Simulationsstudie sowie einer Pilotierungsstudie des adaptiven Formats zusammengefasst. Die Ergebnisse sind vielversprechend: Durch Vergleich beider Versionen konnte eine deutliche Steigerung der Messeffizienz bei adaptiver Testanwendung nachgewiesen werden.

## 1. Der Ko-WADiS-Test

Der Ko-WADiS-Test ist ein Instrument zur Erfassung von Kompetenzen des naturwissenschaftlichen Denkens (Hartmann et al. 2015; Straube 2016). Er wurde in den Projekten Ko-WADiS und ValiDiS entwickelt und erprobt, um die Entwicklung dieser Kompetenzen bei Lehramtsstudierenden im Verlauf des Studiums zu beobachten.

Im Kontext der Projekte beziehungsweise des Ko-WADiS-Tests wird naturwissenschaftliches Denken definiert als eine Problemlösefähigkeit, angelehnt an vorangegangene Arbeiten von Mayer (2007) zum Problemlösen in den Naturwissenschaften sowie Upmeier zu Belzen und Krüger (2010) zur Arbeit mit naturwissenschaftlichen Modellen. Den dort gelegten theoretischen Grundlagen folgend wird die Kompetenz als Teilbereich der Erkenntnisgewinnung aufgefasst.

Die Operationalisierung im Testinstrument erfolgte anhand von sieben verschiedenen Kompetenzfacetten (Straube, 2016). Jede davon stellt eine unterschiedliche Handlung oder auch Arbeitsphase in naturwissenschaftlichen Untersuchungsprozessen dar (Fragestellungen formulieren, Hypothesen bilden, Untersuchungen planen und durchführen, Daten auswerten, den Zweck von Modellen erkennen, Modelle testen und Modelle abändern), die als exemplarisch für die zu messende Kompetenz angesehen werden. Eine Unterscheidung von Leistungs-/Niveaustufen wurde weder im Kompetenzmodell noch in der Aufgabenstruktur vorgenommen.

Die konkrete Messung erfolgt anhand von dichotomen Multiple-Choice Aufgaben. Von diesen wurde ein Pool an Aufgaben konstruiert, in dem sich für jede der Facetten mehrere Aufgaben wiederfinden: Jeweils drei verschiedene Aufgaben pro Facette und beteiligtem Studienfach (Biologie, Chemie und Physik), also 63 Aufgaben insgesamt (ebd.).

Für projektinterne Befragungen wird das Instrument in einem Multimatrix-Design eingesetzt, um die mehrfache Befragung mit identischen Aufgaben in Längsschnittstudien zu vermeiden. Jedes der neun verwendeten Testhefte beinhaltet dabei 21 Aufgaben, je eine pro Fach und Facette.

Die Auswertung des bisher gewonnene Datensatzes ($N > 10.000$) und anhaltende Validierungsstudien legen nahe, dass Instrument und Aufgaben die valide Messung naturwissenschaftlichen Denkens ermöglichen. Die Messgenauigkeit unterscheidet sich je nach Testheft und liegt im Gesamtdatensatz bei einer EAP/PV-Reliabilität von 0.544 (Hartmann et al., 2015). Dieser Wert ist für sich gesehen als gering zu bezeichnen und ermöglicht zwar eine vorsichtige Beurteilung von Gruppen, nicht jedoch die Diagnose von einzelnen Personen. Er ist jedoch in Einklang mit weiteren rein schriftlichen Testinstrumenten für ähnliche Konstrukte (vgl. Neumann, 2011: 0.55; Terzer, 2013: 0.46; Wellnitz, 2012: 0.59). Da das Instrument nach Abschluss des laufenden Projektes veröffentlicht und weiterhin eingesetzt werden soll, auch an Standorten mit kleinen Stichprobengrößen, muss an dieser Stelle nachgebessert werden. Eine Möglichkeit, für die keine vollständige Neukonzi-

pierung der Aufgaben notwendig ist, bietet die Erstellung einer adaptiven Testversion.

## 2. Adaptive Tests

Adaptive Testinstrumente passen die Schwierigkeit der gestellten Aufgaben an die jeweiligen Proband*innen an: Nach der Bearbeitung erster Aufgaben durch eine/n Proband*in wird die latente Fähigkeit dieser Person geschätzt, hierfür werden typischerweise ein- bis dreiparametrische Modelle der Item-Response-Theory in Kombination mit zuvor normierten Aufgabenpools verwendet. Die so gewonnene Schätzung der Personenfähigkeit wird genutzt, um als nächstes die bestmöglich passende Aufgabe aus dem Pool zu ziehen (Frey, 2012).

Durch mehrfache Anwendung des Algorithmus kann die Fähigkeitsschätzung im Laufe der Befragung immer genauer durchgeführt und die Auswahl der Aufgaben verfeinert werden. Sobald das Abschlusskriterium des Testinstruments erfüllt wird, wird die Befragung beendet. Dies kann beispielsweise das Erreichen einer maximalen Testlänge oder einer erwünschten Schätzgenauigkeit sein. Das Instrument reagiert somit auf die einzelnen Personen und passt sich an – es ist adaptiv und maximiert die gewonnene Information pro bearbeiteter Aufgabe. Vergleichsstudien zwischen klassischen und adaptiven Versionen einzelner Instrumente zeigen, dass die adaptive Form auf diese Weise zu deutlichen Erhöhungen der Testeffizienz führt (vgl. Weiss, 1982; Hendrickson, 2007).

Die genauere Beschreibung verschiedener adaptiver Testverfahren und die Konzipierung der adaptiven Umsetzung für das vorliegende Testinstrument sind beschrieben in Brüggemann & Nordmeier (2018).

## 3. Simulationsstudie

Nach der Erstellung von Infrastruktur und Algorithmus des adaptiven Multistage-Tests (MST) war die Frage nach der genauen Struktur und Länge des Tests zunächst offengeblieben, denn es war nicht bekannt, inwieweit das neue Testverfahren sich auf die erreichbare Messgenauigkeit auswirken würde. Der Literatur folgend war mit einer Steigerung der Messgenauigkeit zu rechnen. Zeitgleich sollte aber zur Belastungsreduzierung auf Seiten der Proband*innen die Länge des Instruments reduziert werden, was der Messgenauigkeit zulasten geht. Um hier die richtige Balance zu finden, mussten mehrere Teststrukturen verglichen werden. Da weder beliebig viele Proband*innen noch unbegrenzte Zeit zur Verfügung standen, wurden für diese Vergleiche Simulationsstudien durchgeführt, um die notwendigen Stichprobengrößen zeitnah realisieren zu können. Ermöglicht wurde dieses Vorgehen durch den sehr großen bereits vorhandenen Datensatz.

### 3.1. Methodik

Die Grundidee der Simulationsstudie ist unkompliziert: Alle infrage kommenden MST-Strukturen wurden vollständig konzipiert und inklusive einzeln passender Aufgabenblöcke erstellt. Anstelle von einer wirklichen Bearbeitung durch Proband*innen aus der Zielgruppe wurden die Befragung mittels jeder einzelnen Struktur an derselben virtuellen Stichprobe aus dem bereits vorhandenen Datensatz simuliert.

Diese Stichproben wurden auf Basis der Längsschnittdatensätze des Projekts erstellt. Dazu wurden in den Simulationen die Tests von einer Gruppe zufällig ausgesuchter Proband*innen des Datensatzes durchlaufen, die gegebenen Antworten wurden aus den Realdaten ausgelesen. Da die Datenmatrix aus den realen Befragungen unvollständig war, (~75% missing by Design) wurden die Ergebnisse aus der Ko-WADiS-Längsschnittstudie mittels eines zweiparametrischen IRT-Modells imputiert.

### 3.2. Ergebnisse

Abbildung 1 zeigt die erreichten EAP/PV-Reliabilitäten eines simulierten klassischen Tests (FIT) sowie drei verschiedener MST Versionen. Dabei wurden für jeden dieser Tests auch verschiedene Gesamtlängen geprüft. Der FIT wurde durch die Auswahl der – psychometrisch betrachtet – besten Aufgaben des gesamten Pools erstellt. Es handelt sich dabei also um die nach aktuellen Erkenntnissen bestmögliche nicht-adaptive Version des Instruments, die als Maßstab in der Simulation dienen sollte.

Um die Güte der Ergebnisse einzuschätzen, wurden zudem die Daten von echten Befragungen reproduziert: Für alle Proband*innen wurden die Bearbeitungen der von ihnen ausgefüllten, klassischen Testhefte simuliert. Hierbei wurden die Antworten in der Simulation anhand der in Realstudien geschätzten Fähigkeitsparameter erzeugt. Die in Wirklichkeit erreichten Reliabilitäten der einzelnen Hefte konnten in der simulierten Messung mit Abweichungen <1% reproduziert werden.

Durch Vergleiche der in echten Messungen und in den Simulationen geschätzten Fähigkeiten konnte gezeigt werden, dass die Simulationen die EAP/PV Reliabilitäten systematisch um 0.02 höher einschätzten. Vermutlich geschah dies in Folge der in den Simulationen als perfekt angenommenen (und damit überschätzten) Modellpassung, auf deren Grundlage ein Teil der Antworten generiert wurde.

Zusammengefasst konnte durch die Zusammenstellung eines optimierten Testheftes im Vergleich zu den bisherigen Versionen die erwartete Messgenauigkeit um 27% gesteigert werden. Es wird erwartet, dass eine Umsetzung als MST im 1-2-2 Design mit 15 Aufgaben Gesamtlänge dieselbe Genauigkeit erreichen kann. Das stellt eine zusätzliche Reduzie-

rung der Testlänge um 28% dar. Das Instrument wurde diesen Erwartungen gemäß final umgesetzt.

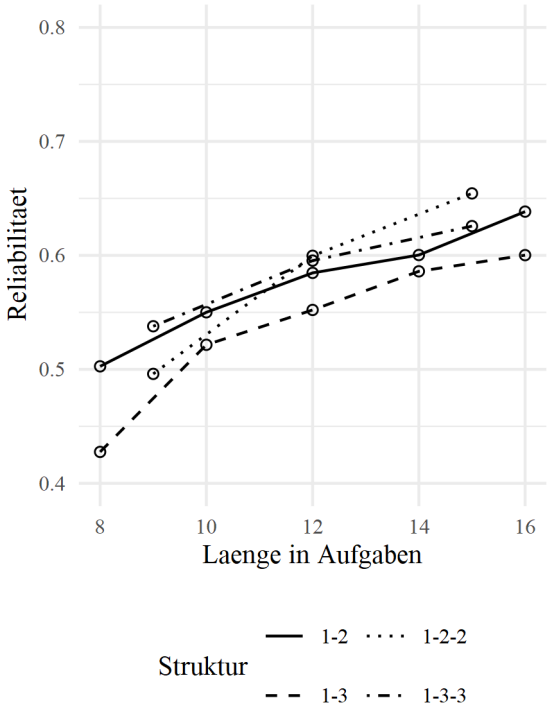



**Abb. 1**: Simulationsergebnisse; EAP/PV-Reliabilität des klassischen Tests (FIT) und verschiedener Multistage-Test (MST) -Strukturen für verschiedene Testlängen. Die Nummerierung steht für die Anzahl der differenzierten Schwierigkeitsbereiche in den aufeinanderfolgenden Stufen der Tests.

## 4. Pilotierungsstudie

Um das neue Testformat auch in einer realen Situation zu evaluieren, wurde im ersten Quartal 2019 eine Pilotierungsstudie durchgeführt.

Bei der eigentlichen Zielgruppe des Instruments handelt es sich um die Lehramtsstudierenden der drei naturwissenschaftlichen Fächer. Durch die kleinen Studierendenzahlen in diesen Studiengängen konnte aber keine ausreichend große Stichprobe für die Pilotierung gewonnen werden. Zudem gab es bei praktisch allen infrage kommenden Proband*innen an den teilnehmenden Standorten das Problem, dass die Aufgaben des Instruments durch vorige Befragungen in den Längsschnitterhebungen des Projekts bekannt waren.

Studierende des Sachunterrichts im Grundschullehramt arbeiten jedoch ebenfalls mit naturwissenschaftlichen Inhalten, sofern sie hier ihren Studienschwerpunkt setzen. Somit kommen sie ebenfalls für den Testeinsatz in Frage und wurden bereits in früheren Studien mit dem Instrument untersucht (Straube, 2016). Durch das Ausweichen auf die alternative Probandengruppe konnte an der Freien Universität Berlin eine Stichprobe von N = 283 gewonnen werden. Es wurde damit auch das Problem von Proband*innen umgangen, denen Teile der Testaufgaben bereits im Voraus bekannt gewesen wären.

Die Pilotierung wurde am Standort in Kleingruppen (maximal 30 Personen) durchgeführt. Sie fand unter Aufsicht von Testleiter*innen statt, die mit Befragungszweck und Instrument vertraut waren. Vor Beginn der einzelnen Erhebungen wurde jeweils explizit darauf aufmerksam gemacht, dass es sich um ein adaptives Testinstrument handelt. Dieses Vorgehen wurde gewählt, da

- entgegen üblicher Befragungsformate am Standort keine Antwortkorrektur möglich war und
- die Anpassung der Aufgabenschwierigkeiten zu Motivationsverlusten führen kann (Frey et al., 2009).

### 4.1. Ergebnisse und Diskussion

Vor der eigentlichen Auswertung der Daten erfolgte eine Betrachtung der ebenfalls erhobenen Bearbeitungszeiten aller Aufgaben. Ziel war die Identifikation von solchen Aufgaben, die sich durch auffällig lange oder kurze Bearbeitung auszeichneten und von Personen, die systematisch signifikant schnellere Aufgabenbearbeitungen aufwiesen als der Rest der Stichprobe. Bei fünf der 283 Personen wurde ein solches Verhalten festgestellt und als durchgängiges Rateverhalten interpretiert, weshalb sie für alle weiteren Auswertungen ausgeschlossen wurden. Auffällige Aufgaben wurden nicht entdeckt.

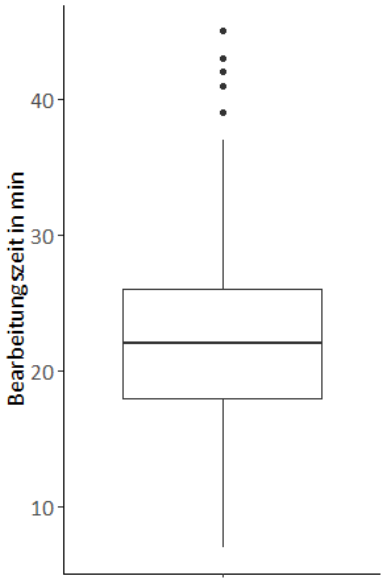



**Abb. 2**: Gemessene Gesamtbearbeitungszeiten des adaptiven Instruments in der Pilotierungsphase nach Datenbereinigung (siehe erster Absatz Abschnitt 4.1). Punkte stellen Ausreißer dar.

Die Bearbeitungszeit der Befragung lag im Mittel bei 22 Minuten (mit einer Standardabweichung von 6 Minuten, siehe Abb. 2). Für das papierbasierte Instrument werden Bearbeitungszeiten von 35 bis 45 Minuten angelegt. Diese Werte sich allerdings rein ‚anekdotisch' und damit möglicherweise verfälscht sowie gruppenbezogen. Sie entsprechen also dem Zeitpunkt, zu dem bei dem papierbasierten Testeinsatz jeweils die meisten Proband*innen fertig waren, nicht das arithmetische Mittel der Bearbeitungszeit. Für den Vergleich beider Formate wurde daher die mittlere ‚anekdotische' Zeitangabe (40 min) abgeglichen mit der Zeitmarke im adaptiven Test, zu dem die Mehrheit der Stichprobe fertig war: 28 Min. (eine Standardabweichung später als der Mittelwert). Die Bearbeitungszeit wurde durch die neue Testversion also um etwa 30% reduziert. Das Ergebnis deckt sich mit der Reduzierung der pro Person bearbeiteten Aufgaben von 21 im Papierformat zu 15 im adaptiven Test.

Bei der Messung wurde eine Messgenauigkeit von 0.62 (EAP/PV-Reliabilität) erreicht. Sie lag damit über der des Papierinstruments, jedoch unterhalb der Prognose der zuvor durchgeführten Simulationen.

Werden die Unterschiede zwischen den Pilotierungsdaten zur adaptiven Version und den vorliegenden Daten des Papierinstruments zusammenfassend betrachtet (Tabelle 1), zeigt sich eine Reduzierung der Testlänge um ~30% sowie eine gleichzeitige Erhöhung der Messgenauigkeit um ~13%. Der Informationsgewinn pro Item (oder auch die zeitliche Ökonomie des Instruments) konnte also deutlich gesteigert werden.

| | Testlänge | EAP-Reliabilität |
|---|---|---|
| FIT, Ist-Stand | 21 | 0.544 |
| Simulierter FIT, optimiert | 21 | 0.6 |
| 1-2-2 MST, simuliert | 15 | 0.65 |
| 1-2-2 MST, gemessen | 15 | 0.62 |

**Tabelle 1**: Erreichte Messgenauigkeiten des papierbasierten (FIT) und der adaptiven Multistage-Version (MST) des Instruments in Simulationsstudien und Pilotierung.

Die vorliegenden Ergebnisse sind vermutlich durch die Auswahl der Stichprobe leicht verzerrt. Verglichen zur ursprünglich angepeilten Population war die mittlere Personenfähigkeit der Proband*innen um 0,7 Standardabweichungen geringer (diese Schätzung basiert auf den Daten früherer Erhebungen mit dem Papierinstrument). Die Diskrepanz zwischen angenommener und realer Stichprobenverteilung schränkt die Messgenauigkeit des Instruments ein, da die ursprünglichen Fähigkeitsannahmen stark in die Zusammenstellung der verwendeten Items einflossen. Es wird daher von einer Reduzierung der Messgenauigkeit mit schwachem Effekt ausgegangen.

## 5. Ausblick

Grundsätzlich wird die Erprobung des adaptiven Testformats als erfolgreich betrachtet. In der Pilotierungsstudie wurde eine deutliche Effizienzsteigerung erreicht, was Ziel des Vorhabens war. Die Messgenauigkeit fiel dabei aber noch etwas niedriger aus als gewünscht. Diesbezüglich ist abzuwarten, welche Resultate eine weitere Erhebung in der eigentlichen Zielgruppe liefert. Zum aktuellen Zeitpunkt ist jedoch nicht klar, ob eine zweite Pilotierungsphase realisierbar ist. Aus diesem Grund wird noch diskutiert, die Testlänge von 15 auf 18 Aufgaben anzuheben. Im Aufgabenpool wären ausreichend passende Aufgaben vorhanden und somit könnte die Messgenauigkeit ausreichend angehoben werden. Das Gegenargument besteht weiterhin in der höheren Belastung der Proband*innen.

Nach Abschluss des Projekts ValiDiS soll das adaptive Instrument zusammen mit der papierbasierten Variante bis Mitte 2020 veröffentlicht werden. (Der Ort der Veröffentlichung des adaptiven Tests ist aktuell noch offen, zur Diskussion steht u. a. die Plattform tet.folio, auf der der adaptive Test bisher für Entwicklungszwecke eingesetzt wird.)

Die Projekte Ko-WADiS und ValiDiS wurden im Rahmen des wissenschaftlichen Transferprojekts „Kompetenzmodelle und Instrumente der Kompetenzerfassung im Hochschulsektor – Validierungen und methodische Innovationen" (KoKoHs) durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert.

## 6. Literaturverzeichnis

Brüggemann, Volker; Nordmeier, Volkhard (2018): Naturwissenschaftliches Denken im Lehramtsstudium. Computeradaptive Leistungsmessung. In: *PhyDid B*, S. 191–196. Online verfügbar unter http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/892

Frey, Andreas (2012): Adaptives Testen. In: Helfried Moosbrugger und Augustin Kelava (Hg.): Testtheorie und Fragebogenkonstruktion. 2., aktualisierte und überarbeitete Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg (Springer-Lehrbuch), S. 275–293.

Frey, Andreas; Hartig, Johannes; Moosbrugger, Helfried (2009): Effekte des adaptiven Testens auf die Motivation zur Testbearbeitung am Beispiel des Frankfurter Adaptiven Konzentrationsleistungs-Tests. In: *Diagnostica* 55 (1), S. 20–28. DOI: 10.1026/0012-1924.55.1.20.

Hartmann, Stefan; Mathesius, Sabrina; Stiller, Jurik; Straube, Philipp; Krüger, Dirk; Upmeier zu Belzen, Annette (2015): Kompetenzen der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung als Teil des Professionswissens zukünftiger Lehrkräfte: Das Projekt Ko-WADiS. In: Barbara Koch-Priewe, Anne Köker, Jürgen Seifried und Eveline Wuttke (Hg.): Kompetenzerwerb an Hochschulen: Modellierung und Messung. Zur Professionalisierung angehender Lehrerinnen und Lehrer sowie frühpädagogischer Fachkräfte. Bad Heilbrunn: Verlag Julius Klinkhardt, S. 39–58.

Hendrickson, Amy (2007): An NCME Instructional Module on Multistage Testing. In: *Educational Measurement: Issues and Practice* 26 (2), S. 44–52. DOI: 10.1111/j.1745-3992.2007.00093.x.

Mayer, Jürgen (2007): Erkenntnisgewinnung als wissenschaftliches Problemlösen. In: Dirk Krüger und Helmut Vogt (Hg.): Theorien in der biologiedidaktischen Forschung. Ein Handbuch für Lehramtsstudenten und Doktoranden. 1st ed. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg (Springer-Lehrbuch), S. 177–187.

Neumann, Irene (2011): Beyond physics content knowledge. Modeling competence regarding nature of science inquiry and nature of scientific knowledge. Berlin, Logos.

Straube, Philipp (2016): Modellierung und Erfassung von Kompetenzen naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung bei (Lehramts-) Studierenden im Fach Physik. Berlin, Logos.

Terzer, Eva (2013). Modellkompetenz im Kontext Biologieunterricht – Empirische Beschreibung von Modellkompetenz mithilfe von Multiple-Choice. Dissertation. Humboldt-Universität zu Berlin, Berlin. Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät I. Online verfügbar unter https://edoc.hu-berlin.de/bitstream/handle/18452/17303/terzer.pdf

Upmeier zu Belzen, Annette; Krüger, Dirk (2010): Modellkompetenz im Biologieunterricht. In: *Zeitschrift der Didaktik der Naturwissenschaften* 16, S. 41–57.

Weiss, David J. (1982): Improving Measurement Quality and Efficiency with Adaptive Testing. In: *Applied Psychological Measurement* 6 (4), S. 473–492. DOI: 10.1177/014662168200600408.

Wellnitz, Nicole (2012). Kompetenzstruktur und -niveaus von Methoden der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung. Berlin, Logos.

# Vektoren in der mathematik- und physikdidaktischen Forschung

- Stoffdidaktischverbindende Ansätze zwischen linearer Algebra und klassischer Mechanik -

**Frederik Dilling***

*Universität Siegen, Herrengarten 3, 57072 Siegen
dilling@mathematik.uni-siegen.de

**Kurzfassung**

Der Vektorbegriff stellt einen zentralen Begriff des Mathematik- und Physikunterrichts dar. Aus diesem Grund wird der Umgang mit Vektoren in den Fachdidaktiken Mathematik und Physik in vielfältiger Weise untersucht. Der vorliegende Beitrag stellt die wichtigsten Erkenntnisse beider Didaktiken im Rahmen eines stoffdidaktischverbindenden Forschungsanliegens gegenüber und erläutert, wie sich diese im Unterricht sowie in der Forschung nutzen lassen.

## 1. Der Begriff des stoffdidaktischverbindenden Forschens

Der Begriff des stoffdidaktischverbindenden Forschens baut auf dem von Witzke (2015) geprägten und in Holten und Witzke (2017) weiterentwickelten Begriffs des fachdidaktischverbindenen Forschens und Lehrens auf. Darunter wird eine interdisziplinäre Kooperation verschiedener Fachdidaktiken verstanden, die einem übergeordneten gemeinsamen Ziel folgt. Das stoffdidaktischverbindende Forschen ist somit eine Sonderform des fachdidaktischverbindenden Forschens, in der die stoffdidaktischen Erkenntnisse bei verwandten Inhalten der Fächer verglichen und gemeinsam weiterentwickelt werden.

Im Folgenden soll ein stoffdidaktischer Austausch am Beispiel des Vektorbegriffs in der Mathematik- und Physikdidaktik skizziert werden.

## 2. Relevanz des Austausches zum Vektorbegriff

Der Vektorbegriff und die Vektorrechnung sind zentrale Sachverhalte der modernen Mathematik sowie Thema der Schulmathematik der Sekundarstufe II. Filler & Todorova (2012) schreiben hierzu:

„Der Vektorbegriff gehört zu den zentralen Strukturbegriffen der Mathematik und besitzt mannigfaltige Anwendungen." (S.47)

Die entscheidende Bedeutung erlange der Vektorbegriff nach Wittmann (1996) aber durch seine Anwendung in der Physik:

„[…] seine wesentliche Legitimation gewinnt der Vektorbegriff aber vor allem aus dem fächerübergreifenden Bezug zum Physikunterricht. […] Diese Verbindung zum Fach Physik [muss] gesucht und betont werden." (S.97)

Filler (2011) betont die historische Entwicklung des Vektorbegriffs sowohl aus geometrischen als auch physikalischen Anforderungen heraus:

„Die Vektorrechnung entstand in einem langen historischen Prozess vor allem aufgrund des Bedürfnisses nach einem geometrischen Kalkül sowie aus den Anforderungen der Physik heraus." (S.85)

Da der Vektorbegriff einer der zentralen Begriffe der Schulphysik und –mathematik ist, scheint ein stoffdidaktischer Austausch in diesem Bereich besonders fruchtbar zu sein. Die wichtigsten stoffdidaktischen Erkenntnisse der Mathematik- und Physikdidaktik zum Vektorbegriff sollen im Folgenden dargestellt und für einen Austausch aufbereitet werden.

## 3. Vektoren in der mathematikdidaktischen Forschung

In der Mathematikdidaktik werden unterschiedliche Herangehensweisen an den Vektorbegriff diskutiert. Filler & Todorova (2012) unterscheiden die Zugänge über Pfeilklassen, n-Tupel sowie Vektorraumaxiome. Sie sind in Abb.1 gegenübergestellt.

Beim Zugang über Pfeilklassen werden Vektoren als gleich lange und gleich gerichtete Pfeile definiert. Die geometrische Herangehensweise habe eine große Bedeutung für das Begriffsverständnis der Schüler. Eine Schwierigkeit ergebe sich allerdings in der Identifikation von Vektoren mit einzelnen Pfeilen oder konkreten Objekten (Fehlvorstellung „Vektor=Pfeil").

Malle (2005a) kritisiert den Zugang über Pfeilklassen stark. Er sei „unbrauchbar" für die analytische Geometrie, da man in Punkten und Pfeilen, aber nicht in Pfeilklassen denken würde, sowie „unbrauchbar" für die Physik, da fast alle in der Physik vorkommenden Vektoren keine Pfeilklassen seien. Weitere Schwierigkeiten ergeben sich in der undurchsichtigen Unterscheidung zwischen Klasse und Repräsentant sowie in der aufwändigen Einführung der Rechenoperationen. Auch aus diesen Gründen werde das Pfeilklassenmodell im Unterricht selten konsequent angewendet.

Ein großes Problem sehen Henn & Filler (2015) in der Verwendung des Hilfskonstrukts „Ortsvektor“ zur Vermeidung der Unterscheidung einer Vektoraddition und einer Punkt-Vektoraddition. Punkte auf einmal in einer anderen Form zu schreiben sei für Schüler unnatürlich. Die Assoziation des Ortsvektors mit einem konkreten Pfeil erschwere die Entwicklung des Vektorbegriffs und beschränke die Idee des Koordinatisierens. Die Verwendung in Geradengleichungen sorge zudem dafür, dass diese nicht mehr als Punktmenge verstanden werden.

Der Zugang über n-Tupel verwendet Vektoren als n-Tupel reeller Zahlen. Diese werden dann im weiteren Unterrichtsverlauf für geometrische Anwendungen genutzt. Dies berge häufig die Schwierigkeit, dass diese arithmetische Auffassung mit der Zeit verblasst. Bender (1994) kritisiert an diesem Zugang die Rolle der Linearen Algebra als „Trivialisierer“. Geometrische Aspekte seien zum Aufbau tragfähiger Grundvorstellungen besonders wichtig. Deshalb solle der Transfer zwischen einem arithmetischen und einem geometrischen Vektormodell im Unterricht geübt werden. Malle (2005a) empfiehlt, Vektoren als n-Tupel einzuführen und anschließend geometrisch als Punkte und Pfeile, nicht jedoch als Pfeilklassen, zu deuten. Für die Punkte und Pfeile werden keine Rechenoperationen definiert.

Ein dritter möglicher Zugang zum Vektorbegriff geht über Vektorraumaxiome. Dieser Ansatz wurde in Schulen vor allem in den 1970er Jahren verwendet und ist heutzutage meist nur noch Teil der universitären Linearen Algebra. Filler & Todorova (2012) bezeichnen diese Methode als fachlich elegant, didaktisch allerdings kaum zu rechtfertigen.

Malle (2005b) untersucht verschiedene Schwierigkeiten von Schülern mit Vektoren. Vielfach trete, insbesondere bei einer geometrischen Einführung des Vektorbegriffs, eine Interpretation von Vektoren als Einzelpfeile auf. Auch falle es Schülern schwer, Vektoren algebraisch aufzufassen. Demnach werden Vektoren von einigen Schülern generell geometrisch gedeutet. Die Angabe von Pfeilen durch einzelne Zahlenpaare wird von vielen Schülern nicht akzeptiert, es sei die Angabe eines Anfangs- und eines Endpunkts nötig. Nullvektoren werden von den Schülern nur als Punkte, nicht aber als Pfeile, interpretiert.

Weitere Probleme entstehen durch ein Unverstandenes Anwenden (Standardaufgaben können gerechnet werden, ohne dass das Verfahren verstanden wird), beim Aufstellen von Formeln mit Vektoren (das Problem wird verstanden, kann aber nicht korrekt in eine Formel überführt werden) und beim Umgang mit Ortsvektoren (Vektoren werden generell als Ortspfeile mit dem Anfangspunkt im Ursprung dargestellt).

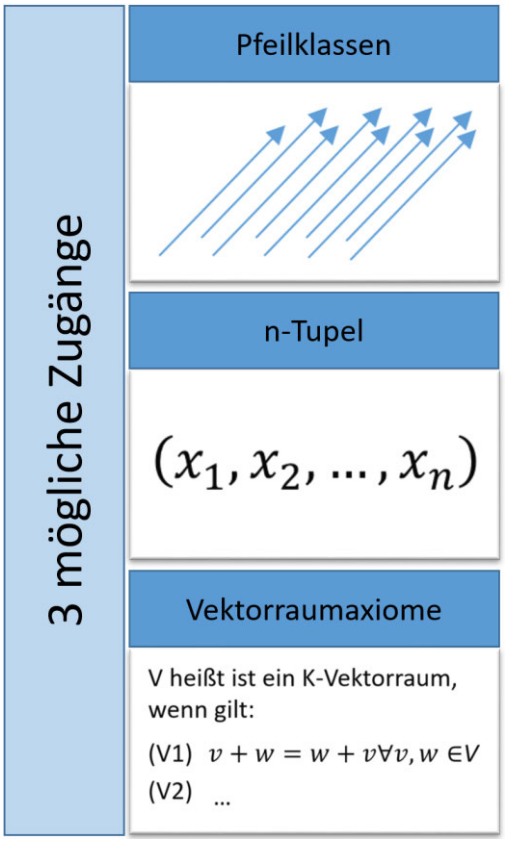



**Abb.1:** Drei Zugänge zum Vektorbegriff nach Filler & Todorova, 2012)

## 4. Vektoren in der physikdidaktischen Forschung

Nach Boczianowski (2012) kommen Schüler mit vielfältigen Alltagserfahrungen zu Pfeilen in den Physikunterricht. Die häufige Verwendung von Pfeilen liege insbesondere an der Eingängigkeit des Pfeilsymbols. Die Erfahrungen der Schüler können zu Problemen bei der Begriffsbildung führen, da für Pfeile im Physikunterricht meist andere Regeln gelten als für alltägliche Pfeile oder Pfeildarstellungen in anderen Fächern. Einige Beispiele für Pfeile aus dem Alltag und dem Physikunterricht sind in Abb.2 dargestellt.

Die häufigste Verwendungssituation von Pfeilen im Physikunterricht ist die Darstellung von gerichteten Größen als Vektorpfeile. Die Pfeillänge gibt dabei den Betrag der Größe an, die Pfeilrichtung die entsprechende Richtung in welche die Größe wirkt. Dies ermögliche, so Boczianowski (2012), ein Modellieren physikalischer Phänomene ohne Arithmetisierung von Vektoren. Das Operieren mit Pfeilen sei anschaulich, übersichtlich und stelle keine Black-Box dar. Grenzen ergeben sich bei der Einführung von Variablen, da diese nicht durch feste Pfeile darstellbar sind. Als „übergeordnetes mentales Werkzeug“ können Vektorpfeile in verschiedenen Themenbereichen konsequent verwendet werden. Die Entwicklung eines einheitlichen Formalismus habe ein unterrichtsinhalte-verbindendes Potential.

Beim Lesen von Darstellungen mit Vektorpfeilen sowie mit Pfeilen generell treten bei Schülern nach

Kraus (2016) unterschiedliche Probleme auf. In Schulbüchern werden manchmal einzelne Vektorpfeile nicht dargestellt, um andere zu betonen. Ein Beispiel für eine solche Aspektauswahl ist das Auslassen der Gegenkraft, obwohl diese nach dem dritten newtonschen Axiom immer entsteht. Probleme entstehen auch, wenn Vektorpfeile mit unterschiedlichen Bedeutungen ähnlich dargestellt werden. Ein Beispiel für die sogenannte Polysemie sind in einem Diagramm dargestellte Orts-, Geschwindigkeits-, Beschleunigungs- und Kraftvektorpfeile, die lediglich durch unterschiedliche Farben voneinander abgegrenzt sind. Zudem werden im Verlauf des Unterrichts Modelle mit Pfeilen zunehmend mit weiteren Bedeutungen versehen (Bedeutungsaufladung). Auch werden Pfeile von Schülern oft als zeitliche Veränderung gelesen, selbst wenn dies wie z.B. bei Vektorpfeilen nicht der Fall ist.

Reusch (2012) betont, dass vielen Schülern die Unterscheidung zwischen gerichteten und ungerichteten Größen schwerfällt. Dies liege vor allem an der häufigen Beschränkung auf eindimensionale Fälle, wodurch der Unterschied zwischen Vektor, Vektorkomponente und Betrag nicht offensichtlich werde. Um auftretende Probleme zu verhindern, sei eine frühzeitige Behandlung gerichteter Größen in Pfeildarstellungen und eine gezielte Thematisierung der Änderung bei gerichteten und ungerichteten Größen nötig.

Die Mechanik nimmt in Bezug auf den Vektorbegriff im Physikunterricht eine besondere Rolle ein, da die Schüler hier meist das erste Mal mit einer Vielzahl unterschiedlicher gerichteter Größen in Kontakt kommen. Boczianowski (2012) beschreibt die Behandlung von Verschiebungs-, Geschwindigkeits- und Kraftpfeilen. Bei Verschiebungspfeilen steht der Schaft des Pfeils für den zurückgelegten Weg. Bei Geschwindigkeiten ist der Pfeil in Bewegungsrichtung ausgerichtet und die Länge steht für den momentanen Geschwindigkeitsbetrag. Für Schüler sei dieser Unterschied häufig nicht präsent, was zu einer Vermischung von Orts- und Geschwindigkeitsraum führe. Daher sollten Skizzen mit Orts- und Geschwindigkeitspfeilen immer separat angefertigt werden. Kraftpfeile seien häufig die einzige Anwendung im Physikunterricht, in denen Pfeildarstellungen verwendet werden. Dabei ist der Pfeil in Kraftrichtung ausgerichtet, die Länge steht für den Kraftbetrag und der Fußpunkt gibt den Angriffspunkt der Kraft an. Einiges spreche allerdings dafür, auf eine Festlegung des Fußpunktes als Angriffspunkt zu verzichten. Dadurch sei die Behandlung komplexerer und sinnhafterer Aufgaben möglich.

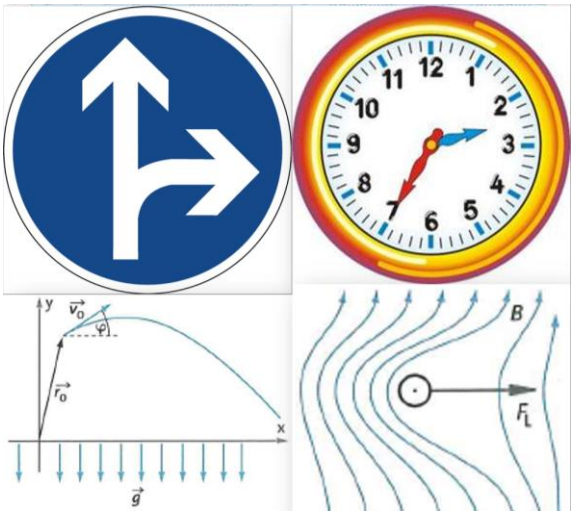



**Abb.2:** Darstellungen mit Pfeilen im Alltag und in der Physik (Quellen: www.grundschulmaterial.de, www.dvr.de, D. Kähler (2012): Fit fürs Abi. Oberstufenwissen Physik. Braunschweig: Schroedel)

## 5. Fazit

Es hat sich gezeigt, dass die Mathematik- und Physikdidaktik unterschiedliche Facetten des Umgangs mit Vektoren beleuchten. Ein stoffdidaktischer Austausch kann somit zum einen für Fachdidaktiker relevant sein, die die Forschung zum Vektorbegriff ergänzen und erweitern möchten, zum anderen ist er für Lehrkräfte der Fächer Mathematik und Physik von Bedeutung. So kommen Schüler häufig zum ersten Mal im Physikunterricht mit Vektoren in Kontakt. Daher sind grundlegende Kenntnisse über Zugänge zum Vektorbegriff sinnvoll. Im Mathematikunterricht wird im Zuge der Vektorrechnung häufig auf physikalische Beispiele zurückgegriffen. Aus diesem Grund sollte der richtige Umgang mit diesen Anwendungen bekannt sein. Ein reflektierter und die Besonderheiten des anderen Faches beachtender Mathematik- und Physikunterricht kann die Bildung isolierter Begriffe verhindern.

## 6. Literatur

Bender, P. (1994): Probleme mathematischer Begriffsbildung diskutiert am Beispiel der Vektor-Addition. *mathematica didactica* 17 (1), S. 3–27.

Boczianowski, F. (2012): Pfeile als themenübergreifendes Symbolsystem im Physikunterricht. In: *PdN Physik in der Schule* 61 (4), S. 5–10.

Filler, A. (2011). *Elementare Lineare Algebra. Linearisieren und Koordinatisieren.* Heidelberg: Springer Spektrum.

Filler, A. & Todorova, A. D. (2012). Der Vektorbegriff. Verschiedene Wege zur Einführung. *mathematik lehren* (174), S. 47–51.

Henn, H.-W. & Filler, A. (2015). *Didaktik der Analytischen Geometrie und Linearen Algebra. Algebraisch verstehen - geometrisch veranschaulichen und anwenden.* Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum.

Holten, K. & Witzke, I. (2017). Chancen und Herausforderungen fachdidaktischverbindender Elemente in der Lehramtsausbildung. *Beiträge zum Mathematikunterricht 2017*, 457-460.

Kraus, M. E. (2016): Pfeile in der Physik: Die Schwierigkeiten beim ikonischen Modellieren. *PdN Physik in der Schule* 65 (6), S. 25–32.

Malle, G. (2005a). Neue Wege in der Vektorgeometrie. *mathematik lehren* (133), S. 8–14.

Malle, G. (2005b): Schwierigkeiten mit Vektoren. *mathematik lehren* (133), S. 16–19.

Reusch, W. (2012): Nicht nur wie schnell, sondern auch wohin? Notwendigkeit und Möglichkeiten der differenzierten Behandlung ungerichteter und gerichteter Größen im Physikunterricht. In: *PdN Physik in der Schule* 61 (4), S. 11–17.

Wittmann, G. (1996). Eine Unterrichtssequenz zum Vektorbegriff in der Sekundarstufe I. *mathematica didactica* 19 (1), S. 93–116.

Witzke, I. (2015). Fachdidaktischverbindendes Lernen und Lehren im MINT-Bereich. *Beiträge zum Mathematikunterricht 2015*, 1008-1011.

# Diagnosebasierte Förderung (potenziell) leistungsfähiger Schüler*innen im Regelunterricht Physik

**René Dohrmann, Volkhard Nordmeier**

Freie Universität Berlin, Didaktik der Physik, Arnimallee 14, 14195 Berlin
rene.dohrmann@fu-berlin.de, volkhard.nordmeier@fu-berlin.de

**Kurzfassung**

Im Teilprojekt *DiaMINT Physik* wird an der Freien Universität Berlin im Rahmen des BMBF-geförderten Verbundprojektes *LemaS* davon ausgegangen, dass die Gesellschaft nicht nur von den intellektuellen, fachlichen und organisatorischen Kompetenzen, sondern auch im Hinblick auf Verantwortung, Vorbildcharakter und Gewissenhaftigkeit (hoch-) begabter junger Menschen profitieren kann. Aus diesem, aber auch aus Gründen einer verbesserten individuellen Förderung von Lern- und Leistungspotenzialen bei Schülerinnen und Schülern, werden grundlegende Theorien, aktuelle Forschungsergebnisse und der Erwerb diagnostischer Kompetenzen zum Thema Begabungsförderung vermehrt in die Lehrkräftebildung aufgenommen.
Im vorliegenden Beitrag werden Forderungen in Bezug auf die Diagnostik und die Förderung physikbezogener Begabungen für Schule und Hochschule entsprechend der Forschungslage abgeleitet, um daraus Zielstellungen sowie erste Ansätze und Ideen zur Umsetzung für das Projekt *DiaMINT Physik* zu generieren.

## 1. Ausgangslage

Im Rahmen der Diskussion um den erweiterten Inklusionsbegriff (z. B. Römer, 2014) ist auch die Förderung individuell ausgeprägter Begabungen und Leistungsdispositionen eine Frage der Bildungsgerechtigkeit. Eine Aufgabe des Bildungssystems ist es daher, „allen Kindern und Jugendlichen eine ihrem intellektuellen Vermögen und ihrer individuellen Leistungsfähigkeit entsprechende bestmögliche Bildung zu vermitteln“ (KMK, 2009, S. 2).
Die Namensgebung der Bund-Länder-Initiative *Leistung macht Schule* (LemaS) deutet bereits an, dass der Forschungs- und Entwicklungsverbund das Ziel verfolgt, „die Entwicklungsmöglichkeiten von leistungsstarken und potenziell besonders leistungsfähigen Schülerinnen und Schülern zu optimieren“ (KMK, 2015, S. 3). Dabei werden die Begriffe Leistungspotenzial, als Voraussetzung für tatsächlich zu erbringende Leistung gleich welcher Art, und Begabung synonym und in Anlehnung an die Definition des *International Panel of Experts for Gifted Education* (iPEGE) verwendet. Demnach wird als Begabung allgemein das Leistungsvermögen einer Person bezeichnet. „Spezieller ist mit Begabung der jeweils individuelle Entwicklungsstand der leistungsbezogenen Potenziale gemeint, also jener Voraussetzungen, die bei entsprechender Disposition und langfristiger, systematischer Anregung, Begleitung und Förderung das Individuum in die Lage versetzen, sinnorientiert und verantwortungsvoll zu handeln und auf Gebieten, die in der jeweiligen Kultur als wertvoll erachtet werden, anspruchsvolle Tätigkeiten auszuführen“ (iPEGE, 2009, S. 17). Dabei wird in der aktuellen Debatte um die Identifikation sowie die optimale Förderung (potenziell) leistungsstarker Schülerinnen und Schüler von einem dynamischen Begabungsbegriff ausgegangen, der zwar ebenfalls genetische Voraussetzungen diskutiert, jedoch die Entwicklung einer Person in Wechselwirkung mit deren Umwelt in den Fokus nimmt (Ziegler, 2008; Stamm, 2010; Stadelmann, 2012). Ausschlaggebend ist dabei das „fallweise besonders günstige Zusammentreffen von personellen, situativen, instrumentellen und instruktionellen Optionen für optimale geforderte und ungeforderte Leistungen (aller Art)“ (Anton, 2000, S. 126). Um eine solche ‚Umwelt’ zu schaffen und um damit die leistungsbezogene Entwicklung von Individuen zu begünstigen, wäre es vorteilhaft, bereits zu Beginn der Schulzeit die Potenziale aller (!) Schülerinnen und Schüler zu erkennen, diese bedarfsgerecht und individuell zu fördern (und auch zu fordern), um somit jeder Person zu ermöglichen, sich entsprechend ihrer Dispositionen zu entfalten.
Es klingt bereits an, dass es sich bei Begabungen bzw. Leistungspotenzialen um Voraussetzungen handelt, die die Ausprägung von Kompetenzen entscheidend mitbestimmen und bei entsprechender Förderung in einer performativen Umsetzung münden, die gesellschaftliche Teilhabe, aktives Gestalten und die Übernahme von sozialer Verantwortung einschließen.
Diese Zielstellung ist jedoch mit einer Vielzahl von Hindernissen und hemmenden Faktoren verbunden. Insbesondere im schulischen Alltag treten gewisse Schwierigkeiten bei (hoch-) begabten Kindern ge-

häuft auf, wie zum Beispiel eine asynchrone Entwicklung, soziale Isolierung, eine unrealistische Erwartungshaltung an sich selbst sowie bei der Fokussierung bzw. beim Setzen von Prioritäten (Zurbriggen, 2011).
Wie bei allen anderen auch, sind die Lernprozesse leistungsstarker Schülerinnen und Schüler komplex und gestalten sich von Person zu Person unterschiedlich. Dies führt im Kontext von Schule, neben anderen entscheidenden Faktoren, zu einer großen Heterogenität in den Klassen (Stadelmann, 2012).
Um diesen Umständen Rechnung zu tragen, ist es notwendig, dass sowohl Diagnose als auch Förderung integrale Bestandteile des Schullalltags sein müssen. „Um eine optimale Passung der Unterrichtsinhalte und -angebote an die Lernausgangslage von Schülerinnen und Schülern zu erreichen, sollte das Diagnostizieren, Fördern und Fordern als bewusster, methodisch kontrollierter und transparenter Prozess zur alltäglichen Routine im Unterrichtsalltag gehören“ (Paradies, 2008, S. 65). Dieser Zielstellung nimmt sich das *Lemas*-Teilprojekt *DiaMINT Physik* an der Freien Universität Berlin an.
Lehrkräfte müssen überhaupt erst in die Lage versetzt werden, individuelle Lernausgangslagen objektiv fest- und adaptive, begabungsdifferenzierende Lernangebote bereitstellen zu können (Fischer, 2019). Nicht umsonst konstatiert die KMK (2015), dass es in allen Phasen der Lehrkräftebildung erhöhter Anstrengungen bedarf, „um die Kenntnisse und Kompetenzen von Lehrkräften im Bereich der schulischen und außerschulischen Förderung von leistungsstarken und potenziell leistungsfähigen Schülerinnen und Schülern auszubauen“ (S. 3).
Dabei hat sich „sowohl im Interesse der Schülerinnen und Schüler als auch der Begabungsförderung und der Leistungsmotivation in der Schule ein und dasselbe didaktische Prinzip bewährt, welches da heißt: Differenzierung von Lernangeboten, von Leistungsanforderungen und Leistungsbeurteilungen“ (Hoyer, 2012, S. 20).
Die Befundlage in Bezug auf diese Anforderungen an den schulischen Alltag ist jedoch eher ernüchternd. So konnte für alle Schultypen festgestellt werden „dass eine konzeptionelle Grundlegung für den Umgang mit Heterogenität an den Schulen und, darauf basierend, differenzierender und individuell fördernder Unterricht eine ausgeprägte Schwäche darstellen“ (Nieder & Frühauf, 2010, S. 136).
Darüber hinaus ist es in keinem Schultyp „gängige Praxis, dass den Schülerinnen und Schülern einer Lerngruppe differenzierte Angebote in Form von qualitativ oder quantitativ unterschiedlichen Aufgaben und Aufträgen bzw. Lernmaterialien gemacht werden. Die gezielte individuelle Förderung leistungsstärkerer und leistungsschwächerer Schülerinnen und Schüler wird zudem im Unterricht nur selten sichtbar. Insgesamt entstehen für die Schülerinnen und Schüler nur wenige Möglichkeiten, sich den Lernstoff in individuell angemessener Weise anzueignen“ (Nieder & Frühauf, 2012).
In einer qualitativen Untersuchung von Kiso (2019) wird zusätzlich festgestellt, dass es Lehrpersonen generell schwerfällt, in eigenen Worten ihre Haltung gegenüber dem Umgang mit Begabungen zu äußern. In diesem Zusammenhang werden Begabung und sichtbar erbrachte Leistung gleichgesetzt und anhand verschiedener Indikatoren 'diagnostiziert' (z. B. überdurchschnittliche Leistungsperformanz, hohe Lerngeschwindigkeit, sehr hohe Motivation) (Kiso, 2019). Insbesondere für die MINT-Fächer und im Speziellen für das Fach Physik kann festgehalten werden: Analysiert man die fachdidaktische Literatur einschließlich der Lehr-Lernmaterialien genauer, werden Defizite hinsichtlich einer komplexeren, ganzheitlichen Sicht auf das Lernen von Schülerinnen und Schülern deutlich. Meist stehen stoffdidaktische Aspekte im Vordergrund (z. B. inhaltliche Substanz der Aufgaben, Querverbindungen zu Lernthemen, Bestimmen von Anschlussproblemen); für den Lernerfolg ebenso bedeutsame Bedingungen, wie individuelle Lernprozesse, subjektive Theorien oder selbstreguliertes und kooperatives Lernen werden dagegen eher vernachlässigt (Käpnick, 2016). Zum Teil fehlt es den Lehrpersonen an Wissen und Kompetenzen zum Umgang mit (potenziell) leistungsstarken Schülerinnen und Schülern (Sjuts, 2017) bzw. entsprechenden Einstellungen (Dieckow, 2019).
Eine der zentralen Herausforderungen der naturwissenschaftsbezogenen Begabungsförderung liegt somit darin, einen geeigneten Weg zu finden, der einerseits allen Schülerinnen und Schülern eine individuelle Bildung zukommen lässt, andererseits jedoch ebenso die Zusammenarbeit der Schülerinnen und Schüler untereinander fördert, auch wenn diese sehr unterschiedlich sein können (Sumida, 2017). Dies kann nur mittels begabungsdifferenzierender bzw. individualisierender Maßnahmen geschehen, die auch den weniger leistungsstarken Schülerinnen und Schülern zugutekommen.

## 2. Lern- und Kompetenzaufgaben

Innere Differenzierung oder auch Binnendifferenzierung „steht für die Strategie, Heterogenität nicht durch ein einheitliches Lernangebot zu ignorieren oder durch äußere Differenzierung zu reduzieren, sondern mit unterschiedlichen Angeboten für Teilgruppen innerhalb der Klasse (= innere Differenzierung) oder gar für jedes Individuum (= Individualisierung) an die Ausgangslagen der Lernenden anzuknüpfen“ (Bohl, Bönsch, Trautmann & Wischer, 2016, S. 5f.). Im Rahmen von Enrichment-Angeboten fordert die KMK (2009) „zusätzliche, inner- oder außerschulische Unterrichtsangebote", die „eine intensive, in die Breite und Tiefe gehende Beschäftigung mit Lernaufgaben“ ermöglichen (S. 2). Diese Forderung wird an anderer Stelle unterstrichen und ausgeschärft: „Eine besondere Bedeutung

kommt der Bereitstellung geeigneter Aufgabenformate zu, die kreative, vielfach vertiefende oder über den curricularen Rahmen hinausgehende Zugänge eröffnen, ohne obligatorische Lehrplaninhalte vorwegzunehmen. Aufgaben, die die Entwicklung eigener Lösungswege verlangen oder vor allem in mathematischen und naturwissenschaftlichen Fächern Themenbereiche bereithalten, die forschendes und entdeckendes Lernen ermöglichen, sind im Gegensatz zu Formen standardisierten Übens in besonderem Maße geeignet, der Motivation und dem Lernpotenzial dieser Schülergruppe gerecht zu werden" (KMK, 2015, S. 8).

Diesem Umstand kann mit dem Einsatz von *komplexen Lernaufgaben* nachgekommen werden. Es müssen begabungsdifferenzierende Aspekte in die Aufgaben einfließen, denn für „die Entwicklung einer begabungsfördernden Aufgabenkultur ist es bedeutsam, stets die höchstmögliche Leistung mitzudenken und den Schülern Freiräume und Wege dorthin zu erschließen" (Lehfeldt, 2018, S. 128). Eine Besonderheit komplexer Lernaufgaben ist die Produktorientierung. Diese ist zentral für deren Ausgestaltung, denn der Planungsprozess geht vom anzufertigenden Lernprodukt aus (Hallet, 2012). Als Lernaufgabe wird in diesem Zusammenhang eine Lernumgebung zur Kompetenzentwicklung verstanden. „Sie steuert den individuellen Lernprozess durch eine Folge von gestuften Aufgabenstellungen mit entsprechenden Lernmaterialien so, dass die Lerner möglichst eigentätig die Problemstellung entdecken, Vorstellungen entwickeln und Informationen auswerten. Dabei erstellen und diskutieren sie ein Lernprodukt, definieren und reflektieren den Lernzugewinn und üben sich abschließend im handelnden Umgang mit Wissen" (Leisen, 2010, S. 10). Während die Schülerinnen und Schüler eine Lernaufgabe bearbeiten, kommt der Lehrkraft lediglich die Rolle der Prozessbegleitung zu – sie steuert und regelt (Leisen, 2010)

Bei der Konzeption und Konstruktion leistungsdifferenzierender Aufgaben ist es wichtig, die Einstiegsaufgabe so zu gestalten, dass die Lösungsschwelle für alle Schülerinnen und Schüler zu überwinden ist und sie so zum Weiterarbeiten motiviert werden. Darüber hinaus sollten Lösungen nicht die Grundlage für die Arbeit an weiterführenden Aufgaben bilden. Das Anspruchsniveau sollte zudem nachvollziehbar gekennzeichnet sein (Hepp & Wegwerth, 2010).

Für einen erfolgreichen Einsatz im Unterricht bietet sich der Einsatz *gestufter Lernhilfen* an. Essentiell für deren Konzeption ist die Antizipation möglicher Bearbeitungsprobleme bei der Aufgabenstellung auf Seiten der Schülerinnen und Schüler durch die verantwortliche Lehrkraft (Hepp, 2010). Sie können Lernprozesse sowohl bei der Einzel- als auch bei Partner- oder Gruppenarbeit unterstützen. Darüber hinaus können sie in allen Schulphasen den Unterricht bereichern und lassen sich mit weiteren Methoden gut kombinieren (ebd.). Eine adäquate Gestaltung von Lernhilfen trägt deshalb dazu bei, das kognitive Potenzial der Schülerinnen und Schüler in höherem Maße auszuschöpfen bzw. zu aktivieren (Stäudel, Franke-Braun & Schmidt-Weigand, 2007).

Die im Projekt *DiaMINT Physik* konzipierten Aufgaben werden an den Partnerschulen des Projekts eingesetzt, anschließend hinsichtlich ihrer begabungsdifferenzierenden Wirksamkeit evaluiert und, soweit für passend befunden, schließlich allen interessierten Schulen zur Verfügung gestellt. Derzeit werden begabungsdifferenzierende Lern- und Kompetenzaufgaben zu folgenden Themen konzipiert: ‚Mit Sprüngen den Kraftbegriff erlernen', ‚Elektrischer Strom und elektrische Ladung', ‚Der anthropogene Klimawandel und der Umgang mit Messdaten', ‚Bau und Programmierung einer Kraftmessplatte', ‚Newton auf der Spur'.

Die Planung begabungsdifferenzierten Unterrichts ist jedoch erst dann sinnvoll bzw. möglich, wenn das Lern- und Leistungspotenzial der Schülerinnen und Schüler und somit deren individuelle Begabungen der Physiklehrkraft bekannt sind. Eine Möglichkeit zur informellen Diagnostik bieten in diesem Zusammenhang Diagnoseaufgaben.

## 3. Diagnoseaufgaben

In der Begabungsdiagnostik werden verschiedene Ansätze unterschieden: Die statusorientierte Begabungsdiagnostik geht der Frage nach, ob Personen hochbegabt sind. Dem gegenüber steht der interventionsorientierte Ansatz, der sich der Frage widmet, warum es manchen hochbegabten Personen nicht gelingt, ihr Leistungspotenzial auszuschöpfen. Beim entwicklungsorientierten Ansatz wird untersucht, inwiefern es möglich ist, Aussagen über den Verlauf der weiteren Leistungsentwicklungen von Personen zu machen. Im Gegensatz dazu orientiert sich die förderorientierte Begabungsdiagnostik an den Möglichkeiten jedes einzelnen Individuums, entweder Leistungsexzellenz bzw. Hochleistung erreichen zu können (Ziegler, 2008). Diesem Ansatz fühlt sich auch das Projekt *DiaMINT Physik* verpflichtet. Dementsprechend werden im Projekt Formate entwickelt, die es den Physiklehrkräften ermöglichen, unterrichtsbegleitend Hinweise auf das Begabungsprofil der Klasse bzw. die individuellen Begabungen einzelner Schülerinnen und Schüler zu bekommen. Dabei sollte sich nicht an Normen oder Standards, sondern vielmehr an den heterogenen Lernvoraussetzungen der Schüler*innen sowie deren spezifischen Zugangsweisen mit den entsprechenden individuellen Besonderheiten orientiert werden (Hößle, Hußmann, Michaelis, Niesel & Nührenbörger, 2017, S. 21).

In Bezug auf die Praktikabilität bei Konzeption und Auswertung gelten insbesondere informelle Diagnoseverfahren als wesentliche Instrumente für den Einsatz im Unterricht (Benölken, 2016), wie zum Beispiel Diagnoseaufgaben (Hößle et al., 2017).

Werden also Diagnoseaufgaben konzipiert, so müssen sie so gestaltet sein, dass sie verschiedene Leistungsniveaus abbilden und somit diagnostizieren können. Bis dato gibt es in der MINT-Lehrkräftebildung nur wenige fundiert konzipierte diagnostische Aufgaben (Hößle et al., 2017). Für das Fach Physik sind den Autoren keine Arbeiten zur Konzeption solcher Aufgaben bekannt.
Das Projekt *DiaMINT Physik* verfolgt aus diesen Gründen das (ehrgeizige) Ziel, bis zum Ende der ersten *LemaS*-Förderphase einen Pool an validierten Diagnoseaufgaben interessierten Schulen zur Verfügung stellen zu können.

## 4. Professionalisierung im Lehramtsstudium

Eine erfolgreiche Bildungsbiographie durchlaufen (potenziell) begabte Schüler*innen insbesondere dann, wenn deren Bedürfnisse und Fähigkeiten schon frühzeitig identifiziert bzw. diagnostiziert werden (KMK, 2015). Demensprechend müssen das Studium bzw. Fortbildungsmaßnahmen für Lehrkräfte auch auf die Begabungsförderung fokussieren und sowohl grundlegende Theorien als auch aktuelle Forschungsergebnisse vermitteln. Zusätzlich sollten auch diagnostische Kompetenzen erworben werden (Vock, Preckel & Holling, 2007). Die Forschungslage zeigt eine deutliche Notwendigkeit der Verbesserung von Studium und Weiterbildung von Lehrpersonen in Bezug auf deren Kompetenzen im Bereich der Begabungsdiagnose und -förderung (Vock, Preckel & Holling, 2007; KMK, 2009, 2015; Wasmann, 2013; Erdogan, 2017; Fischer, 2019). Darüber hinaus sollte die Professionalisierung angehender Lehrpersonen im Hinblick auf die Ausprägung und Festigung von Diagnose- und Förderkompetenzen in Bezug auf die Heterogenität von Lerngruppen ein weiterer Schwerpunkt des Lehramtsstudiums sein (Lengnink, Bikner-Ashbahs & Knipping 2017), sowie die Aneignung des entsprechenden Professionswissens zu adaptiven Förderkonzepten (Reintjes, Kunze & Ossowski, 2019)
In Bezug auf die Förderung hochbegabter Schüler*innen zeigen Befunde, dass nicht nur die Fähigkeiten der Lehrkräfte, entsprechende Maßnahmen kompetent umzusetzen, sondern insbesondere ihre Einstellungen dafür mitverantwortlich sind, inwiefern die Umsetzung für die entsprechenden Schülerinnen und Schüler positiv verläuft oder nicht (Vock et al., 2007; Fischer, 2019). Dementsprechend sollten Lehrveranstaltungen in die Curricula der Lehramtsstudiengänge aufgenommen werden, die diese Bedarfe aufgreifen.
Ein mögliches Format, um diesen (An-) Forderungen an den Hochschulen zu begegnen, könnten sog. Lehr-Lern-Labor-Veranstaltungen darstellen (Dohrmann, 2019).
In Lehr-Lern-Laboren (LLL) werden zielgerichtet Lernumgebungen mit Laborcharakter gestaltet, die Studierenden ermöglichen, theoriegeleitet praxisnahe Lehr-Lernsituationen in komplexitätsreduzierten Settings zu erleben und eigenes Handeln zu erproben. Im Zentrum stehen Planung und Durchführung (im direkten Kontakt mit den Adressat*innen, in der Regel Schüler*innen) sowie Analyse und Reflexion der Lehr-Lernsituationen. In einem iterativen Prozess werden im LLL beispielsweise die professionelle Unterrichtswahrnehmung, die Reflexionskompetenz bzw. der Erwerb von Professionswissen und Handlungskompetenz gefördert (Dohrmann & Nordmeier, 2019, 2018, 2015).
Im Projekt *DiaMINT Physik* wird die Auffassung vertreten, dass solche Lehr-Lern-Labore ein geeignetes Format bieten, den o. g. Forderungen nachzukommen. Sie bieten das Potenzial, auf Mikroebene Lernumgebungen zu gestalten, die aktivierende Lernaufgaben sowie spezifische -materialien enthalten, „um Studierende in einzelnen Veranstaltungsabschnitten in gezielte Auseinandersetzung mit diagnose- und förderbezogenen Lerninhalten zu bringen“ (Hößle et al., 2017, S. 26). Dabei spielt die Verzahnung von theoretischen Inhalten und erlebter Praxis eine entscheidende Rolle. „Fälle [hier: unterrichtsähnliche Lehr-Lern-Situationen; Anm. d. V.] leisten nicht nur einen wesentlichen Beitrag zur kognitiven Durchdringung und zum Aufbau von Kenntnissen zur theoriegestützten Gestaltung von Praxis; sie tragen auch zum Erleben der Relevanz von Theorie gerade in der ersten Phase der Lehrerbildung bei“ (von Aufschnaiter, Selter & Michaelis, 2017, S. 89). Insbesondere für den Aufbau erfahrungsbasierter Diagnostik- und Förderkompetenz ist die Selbsterfahrung in fachlichen Lehr-Lern-Situationen von großer Bedeutung (Hößle et al., 2017). Darüber hinaus führt die Reflexion dieser Lehr-Lern-Situationen „zu einer wiederkehrenden Phase des Erlebens und kritischen Erlernens von Diagnostik und Förderung auf einer höheren Ebene“ (Hößle et al. 2017, S. 27).
Die professionalisierende Wirksamkeit solcher Veranstaltungskonzepte konnte bereits in mehreren Studien am Projektstandort gezeigt werden (z. B. Dohrmann, 2019; Klempin, 2019).
LLL bieten darüber hinaus die Möglichkeit der Förderung (potenziell) begabter Schülerinnen und Schüler (Benölken & Käpnick, 2015).
Entsprechend der Schwerpunktsetzung im Projekt *DiaMINT Physik* werden die bestehenden Angebote für die Lehramtsstudierenden an der Freien Universität Berlin im Fach Physik erweitert und ergänzt.

## 5. Zusammenfassung und Ausblick

Die Diagnose und Förderung (potenziell) leistungsstarker bzw. begabter Schüler*innen im Fach Physik ist einerseits ein äußerst komplexes Handlungsfeld, welches jedoch andererseits Potenziale bietet, von denen nicht nur die (hoch-) begabten, sondern (idealerweise) alle Schüler*innen profitieren können. Dazu bedarf es der Unterstützung professionalisierender Prozesse angehender Physiklehrkräfte bereits während des Studiums. Eine vielversprechende

Möglichkeit ist die Adaption bzw. Neuausrichtung bereits (erfolgreich) etablierter Lehr-Lern-Labor-Veranstaltungen in Bezug auf die Begabungsthematik.
Für die leistungsdifferenzierende Ausrichtung des Physik-Regelunterrichts bieten sich komplexe Lern- bzw. Kompetenzaufgaben an. Diese werden durch das Projekt *DiaMINT Physik* entwickelt und in Kooperation mit den Partnerschulen evaluiert.
Damit diese Aufgaben individualisierend und entsprechend der Förderbedarfe der Schülerinnen und Schüler eingesetzt werden können, ist die Konzeption von physikbezogenen Diagnoseaufgaben ein weiteres Projektziel.
Insgesamt ist festzuhalten, dass bis dato nur wenige fundierte Erkenntnisse zur physikbezogenen Begabungsdiagnose und -förderung vorliegen. Somit besteht erheblicher Forschungsbedarf in Bezug auf die Wirksamkeit bereits eingesetzter Maßnahmen, die theoretischen Grundannahmen zur Entwicklung von Aufgabenformaten zur physikbezogenen Diagnose und Förderung sowie bezüglich der diagnostischen und förderbezogenen Kompetenzen von (angehenden) Physiklehrkräften und deren Einstellungen.

## 6. Literatur


Anton, Michael A. (2000): Hochbegabung und Unterrichtsanspruch. Chemieunterricht in der Primarstufe. In: Renate Brechel (Hg.): Zur Didaktik der Physik und Chemie. Probleme und Perspektiven. Alsbach: Leuchtturmverlag (Beitrag auf der GDCP-Jahrestagung 1999), S. 126–128.

Aufschnaiter, Claudia von; Selter, Christoph; Michaelis, Julia (2017): Nutzung von Vignetten zur entwicklung von Diagnose- und Förderkompetenzen - Konzeptionelle Überlegungen und Beispiele aus der MINT-Lehrerbildung. In: Christoph Selter, Stephan Hußmann, Corinna Hößle, Christine Knipping, Katja Lengnink und Julia Michaelis (Hg.): Diagnose und Förderung heterogener Lerngruppen. Theorien, Konzepte und Beispiele aus der MINT-Lehrerbildung. Münster, New York: Waxmann.

Benölken, Ralf (Hg.) (2016): Individuelles Fördern im Kontext von Inklusion. Münster: WTM (Schriften zur mathematischen Begabungsforschung, 8).

Benölken, Ralf; Käpnick, Friedhelm (2015): „Mathe für kleine Asse“ – Ein Lehr-Lernlabor an der Universität Münster. In: F. Caluori, H. Linneweber-Lammerskitten & C. Streit (Hrsg.): *Beiträge zum Mathematikunterricht* (S. 140-143). Münster: WTM

Bohl, Thorsten; Bönsch, Manfred; Trautmann, Matthias; Wischer, Beate (2016): Binnendifferenzierung. Ein altes Thema in der aktuellen Diakussion. 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).

Dieckow, Sandrina (2019): Was verstehen Physiklehrkräfte unter physikbezogener (Hoch-) Begabung und wie gehen sie damit um? Masterarbeit. Freie Universität Berlin.

Dohrmann, René (2019): Professionsbezogene Wirkungen einer Lehr-Lern-Labor-Veranstaltung : eine multimethodische Studie zu den professionsbezogenen Wirkungen einer Lehr-Lern-Labor-Blockveranstaltung auf Studierende der Bachelorstudiengänge Lehramt Physik und Grundschulpädagogik (Sachunterricht). Berlin: Logos.

Dohrmann, René; Nordmeier, Volkhard (2019). Die Verknüpfung von Theorie und Praxis im Lehr-Lern-Labor-Blockseminar als Unterstützung der Professionalisierung angehender Lehrpersonen. In B. Priemer, J. Roth (Hrsg.), Lehr-Lern-Labore: Innovationsmotor in der MINT-Lehrpersonenbildung (S. 191-208). Heidelberg [u.a.]: Springer.

Dohrmann, René; Nordmeier, Volkhard (2018). Praxisbezug und Professionalisierung im Lehr-Lern-Labor-Seminar (LLLS) - ausgewählte vorläufige Ergebnisse zur professionsbezogenen Wirksamkeit. In C. Maurer (Hrsg.), Qualitätsvoller Chemie- und Physikunterricht - normative und empirische Dimensionen. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Regensburg 2017 (S. 524-527). Universität Regensburg. Regensburg.

Dohrmann, René; Nordmeier, Volkhard (2015). Schülerlabore als Lehr-Lern-Labore (LLL): Ein Projekt zur forschungsorientierten Verknüpfung von Theorie und Praxis in der MINT-Lehrerbildung. Förderung von Professionswissen, professioneller Unterrichtswahrnehmung und Reflexionskompetenz im LLL Physik. In V. Nordmeier und H. Grötzebauch (Hrsg.), PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung (S. 1–7). Frühjahrstagung in Wuppertal. DPG. Berlin.

Erdogan; Sezen Camci (2017): Science Teaching Attitudes and Scientific Attitudes of Pre-service Teachers of Gifted Students. In: *Journal of Education and Practise* 8 (6), S. 164–170.

Fischer, Christian (2019): Professionalisierung von Lehrpersonen zur individuellen Begabungsförderung. In: Christian Reintjes, Ingrid Kunze und Ekkehard Ossowski (Hg.): Begabungsförderung und Professionalisierung. Befunde, Per-

spektiven, Herausforderungen. Bad Heilbrunn: Klinkhardt, Julius, S. 174–189.

Hallet, Wolfgang (2012): Kompetenzaufgaben im Englischunterricht: Grundlagen und Unterrichtsbeispiele. Seelze: Klett, Kallmeyer.

Hepp, Ralph (2010): Mit Aufgaben Freude an der Physik entwickeln. In: *Naturwissenschaften im Unterricht Physik* (117/118), S. 14–17.

Hepp, Ralph; Wegwerth, Nicole (2010): Variation des Anspruchsniveaus von Aufgaben. Die zentrale Methode zur Differenzierung nach Schwierigkeitsgrad. In: *Naturwissenschaften im Unterricht Physik* (117/118), S. 45–53.

Hößle, Corinna; Hußmann, Stephan; Michaelis, Julia; Niesel, Verena; Nührenbörger, Marcus (2017): Fachdidaktische Perspektiven auf die Entwicklung von Schlüsselkenntnissen einer förderorientierten Diagnostik. In: Christoph Selter, Stephan Hußmann, Corinna Hößle, Christine Knipping, Katja Lengnink und Julia Michaelis (Hg.): Diagnose und Förderung heterogener Lerngruppen. Theorien, Konzepte und Beispiele aus der MINT-Lehrerbildung. Münster, New York: Waxmann, S. 19–39.

Hoyer, Tim (2012): Begabungsbegriff und Leistung. Eine pädagogische Annäherung. In: Armin Hackl, Claudia Pauly, Olaf Steenbuck 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 Qualifzierung von Fachkräften in der Begabtenförderung. Salzburg: Eigenverl. Österr. Zentrum für Begabtenförderung und Begabungsforschung (ÖZBF).

Käpnick, Friedhelm (2016): Verschieden verschiedene Kinder: Inklusives Fördern im Mathematikunterricht. Seelze: Friedrich.

Kiso, Carolin (2019): Jede(r) ist begabt? Zum Begabungsverständnis von Lehrkräften. In: Christian Reintjes, Ingrid Kunze und Ekkehard Ossowski (Hg.): Begabungsförderung und Professionalisierung. Befunde, Perspektiven, Herausforderungen. Bad Heilbrunn: Klinkhardt, Julius.

Klempin, Christiane (2019): Reflexionskompetenz von Englischlehramtsstudierenden im Lehr-Lern-Labor-Seminar : Eine Interventionsstudie zur Förderung und Messung. Stuttgart: J. B. Metzler.

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 (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.

Lehfeldt, Birgit (2018): Hochbegabung in der Sek. I. Diagnose, Handlungsstrategien und Förderung. Mühlheim an der Ruhr: Verlag an der Ruhr.

Leisen, Josef (2010): Lernprozesse mithilfe von Lernaufgaben strukturieren. Informationen und Beispiele zu Lernaufgaben im kompetenzorientierten Unterricht. In: *Naturwissenschaften im Unterricht Physik* (117/118), S. 9–13.

Lengnink, Katja; Bikner-Ashbahs, Angelika; Knipping, Christine (2017): Aktivität und Reflexion in der Entwicklung von Diagnose- und Förderkompetenz im MINT-Lehramtsstudium. In: Christoph Selter, Stephan Hußmann, Corinna Hößle, Christine Knipping, Katja Lengnink und Julia Michaelis (Hg.): Diagnose und Förderung heterogener Lerngruppen. Theorien, Konzepte und Beispiele aus der MINT-Lehrerbildung. Münster, New York: Waxmann, S. 61–83.

Nieder, Tanja; Frühauf, Susanne (2012): Bilanzbericht der Schulinspektion. Ergebnisse der externen Evaluation an allen hessischen Schulen. Hg. v. Hessisches Kultusministerium, Institut für Qualitätsentwicklung (IQ). Wiesbaden. Online verfügbar unter https://kultusministerium.hessen.de/sites/default/files/media/bilanzbericht_der_schulinspektion_iq_report_16.pdf, zuletzt geprüft am 18.02.2019.

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.

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.

Römer, Katja (Hg.) (2014): Inklusion: Leitlinien für die Bildungspolitik. 3. erw. Aufl. Bonn: Dt. UNESCO-Kommission e.V.

Sjuts, Britta (2017): Mathematisch begabte Fünft- und Sechstklässler. Theoretische Grundlegung und empirische Untersuchungen. Münster (unveröff. Promotion).

Stadelmann, Willi (2012): Begabungs- und Begabtenförderung: eine Aufgabe für Schule und Lehrerbildung. In: Christian Fischer, Christiane Fi-

scher-Ontrop, Friedhelm Käpnick, Franz-Josef Mönks, Hansjörg Scheerer und Claudia Stolzbacher (Hg.): Individuelle Förderung multipler Begabungen. Allgemeine Forder- und Förderkonzepte. Berlin: Lit Verlag (Begabungsforschung, 12), S. 65–75.

Stamm, Margrit (2010): Begabung, Kultur und Schule. Gedanken zu den Grundlagen der Begabtenförderung. In: *Zeitschrift für internationale Bildungsforschung und Entwicklungspädagogik (ZEP)* 33 (1), S. 25–33. Online verfügbar unter https://www.pedocs.de/volltexte/2014/9601/pdf/ZEP_2010_1_Stamm_Begabung_Kultur_Schule.pdf, zuletzt geprüft am 21.01.2019.

Stäudel, Lutz; Franke-Braun, Gudrun; Schmidt-Weigand, Florian (2007): Komplexität erhalten - auch in heterogenen Lerngruppen: Aufgaben mit gestuften Lernhilfen. In: *ChemKon* 14 (3), S. 115–122.

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.

Vock, Miriam; Preckel, Franzis; Holling; Heinz (2007): Förderung Hochbegabter in der Schule. Evaluationsbefunde und Wirksamkeit von Massnahmen. Göttingen: Hogrefe (Hochbegabung).

Wasmann, Astrid (2013): Brauchen Mädchen eine besondere Begabungsförderung? In: *Diskurs Kindheits- und Jugendforschung* 8 (1), S. 119–129.

Ziegler, Albert (2008): Hochbegabung. München: Reinhardt.

Zurbriggen, Eveline (2011): Prüfungswissen Schulpädagogik - Lernen, Lernstörungen und Begabungsförderung. Stuttgart: UTB.

# Erste Lehrkräfterückmeldungen zum Unterrichtsmaterial von EKo: Elektrizitätslehre in Kontexten

**Liza Dopatka*, Verena Spatz*, Jan-Philipp Burde[x], Thomas Wilhelm[x], Lana Ivanjek°, Martin Hopf°, Thomas Schubatzky[+], Claudia Haagen-Schützenhöfer[+]**

*Institut für Physik, Physikdidaktik, Technische Universität Darmstadt, Hochschulstraße 12, 64289 Darmstadt,
[x]Institut für Didaktik der Physik, Goethe-Universität Frankfurt, Max-von-Laue-Str. 1, 60438 Frankfurt,
°Österreichisches Kompetenzzentrum für Didaktik der Physik, Universität Wien, Porzellangasse 4, 1090 Wien,
[+]Institut für Physik, Physikdidaktik, Karl-Franzens-Universität Graz, Universitätsplatz 5, 8010 Graz
Liza.Dopatka@physik.tu-darmstadt.de, Verena.Spatz@physik.tu-darmstadt.de, burde@physik.uni-frankfurt.de, wilhelm@physik.uni-frankfurt.de, lana.ivanjek@univie.ac.at, martin.hopf@univie.ac.at, thomas.schubatzky@uni-graz.at, claudia.haagen@uni-graz.at

**Kurzfassung**

Im Design-Based-Research-Projekt EKo – Elektrizitätslehre in Kontexten (Untersuchungsstrang von EPo-EKo) – wurde auf Grundlage fachdidaktischer Entwicklungsarbeit kontextstrukturiertes Unterrichtsmaterial für die Elektrizitätslehre in der Sekundarstufe I erstellt. Thematisch orientieren sich die Kontexte an den Erkenntnissen zu den Interessen Lernender (IPN, ROSE und Vorstudie IDa). Im Sinne eines multiperspektivischen Ansatzes werden nicht nur die Interessen der Lernenden, sondern auch die Rückmeldungen von Lehrkräften zu den Materialien berücksichtigt. Die Integration ihrer Expertise und Praxiserfahrungen ist sowohl vor der Erprobung als auch nach Einsatz im Unterricht wesentlich. Im Sinne von Design-Based-Research kann somit ein Re-Design des Unterrichtsmaterials in mehreren Durchgängen stattfinden, um die Akzeptanz auf Lehrkraftseite und die Wirksamkeit bei den Lernenden zu steigern.

Im ersten Anpassungsdurchgang wurde vor der Materialerprobung eine Fortbildung mit N = 58 Physiklehrkräften durchgeführt, die differenziertes Feedback zu sechs ausgewählten kontextstrukturierten Arbeitsmaterialien lieferte. Die größte Stärke der EKo-Materialien sehen die Lehrkräfte in der möglichen Steigerung des Interesses und der Motivation durch die gewählten Kontextthemen sowie in der ansprechenden Gestaltung der Materialien. Eine Überarbeitung hinsichtlich der Textlänge und damit einhergehend der Bearbeitungszeit sei jedoch erforderlich. 85 % der Lehrkräfte, welche den Fragebogen am Ende der Fortbildung beantwortet haben, geben an, das Material (zum Teil mit kleinen Abänderungen) im eigenen Unterricht einsetzen zu wollen.

## 1. Projektüberblick EPo-EKo

Elektrizitätslehre mit Potenzial und Kontexten – kurz EPo-EKo – ist ein Design-Based-Research Projekt der Universitäten aus Frankfurt, Darmstadt, Wien und Graz. Das Projekt hat unter anderem zum Ziel, die Effekte zweier Unterrichtskonzepte sowie ihrer Kombination zu untersuchen: Auf der einen Seite das Unterrichtskonzept auf Basis des Elektronengasmodells (Burde, 2018) und auf der anderen Seite ein kontextstrukturiertes Unterrichtskonzept (EKo). Dieser Artikel widmet sich der Pilotierung der EKo-Unterrichtsmaterialien aus Darmstadt, die einen kontextstrukturierten Physikunterricht zur Elektrizitätslehre zum Ziel haben.

## 2. Motivation zu EKo

Aus physikdidaktischer Forschung ist bekannt, dass Schülerinnen und Schüler an Physikunterricht im Vergleich zu anderen Fächern ein geringeres Interesse haben, es aber dennoch bestimmte Themengebiete gibt, die ihr Interesse wecken (Hoffmann, Häußler & Lehrke, 1998). Durch kontextorientierten Unterricht, der sich an den Interessen von Mädchen und Jungen orientiert, wird versucht, ihr Interesse am Physikunterricht zu steigern. Hinsichtlich eines positiven Einflusses kontextorientierten Unterrichts auf das Interesse ist sich die Forschung weitestgehend einig (Bennett, Hogarth & Lubben, 2003). In Hinblick auf die Frage, inwiefern ein kontextorientierter Physikunterricht auch zu einem besseren Verständnis der Lernenden beiträgt, liegen jedoch keine eindeutigen Forschungsergebnisse vor. Zudem fehlen differenzierte Interventionsstudien (Bennett, 2003; Bennett, Hogarth & Lubben, 2003), so dass bis heute die Frage „Is context-based physics instruction better than what we are doing now?“ (Taasoobshirazi & Carr, 2008, S. 164) nicht eindeutig beantwortbar ist.

Auf schulpraktischer Seite ist eine Kontextorientierung zunehmend in den Kerncurricula verankert. So wird darin explizit gefordert, dass der Erwerb fachli-

cher Kompetenzen aus dem Bereich der Erkenntnisgewinnung, Kommunikation, Bewertung und der Nutzung fachlicher Konzepte „im Kontext persönlicher oder gesellschaftlich relevanter Themen“ (Hessisches Kultusministerium, 2011, S. 14) stattfindet. „Alltagskontexte können [dabei] Anlass zur Erschließung fachlicher Konzepte sein“ (Hessisches Kultusministerium, 2011, S. 15) und sollen von Lernenden im Rahmen der Bewertungskompetenz mit Hilfe naturwissenschaftlicher Kenntnisse bewertet werden (Hessisches Kultusministerium, 2011).

Eine Literaturrecherche macht deutlich, dass Lehrkräfte vor allem zur Elektrizitätslehre in der Sekundarstufe I kaum auf existierendes kontextorientiertes Unterrichtsmaterial zurückgreifen können. Die bestehenden Materialien sind häufig rein fachsystematisch gestaltet und beziehen Kontexte lediglich durch das Nennen einer Anwendung wie beispielsweise der elektromagnetischen Klingel ein (vergleiche Hinkeldey, 2016). Eigenes Material zu erstellen, ist für Lehrkräfte jedoch sehr zeitaufwendig, was die Umsetzung kontextorientierten Unterrichts im Schulalltag erschwert (Nawrath & Komorek, 2013). Am Beispiel der elektromagnetischen Klingel wird zudem deutlich, dass leicht zu findende Kontexte im Gebiet der E-Lehre vor allem aus dem Technikbereich stammen. Dieser ist jedoch für nur ca. 20 % der Lernenden, hauptsächlich Jungen, interessant (Hoffmann, Häußler & Lehrke, 1998). Ein so gestalteter Physikunterricht ginge demnach trotz Kontextorientierung an den Interessen der meisten Lernenden vorbei.

## 3. EKo: Ein Design-Based Research Projekt

Die Grundidee eines Design-Based Research Projekts ist es, durch einen theorieorientierten Prozess die Lösung für konkrete Probleme aus der Praxis zu finden (Wilhelm & Hopf, 2014) sowie die erprobte Lösung in einem Re-Design weiter zu verbessern. Im vorliegenden Projekt sind die identifizierten Praxisprobleme zum einen das geringere Interesse der Lernenden an Physik und zum anderen, dass kein interesseförderndes Unterrichtsmaterial für die E-Lehre der Sekundarstufe I auf der Basis von Kontexten vorhanden ist.

Ziel des EKo-Projekts ist daher die Gestaltung kontextstrukturierten Unterrichtsmaterials für die Elektrizitätslehre in der Sekundarstufe I, das hinsichtlich seiner Wirkung auf Seiten der Lernenden evaluiert ist und zugleich eine breite Akzeptanz von Lehrkräften erfährt.

### 3.1. Theoretische Grundlage von EKo

Die kontextstrukturierten Unterrichtsmaterialien basieren auf theoriegeleiteter Entwicklungsarbeit, indem sich beispielsweise die Kontexte gezielt an fachdidaktischen Erkenntnissen aus Interessestudien wie IPN und ROSE (Hoffmann, Häußler & Lehrke, 1998; Elster, 2007) orientieren. Die konkreten Fragestellungen, die Lernende in der E-Lehre als interessant empfinden, wurden zudem im Rahmen der hierfür eigens durchgeführten „IDa-Studie“ (Interesse Darmstadt) mit N = 980 Schülerinnen und Schülern der Jahrgangsstufen 7 bis 9 identifiziert (Dopatka et al., 2018). Die drei interessantesten Kontexte sowohl bei Mädchen als auch bei Jungen beziehen sich auf die *Verbrechensaufklärung*, *Elektrische Fische* und *Blitze*. Aus den ersten beiden Kontexten stammen auch die drei interessantesten Fragestellungen für Mädchen und Jungen: *Wie erzeugen elektrische Fische (z.B. der Zitteraal) Elektrizität?*, *Warum töten Zitteraale sich nicht selbst durch ihre Stromschläge?* und *Wie schließt der Lügendetektor darauf zurück, dass es sich bei einer Aussage um eine Lüge handelt?* (Dopatka et al., 2018). Diese und weitere Fragestellungen aus IDa bilden den Ausgangspunkt des entwickelten Unterrichtsmaterials.

### 3.2. Die Unterrichtsmaterialien in EKo

Auf Grundlage dieser Erkenntnisse wurden Unterrichtsmaterialien zu insgesamt 18 Themen entworfen, die vorrangig humanbiologische (z.B. Lügendetektor), medizinische (z.B. Defibrillator), gesellschaftliche (z.B. Müllrecycling) oder in der Natur vorkommende Phänomene (z.B. Blitz, Zitteraal) betreffen.

Das Besondere an den Materialien ist ihre Kontextstrukturierung (Nawrath, 2010). Die konkrete Fragestellung, die aus Perspektive der Lernenden interessant ist, steht im Mittelpunkt des Unterrichtsmaterials. Der Kontext bildet damit die „storyline“. Zur Beantwortung der Fragestellung sind jedoch physikalische Inhalte notwendig. Kontextstrukturierung geht somit über eine bloße Anreicherung des traditionellen Unterrichts mit Kontexten hinaus. Die fachlichen Inhalte werden innerhalb einer Lernaufgabe erarbeitet und/oder angewendet, was der innersten Kontextebene nach Finkelstein (2005) entspricht.

Auf organisatorischer Ebene sind die Unterrichtsmaterialien als Mikrokontexte (Kuhn et al., 2010) konzipiert. Dies ermöglicht eine größere Flexibilität im Unterrichtseinsatz, da sie in einzelnen Schulstunden und ohne besondere organisatorische Bedingungen anwendbar sind.

Die physikalischen Inhalte der Unterrichtsreihe gehen vom einfachen Stromkreis über Schalter und Schaltungen hin zur elektrischen Stromstärke, Widerstand und Spannung sowie dem wechselseitigen Zusammenhang dieser drei Größen. Eine qualitative Betrachtung steht dabei im Vordergrund.

Die Materialien enthalten zudem Anregungen für Experimente, welche optional, je nach Unterrichtsstil der Lehrkraft oder Ausstattung der Schule, in den Unterricht integriert werden können. Jedem Kapitel sind zudem Zusatzaufgaben angehängt. Sie bieten die Möglichkeit, Inhalte des Kontextes zu vertiefen oder Fachwissen dekontextualisiert anzuwenden.

### 3.3. Die Überarbeitung der EKo-Materialien

Die Überarbeitung der Materialien findet innerhalb eines Zyklus in mehreren Durchgängen, sowohl vor als auch nach der Erprobung im Unterricht, statt.

Die Unterrichtsmaterialien wurden in ihrer Entwurfsfassung zunächst im Unterricht einer 7. Klasse eingesetzt. Diese Erprobung im kleinen Rahmen gab eine erste Rückmeldung über die Akzeptanz und die Verständlichkeit aus Perspektive der Lernenden sowie den zeitlichen Umfang der Materialien. Dementsprechend wurden erste kleinere Anpassungen vorgenommen.

Ein empirisch gestütztes Re-Design wird nach der qualitativen und quantitativen Evaluation erfolgen. Grundlage hierfür werden die Daten aus der Studie sein, die im zweiten Halbjahr des Schuljahres 2018/2019 mit 24 Lehrkräften und 844 Lernenden stattfindet.

Im Sinne des Design-Based-Research Forschungsansatzes sind nicht nur die Effekte auf Seiten der Lernenden von Bedeutung, sondern auch die Beurteilung des Konzepts durch die Lehrkräfte. Eine hohe Akzeptanz ihrerseits ist notwendig, damit die Materialien in die Schule gelangen und dort eingesetzt werden. Für das Re-Design der Materialien und deren Weiterentwicklung sind die Rückmeldungen der Lehrkräfte daher besonders wichtig. Die Integration ihrer Expertise und Erfahrungen ist vor dem Unterrichtseinsatz genauso bedeutend wie danach, um die oftmals beklagte Kluft zwischen Forschung und Praxis zu vermeiden (Einsiedler, 2010).
Im Folgenden geht es um die Rückmeldungen von Lehrkräften, die die EKo-Materialien nach genannter geringfügiger erster Veränderung gesichtet haben. Die aus den Rückmeldungen resultierenden Überarbeitungen, um die Materialien vor der Erprobung mit den 24 Lehrkräften anzupassen, werden exemplarisch beschrieben.

## 4. Die Lehrkräftefortbildung vor der Erprobung

Als Anlass für Lehrkräfterückmeldungen vor der empirischen Erprobung wurden zwei Fortbildungen in Darmstadt und Frankfurt angeboten (August und September 2018). Insgesamt nahmen 58 Lehrkräfte teil, 32 Physiklehrkräfte in Darmstadt und 26 Lehrkräfte in Frankfurt. 47 dieser Lehrkräfte gaben die Schulform an, an der sie zum Zeitpunkt der Fortbildung gelehrt haben. Der Großteil der Lehrkräfte (N = 34) hat an Gymnasien unterrichtet, fünf an Realschulen, vier an integrierten, drei an kooperativen Gesamtschulen und eine Lehrkraft an einer Hauptschule. Die Fortbildung dauerte jeweils zwei Stunden und war vom Ablauf an beiden Standorten identisch.

### 4.1. Ablauf der Fortbildung

In jeder Fortbildung wurden dieselben sechs kontextstrukturierten Arbeitsmaterialien mit entsprechender Musterlösung zur Einsicht dargeboten: *Gewitter, Geoelektrik, Zitteraal, Chamäleon, Strom nutzen* sowie *Elektrotherapie*. Die Auswahl dieser Kontextmaterialien liegt darin begründet, dass sie vom Thema oder der Art der Erarbeitung besonders innovativ gestaltet sind. Jede Lehrkraft hatte die Möglichkeit, sich mit je zwei dieser Unterrichtsmaterialien abhängig vom individuellen Interesse intensiver auseinander zu setzen.

In der ersten Runde wählten die Lehrkräfte einen Kontext aus und fanden sich mit anderen Lehrkräften gleichen Kontextes zusammen. Die so entstandenen in etwa gleich großen Gruppen (4 bis 6 Lehrkräfte) konnten ihr gewähltes Unterrichtsmaterial intensiv durchgehen, besprechen und diskutieren. Der gleiche Ablauf wurde für den zweiten Kontext wiederholt. Abschließend wurde das Gesamtfeedback notiert und eine offene Diskussionsrunde im Plenum angeregt.

### 4.2. Zentrale Frage und Erhebungsinstrument

Die zentrale Fragestellung der Lehrkräftefortbildung lautete: „Wie beurteilen Physiklehrkräfte die kontextstrukturierten Unterrichtsmaterialien auf Basis ihrer Erfahrungen vor einer Erprobung?“. Diese Frage ist Teil der Forschungsfragen von EKo, welche im Sinne eines multiperspektivischen Ansatzes sowohl die Lehrkräfte- als auch die Lernendenperspektive vor und nach der Erprobung des Materials einbeziehen.

Als Erhebungsinstrument bei der Fortbildung diente ein Fragebogen mit zwei verschiedenen Frageformaten. Mit Hilfe einer sechsstufigen Likert-Skala wurde am Ende des Fragebogens der Gesamteindruck der Materialien von „sehr gut“ bis „ungenügend“ erfragt. Um auch hinsichtlich der Aussage „Ich würde das kontextorientierte Unterrichtsmaterial selbst im Unterricht einsetzen“ eine bessere Vergleichbarkeit zu gewährleisten, wurde diese ebenfalls mit geschlossenem Antwortformat erhoben. Für die Rückmeldungen zu den einzelnen Kontextmaterialien wurde hingegen ein offenes Antwortformat verwendet, um differenzierte Rückmeldungen in verschiedene Richtungen zu ermöglichen: „Besonders gut finde ich“, „Am dringlichsten sollte überarbeitet werden“ und „Ideen zur Verbesserung“. Außerdem konnte der Gesamteindruck zusätzlich zur Likert-Skala offen begründet werden. Ferner gab es die Möglichkeit, weitere wichtige Aspekte aus Lehrkräfteperspektive an dieser Stelle zu nennen: „Das ist mir noch wichtig“.

## 5. Ergebnisse der Lehrkräfterückmeldungen

Insgesamt 39 Lehrkräfte beurteilten den Gesamteindruck der Materialien am Ende der Fortbildung (siehe Abb. 1). Zwei Lehrkräfte bewerteten ihn als sehr gut, 20 als gut, 14 als befriedigend, zwei als ausreichend und eine Lehrkraft als mangelhaft.

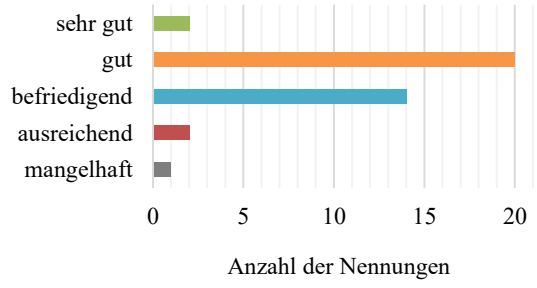



**Abb. 1:** Gesamteindruck der Materialien

Auf Grundlage der offenen Antworten bei der Begründung des wahrgenommenen Gesamteindrucks konnten im Anschluss an die Fortbildung insgesamt elf Kategorien herausgearbeitet werden, die in die Bewertung des Materials durch die Lehrkräfte eingeflossen sind:

- Textverständlichkeit
- Struktur
- Gestaltung
- Realitätsbezug des Kontextes
- Aufgabenkomplexität
- Bearbeitungszeit
- Interesse/Motivation
- Flexibilität im Einsatz
- Lehrerpersönlichkeit
- Fachsystematik/Fachwissen
- Experimente/Methodik

### 5.1. **Stärken der EKo-Materialien**

Die größte Stärke der erarbeiteten Materialien sehen die Lehrkräfte bezüglich des Interesses und der Motivation, sich mit dem Material zu befassen. Hierzu äußern sich die Lehrkräfte durchweg positiv. Die Aussagen können in Hinblick auf ihr eigenes Interesse an den Kontexten und ihrer Einschätzung auf das Interesse der Lernenden unterschieden werden. Lehrkräfte sehen die Materialien aus ihrer eigenen Sicht zum einen als „interessante[n] Input", „gute Anregungen" und „tolle Ideen" für den eigenen Unterricht. Hervorgehoben wird, dass es sich um „neue, spannende Kontexte" oder „interessante Kontexte mit nicht alltäglichen Zusammenhängen" handelt. Eine Lehrkraft formuliert: „Diesen Ansatz der Kontexte finde ich für mich interessant (ich hoffe, die SuS auch…?)". Bei einzelnen Kontexten wird zum anderen auch der durch die Lehrkräfte eingeschätzte motivationale Aspekt der Materialien für die Lernenden deutlich:

- Kontext Zitteraal: „Die Idee! Motivierend, Zitteraale sind so exotisch und ‚cool', dass Schüler/innen das bestimmt gerne herausfinden wollen."
- Kontext Geoelektrik: „SuS [Schülerinnen und Schüler] können durch die Erde ‚sehen', etwas entdecken."

Positiv heben die Lehrkräfte zudem die Flexibilität des Materials im Unterrichtseinsatz hervor, sowohl in organisatorischer als auch methodischer Hinsicht:

- „Unterschiedlich einsetzbar"
- „Schülerarbeit selbstständig"
- „Anwendbarkeit ohne Vorgabe an Räume"
- „Mit und ohne Experimente nutzbar"
- „Das Material kann leicht abgewandelt werden"

Der dritte Aspekt, der bei allen Arbeitsmaterialien als gelungen beurteilt wird, ist ihre Gestaltung. Dies bezieht sich vorwiegend auf die visuelle Aufmachung, aber auch auf die Verwendung von Operatoren oder die abwechslungsreiche Art der Aufgabenstellungen.

### 5.2. **Schwächen der EKo-Materialien**

Zu den Kategorien Textverständlichkeit, Bearbeitungszeit und Fachsystematik/Fachwissen haben die Lehrkräfte hingegen Bedenken geäußert.

Bezüglich der Textverständlichkeit wird vor allem die Textlänge kritisch gesehen, die bei kontextorientiertem Arbeitsmaterial im Vergleich zu konventionellem höher ist. Die Lehrkräfte bewerten das Material als „zu textlastig", zum Teil auch in Hinblick auf die Schulform: „zu textlastig für H-R [Haupt- und Realschule]". Die Befürchtung ist, dass „Schwächere evtl. überfordert" werden und „Kinder mit Sprachschwierigkeiten" größere Probleme haben. Nur im Einzelnen werden bestimmte Worte kritisch gesehen wie z.B. das Wort „Artefakt" im Kontext der *Geoelektrik*.

Mit der Textlänge steht auch die Bearbeitungszeit in Verbindung. Der Zeitaufwand zur Bearbeitung des kontextorientierten Materials wird von den Lehrkräften höher als die vergleichbare Erarbeitung physikalischer Inhalte im konventionellen Unterricht eingeschätzt. Die „Zeit reicht vermutlich nicht zur Umsetzung der vielen Ideen". Hinzu kommt die Sorge, dass die Kontexte zu sehr von der Physik ablenken. Eine Lehrkraft formulierte dies wie folgt: „Ich bin nicht überzeugt, dass sich die Kontexte zur Vermittlung der physikalischen Systematik eignen." In diesem Zusammenhang wird auch die Mathematisierung angesprochen, die einige Lehrkräfte als wesentlich für die weitere Schullaufbahn erachten: „Keine Mathematisierung, d.h. rein qualitativ, dadurch wird nicht auf die Sek II vorbereitet". Eine Mathematisierung ist im Material an mehreren Stellen möglich, ebenso wie eine Quantifizierung, da alle Werte mit realen Angaben übereinstimmen. Der Grad der Mathematisierung kann somit von der Lehrkraft selbst bestimmt werden. Dennoch scheinen sich einige Lehrkräfte mehr quantifizierte Aufgabenstellungen und den Umgang mit mathematischen Gleichungen im Material zu wünschen.

### 5.3. **Uneinheitliche Rückmeldungen**

Indifferente Rückmeldungen ergaben sich hinsichtlich der vier Aspekte Struktur, Realitätsbezug des Kontextes, Aufgabenkomplexität und Lehrerpersönlichkeit. Dies liegt vermutlich an den unterschiedlichen Kontexten, die innerhalb einer Fortbildung bearbeitet wurden. Während einige Lehrkräfte die Struktur des Materials als übersichtlich empfinden, beurteilen andere es als zu dicht oder wünschen sich im Gegenteil dazu sogar noch zusätzliches Vertiefungsmaterial. Einige Kontexte sehen sie als relevant für Schülerinnen und Schüler an wie zum Beispiel den *Zitteraal* oder die *Geoelektrik*, andere hingegen als künstlich konstruiert wie das *Chamäleon*. Auch die Einschätzung der Aufgabenkomplexität empfinden Lehrkräfte für den Gymnasialzweig geeignet, andere hingegen wiederum „mit Einschränkungen als

zu wenig anspruchsvoll“. Ebenso entsprechen die Arbeitsmaterialien „dem persönlichen Geschmack kontextorientierten Unterrichts“, während andere Lehrkräfte äußern: „Ich verstehe Kontextorientierung anders“.

### 5.4. „Das ist mir noch wichtig“

Die Rolle und der Einsatz von Experimenten im Unterricht sowie methodische Umsetzungen wurden im Konzept der Unterrichtsmaterialien bewusst nicht vorgegeben. Lediglich Anregungen für Experimente werden genannt. Die methodische Umsetzung des Konzepts obliegt somit der Lehrkraft. Aus schulpraktischer Sicht wird diese zudem maßgeblich durch die vorhandene Ausstattung der Schule (Fachräume, Experimentiermaterial etc.) bestimmt, weswegen hierzu im Konzept keine verbindlichen Angaben gemacht werden.

Aus den Rückmeldungen der Lehrkräfte wird deutlich, dass sie Experimente als zwingend notwendigen Bestandteil von Physikunterricht erachten:

- „Schüler sollten selbst experimentieren, nicht nur ein AB [Arbeitsblatt] lösen“
- „Einbettung von Experimenten“
- „Experimente stark in den Kontexten verankern“
- „Versuche in den Vordergrund stellen“
- „Experimente fehlen“
- „Zu wenig Versuche“

Der Wunsch der Lehrkräfte, Experimente im fachdidaktischen Konzept zu verankern, wird hieran deutlich.

### 5.5. Fazit aus den Fortbildungen

Nach dem Einblick in die Materialien beantworteten 39 Lehrkräfte die Abschlussfrage, ob sie das Unterrichtsmaterial selbst im Unterricht einsetzen würden. Die Anzahl der Nennungen zu „ja“, „ja, mit kleinen Änderungen“ und „nein“ ist in Abbildung 2 zu sehen.

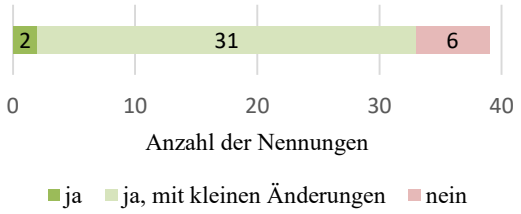



**Abb. 2:** Einsatz der Materialien im eigenen Unterricht

85 % der Lehrkräfte beantworten diese Frage somit positiv und scheinen mit den Unterrichtsmaterialien insgesamt zufrieden zu sein.

## 6. Überarbeitung auf Grundlage der Fortbildung

Die offenen Rückmeldungen der Lehrkräfte zu den einzelnen Kontextmaterialien sind zum Großteil sehr detailliert und gehen von Änderungen einzelner Worte über den Wunsch nach zusätzlichen Verweisen bis hin zu generellen Anmerkungen, die den gesamten Kontext betreffen.

Am Beispiel des Unterrichtsmaterials *Strom nutzen* wird im Folgenden die Einarbeitung und Veränderung der Materialien im Sinne der Lehrkräfterückmeldungen exemplarisch verdeutlicht. Bei diesem Thema waren die gewünschten Veränderungen von Lehrkräften am größten und das Material wurde am stärksten überarbeitet. Der physikalische Inhalt bezieht sich auf vier Wirkungen des elektrischen Stroms: Licht-, Wärme-, magnetische und chemische Wirkung.

Der Hauptkritikpunkt für die Lehrkräfte ist bei diesem Thema die Struktur: „Es gibt hier keinen durchgehenden Kontext, das ist eine Sammlung von einzelnen Anwendungsaufgaben.“ Dies werde auch am Titel deutlich, der keinen Kontext benenne. Mehrere Lehrkräfte äußern den Wunsch nach einem Gesamtkontext, der alle vier Wirkungen des elektrischen Stroms beinhaltet. Der in einer Aufgabe angesprochene Kontext der Mülltrennung wird hierfür mehrfach als Vorschlag genannt und zudem häufig positiv in der Kategorie „Realitätsbezug des Kontextes“ beurteilt, was ebenfalls dafürspricht, dies als Gesamtkontext zu verwenden.

Mit den Alltagserfahrungen heutiger Lernender vor Augen kritisieren die Lehrkräfte den Einstieg in das Thema über die „Yello-Strom-Kampagne“. Der Werbespruch „Also ich glaube, Strom ist gelb“ sei heutigen Lernenden nicht mehr bekannt. Diese Kritik bezieht sich auch auf einzelne Elektrogeräte, die in den Zusatzaufgaben angesprochen werden (z.B. der Tauchsieder oder die elektrische Klingel) und im Alltag der Lernenden nicht mehr vorkommen. Zudem fordern die Lehrkräfte eine Reduktion der Textlänge, die sich insbesondere durch den Einstieg und die vielen „angerissenen Kontexte“ ergäbe.

Ein ebenfalls häufig auftretender Kritikpunkt war der als zu hoch eingeschätzte Zeitaufwand. Aufgrund der Textlänge kalkulierten die Lehrkräfte für die Unterrichtszeit mehr als die veranschlagte Doppelstunde ein.

Ergebnis der Einarbeitung dieser Rückmeldungen ist ein durchgängiger Kontext mit dem Titel „Müll – Ein großes Problem für unsere Umwelt“. Die textlastige und wenig alltagsnahe Einleitung in das Unterrichtsmaterial wurde durch Bilder mit kurzen Beschriftungen ersetzt, die auf die Problematik von Plastikmüll in den Weltmeeren und die große Menge an Müll, die jeder einzelne in Deutschland jährlich produziert, aufmerksam machen. Die Motivation, sich mit dem Thema auseinanderzusetzen, wird neben der gesellschaftlichen Notwendigkeit durch ein Quiz erhöht, bei dem die Lernenden für sich persönlich testen, ob sie Müll richtig trennen. Durch Apps, die hierbei helfen und kostenlos heruntergeladen werden können, wird zum Smartphone übergeleitet, bei dessen Nutzung die Licht- und Wärmewirkung elektrischen Stroms deutlich werden. Die magnetische Wirkung wird mit dem Recycling von Wertstoffen motiviert,

so dass der Kontext der Mülltrennung in jeder Aufgabe vorkommt. Die chemische Wirkung des elektrischen Stroms wurde in die Zusatzaufgaben verlagert, da aus den Rückmeldungen deutlich wurde, dass diese Wirkung nur teilweise unterrichtet wird. Die Länge des Materials konnte mit dem einheitlichen Kontext insgesamt von drei auf zwei Seiten reduziert werden.

Die Gestaltung der Arbeitsblätter durch abwechslungsreiche Aufgabenstellungen, die verwendeten Operatoren und das ansprechende Layout wurde beibehalten.

## 7. Ausblick

Die nach den Fortbildungen überarbeiteten Unterrichtsmaterialien befinden sich zurzeit in der Erprobung, an der 24 Lehrkräfte aus unterschiedlichen Schulformen mit 844 Lernenden teilnehmen. Vor den Sommerferien 2019 werden Interviews mit den Lehrkräften stattfinden. Interessant wird hier die Frage sein, wie die Lehrkräfte die Materialien nach dem Unterrichtseinsatz beurteilen. Wird die Bewertung von der hier dargestellten Beurteilung vor der Erprobung abweichen? Auf Grundlage der qualitativen und quantitativen Evaluation wird dann das Re-Design der kontextstrukturierten Unterrichtsmaterialien vorgenommen werden.

## 8. Literaturverzeichnis


Bennett, J. (2003). Teaching and learning science: A guide to recent research and its applications. London: continuum.

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. (2018): Konzeption und Evaluation eines Unterrichtskonzepts zu einfachen Stromkreisen auf Basis des Elektronengasmodells. Berlin: Logos.

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. (S. 217). Universität Regensburg.

Einsiedler, W. (2010). Didaktische Entwicklungsforschung als Transferförderung, Zeitschrift für Erziehungswissenschaften, 13, 59-81.

Elster, D. (2007). In welchen Kontexten sind naturwissenschaftliche Inhalte für Jugendliche interessant? Ergebnisse der ROSE-Erhebung in Österreich und Deutschland. Didaktik (3), 2-8.

Finkelstein, N. (2005). Learning physics in context: A study of student learning about electricity and magnetism. Journal of Applied Developemental Psychology, 27 (10), 1187-1209.

Hessisches Kultusministerium. (2011). Bildungsstandards und Inhaltsfelder. Das neue Kerncurriculum für Hessen. Sekundarstufe I - Gymnasium. Physik. Zugriff am 16.03.2018. Verfügbar unter https://kultusministerium.hessen.de/sites/default/files/media/kerncurriculum_physik_gymnasium.pdf

Hinkeldey, D. (2016). Physik im Kontext. Magnetismus, Elektrizität und Elektromagnetismus. Augsburg: Auer Verlag.

Hoffmann, L., Häußler, P. & Lehrke, M. (1998). Die IPN-Interessenstudie Physik. Kiel: IPN.

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.

Nawrath, D. (2010). Kontextorientierung. Rekonstruktion einer fachdidaktischen Konzeption für den Physikunterricht. Oldenburg.

Nawrath, D. & Komorek, M. (2013). Kontextorientierung aus Sicht von Physiklehrkräften. Zeitschrift dür Didaktik der Naturwissenschaf-ten, 19, 233-257.

Taasoobshirazi, G. & Carr, M. (2008). A review and critique of context-based physics instruction and assessment. Educational Research Review (3), 155-167.

Wilhelm, T. & Hopf, M. (2014): Design-Forschung. In: D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.): Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung (S. 31-41). Berlin: Springer Spektrum.



**Danksagung**

Das hier vorgestellte Projekt EKo – Elektrizitätslehre in Kontexten – wird an der Georg-Büchner-Schule Darmstadt von der Joachim Herz Stiftung „LEIFIphysik unterstützt Ihre Unterrichtsidee“ 2018 gefördert. Hierfür möchten wir uns ganz herzlich bedanken.

# Schülerwahrnehmung von Schwierigkeit des Physikunterrichts und der kognitiven Aktivierung durch die Lehrkraft

**Bobby Fareed & Jan Winkelmann**

Goethe-Universität Frankfurt am Main, Institut für Didaktik der Physik
Max-von-Laue Str. 1, 60438 Frankfurt am Main
winkelmann@physik.uni-frankfurt.de

**Kurzfassung**

Im Rahmen der hier vorgestellten Studie wurde der Frage nachgegangen, inwiefern das Unterrichtshandeln von Lehrkräften die Wahrnehmung fachimmanenter Merkmale von Physikunterricht beeinflusst. Der Arbeit liegt die These zu Grunde, dass sich ein Unterricht von hoher Qualität (hier in hoher Ausprägung der Dimension „kognitive Aktivierung“) positiv auf die Wahrnehmung der Schülerinnen und Schüler auswirkt: Die vorhandenen schwierigkeitserzeugenden Merkmale werden als weniger schwierig wahrgenommen.
Schwierigkeitserzeugende Merkmale des Physikunterrichts lassen sich deskriptiv formulieren, z.B. als Grad der Mathematisierung, die Fachsprache oder die Arbeit mit Modellen. Empirische Studien zur Wahrnehmung dieser Merkmale durch Schülerinnen und Schüler fehlen weitestgehend oder beziehen sich auf lediglich ein vermutetes Merkmal. Für die vorgestellte Studie wurden die in der Literatur genannten, vermuteten Merkmale von Schülerinnen und Schülern im 10. Jahrgang einer Realschule sowie eines Gymnasiums auf einer 5-stufigen Likertskala eingeschätzt (n = 139).
Mit der zusätzlichen Erfassung der Schülerwahrnehmung der kognitiven Aktivierung durch ihre Lehrkraft konnte untersucht werden, ob zwischen den beiden genannten Konstrukten ein Zusammenhang besteht.

## 1. **Hintergrund**

Das Unterrichtsfach Physik wird von vielen Schülerinnen und Schülern als unbeliebtes Fach bezeichnet (Fruböse, 2010; Muckenfuß, 2006). Zudem wird Physik und damit der Physikunterricht als besonders schwierig eingeschätzt (Merzyn, 2010). Zur Beliebtheit des Physikunterrichts werden häufig Vergleiche zu anderen Fächern gezogen, ohne auf Spezifika der einzelnen Fächer einzugehen. Für die Beschreibung schwierigkeitserzeugender Merkmale bleibt die Literatur oft normativ oder beschränkt sich auf Befragungen von Lehrkräften.

Die vornehmliche Aufgabe von Lehrkräften besteht darin, bedeutsame Lernprozesse für Schülerinnen und Schüler – d.h., eine selbstständige und aktive Auseinandersetzung mit eigenem Vorwissen und neuem Wissen – zu ermöglichen und zu unterstützen. Um diese Aufgabe zu bewältigen, sollte der Unterricht eine gewisse Qualität aufweisen (Marreike Kunter & Voss, 2011). Dem COACTIV Modell der professionellen Kompetenz von Lehrkräften folgend, kann die Unterrichtsqualität unter anderem daran gemessen werden, inwiefern die Lehrkraft in der Lage ist, die Schülerinnen und Schüler kognitiv zu aktivieren.

## 2. **Fragestellung und Hypothese**

Die hier vorgestellte Arbeit beschäftigt sich mit der Schülerwahrnehmung zur Schwierigkeit des Physikunterrichts und betrachtet darüber hinaus eine bedeutsame Dimension von Unterrichtsqualität: die kognitive Aktivierung durch die Lehrkraft. Mit Hilfe der Verknüpfung der Schwierigkeitswahrnehmung seitens der Schülerinnen und Schüler mit der Einschätzung zur kognitiven Aktivierung strebt die vorliegende Studie Einblicke in die Tiefenstruktur von Physikunterricht an.

### 2.1 **Fragestellung**

Inwiefern beeinflusst das professionelle Handeln der Lehrkraft die Schülerwahrnehmung fachimmanenter (schwierigkeitserzeugender) Merkmale von Physikunterricht?

### 2.2 **These**

Wenn Schülerinnen und Schüler ihre Lehrkraft als kognitiv aktivierend wahrnehmen, dann empfinden sie den Physikunterricht als weniger schwierig.

## 3. **Design der Erhebung**

Im Rahmen einer quantitativen Fragebogenerhebung wurde untersucht,

(1) was den Physikunterricht für viele Schülerinnen und Schüler schwierig macht und

(2) ob es einen Zusammenhang zwischen der wahrgenommenen Schwierigkeit und der kognitiven Aktivierung durch die Lehrkraft gibt.

### 3.1 **Instrumente**

Zur Erhebung der schwierigkeitserzeugenden Merkmale wurden, aus der Literatur abgeleitete, eigene Items erstellt. Die Schülerinnen und Schüler wurden gebeten, vermutete schwierigkeitserzeugende Merkmale auf einer 5-stufigen Likertskala zu bewerten (1 = leicht, 5 = schwierig).

Zur Erhebung der kognitiven Aktivierung wurden Skalen zum Physikunterricht von Szogs, Korneck, Krüger, Oettinghaus, & Kunter (2016) adaptiert, die auf die COACTIV-Studie zurückgehen. Die Skala der kognitiven Aktivierung umfasst vier Subskalen:

a) Umgang mit Vorwissen und Schülerbeiträgen, (acht Items), zum Beispiel: *„Schülerbeiträge und Ideen werden von meiner Lehrkraft in den Unterricht einbezogen.“*

b) Kognitive Selbstständigkeit (elf Items), zum Beispiel: *„Ich kann im Unterricht die Aufgaben so lösen, wie ich es für richtig halte.“*

c) Diskursives Lernen (acht Items), zum Beispiel: *„Ich kann meine eigenen Ideen mit Mitschülern diskutieren.“*

d) Potential zum Konzeptwechsel (acht Items), zum Beispiel: *„Meine Lehrkraft stellt abweichende Erklärungsangaben gegenüber.“*

## 4. **Ergebnisse**

An der Befragung nahmen Schülerinnen und Schüler aus sechs Klassen des zehnten Jahrgangs einer kooperativen Gesamtschule im Rhein-Main-Gebiet teil. Insgesamt konnten Daten von 139 Schülerinnen und Schülern ausgewertet werden. Diese setzen sich aus Daten des Realschulzweiges (n = 72) sowie des Gymnasialzweiges (n = 67) zusammen.

Im Folgenden werden die Ergebnisse eingehender vorgestellt.

### 4.1 **Schwierigkeiten im Physikunterricht**

Sowohl in der Realschule als auch im Gymnasium empfinden die Schülerinnen und Schüler die fehlende Alltagsrelevanz im Physikunterricht als besonders schwierig. Auch zwischen den Geschlechtern zeigen sich keine wesentlichen Unterschiede in der Wahrnehmung, weshalb an dieser Stelle ein gemeinsamer Bericht der Ergebnisse erfolgt (Abb. 1).

Nach Einschätzung der Schülerinnen und Schüler bereiten die folgenden Punkte die größten Schwierigkeiten im Physikunterricht:

- fehlende Alltagsrelevanz
- hohe nötige persönliche Anstrengung
- schwierige Begriffe und
- Modellieren von Phänomenen.

Als besonders leicht wird das Experimentieren im Physikunterricht wahrgenommen.

### 4.2 **Zusammenhang zur kognitiven Aktivierung**

Es konnte ein signifikanter, negativer Zusammenhang zwischen der wahrgenommenen Schwierigkeit und der kognitiven Aktivierung gefunden werden.

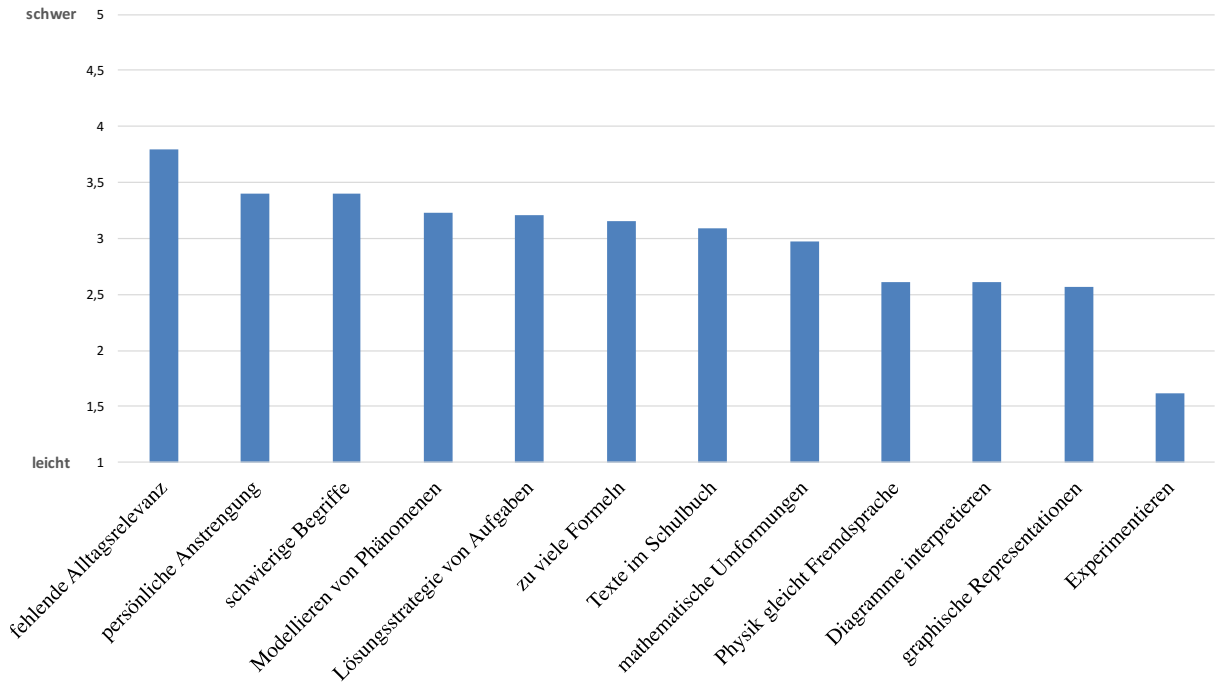



**Abb. 1:** Von Schülerinnen und Schülern wahrgenommene schwierigkeitserzeugende Merkmale von Physikunterricht.

Die beiden Skalen korrelieren moderat mit $r$ = -.206, $p$ = .007. Je stärker sich Schülerinnen und Schüler kognitiv aktiviert fühlen, desto geringer ist die wahrgenommene Schwierigkeit des Physikunterrichts.

Die Korrelation erweist sich im Gymnasium etwas stärker als in der Realschule, sowie etwas stärker bei Jungen als bei Mädchen. Insbesondere die Subskalen a) und c) der kognitiven Aktivierung tragen zur Korrelation zwischen wahrgenommener Schwierigkeit und der kognitiven Aktivierung bei.

## 5. **Diskussion**

Seit Jahren bemüht sich die Naturwissenschaftsdidaktik, den Schülerinnen und Schülern eine Alltagsrelevanz der jeweiligen Naturwissenschaft aufzuzeigen, zum Beispiel über Kontextorientierung. Diese Bemühung scheint Schülerinnen und Schüler zumindest im Physikunterricht nicht zu erreichen. Möglicherweise werden Alltagskontexte durch notwendige Modellierungen wieder abstrakt und damit schwierig. Ein möglicher Ansatz für ein verbessertes Verständnis von Modellen und deren Konstruktion sowie den damit einhergehenden Idealisierungen wird in (Winkelmann, 2019, in diesem Band: DD. 3.3) aufgezeigt. In diesem Ansatz wird vorgeschlagen, in Ergänzung zur Arbeit *mit* Modellen auch darauf zu fokussieren, *wie* Modelle konstruiert werden.

Das als leicht empfundene Experimentieren lässt sich vermutlich auf ein falsch verstandenes Konzept von Experimentieren als Unterhaltung zurückführen, zeigen doch aktuelle Untersuchungen, dass naturwissenschaftliches Experimentieren Schülerinnen und Schülern vor vielfältige Schwierigkeiten stellt (Kechel, 2016; Schwichow & Nehring, 2018).

Im Rahmen der hier vorgestellten Erhebung konnte ein leichter bis mittlerer Zusammenhang zwischen der wahrgenommenen Schwierigkeit von Physikunterricht und der kognitiven Aktivierung durch die Lehrkraft gezeigt werden. Mit Blick auf die Erfassung von Tiefenstrukturelementen von Unterrichtsqualität erscheint die Verknüpfung von Merkmalen seitens der Lehrkraft mit der Perspektive von Schülerinnen und Schülern vielversprechend für weitere Forschungen zur Wahrnehmung des Physikunterrichts. In diesem Sinne findet derzeit eine weitere Erhebung statt, die Schwierigkeiten von Schülerinnen und Schülern im Rahmen physikalischer Aufgabenstellungen zu diagnostizieren versucht.

## 6. **Literatur**

Fruböse, C. (2010). Der ungeliebte Physikunterricht. *Mathematischer und Naturwissenschaftlicher Unterricht*, *63*(7), 388–392.

Kechel, J.-H. (2016). *Schülerschwierigkeiten beim eigenständigen Experimentieren: eine qualitative Studie am Beispiel einer Experimentieraufgabe zum Hooke'schen Gesetz*. Berlin: Logos Verlag Berlin GmbH.

Kunter, Mareike, & Voss, T. (2011). Das Modell der Unterrichtsqualität in COACTIV: Eine multikriteriale Analyse. In Mareike Kunter, J. Baumert, & W. Blum (Hrsg.), *Professionelle Kompetenz von Lehrkräften: Ergebnisse des Forschungsprogramms COACTIV* (S. 85–114). Münster: Waxmann.

Merzyn, G. (2010). Physik – ein schwieriges Fach? *Praxis der Naturwissenschaften - Physik in der Schule*, *59*(5), 9–12.

Muckenfuß, H. (2006). *Lernen im sinnstiftenden Kontext: Entwurf einer zeitgemäßen Didaktik des Physikunterrichts* (1. Aufl., 2. Dr). Berlin: Cornelsen.

Schwichow, M., & Nehring, A. (2018). Variablenkontrolle beim Experimentieren in Biologie, Chemie und Physik: Höhere Kompetenzausprägungen bei der Anwendung der Variablenkontrollstrategie durch höheres Fachwissen? Empirische Belege aus zwei Studien. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, *24*(1), 217–233. https://doi.org/10.1007/s40573-018-0085-8

Szogs, M., Korneck, F., Krüger, M., Oettinghaus, L., & Kunter, M. (2016). Kognitive Aktivierung in standardisierten Unterrichtsminiaturen. In C. Maurer (Hrsg.), *Authentizität und Lernen - das Fach in der Fachdidaktik. GDCP, Jahrestagung in Berlin 2015* (S. 605–607). Universität Regensburg.

Winkelmann, J. (2019). Idealisierungen und Modelle im Physikunterricht. In H. Grötzebauch & V. Nordmeier (Hrsg.), *PhyDid B – Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung des Fachverbands Didaktik der Physik in Aachen 2019.* Beitrag DD. 3.3.

# Der Rest ist dann halt Messfehler

## - Wie angehende Lehrkräfte in Unterrichtssituationen mit Messdaten umgehen -

**Christoph Holz*, Susanne Heinicke***

*WWU Münster, Institut für Didaktik der Physik, Wilhelm-Klemm-Straße 10, 48149 Münster
christoph.holz@uni-muenster.de, susanne.heinicke@uni-muenster.de

**Kurzfassung**

Der Umgang mit Messdaten ist ein essenzieller Teil physikalischer Fachmethoden. Als solche stellt er auch einen Teil eines nature of science einbeziehenden Physikunterrichtes dar und wird entsprechend in den Lehrplänen vieler Bundesländer gefordert. Die Bedeutung dieser Thematik beschränkt sich aber nicht darauf: Vielmehr weist der Umgang mit experimentellen Daten eine noch größere Relevanz in Bezug auf die Bewertung und Interpretation von Messdaten auf. Ohne die Betrachtung derer begrenzten Genauigkeit ist eine Bewertung gar nicht möglich. Lässt man diese Diskussion aus, prägt dies ebenfalls ein Bild vom Umgang mit Messdaten in der Physik [1]. Physikunterricht, der Experimente einbezieht, kann nicht ohne einen Umgang mit experimentellen Daten stattfinden und vermittelt damit zumindest indirekt (Modelllernen, [2]) ein Bild vom physikalischen Umgang mit Messdaten.
Eine Studie von Ruhrig und Höttecke [3] stellte anhand von Videovignetten heraus, dass es Lehrkräften an Kompetenzen zum Umgang mit unsicheren Evidenzen im Unterricht mangelt. Wie aber findet der Umgang mit Messdaten im tatsächlichen unterrichtlichen Handeln statt? Im Rahmen eines Lehr-Lern-Labors führten angehende Lehrkräfte kurze Unterrichtseinheiten mit quantitativen Experimenten mehrfach durch. Dabei entstanden insgesamt etwa 80 Videos, in denen dieses Handeln analysiert und kategorisiert wurde. Nach einer Vorstellung des übergreifenden Studiendesigns werden Ergebnisse dieser Videoanalyse dargelegt.

### 1. Ein Beispiel aus einer Lehrveranstaltung

Eine Situation aus der konzipierten Lernumgebung: Eine Studentin plante eine kurze Einheit um ein einfaches quantitatives Experiment der Elektrizitätslehre der 9. Klasse (Stromstärke in einer Masche, vgl. Abbildung 1). Die Planung der Einheit ist in Abbildung 2 dargestellt. Nach einer kurzen Erklärung des Versuchsaufbaus und der Messgeräte sollten Hypothesen über das Verhalten der Stromstärke in der Masche gebildet werden (*Hinführung*). In der *Messung* sollten dann die Spannungsabfälle über den 3 Widerständen gemessen und notiert werden. Nachdem diese mit dem Widerstandsgrößen zu Stromstärken verrechnet werden (*Ergebnis*) sollten die Lernenden nun die berechneten Stromstärken interpretieren und die Regel $I$ = konst. für die Maschenregel entdecken (*Interpretation*).

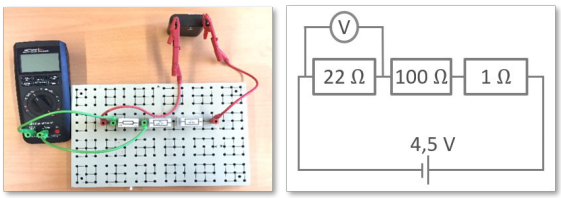



**Abb.1:** Genutzter Aufbau des quantitativen Experimentes zur Maschenregel (links) und zugehörige Schaltskizze (rechts)

Die Messung der Spannungen, sowie die Berechnung der Stromstärken verlaufen scheinbar reibungslos, bis die Lernenden die berechneten Stromstärken diktieren. Die Studentin schreibt die genannten Stromstärken auf, sodass sich an der Tafel die in Tabelle 1 gezeigte Darstellung ergibt. Der dritte Wert weicht dabei stark von den restlichen ab.

Die Reaktion der Studentin in der Situation (*in action*) lautete:

*„Ja also, leider ist das in der Realität nicht immer ganz genau, wir haben manchmal Messunsicherheiten dadurch, dass unser Messgerät auch sehr empfindlich ist … durch den Innenwiderstand des Kabels geht ja auch schon einiges an Spannung verloren oder wird umgewandelt."*

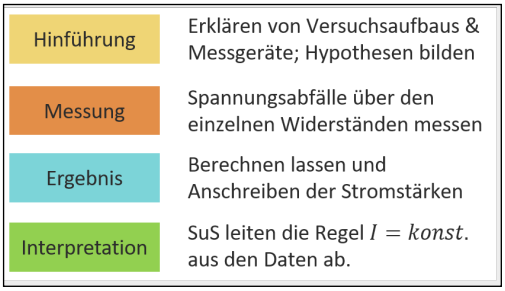



**Abb. 2:** Geplanter Ablauf der Unterrichtseinheit seitens der Studentin

| Spannung in V | Widerstand in Ω | Stromstärke in A |
|---|---|---|
| 0,78 | 22 | 0,035 |
| 3,49 | 100 | 0,0349 |
| 0,02 | 1 | 0,02 |

**Tab. 1:** Notierte Tabelle von Messungen und Ergebnissen an der Tafel

Situationen wie die beschriebene scheinen im unterrichtlichen Umgang mit experimentellen Daten keine Ausnahme darzustellen. Ein fachmethodisch adäquater Umgang mit diesen scheint auf den ersten Blick nur in wenigen Fällen stattzufinden. Diese Erkenntnis lenkte den Forschungsschwerpunkt dieser Studie auf den unterrichtlichen Umgang mit experimentellen und vor allem *unsicheren Daten*.

Der Begriff *unsichere Daten* wird dabei bewusst weit gefasst. Er bezieht beispielsweise schwankende Messdaten ebenso ein wie von der theoretischen Erwartung abweichende Ergebnisse und ähnliche Vorkommnisse.

## 2. Umgang mit Messdaten

Gerade der Umgang mit unsicheren Daten stellt eine Art Kristallisationspunkt für den Umgang mit Messdaten dar: Hier wird die unterrichtliche Handlung seitens der Lehrkraft stark erfordert. Besonders dieser Umgang mit unsicheren Daten bietet daher große Chancen für das Lernen physikalischer Fachmethoden und damit von *nature of science* [4].

Ein Blick in die universitäre Ausbildung und besonders experimentelle Praktika zeigt, dass nach Absolvierung dieser Praktika zwar Rechenroutinen beherrscht, die zugrunde liegenden Fachmethoden jedoch meist nicht tiefgreifend verstanden werden [5]. Allgemeiner scheinen das Berechnen und Verstehen von Messunsicherheit höchstens gering verknüpft zu sein [6,7]. Zudem zeigt sich im Umgang mit experimentellen Daten eine Diskrepanz des *reasoning in action* und des *reasoning on action* [8]. Es scheint also eine Diskrepanz zwischen der Art und Weise zu geben mit der *innerhalb* einer experimentellen Situation über Daten argumentiert wird gegenüber der Art und Weise, mit der dies *außerhalb* der Situation geschieht.

Ein Blick in schulische Forschung zeigt besonders bzgl. des Umgangs mit unsicheren Daten seitens der Lehrkräfte ein wenig bearbeitetes Forschungsbild. Zu nennen ist hier vor allem eine Vignetten Studie von Ruhrig & Höttecke [3]. Diese zeigt, dass Lehrkräfte den Umgang mit unsicheren Evidenzen zwar als wichtig erachten, ihre Kompetenzen zum unterrichtlichen Umgang mit diesen aber höchstens schwach ausgeprägt sind. Bezüglich des tatsächlichen Verhaltens (*in action*) scheint keinerlei Forschungsgrundlage zu bestehen.

Wie auch in vielen weiteren Facetten des Lehrerhandelns [9] findet sich auch im Physikunterricht eine Diskrepanz zwischen *in* und *on action* (bspw. Intention gegenüber Handlung, [10]). Eine solche Diskrepanz scheint auch im Umgang mit unsicheren Daten vorzuliegen [11]. Für eine vollständige Untersuchung sollte eine solche Studie demnach sowohl *on action* als auch *in action* und die Verbindung der beiden Seiten einbeziehen.

Das im Folgenden vorgestellte Studiendesign widmet sich daher den folgenden Forschungsfragen:

- Wie handeln angehende Lehrkräfte in unterrichtlichen Situationen, wenn unsichere Daten auftreten (*in action*)?
- Welche Faktoren beeinflussen das Handeln von angehenden Lehrkräften in diesen Situationen?
- Welche Zusammenhänge gibt es zwischen Handeln (*in action*) und *reasoning on action* der angehenden Lehrkräfte?

Im Rahmen dieses Artikels wird nach der Beschreibung des Forschungsdesigns im Wesentlichen auf die erste der Forschungsfragen eingegangen.

## 3. Design der Studie

Um die Erschließung des Forschungsfeldes zu ermöglichen wird ein breit aufgestellter mixed-method-Ansatz verwendet, der neben verschiedenen Ansätzen und erfassten Merkmalen auch eine tiefe qualitative Auseinandersetzung zulässt. Als grobe Einteilung wird hier die oben beschriebene Trennung zwischen *on action* und *in action* zugrunde gelegt. Um ein möglichst vollständiges Bild des Forschungsfeldes zu geben, werden beide Bereiche sowie die Verknüpfung von diesen betrachtet. Eine Übersicht des im Folgenden beschriebenen Designs ist in Abbildung 3 dargestellt.

Die Studie wird innerhalb eines universitären Seminars durchgeführt, wobei die Daten personenbezogen erhoben werden. Es ist daher möglich einzelne Fälle durch alle Instrumente zu verfolgen und zu verknüpfen.

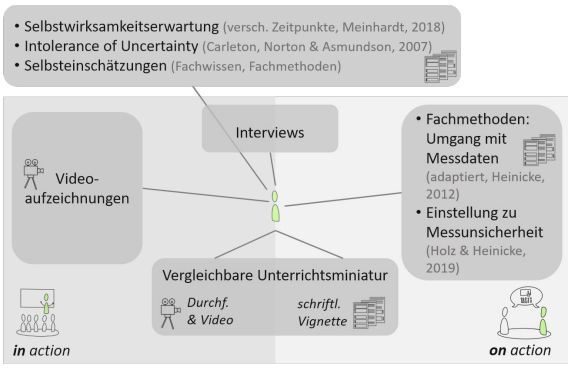



**Abb. 3:** Design der mixed-method-Studie

### 3.1. *in action*

Das tatsächliche Handeln der Studierenden in unterrichtsähnlichen Situationen wird mithilfe von Videoaufzeichnungen von Unterrichtsminiaturen (vgl. [12]), die innerhalb der Lernumgebung durchgeführt werden, erhoben und analysiert.

### 3.2. *on action*

Neben schriftlichen Reflexionsanlässen werden hier im Wesentlichen das fachmethodische Wissen bzgl. des Umgangs mit experimentellen Daten (adaptiert von [13]) und die Einstellung zu Messunsicherheit in Physik und Physikunterricht (vgl. [11]) erhoben.

### 3.3. Verknüpfung zwischen *in* und *on action*

Für die Erschließung des Forschungsfeldes sind nicht nur die beiden Seiten *on action* und *in action* von Interesse. Von ebenso großem Interesse ist die Verknüpfung der beiden Seiten, da hier die bereits genannte Diskrepanz zu Tage tritt. Diese Verknüpfung wird mittels zweier methodischer Ansätze untersucht:

Eine vorgegebene, identische Unterrichtsminiatur wird von allen Studierenden unterrichtet (*in action*) und als schriftliche Vignette ausgefüllt (*on action*). Dies ermöglicht neben eines Vergleichs der tatsächlichen Umgänge (*in action*) verschiedener Studierender in ähnlichen Situationen vor allem den direkten Vergleich von *on action* (Vignette) und *in action* (Durchführung).

Desweiteren werden *stimulated recall*-Interviews mit den Studierenden geführt. Dort werden mit den Studierenden einzelne eigene Videoausschnitte diskutiert. Mittels dieser Methode wird beispielsweise eine tiefgreifendere Analyse von situationalen Entscheidungen im Umgang mit unsicheren Daten aber auch ein Einblick in die persönliche, subjektive Wahrnehmung der Situation seitens der Studierenden ermöglicht.

### 3.4. Weitere Merkmale

Zusätzlich werden weitere Merkmale erhoben, von denen ein Einfluss auf den Umgang mit unsicheren Daten in unterrichtlichen Situationen vermutet wird. Einerseits wird die Selbstwirksamkeitserwartung der Studierenden bezüglich des Experimentiereinsatzes im Physikunterricht [14] zu verschiedenen Zeitpunkten der Lernumgebung festgehalten. Andererseits werden die Toleranz gegenüber Unsicherheit (Intolerance of Uncertainty Scale [15]), sowie Selbsteinschätzungen zu fachlichem Wissen und fachmethodischem Wissen erhoben.

## 4. Ergebnisse der Videoanalyse

Im Rahmen des folgenden Kapitels werden Ergebnisse aus der Analyse des Videomaterials präsentiert. Dazu wird zunächst kurz auf die Herkunft des Datenmaterials eingegangen, um die daraus entstehenden Erkenntnisse einordnen zu können. Es folgt dann die Beschreibung der erstellten Kategoriensysteme und die Darstellung der Ergebnisse.

### 4.1. Herkunft des Datenmaterials

Studierenden planen in der untersuchten Lernumgebung kurze Unterrichtsminiaturen von 12 Minuten (vgl. [12]) um einfache, meist quantitative Experimente. Diese werden reflektiert, optimiert und wiederholt. Somit führen alle Studierende eine Einheit – unter ggfs. leichter Veränderung - bis zu dreimal durch. Auch eventuelle erfahrungsbezogene Veränderungen können somit im Videomaterial analysiert werden. Die Schülergruppe ändert sich über die fortschreitenden Iterationen von bekannten Studierenden bis hin zu tatsächlichen Schülerinnen und Schülern. Die identische Unterrichtssituation findet zusätzlich zu diesen Durchführungen statt. Durch diese Durchführungen entstanden somit bislang 131 Videos, wobei in 77 dieser Videos quantitativ experimentiert wurde. Mit 63 von 77 Videos traten in sehr vielen Fällen unsichere Daten auf. Die identische Unterrichtsminiatur macht 14 der 77 Videos aus.

Die Lernumgebung findet im Master of Education der Universität Münster statt, die fachliche und fachlich-experimentelle Ausbildung der Studierenden ist zu diesem Zeitpunkt somit abgeschlossen.

### 4.2. Analyse und Kategoriensystem

Die Analyse der Videosequenzen wurde mittels qualitativer Inhaltsanalyse vollzogen. Dabei wurden zwei Kategoriensysteme gebildet. In einer *Grobstruktur* wurden unterschiedliche Phasen des unterrichtlichen Experimentes (*Hinführung*, *Messung*, *Ergebnis* und *Interpretation*) wie in Abbildung 2 und im Eingangsbeispiel gezeigt unterschieden und kodiert. Zusätzlich wurden hier das *Auftreten von unsicheren Daten* und der *Umgang mit unsicheren Daten* kodiert.

In einer *Feinstruktur* wurde der Umgang mit unsicheren Daten detailliert aufgeschlüsselt. Dieses Kategoriensystem wurde induktiv gebildet. Der hier gefundene Umgang mit unsicheren Daten unterteilt sich in drei Oberkategorien:

- *Argumentativer Umgang*: Studierende verweisen beispielsweise auf mögliche Einflussfaktoren, spiegeln die Frage zurück in die Klasse oder nennen einen erwarteten Theoriewert.
- *Fachmethodischer Umgang*: Studierende wiederholen beispielsweise Messwerte, Runden oder wählen Werte bei schwankenden Messwerten.
- *Vernachlässigen und Vertuschen*: Studierende lassen beispielsweise unpassende Daten unbegründet aus, oder verändern aufgenommen Daten.

### 4.3. Ergebnisse - Grobstruktur

Mithilfe der Grobstruktur kann der Zeitpunkt des Umgangs mit unsicheren Daten im Verlauf der einzelnen Unterrichtseinheiten nachvollzogen werden. In Abbildung 4 ist ein beispielhafter Verlauf einer solchen Einheit dargestellt. In diesem Fallbeispiel wird ein häufig erkennbares Vorgehen deutlich: Der Umgang mit unsicheren Daten (*lila*) findet erst im Rahmen der *Interpretation (grün)* statt. Die Art und Weise des Umgangs ist rein *argumentativ*. Dieser Umgang findet sehr spät statt, obwohl bereits im frühen Verlauf der Einheit unsichere Daten auftraten (*schwarz*).

Aus der Analyse des Videomaterials ergeben sich drei wesentliche Erkenntnisse:

- Der Umgang mit unsicheren Daten findet überwiegend sehr spät in den Unterrichtsminiaturen statt (*Interpretation*). Hier ist der Umgang stets *argumentativ*.
- Ein Umgang im Rahmen der *Hinführung* tritt nicht auf.
- Ein früherer Umgang im Bereich *Messung* findet meist nur sehr kurz statt. Er ist in einigen Fällen auch *fachmethodischer* Natur.

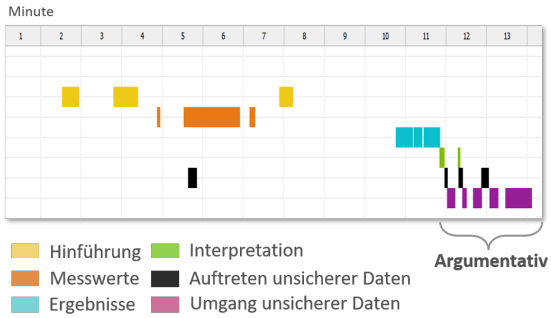



**Abb. 4:** Fallbeispiel für späten, rein argumentativen Umgang mit unsicheren Daten

### 4.4. **Ergebnisse - Feinstruktur**

Besonders der fachmethodische Umgang ist hier von Interesse, da ein solcher Umgang – sofern er fachlich adäquat verläuft - von fachdidaktischer Seite aus wünschenswert ist. Mit Hilfe der Feinstruktur kann die Art und Weise des Umgangs mit unsicheren Daten näher beleuchtet werden. Die Kategorien des induktiv gebildeten Kategoriensystems geben hier weitere Auskünfte.

An dieser Stelle wird der fachmethodische Umgang anhand zweier Beispielsituationen demonstriert, die oftmals im Videomaterial zu finden sind: „Umgang mit schwankenden Messwerten“ und „Rundung & begrenzen der Nachkommastellen“.

#### 4.4.1. **Umgang mit schwankenden Messwerten**

Abbildung 5 zeigt einen Ausschnitt der Unterkategorien der Kategorie „Umgang mit schwankenden Messwerten“. Neben fachmethodisch adäquaten Vorgehensweisen wie der *Angabe eines Intervalls* und dem *Einpendeln lassen* zeigen sich auch viele inadäquate Vorgehensweisen. Die Wahl des *ersten* oder *letzten gezeigten Wertes* beispielsweise beschreiben typische Schülervorstellungen im Umgang mit experimentellen Daten [16]. Ebenso wird die Auswahl eines Wertes aus der schwankenden Anzeige des Öfteren ohne Hilfestellung in die Hand der Lernenden gegeben.

Die weitere Unterteilung der Kategorie *Wahllos oder passende Auswahl* zeugt von einer weiteren Kategorie von Handlungsweisen: Neben fachmethodisch adäquaten und inadäquaten Vorgehensweisen werden hier Werte so gewählt, dass sie zum Unterrichtsziel – beispielsweise einem zu zeigenden Gesetz – passen. Anders als bei der schlichten inadäquaten Verwendung von Fachmethoden wird hier mit Intention inadäquat gehandelt, beispielsweise zu Gunsten einer Vermeidung von Diskussionen oder unsicheren Daten.

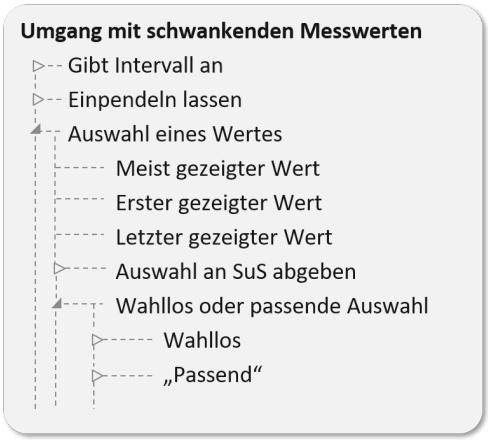



**Abb. 5:** Ausschnitt des induktiv gebildeten Kategoriensystems, Unterkategorien der Kategorie “Umgang mit schwankenden Messwerten”

#### 4.4.2. **Runden & Nachkommastellen begrenzen**

Im Falle der Fachmethode „Runden & Nachkommastellen begrenzen“ ergibt sich eine weitere Kategorie von Handlungsweisen. Auch hier sind fachlich inadäquate Vorgehensweisen, sowie absichtliche Handlung zum Erreichen des gesetzten Unterrichtsziels zu finden (bspw. das *Wegrunden einer wackelnden Nachkommastelle*).

Neben den bereits genannten Handlungsweisen findet sich jedoch eine weitere: Das fachmethodische Handeln auf Basis von Routinen. Dieses ist besonders bei der Wahl von anzugebenden Nachkommastellen sichtbar. Hier werden sehr häufig routinemäßig zwei oder drei Nachkommastellen gewählt. Eine Begründung bleibt aus und die Wahl ist fachmethodisch inadäquat.

#### 4.4.3. **Zusammenfassung der Feinstruktur**

Zusammenfassend wird bei Betrachtung der Feinstruktur des fachmethodischen Umgangs deutlich:

- Der fachmethodische Umgang findet sehr oft auf physikalisch inadäquate Weise statt.
- Neben inadäquater Nutzung von Fachmethoden *aus Gewohnheit* tritt auch die inadäquate Nutzung *zu Gunsten eines zu erreichenden Lehrzieles* (idR. ein Fachinhalt) oftmals auf.

## 5. **Diskussion & Ausblick**

Das Erlernen physikalischer Fachmethoden ist ein wichtiges Lernziel des Physikunterrichtes, wenn dieser neben theoretischen Inhalten auch vermitteln soll, wie Physik und physikalische Forschung funktionieren (*nature of science*). Trotz einer abgeschlossenen experimentell-fachlichen Ausbildung weisen große Teile der untersuchten Studierenden Defizite im fachmethodischen Umgang mit unsicheren Daten auf. Methoden werden aus Gewohnheit oder sogar mit Intention inadäquat angewendet. Besonders der

absichtliche inadäquate Einsatz von Fachmethoden zum Erreichen eines Unterrichtsziels ist hervorzuheben.

Die genannten Erkenntnisse zeugen von zwei bestehenden Problemen:

1. Studierende scheinen auch nach abgeschlossener experimenteller Ausbildung kein tiefes Verständnis von der Anwendung physikalischer Fachmethoden zu besitzen.
2. Die Rolle der Fachmethoden als Lernziel scheint gegenüber fachlichen Zielen als gering wahrgenommen zu werden. Es wird in Kauf genommen ersteres inadäquat zu vermitteln um das fachliche Ziel (z.B. das zu zeigende Gesetz) zu erreichen.

Ausgehend vom zweiten Punkt sind auch die Erkenntnisse der Grobstruktur einordbar: Der Umgang mit den unsicheren Daten beispielsweise im Messprozess oder bereits in der Hinführung (etwa durch Eingehen auf die Messgeräte) wird scheinbar als nicht wichtig erachtet. Erst wenn dieser Umgang innerhalb der Interpretation notwendig wird, da er der Theorie zu widersprechen scheint, wird gehandelt. Die Handlung zu diesem Zeitpunkt findet, wie dargestellt wurde, rein argumentativ statt. Dies kann mit einem „Kleinreden“ der Differenzen bzw. einer „Rechtfertigung“ der physikalischen Theorie gleichgesetzt werden.

Teil des größeren Studiendesigns sind auch Interviews, in denen Studierende mit eigenen Videosequenzen bzgl. des Umgangs mit unsicheren Daten konfrontiert werden. Auf die Nachfrage nach, was einem Studierenden in diesem Moment „durch seinen Kopf ging“ antwortete dieser sehr bezeichnend:

*„wahrscheinlich habe ich da schon drüber nachgedacht, wie ich diesen Unterschied jetzt kleinreden kann“*

Ein Vorgehen wie dieses beschreibt nicht adäquat wie Physik mit experimentellen Daten umgeht, vermittelt dieses inadäquate Vorgehen aber potenziell an Lernende (Modellernen [2]). Um eine solche fälschliche Vermittlung zu vermeiden besteht sowohl von fachlicher als auch fachdidaktischer Seite Handlungsbedarf.

Das hier vorgestellte Studiendesign zielt auf die Schaffung einer empirischen Grundlage des Forschungsfeldes „Umgang mit unsicheren Daten im Physikunterricht“. Davon ausgehend können weitere Forschung, sowie die Entwicklung geeigneter Lernumgebungen angeschlossen werden, um die hier dargestellten Problematiken näher zu beleuchten und anzugehen.

## 6. Literatur


[1] Heinicke, S. (2014). Experimentieren geht nicht ohne (Mess-)Unsicherheiten. Naturwissenschaft im Unterricht Physik: Experimentieren Gestalten 144, S. 29-31.

[2] Bandura, A. (1976). Lernen am Modell. Ansätze zu einer sozial-kognitiven Lerntheorie. Stuttgart: Klett.

[3] Ruhrig, Jan; Höttecke, Dietmar (2015): Components of Science Teachers’ Professional Competence and Their Orientational Frameworks when Dealing with Uncertain Evidence in Science Teaching. In: Int J of Sci and Math Educ 13 (2), S. 447–465.

[4] Heinicke, Susanne; Glomski, Julia; Priemer, Burkhard; Rieß, Falk (2010): Aus Fehlern wird man klug - Über die Relevanz eines adäquaten Verständnisses von "Messfehlern" im Physikunterricht. In: Praxis der Naturwissenschaften - Physik in der Schule 59 (5), S. 26–33.

[5] Séré, M.-G.; Journeaux, R.; Larcher, C. (1993): Learning the statistical analysis of measurement errors. International Journal of Science Education 15 (4), S. 427–438.

[6] Buffler, Andy; Allie, Saalih; Lubben, Fred (2001): The development of first year physics students' ideas about measurement in terms of point and set paradigms. International Journal of Science Education 23 (11), S. 1137–1156.

[7] Heinicke, S.; Riess, F. (2009): How to cope with Gauss’s errors. In: G. Cakmakci & F. Tasar (Hg.): Contemporary Science Education Research: Learning and Assessment, S. 23–32.

[8] Heinicke, S.; Riess, F. (2012): Missing Links in the Experimental Work: Student’s Actions and Reasoning on Measurement and Uncertainty. In: L. Maurines & A. Redfors (Eds.), ESERA 2011 Proceedings. Nature of Science, History, Philosophy, Sociology of Science.

[9] Wahl, Diethelm (1991). Handeln unter Druck: Der weite Weg vom Wissen zum Handeln bei Lehrern, Hochschullehrern und Erwachsenenbildern. Weinheim: Deutscher Studien Verl.

[10] Fischler, H. (1994). Concerning the difference between intention and action – teachers’ conceptions and actions in physics teaching. In: Carlgren, I., Handal, G., Vaage, S. (Hrsg.) Teachers’ minds and actions. Research on teachers’ thinking and practice, S. 165-180. Falmer Press: London.

[11] Holz, C. & Heinicke, S. (2019). Messunsicherheit – ein ungeliebter Gast im Physikunterricht? In: S. Bernholt (Hrsg.) Naturwissenschaftliche Bildung als Grundlage für berufliche und gesellschaftliche Teilhabe, Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik. Jahrestagung in Kiel 2018, S. 89-92.

[12] Korneck, F., Kunter, M., Oettinghaus, L., Lamprecht, J. & Sach, M. (2014). Analyse von Unterrichtshandeln in komplexitätsreduzierten Sequenzen. In: S. Bernholt (Hrsg.), Naturwissenschaftliche Bildung zwischen Science- und Fachunterricht. Jahrestagung der GDCP 2013. Kiel: IPN.

[13] Heinicke, Susanne (2012). Aus Fehlern Wird Man Klug: Eine Genetisch-Didaktische Rekonstruktion Des Messfehlers. Logos Verlag, Berlin.
[14] Meinhardt, C. (2018). Entwicklung und Validierung eines Testinstruments zu Selbstwirksamkeitserwartungen von (angehenden) Physiklehrkräften in physikdidaktischen Handlungsfeldern.
[15] Carleton, R. N., Norton, M. P., & Asmundson, G. J. (2007). Fearing the unknown: A short version of the Intolerance of Uncertainty Scale. Journal of Anxiety Disorders 21 (1), S. 105-117.
[16] Allie, Saalih; Buffler, Andy; Campbell, Bob; Lubben, Fred (2007): First-year physics students' perceptions of the quality of experimental measurements. In: International Journal of Science Education 20 (4), S. 447–459.

**Anhang**

Dieses Projekt wird im Rahmen der gemeinsamen „Qualitätsoffensive Lehrerbildung“ von Bund und Ländern aus Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gefördert.

# Kognitive Belastung und Aufgaben im Kontext

- Ein Spannungsfeld -

**Dennis Jaeger*, Rainer Müller***

*Technische Universität Braunschweig, Institut für Fachdidaktik der Naturwissenschaften, Abteilung Physik und Physikdidaktik

dennis_jaeger1@gmx.de, rainer.mueller@tu-bs.de

**Kurzfassung**

Aufgaben im Kontext sollen das Interesse der Lernenden erhöhen und sie befähigen ihr erworbenes Wissen auf neue Problemsituationen zu übertragen. Während Kontexte im allgemeinen als motivationssteigernd gelten, ist die Studienlage hinsichtlich ihres Einflusses auf die Leistung und Lernleistung sehr heterogen.

Ein Grund für diese uneindeutige Studienlage scheint die Multidimensionalität des Konstrukts Kontext darzustellen. Unter Berücksichtigung der Theorie der kognitiven Belastung scheint es plausibel, dass sich verschiedene Merkmale eines Kontextes unterschiedlich auf die Leistung auswirken. Dieser Ansatz des Spannungsfeldes [5]wird im Rahmen einer Studie mit 918 Schülerinnen und Schülern untersucht.

## 1. Einleitung

In vielen Ländern sind kontextorientierte Ansätze zum Lernen von Physik in den Lehrplänen verankert [22]. Damit einher gehen problemorientierte Aufgaben, die eine Anwendung des Fachwissens erlauben. In diesem Zusammenhang werden Aufgaben[1] im Kontext im Unterricht eingesetzt. Trotz diverser Studien zum Thema Kontexte [2, 5, 22, 31, 42, 43] ist im Wesentlichen ungeklärt, wie sich diese auf die Leistung und Lernleistung auswirken. Dies ist unzufriedenstellend, da ein besseres Verständnis des Lösungsprozesses und der Kontextmerkmale dazu beitragen kann, Aufgaben so zu gestalten, dass Lernen maximiert wird. Ziel dieser Untersuchung ist es daher, theoriebasiert Kontextmerkmale auszuwählen, diese systematisch zu variieren und ihren Einfluss auf den Lösungsprozess zu untersuchen. Dazu wird die kognitive Belastung sowie die aktuelle Motivation im Lösungsprozess berücksichtigt und Einflüsse auf die Leistung modelliert.

### 1.1. Theorie der kognitiven Belastung (Cognitive Load Theory)

Die Theorie der kognitiven Belastung beschreibt den Informationsverarbeitungsprozess beim Lernen und Problemlösen [10, 11, 14]. Zu verarbeitende Informationen werden dabei über die Sinnesorgane zusammen mit assoziierten Informationen aus dem Langzeitgedächtnis in ein sehr limitiertes Arbeitsgedächtnis geladen und dort bewusst analysiert [10, 12]. Zu analysierende Informationen lassen sich danach unterscheiden, ob sie eine intrinsische oder eine extrinsische Belastung hervorrufen. Überschreitet die Summe aus beiden einen individuellen Grenzwert, kann es zu einer Überlastungssituation kommen, in der Lernen und eine erfolgreiche Lösung der Aufgabe sehr unwahrscheinlich werden vgl. [3, 9, 14]. Auch eine Unterforderungssituation ist zu vermeiden [9]. Während intendierte Anforderungen, wie die Komplexität einer Aufgabe eine intrinsische Belastung hervorruft, kann eine ungünstige Gestaltung des Aufgabenmaterials zu einer extrinsischen Belastung führen [14]. Ob eine Anforderung als intrinsisch oder extrinsisch gilt, hängt also vom Material, den Lernenden und den Lernzielen ab. Insbesondere, wenn Aufgaben im Kontext verwendet werden, sieht sich der Lösende mit einer Fülle an Informationen konfrontiert, die verarbeitet und nach Relevanz sortiert werden müssen. Insofern ist es naheliegend, die Theorie der kognitiven Belastung bei der Untersuchung von Kontexten zu berücksichtigen.

[1] In Abhängigkeit davon, ob die Bearbeitung eines Arbeitsauftrages einen konstruktiven Denkprozess erfordert, wird von einem Problem oder einer Aufgabe gesprochen [1, 8, 15]. Damit ist diese Abgrenzung personenabhängig. Insbesondere kann die Formulierung einer Aufgabe im Kontext diese zu einem Problem werden lassen. Da diese Abgrenzung hier nicht im Fokus der Betrachtungen steht, werden die Begriffe in diesem Beitrag synonym verwendet.

### 1.2. **Kontexte und Kontextorientierung**

Die heute in Lehrplänen verankerte Kontextorientierung fußt im Wesentlichen auf zwei Argumenten. Zum Einen wird sie mit der dadurch optimierbaren motivationalen Einstellung zum Fach begründet [23, 24]. Diese Begründungen basieren u. a. auf den Ergebnissen der Interessensforschung und werden von weiteren Studien gestützt, die das *„Fehlen von Anwendungen [und] de[n] Abstand des Unterrichts zur Lebenswelt [beklagen] […]"*[vgl.23, 24, 25, 26, 27 nach 28]. Das zweite Argumentbasiert auf den immer wieder angeführten Ergebnissen von Schulvergleichsstudien wie TIMSS und PISA. Demnach haben Schülerinnen und Schüler Schwierigkeiten, ihr im Physikunterricht erworbenes Wissen und Fähigkeiten auf Alltagskontexte anzuwenden, was häufig mit der *„synthetischen Wirklichkeit"* des Physikunterrichts in Verbindung gebracht wird [30].

Obwohl die Verwendung von Kontexten somit auf einem soliden Fundament steht, ist unklar, was genau als Kontext aufgefasst wird, da das Konstrukt sehr breit gefasst ist.

Während beispielsweise Aufgaben, in denen erfundene Geschichten thematisiert werden, die so stattfinden könnten, jedoch nicht tatsächlich stattgefunden haben, in[20] als Kontext bezeichnet werden, stellt in [31] die *„Nichtkonstruiertheit"* eine notwendige Bedingung an eine kontextorientierte Aufgabe dar.

Um dieser Problematik zu begegnen, wurde in [19] ein Modell zur Operationalisierung der Kontextmerkmale erstellt (vgl. Abb.1). Zur besseren Vergleichbarkeit von Studien sollte stets angegeben sein, auf welche Merkmale von Kontext sich bezogen wird. So scheint es plausibel, dass verschiedene Merkmale sich unterschiedlich auf die (Lern-)Leistung auswirken [5,6] und in der Folge sich der Forschungsstand in diesem Bereich so heterogen zeigt [22].

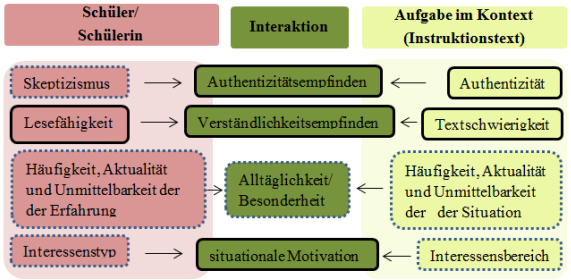



**Abb.1:** Modifizierung des Modells aus [19] für textbasierte Kontexte.

Zu den aktuelleren Untersuchungen, die einen mittleren bis großen Effekt von Kontext auf die Lernleistung aufdecken konnten, zählt die Arbeit von Kuhn [5]. In dieser Arbeit werden die Kontextmerkmale Authentizität und Ankermasse untersucht. Während die *Authentizität* die *„Echtheit, Zuverlässigkeit, Glaubwürdigkeit"* [32] beschreibt, stellt die Ankermasse nach Kuhn [5] ein Maß für den Informationsgehalt und Schwierigkeit des Textes dar. Dieses Vorgehen begründet er damit, dass Authentizität und Komplexität der Information häufig einhergehen.

### 1.3. **Spannungsfeld**

Während von der Authentizität eines Kontextes eine Motivationssteigerung erwartet und in der Folge nach [33] im Wesentlichen eine Reduktion der kognitiven Belastung erfolgen kann, wird von den zusätzlich zu verarbeitenden, interagierenden Informationen und den tendenziell komplexeren Sätzen eine Erhöhung der kognitiven Gesamtbelastung erwartet (vgl. Abb. 2).

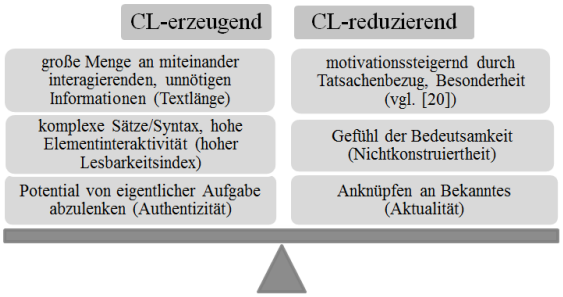



**Abb. 2:** Vermutetes Spannungsfeld der Kontextmerkmale Authentizität und Textschwierigkeit. Dieses besteht aus der Annahme, dass diese Variablen unterschiedlich auf die kognitive Belastung (CL) und aktuelle Motivation und darüber gegensätzlich auf die Leistung wirken.

Da mit der Authentizität häufig eine erhöhte Textschwierigkeit[2] infolge der den Kontext authentisch erscheinenden zusätzlichen Informationen einhergeht, wird hier auch der Ansatz von Kuhn [5] gewählt, die Konstrukte Textschwierigkeit und Authentizität zu untersuchen und diese weitestgehend voneinander zu separieren.
Dieser Vorgehensweise liegt auch die Vermutung zu Grunde, dass die Authentizität eines Kontextes sich positiv ($c_A$ in Abb. 3) und die Textschwierigkeit sich negativ ($c_T$ in Abb. 3) auf die Leistung auswirken, welche von ersten Ergebnissen gestützt wird [5]. Widersprüchliche Ergebnisse könnten dann daher rühren, dass diese Kontextvariablen mal mehr und mal weniger stark ausgeprägt waren, sodass mal der eine und mal der andere Effekt überwog.
Dies soll genügen, um das Spannungsfeld in einem ersten Schritt zu motivieren. Im Folgenden wird die Fragestellung sowie die zugehörigen Hypothesen vorgestellt und begründet.

## 2. **Fragestellung**

Wir untersuchen den Einfluss der Kontextvariablen Authentizität und Textschwierigkeit auf die kognitive Belastung, aktuelle Motivation und Leistung, indem das theoriegeleitete Modell des Spannungsfeldes in Abb. 3 überprüft wird. Dabei werden zentrale personenbezogene Variablen kontrolliert. Es werden folgende Hypothesen überprüft:

[2] Eine genauere Operationalisierung der Konstrukte im Rahmen dieser Studie erfolgt in Abschnitt 3.2.

**H1)Authentizität und Leistung** Lernende mit dem authentischen Instruktionstext erreichen eine höhere Leistung als Lernende, die mit einem traditionellen Text arbeiten. ($c_A$ in Abb. 3)
In [5] war die Lernleistung nach der Arbeit mit authentischen Materialien nach nur drei Unterrichtsstunden höher als bei der Verwendung von traditionellem Material. Im Unterschied zu [5] wird hier allerdings die Leistung beim Lösen betrachtet.
**H2) Authentizität und aktuelle Motivation** Lernende mit dem authentischen Instruktionstext empfinden eine höhere aktuelle Motivation, als Lernende mit dem traditionellen Text (vgl. [5]).
($a_{A,AM}$ in Abb. 3)
**H3) Aktuelle Motivation und kognitive Belastung** Lernende mit einer höheren aktuellen Motivation empfinden eine geringere kognitive Belastung ($d$ in Abb. 3).
**H4) Authentizität und kognitive Belastung** Die kognitive Belastung von Lernenden, die mit dem authentischen Instruktionsmaterial arbeiten, ist kleiner als bei den Lernenden, die mit dem traditionellen Material konfrontiert werden ($a_{A,CL}$ in Abb. 3).
Diese beiden Hypothesen basieren auf [29] und [33]. Auch in[34] wird gefordert, neben dem kognitiven Ansatz die aktuelle Motivation zu berücksichtigen.
**H5)Textschwierigkeit und Leistung** Lernende mit einem Instruktionstext höherer Textschwierigkeit erreichen eine geringere Leistung als Lernende, die mit einem Text geringerer Schwierigkeit arbeiten. ($c_T$ in Abb. 3)
**H6) Textschwierigkeit und kognitive Belastung** Lernende mit einem Instruktionstext höherer Schwierigkeit empfinden eine höhere kognitive Belastung, als Lernende mit einem leichteren Instruktionstext. ($a_{T,CL}$ in Abb. 3)
Viele miteinander interagierende Informationen können die extrinsische Belastung erhöhen und damit infolge der Additivität verschiedener Belastungsarten und der konstanten intrinsischen Belastung die Gesamtbelastung steigern [9].
**H7) Textschwierigkeit und aktuelle Motivation** Ein Instruktionstext höherer Textschwierigkeit geht mit einer geringeren aktuellen Motivation einher als ein Text niedrigerer Textschwierigkeit.($a_{T,AM}$ in Abb. 3).
Bei längeren und komplizierteren Texten wird davon ausgegangen, dass sie sich negativ auf die Bereitschaft, sich mit der Aufgabe zu beschäftigen, auswirken [35].
**H8) Kognitive Belastung und Leistung** Eine höhere kognitive Belastung geht mit einer niedrigeren Leistung einher.
Eine kognitive Gesamtbelastung, die die limitierten Ressourcen des Arbeitsgedächtnis überschreitet, wirkt sich negativ auf die Fähigkeit aus, die notwendigen Informationen zu verarbeiten [14]. In der Folge ist mit einem negativen Effekt auf die Leistung zu rechnen. ($b_{CL}$ in Abb. 3)

**H9) Aktuelle Motivation und Leistung** Eine höhere aktuelle Motivation geht mit einer höheren Leistung einher. ($b_{AM}$ in Abb. 3)

Basierend auf diesen Hypothesen soll das Pfadmodell in Abb. 3 überprüft werden.

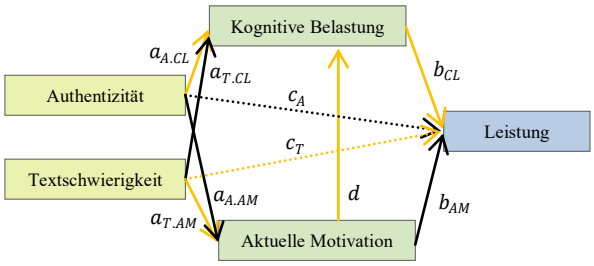



**Abb. 3:** Pfadmodell zur Untersuchung des Spannungsfeldes. Während helle Pfeile auf einen negativen Einfluss hindeuten, repräsentieren die dunklen Pfeile positive Einflüsse.

## 3. Methode

In diesem Kapitel soll zunächst das Studiendesign (3.1) erläutert und die Stichprobe näher beschrieben (3.2) werden, bevor kurz auf die verwendeten Messinstrumente (3.3) eingegangen wird.

### 3.1. Studiendesign und Stichprobe

An der Studie nahmen 918 Schülerinnen (465) und Schüler (407) aus 37 Klassen der Jahrgangsstufen 7 bis 10 im Alter von 12 bis 18 Jahren an Gymnasien und Integrierten Gesamtschulen in Niedersachsen und Nordrhein-Westfalen teil. In jeder Schulklasse gab es zwei Termine je à 45 min. Beim ersten Termin wurden personenbezogene Einflussfaktoren erhoben[3]. Eine Woche später, beim zweiten Termin, wurden die Lernenden je Schulklasse mit Hilfe einer Blockrandomisierung so den vier Gruppen in Tab. 1

| | | |
|---|---|---|
| Textschwierigkeit niedrig | Gruppe 1 (215 SuS) | Gruppe 3 (207 SuS) |
| Textschwierigkeit hoch | Gruppe 2 (215 SuS) | Gruppe 4 (222 SuS) |
| | traditionell | authentisch |

**Tab. 1:** 2x2 Design der Studie

zugeteilt, dass sie sich statistisch in keiner der Personenvariablen unterschieden. Infolge dieses Vorgehens werden Verzerrungen bei der Schätzung der

[3] Diese Personenvariablen wurden im Modell in Abb. 3 berücksichtigt, können jedoch wegen des Umfangs hier nicht explizit dargestellt werden. Für Näheres dazu sei auf [21, 44] verwiesen.

Effekte unwahrscheinlich und damit zuverlässiger. Die vier Gruppen erhielten Materialien, die sich in ihrer Textschwierigkeit und Authentizität unterschieden (vgl. Tab. 1). Diese Unterschiede sind objektiv feststellbar (vgl. 3.3). Darüber hinaus konnte nachgewiesen werden, dass die Materialien in der intendierten Weise von den Schülerinnen und Schülern wahrgenommen wurden.

### 3.2. **Untersuchungsmaterial**

Die vier Materialversionen basieren auf einem Online-Artikel, der das Finale der olympischen Schwimm-Wettkämpfe in 2016 thematisiert. Dazu werden Aufgaben aus dem Kompetenzbereich Fachwissen gestellt, die an [18] angelehnt sind. Eine (traditionelle) Aufgabenstellung ist exemplarisch:

*Der Sieger des 400 Meter Schwimm-Wettkampfes hatte beim Erreichen des Ziels 3 mm Vorsprung vor dem Zweitplatzierten.*
a) Berechne den Streckenvorsprung des Siegers vor den Zweitplatzierten beim 100 Meter Schwimm-Wettkampf in Meter.
b) Vergleiche den Vorsprung des Siegers des 400 Meter Wettkampfes mit dem Vorsprung des Siegers des 100 Meter Wettkampfes.

Die vier Materialien unterscheiden sich in ihren Instruktionstexten (vgl. Tab. 1) sowie im Wortlaut ihrer Aufgabenstellungen. Im Gegensatz zu traditionellen Materialien sind authentische Materialien aktuell [19], beziehen sich auf eine Tatsache, sind nicht konstruiert [31] und relevant [19] sowie beschreiben sie ein besonderes Ereignis (vgl. [20]).Die traditionellen Materialien erfüllen hingegen keine dieser Eigenschaften. Während in den Aufgabenstellungen der authentischen Materialien die tatsächlichen Personen genannt werden, wird bei den traditionellen Versionen abstrakter vom Sieger oder Zweitplatzierten gesprochen. Materialien hoher Textschwierigkeit unterscheiden sich von jenen niedriger Textschwierigkeit in ihrem Lesbarkeitsindex (vgl. [36, 37]) (29 vs. 46) und in ihrer Anzahl der Wörter (61 bis 89 vs. 203 bis 222).

### 3.3. **Messinstrumente**

Die Leistung im Lösungsprozess wird mit Hilfe eines umfassend überprüften Manuals erfasst. Untersuchungen weisen das Manual als objektives und ökologisch valides Erhebungsinstrument aus [21].

Die kognitive Belastung im Lösungsprozess wird mit Hilfe dreier Items[3, 7, 17] reliabel ($\alpha_C$[4] $= 0{,}89$) erfasst. Eine Untersuchung [6] deutet darauf hin, dass mit diesen Items die kognitive Gesamtbelastung gemessen wird.

Die aktuelle Motivation wird mit drei Items von erhoben [37], die als hinreichend reliabel gelten ($\alpha_C = 0{,}80$).

[4] $\alpha_C$ bezeichnet Cronbachs Alpha.

Die sechs Items zur Erhebung der kognitiven Belastung sowie der aktuellen Motivation zeichnen sich durch faktorielle Validität aus [2].

## 4. **Ergebnisse**

Von den insgesamt 918 Teilnehmenden nahmen nicht alle an beiden Erhebungsterminen teil. Außerdem wurden ausschließlich Lernende berücksichtigt, die die sechs Items zur Erfassung der kognitiven Belastung sowie der aktuellen Motivation vollständig ausfüllten. Die genaue Stichprobengröße nach Aufgabe findet sich zusammen mit den über alle Aufgaben hinweg konsistent signifikanten Pfaden in Tab. 2.

| | Aufgabe 1<br>$N = 738$ | Aufgabe 2<br>$N = 716$ | Aufgabe 3<br>$N = 546$ |
|---|---|---|---|
| $d$ | -0,45 | -0,42 | -0,41 |
| $b_{CL}$ | -0,40 | -0,34 | -0,23 |
| $b_{AM}$ | 0,12 | 0,12 | 0,09 |

**Tab. 2:** Standardisierte Regressionsgewichte nach Aufgabe (vgl. Abb. 3), die über alle Aufgaben hinweg auf dem 5 % - Niveau signifikant sind. Exemplarisch bedeutet das, dass für die kognitive Belastung zweier Lernender, die sich in ihrer aktuellen Motivation um eine Standardabweichung unterscheiden, ein Unterschied von -0,45 Standardabweichungen vorhergesagt wird.

Die Schätzung der standardisierten Regressionskoeffizienten basiert auf der Maximum-Likelihood Methode, deren Voraussetzungen einer Überprüfung standhielten. Bei der Interpretation der Effektgrößen ist zu berücksichtigen, dass stets das Modell als Ganzes geschätzt wurde.

Es zeigt sich, dass die Kontextmerkmale Authentizität und Textschwierigkeit hier keinen Einfluss auf die kognitive Belastung, die aktuelle Motivation und die Leistung haben. Darüber hinaus gibt es einen recht großen negativen Zusammenhang der kognitiven Belastung und der aktuellen Motivation über alle Aufgaben hinweg. Von der kognitiven Belastung geht im Modell stets ein bedeutender negativer Effekt auf die Leistung im Lösungsprozess aus.

## 5. **Zusammenfassung und Ausblick**

Wir haben in dieser Studie untersucht, inwiefern sich die Kontextmerkmale Authentizität und Textschwierigkeit auf die kognitive Belastung, aktuelle Motivation und Leistung im Lösungsprozess auswirken.

Die positiven Effekte der Authentizität, die auf Grund der Besonderheit und der Aktualität nach [20] zumindest für die aktuelle Motivation zu erwarten waren, blieben hier aus. Für die Lernenden macht es mit Blick auf die untersuchten Variablen tatsächlich

keinen Unterschied, welchen der vier Instruktionstexte und Aufgabenstellungen sie erhalten, obwohl sie die Texte in der erwarteten Richtung als unterschiedlich authentisch und auch als verschieden verständlich empfinden.

Im Rahmen der Ausprägungen der hier betrachteten Kontextmerkmale ist es daher offensichtlich für die Leistung nicht von Bedeutung, wie Aufgaben gestaltet werden. Damit bleibt die Frage, die sich angelehnt an das genannte Spannungsfeld ergibt, was genau ist an Kontexten motivierend und was genau ist dahingehend störend, dass es nur extrinsische kognitive Belastung erzeugt? Bei schwierigeren Texten zeigte sich ein Einfluss auf die kognitive Belastung und die Leistung [5]. Ein Ansatz könnte die noch stärkere Anpassung der Aufgabenmaterialien an die Interessen der Lernenden darstellen. Hier war sich allgemein an dem Interessensbereich Mensch und Natur orientiert worden, um einen großen Anteil der Schülerinnen und Schüler anzusprechen und dennoch noch praktikabel zu sein.

Ein weiterer Ansatz könnte darauf basieren, Texte näher hinsichtlich ihrer Verständlichkeit zu untersuchen [41]. Welche Merkmale sind lern- und lösungsförderlich oder –hinderlich bei physikalischen Texten? Erste Untersuchungen in dieser Richtung finden sich in [39] und [40] finden.

## 6. Literatur


[1] Funke, J. (2003): Problemlösendes Denken. Kohlhammer Standards Psychologie: Stuttgart.

[2] Jaeger, D.; Itsios, C.; Franz, T. & Müller, R. (2017): Cognitive Load und Aufgabenmerkmale - Verwendung von Zusatzfragen bei authentischen Problemen -. DPG Frühjahrstagung in Dresden. PhyDid. B, DD 13.1.

[3] Kalyuga, S.; Chandler, P.; Sweller, J. (1999): Managing Split-attention and Redundancy in Multimedia Instruction. Applied Cognitive Psychology, (13), 351-371.

[4] Kuhn, J., Müller, A., Müller, W. & Vogt, P. (2010): Kontextorientierter Physikunterricht. Konzeptionen, Theorien und Forschung zu Motivation und Lernen. PdN-PhiS 5/59.

[5] Kuhn, J. (2010): Authentische Aufgaben im theoretischen Rahmen von Instruktions- und Lehr-Lern-Forschung: Effektivität und Optimierung von Ankermedien für eine neue Aufgabenkultur im Physikunterricht. Wiesbaden: Vieweg+Teubner.

[6] Leppink, J., Paas, F., Van der Vleuten, C.P.M., Van Gog, T. & Van Merrienboer, J.J.G. (2013): Development of an instrument for measuring different types of cognitive load. Behav. Res. Psychonomic Society, Inc. 2013.

[7] Paas, F. (1992): Training Strategies for Attaining Transfer of Problem-Solving Skill in Statistics: A Cognitive-Load Approach. Journal of Educational Psychology, Vol. 84, No. 4, 429-434.

[8] Robertson. S.I. (2001): Problem solving. Psychology Press.

[9] Schnotz, W. & Kürschner, C. (2007): A reconsideration of cognitive load theory. Educational Psychology Review, 19 (4), 469-508.

[10] Sweller, J. (1994): Cognitive load theory, learning difficulty, and instructional design. Learning and Instruction, 4 (4), 295-312.

[11] Sweller, J., Van Merrienboer, J., Paas, F. (1998): Cognitive Architecture and Instructional Design. Educational Psychology Review, 10 (4), 251-296.

[12] Miller, G. A. (1956): The magical number seven, plus or minus two: some limits on our capacity for processing information. Psychological review, 63 (2), 81.

[13] Nesbit, J.C., Hadwin, A.F. (2006): Handbook of Educational Psychology. Methodological Issues in Educational Psychology. Routledge.

[14] Sweller, J., Ayres, P., Kalyuga, S. (2011): Cognitive Load Theory. Springer New York Dodrecht Heidelberg London.

[15] Newell, A.; Simon, H. A. (1972): Human problem solving. Englewood Cliffs NJ: Prentice-Hall.

[16] Simon, D.P., & Simon, H.A. (1978): Individual differences in solving physics problems. In: R.S. Siegler (Ed.), Children´s thinking: What develops? Hillsdale, N.J.: Erlbaum.

[17] Ayres, P. (2006): Using subjective measures to detect variations of intrinsic load within problems. In: Learning and Instruction, 16, p. 389-400.

[18] Wiesner, H.; Schecker, H. & Hopf, M. (2011): Physikdidaktik kompakt. Aulis Verlag.

[19] van Vorst, Helena; Dorschu, Alexandra; Fechner, Sabine; Kauertz, Alexander; Krabbe, Heiko; Sumfleth, Elke (2014): Charakterisierung und Strukturierung von Kontexten im naturwissenschaftlichen Unterricht – Vorschlag einer theoretischen Modellierung. In: *ZfDN* 21 (1), S. 29–39. DOI: 10.1007/s40573-014-0021-5.

[20] Dorschu, Alexandra (2013): Die Wirkung von Kontexten in Physikkompetenztestaufgaben. Zugl.: Duisburg, Essen, Univ., Diss., 2013. Berlin: Logos-Verl. (Studien zum Physik- und Chemielernen, 150).

[21] Jaeger, D.; Müller, R. (2018): *Einflussfaktoren beim Lösen von Physikaufgaben.* In C. Maurer (Hrsg.), Naturwissenschaftliche Bildung als Grundlage für berufliche und gesellschaftliche Teilhabe. GDCP Jahrestagung in Kiel 2018 (Bd. 39, S. 293-296). Regensburg: Universität Regensburg.

[22] Bennett, Judith; Lubben, Fred; Hogarth, Sylvia (2007): Bringing science to life. A syn-thesis of the research evidence on the effects of context-based and STS approaches to science teaching. In: *Sci. Ed.* 91 (3), S. 347–370. DOI: 10.1002/sce.20186.

[23] Muckenfuß, Heinz (2006): Lernen im sinnstiftenden Kontext. Entwurf einer zeitgemäßen Didaktik des Physikunterrichts. Zugl.: Weingarten, Pädag. Hochsch., Diss. 1. Aufl., 2. Dr. Berlin: Cornelsen.

[24] Merzyn, Gottfried (2008): Naturwissenschaften, Mathematik, Technik - immer unbeliebter? Die Konkurrenz von Schulfächern um das Interesse der Jugend im Spiegel viel-fältiger Untersuchungen. Baltmannsweiler: Schneider Hohengehren.

[25] Häußler, Peter; Bünder, Wolfgang; Duit, Reinders; Gräber, Wolfgang; Mayer, Jürgen (1998): Naturwissenschaftsdidaktische Forschung - Perspektiven für die Unterrichtspraxis. Kiel: IPN.

[26] Lehrke, Manfred (1988): Interesse und Desinteresse am naturwissenschaftlich-technischen Unterricht. Interpretation der vorliegenden Untersuchungen und mögliche Konsequenzen. Zugl.: Kiel, Univ., Diss., 1987. Kiel: IPN (IPN, 118).

[27] Sasol-Studie (2005): Zu den beliebtesten Schulfächern. durchgeführt im November 2004 vom IJF Institut für Jugendforschung München. Online verfügbar unter https://www.analytik-news.de/Presse/2005/138.html, zuletzt geprüft am 30.05.2019.

[28] Strahl, Alexander; Preißler, Inske (2014): Fachdidaktik der Naturwissenschaften unter besonderer Berücksichtigung der Physik. 1. Aufl. Norderstedt: Books on Demand.

[29] Krapp, Andreas (2002): Structural and dynamic aspects of interest development: theoretical considerations from an ontogenetic perspective. In: *Learning and Instruction* 12 (4), S. 383–409. DOI: 10.1016/S0959-4752(01)00011-1.

[30] Müller, Rainer (2006): Kontextorientierung und Alltagsbezug. In: Helmut F. Mikelskis (Hg.): Physik-Didaktik. Praxishandbuch für die Sekundarstufe I und II. Berlin: Cornelsen Scriptor, S. 102–119.

[31] Henning, Teresa (2014): Empirische Untersuchung kontextorientierter Lernumgebungen in der Hochschuldidaktik. Entwicklung und Evaluation kontextorientierter Aufgaben in der Studieneingangsphase für Fach- und Nebenfachstudierende der Physik. Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 2014. Berlin: Logos-Verl. (Studien zum Physik- und Chemielernen, 172).

[32] Drosdowski, Günther (Hg.) (1989): Duden - Deutsches Universalwörterbuch. 2., völlig neu bearb. und stark erw. Aufl. Mannheim, Wien, Zürich: Dudenverlag.

[33] Schnotz, Wolfgang; Fries, Stefan; Hortz, Holger (2009): Some Motivational Aspects of Cognitive Load Theory. In: Marold Wosnitza und Stuart A. Karabenick (Hg.): Contemporary motivation research. From global to local perspectives. Toronto: Hogrefe, S. 69–96. Online verfügbar unter https://www.researchgate.net/publication/273016902_Some_Motivational_Aspects_of_Cognitive_Load_Theory/citations, zuletzt geprüft am 30.05.2019.

[34] Kalyuga, Slava (2015): Instructional Guidance. A Cognitive Load Perspective. Charlotte, NC: Information Age Publishing. Online verfügbar unter https://ebookcentral.proquest.com/lib/gbv/detail.action?docID=3433364

[35] Prenzel, Manfred; Häußler, Peter; Rost, Jürgen; Senkbeil, Martin (2002): Der PISA-Naturwissenschaftstest: Lassen sich die Aufgabenschwierigkeiten vorhersagen? In: *Unterrichtswissenschaft Zeitschrift für Lernforschung* 30 (1), S. 120–135.

[36] Lenhard, Wolfgang; Lenhard, Alexandra (2011): Berechnung des Lesbarkeitsindex LIX nach Björnson. Online verfügbar unter https://www.psychometrica.de/lix.html, zuletzt geprüft am 30.05.2019.

[37] Björnsson, Carl-Hugo (1968): Läsbarhet (Pædagogisk orientering).

[38] Maynard, Douglas C.; Hakel, Milton D. (1997): Effects of Objective and Subjective Task Complexity on Performance. In: *Human Performance* 10 (4), S. 303–330. DOI: 10.1207/s15327043hup1004_1.

[39] Rabe, Thorid; Mikelskis, Helmut F. (2007): Kohärenzbildungshilfen und Selbsterklärungen: Fördern sie das Physiklernen? Coherence markers and self-explanation: Do they support learning physics? In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften (ZfDN))* 13.

[40] Heine, Lena; Domenech, Madeleine; Otto, Lisa; Neumann, Astrid; Krelle, Michael; Leiss, Dominik et al. (2018): Modellierung sprachlicher Anforderungen in Testaufgaben verschiedener Unterrichtsfächer: Theoretische und empirische Grundlagen. In: *Zeitschrift für Angewandte Linguistik* 2018 (69), S. 69–96. DOI: 10.1515/zfal-2018-0017.

[41] Friedrich, Marcus; Heise, Elke; Thies, Barbara (2017): Textverständlichkeit und ihre Messung. Dissertation. Technische Universität Braunschweig; Waxmann Verlag.

[42] Löffler, Patrick (2016): Modellanwendung in Problemlöseaufgaben - Wie wirkt Kontext? Dissertation. Logos Verlag Berlin GmbH.

[43] Löffler, Patrick; Kauertz, Alexander (2017): Why is context so hard to grasp? A procedural analysis of problem-solving. In: *Esera 2017 Conference Dublin*.

[44] Jaeger, Dennis (2019): Kognitive Belastung und aufgabenspezifische sowie personenspezifische Einflussfaktoren beim Lösen von Physikaufgaben. Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 2019. Berlin: Logos-Verl. (Studien zum Physik- und Chemielernen, 276).

# Veränderungen des physikdidaktischen Wissens im Verlauf eines Lehr-Lern-Seminars

**Ann-Kathrin Joswig*, Josef Riese***

*I. Physikalisches Institut IA, RWTH Aachen University
joswig@physik.rwth-aachen.de, riese@physik.rwth-aachen.de

**Kurzfassung**

Ein aktuelles Forschungsfeld befasst sich mit der Untersuchung des Kompetenzerwerbs in der Hochschule, um Gestaltungswissen für die Weiterentwicklung von Studiengängen zu generieren. Speziell im Lehramtsstudium ist dabei von Interesse, inwieweit die fachdidaktischen Lernangebote zu einer Zunahme des fachdidaktischen Wissens führen, wozu insbesondere im Fach Physik in der Vergangenheit einige Wissens- bzw. Kompetenztests entwickelt wurden. Unklar im Detail ist jedoch, inwieweit gemessene Veränderungen des fachdidaktischen Wissens auf globaler Ebene tatsächlich auf die (erfolgreiche) Nutzung konkreter Lerngelegenheiten in bestimmten Studiengängen zurückzuführen sind. Im vorgestellten Projekt werden daher auf der Mikroebene Gründe für gemessene Veränderungen im physikdidaktischen Wissen von Lehramtsstudierenden herausgearbeitet, die im Verlauf eines Vorbereitungssemesters zum Praxissemester an zwei physikdidaktischen Seminaren teilnehmen. Dabei wird der fachdidaktische Wissensstand der Lehramtsstudierenden mit Hilfe eines schriftlichen physikdidaktischen Leistungstests im Prä-Post-Studiendesign erhoben. Im Anschluss an den Post-Test werden qualitative Einzelinterviews mit den Studierenden geführt, um identifizierte Veränderungen im Testverhalten auf konkrete Lernanlässe beziehen bzw. allgemein Gründe für Veränderungen des Testverhaltens identifizieren zu können. Darüber hinaus wird untersucht, inwieweit der Kompetenzerwerb im fachdidaktischen Wissen der Studierenden abhängig von den im Test aufgegriffenen physikalischen Inhaltsbereichen ist. Die Transkripte der Interviewdaten werden hierzu mit Hilfe qualitativer Inhaltsanalyse kategorisiert und ausgewertet. Erste Ergebnisse der Studien werden in diesem Beitrag dargestellt.

## 1. Ausgangslage

Die Lehrerbildung in Deutschland unterzieht sich seit Jahren einer kontinuierlichen Veränderung und Weiterentwicklung (vgl. z.B. Terhart, 2012). Die damit einhergehenden Erneuerungen haben oftmals eine Qualitätsverbesserung der Lehrerausbildung und somit des Lehramtsstudiums zum Ziel. Um die Qualität und den Nutzen dieser Neuerungen und Innovationen im Studium einschätzen zu können, werden sie hinsichtlich ihres Ausbildungserfolgs untersucht. Zur Messung des Ausbildungserfolgs kann das Professionswissen der Lehramtsstudierenden mit Hilfe sogenannter Kompetenztests erfasst werden. Im Fach Physik wurden bereits in verschiedenen Projekten, wie beispielsweise ProfiLe-P, PorfiLe-P+, KiL, FALKO oder ProWin (vgl. Riese et al., 2015; Kröger, Neumann & Petersen, 2013; Schlödl & Göhring, 2015; Tepner et al., 2012) eine Reihe solcher Testinstrumente entwickelt und erprobt. Bei den Testinstrumenten zur Kompetenzerfassung handelt es sich meist um schriftliche Wissenstests, welche die drei Bereiche *Fachwissen, fachdidaktisches Wissen* und *pädagogisches Wissen* (vgl. Shulman, 1986) des Professionswissens einer Lehrperson abdecken. Der Einsatz dieser Testinstrumente erfolgt zum Teil in Längsschnittstudien, um den Wissensstand zu unterschiedlichen Zeitpunkten im Studium abbilden zu können. Hierdurch ist es möglich, Entwicklungen im Professionswissen der Studierenden genauer zu untersuchen. Während bereits positive Veränderungen z.B. im fachdidaktischen Wissen von Lehramtsstudierenden im Verlauf ihres Studiums gemessen werden konnten (vgl. Riese, Gramzow & Reinhold, 2017), ist noch nicht bekannt, inwieweit diese Veränderungen mit spezifischen Lerngelegenheiten am Lernort Universität oder mit anderen, personenspezifischen Aspekten oder gar Wiederholungseffekten der Testung im Zusammenhang stehen. Das in diesem Beitrag beschriebene Projekt setzt an dieser Stelle an. Mit Hilfe eines weiterentwickelten physikdidaktischen Kompetenztests werden zunächst Veränderungen im Wissen von Physiklehramtsstudiereden über den Zeitraum eines Vorbereitungssemesters zum Praxissemester gemessen und anschließend Gründe für die gemessenen Veränderungen durch qualitative Einzelinterviews herausgearbeitet.

## 2. Theoretischer Hintergrund

Das Professionswissen von Lehrpersonen gilt als ein entscheidender Faktor für die Qualität von Unterricht (vgl. Abell, 2007). Zur Operationalisierung des Professionswissens hat sich in der deutschsprachigen Literatur eine hierarchische Struktur etabliert, welche in Abb.1 dargestellt ist.

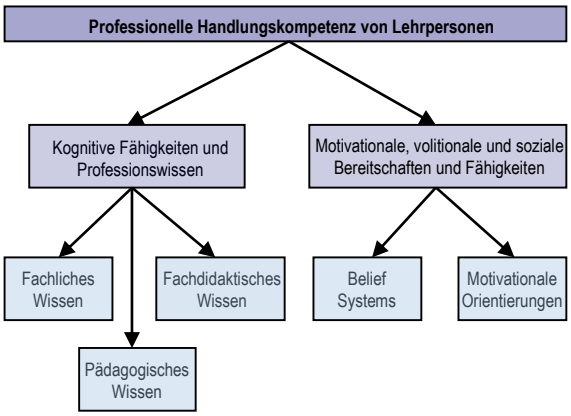



**Abb.1:** Kompetenzstrukturmodell in Anlehnung an Baumert & Kunter, 2006; Blömeke, Felbrich & Müller, 2008 (Riese, 2009, S.26)

Dieses sogenannte Kompetenzstrukturmodell aus Abb.1 verdeutlicht, dass das Professionswissen neben den *motivationalen, volitionalen und sozialen Bereitschaften und Fähigkeiten* den zentralen Bereich der professionellen Handlungskompetenz einer Lehrkraft ausmacht. Das Professionswissen lässt sich wiederum durch drei Ausprägungen genauer beschreiben. Diese sogenannten Wissensbereiche sind in Anlehnung an Shulmans Wissenstopologie (1986) gewählt und lauten *fachliches Wissen, fachdidaktisches Wissen* und *pädagogisches Wissen*. Ihre hohe Bedeutung für das Professionswissen einer Lehrperson findet sich auch in der universitären Lehrerbildung sowie in den landesweiten Standards für die Lehrerbildung in Deutschland wider, die von der Kultusministerkonferenz festgelegt wurden (vgl. KMK, 2004). Dort sind sie als zentrale Bereiche für die Ausbildung von Lehrkräften aufgeführt und verankert. Da in diesem Beitrag Veränderungen im fachdidaktischen Wissen angehender Physiklehrkräfte fokussiert betrachtet werden, wird auf die übrigen Bereiche im Kompetenzstrukturmodell nicht genauer eingegangen. Vielmehr soll das fachdidaktische Wissen in Physik sowie die Messung physikdidaktischen Wissens im Weiteren erläutert werden.

Auch wenn es aktuell kein für alle Lehrerbildungsstandorte einheitliches fachdidaktisches Curriculum gibt, so lassen sich doch zentrale Facetten physikdidaktischen Wissens aus der Literatur ableiten. Zu ihnen gehören beispielsweise Wissen über *Schülervorstellungen*, *Modelle/Konzepte* oder *Experimente* (vgl. Tepner et al., 2012). Im Rahmen dieses Projekts wird das zweidimensionale Modell fachdidaktischen Wissens von Gramzow, Riese & Reinhold (2013) als Ausgangspunkt genutzt. In diesem werden zwei Dimensionen des fachdidaktischen Wissens beschrieben. Die erste Dimension umfasst acht explizit benannte Facetten fachdidaktischen Wissens in Physik, sie lauten *Instruktionsstrategien, Schülervorstellungen, Experimente und Vermittlung eines angemessenen Wissenschaftsverständnisses, Kontext und Interesse, Curriculum, Bildungsstandards und Ziele, (Digitale) Medien, Fachdidaktische Konzepte* und *Aufgaben*. Die zweite Dimension unterscheidet fachliche Inhaltsbereiche.

Ausgehend von einem solchen Modell können schriftliche Kompetenztests zur Messung dieses Konstrukts konzipiert werden. In der Literatur finden sich hierzu zwei Arten von Testinstrumenten. Bei der ersten Variante handelt es sich um schriftliche paper-pencil-Tests, welche Items zu ausgewählten Facetten fachdidaktischen Wissens in variierenden physikalischen Inhaltsbereichen enthalten (z.B. KiL (vgl. Kröger, Neumann & Petersen, 2013)). Die zweite Variante stellen schriftliche Testinstrumente dar, welche Items zu ausgewählten Facetten fachdidaktischen Wissens im jeweils gleichen physikalischen Inhaltsbereich (vgl. z.B. ProfiLe-P/P+) enthalten. Eine solche Art von Kompetenztest wurde in dem Projekt PofiLe-P (vgl. Riese et. al, 2015) im physikalischen Inhaltsbereich Mechanik entwickelt und erprobt. Mit diesem Testinstrument war es erstmalig möglich, empirisch fundierte Teilskalen (s.g. Facetten) zu messen (vgl. Riese, Gramzow & Reinhold, 2017).

## 3. Forschungsinteressen und Ziele des Projekts

Die in diesem Beitrag präsentierte Studie hat zum Ziel, einen Ausschnitt der universitären Physiklehrerbildung im Hinblick auf Veränderungen im physikdidaktischen Wissen der Studierenden genauer zu untersuchen. Bei dem Untersuchungszeitraum handelt es sich um ein Vorbereitungssemester zum Praxissemester im Masterstudiengang des Physiklehramts an der RWTH Aachen University. Im Verlauf dieses Vorbereitungssemesters absolvieren die Physiklehramtsstudierenden zwei physikdidaktische Seminare. In einem der beiden werden theoretische Impulse zu fachdidaktischen Themen, insbesondere zur Planung von Physikunterricht gegeben. Das andere Seminar wurde im Rahmen der Qualitätsoffensive Lehrerbildung als Lehr-Lern-Seminar konzipiert. In diesem erhalten die Studierenden die Möglichkeit, eigenen Physikunterricht zu planen und am Lernort Schule zu erproben. Im Mittelpunkt steht dabei ein von den Studierenden weiterentwickeltes Stationenlernen zu Schülervorstellungen im Bereich Elektrizitätslehre. In beiden physikdidaktischen Veranstaltungen werden ausschließlich fachdidaktische Themen in den physikalischen Inhaltsbereichen Elektrizitätslehre und Optik thematisiert.

Folgende zwei Forschungsfragen sollen zunächst im Rahmen einer Evaluation des Lehrangebots untersucht werden:

**FF1:** Wie verändert sich physikdidaktisches Wissen von Lehramtsstudierenden im Verlauf der beiden physikdidaktischen Seminare des Vorbereitungssemesters?

**FF2:** Inwieweit verändert sich physikdidaktisches Wissen inhaltsübergreifend hinsichtlich verschiedener fachwissenschaftlicher Inhaltsbereiche?

In einem weiteren Schritt sollen Gründe für Veränderungen im physikdidaktischen Wissen der Studierenden herausgearbeitet werden, wobei die folgenden beiden Forschungsfragen untersucht werden:

**FF3:** Welche fachspezifischen Lerngelegenheiten nehmen Einfluss auf Veränderungen im Testverhalten?

**FF4:** Welche personen- und/oder testspezifischen Aspekte beeinflussen Veränderungen des Testverhaltens im Detail?

## 4. Methodisches Vorgehen

### 4.1. Fachdidaktischer Kompetenztest

Zur Beantwortung der oben genannten Forschungsfragen wurde zunächst der fachdidaktische Kompetenztest aus dem Projekt ProfiLe-P/P+ als Basis verwendet. Dieser schriftliche Kompetenztest umfasst insgesamt 24 Aufgaben (43 Testitems), welche überwiegend offenes Antwortformat aufweisen. Die Items wurden mit Hilfe des Itementwicklungsmodells von Gramzow (2015) konzipiert. Dieses ist in Abb.2 dargestellt.

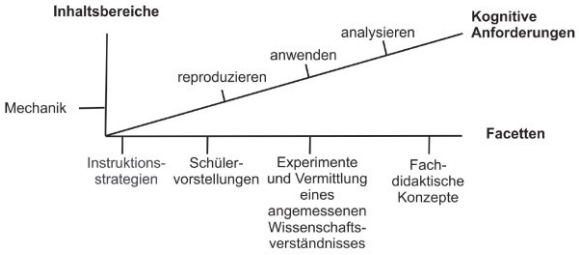



**Abb.2:** Modell des fachdidaktischen Wissens für die Itementwicklung (Gramzow, 2015, S.104)

Bei dem Itementwicklungsmodell handelt es sich um eine modifizierte Form des Modells zum fachdidaktischen Wissen von Gramzow, Riese & Reinhold (2013). Eine Reduktion auf vier der acht fachdidaktischen Facetten wurde vorgenommen und der physikalische Inhaltsbereich Mechanik festgelegt. Darüber hinaus wurde eine dritte Dimension ergänzt. Diese stellt die drei kognitiven Anforderungsstufen *reproduzieren, anwenden* und *analysieren* dar. Das im ProfiLe-P Projekt entwickelte Testinstrument konnte in Pilotierungsstudien an zwölf Universitäten eingesetzt werden (N=216). Des Weiteren wurden ausführliche Validierungsprozesse durchgeführt (vgl. Gramzow, 2015; Riese, Gramzow & Reinhold, 2017).

Um zu untersuchen, inwieweit sich physikdidaktisches Wissen inhaltsübergreifend hinsichtlich verschiedener fachwissenschaftlicher Inhaltsbereiche verändert, wurden ausgehend von den erprobten Items des ProfiLe-P/P+ Tests strukturgleiche Items in den Inhaltsbereichen Elektrizitätslehre und Optik entwickelt und pilotiert. Die Strukturgleichheit zeigt sich darin, dass sich die neu entwickelten Testitems bzgl. der adressierten Facetten und der adressierten kognitiven Anforderungen exakt wie ihr Pendant im Itemstrukturmodell von Gramzow (2015) verorten lassen. Der für diese Studie weiterentwickelte bzw. erweiterte Kompetenztest zum fachdidaktischen Wissen umfasst nun insgesamt 41 Aufgaben und hat eine Bearbeitungsdauer von ca. 105 Minuten. Der Test wurde im Wintersemester 2017/18 sowie im Wintersemester 2018/19 bei insgesamt N= 24 Physiklehramtsstudierenden im Prä-Post-Studiendesign eingesetzt (48 ausgefüllte Testhefte). Diese Studierenden haben im Zeitraum der Prä-Post-Befragung ein Vorbereitungssemester zum Praxissemester absolviert und dabei zwei physikdidaktische Seminare besucht (vgl. Abschnitt 3).

### 4.2. Qualitative Interviews

Neben dem Einsatz des in 4.1 dargestellten fachdidaktischen Kompetenztestes wurden mit den N=24 Physiklehramtsstudierenden qualitative Einzelinterviews geführt. Die Interviews fanden im Zeitraum von 1-3 Wochen nach der Bearbeitung des Post-Tests statt und hatten jeweils eine Dauer von ca. 60 – 90 Minuten. Ziel war es, mit Hilfe dieser Interviews Ursachen und Gründe für Veränderungen im Testverhalten der Studierenden zu identifizieren. Als Grundlage diente ein Leitfaden bestehend aus Informationen zum Interviewablauf und vorformulierten Fragestellungen. Darüber hinaus wurde für jedes Einzelinterview probandenweise eine Auswahl der selbst gegebenen Antworten zu Items des fachdidaktischen Kompetenztestes im Prä-Post-Vergleich vorbereitet. Bei diesem Vorgehen wurden vorformulierte Auswahlregeln beachtet und angewendet, welche beispielsweise maximale Veränderungen im Testscore pro Item oder die Einbeziehung aller physikalischen Inhaltsbereiche berücksichtigen. Die entsprechende Auswahl an zusammengestellten Antworten wurde jedem Studierenden ohne Kenntnis der jeweiligen Bepunktung im Interview vorgelegt. Diese durfte frei vom Studierenden kommentiert werden. Alle 24 geführten Interviews wurden audioaufgezeichnet und anschließend für die Auswertung mittels qualitativer Inhaltsanalyse transkribiert.

## 5. Ergebnisse und Ausblick

Erste Ergebnisse im Hinblick auf die vier Forschungsfragen aus Abschnitt 3 werden nachfolgend dargestellt. Für die Beantwortung der ersten beiden Forschungsfragen wurden zunächst die insgesamt 48 ausgefüllten Testhefte (24 Prä- und 24 Post-Testhefte) der im Wintersemester 2017/18 und 2018/19 befragten Physiklehramtsstudierenden kodiert. Die Ergebnisse des Prä-Post-Vergleichs sind in Tab.1 dargestellt.

| t-Test, Wilcoxon-Test, N= 24, prä-post | | | |
|---|---|---|---|
| | Differenz | sig (2-seitig) | Cohen's d |
| Gesamt | 2.16 | 0.037 | 0.47 |
| Mechanik | -0.23 | 0.717 | -0.08 |
| Optik | 0.76 | 0.304 | 0.28 |
| E-Lehre | 1.43 | 0.054 | 0.43 |

**Tab.1:** Ergebnisse des zweiseitigen t-Tests bzw. Wilcoxon-Test (Optik) für den Gesamtscore und für die einzelnen Testscores in den drei Inhaltsbereichen

Aus Tab.1 ist ersichtlich, dass ein statistisch signifikanter Zuwachs im Gesamtscore mit mittlerer Effektstärke vorliegt. Aus diesem Ergebnis lässt sich schlussfolgern, dass auf globaler Ebene vermutlich eine positive Entwicklung des physikdidaktischen Wissens der Studierenden im Verlauf der beiden physikdidaktischen Seminare des Vorbereitungssemesters stattgefunden hat. Bei genauerer Betrachtung der Teilscores auf Ebene der physikalischen Inhaltsbereiche Mechanik, Optik und Elektrizitätslehre zeigt sich, dass die Studierenden einen Zuwachs im fachdidaktischen Wissen im Bereich Elektrizitätslehre mit mittlerer Effektstärke erfahren, aber gleichzeitig ihr fachdidaktisches Wissen im Inhaltsbereich Mechanik im Mittel leicht sinkt. Dabei ist der Zuwachs im Bereich Elektrizitätslehre mit p= 0.054 annähernd signifikant und weist eine mittlere Effektstärke auf. Die leichte Verschlechterung im Testscore Mechanik ist nicht signifikant. Dieses Ergebnis könnte möglicherweise darauf zurückzuführen sein, dass in beiden physikdidaktischen Veranstaltungen des Vorbereitungssemesters nur der Inhaltsbereich Elektrizitätslehre ausführlich thematisiert wurde, der Bereich Mechanik jedoch nicht. Darüber hinaus lassen die Ergebnisse aus Tab.1 die Schlussfolgerung zu, dass eine Messung fachdidaktischen Wissens offenbar nicht unabhängig von der Wahl des physikalischen Inhaltsbereichs erfolgen kann.

Dieses Ergebnis spiegelt sich ebenfalls bei der Betrachtung der Teilscores pro Proband wieder. Hierzu sind exemplarisch die im Test erzielten Punkte dreier Probanden aufgeschlüsselt nach Gesamtscore und Teilscore (Mechanik und Elektrizitätslehre) in Tab.2 aufgeführt.

| Proband | Score (ges.) Prä | Score (ges.) Post | Mechanik Prä | Mechanik Post | E-Lehre Prä | E-Lehre Post |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 30,0 | 30,5 | 8,0 | 11,0 | 13,5 | 10,5 |
| 2 | 20,5 | 22,0 | 5,0 | 6,0 | 5,0 | 10,5 |
| 3 | 18,0 | 26,0 | 12,0 | 6,0 | 0,0 | 9,0 |

**Tab.2:** Ausgewählte Testscores der Probanden (max. Pkt. pro Inhaltsbereich: 21,5, Gesamtscore: 64,5 Pkt.)

Die Tab.2 zeigt, dass sich der Gesamtscore im Prä-Post-Vergleich meist erhöht. Dennoch weisen die erzielten Punkte im Inhaltsbereich Mechanik und im Inhaltsbereich Elektrizitätslehre im direkten Vergleich zueinander gegenläufige Veränderung auf (Proband 1 & 3). Dies bestätigt die Vermutung, dass die Wahl des physikalischen Inhaltsbereichs in einem fachdidaktischen Test Einfluss nimmt.

Um eine Beantwortung der Forschungsfragen 3 und 4 vornehmen zu können, werden zunächst die insgesamt 24 Interviews verschriftlicht. Die Auswertung der Transkripte erfolgt anschließend mit Hilfe qualitativer Inhaltsanalyse. Hierzu wurde in einem ersten Schritt ausgehend von den Forschungsfragen ein Kategoriensystem entwickelt, welches deduktive Ober- und Unterkategorien enthält. Nach Sichtung des Materials und einem ersten Materialdurchgang wurden die bereits bestehenden Kategorien induktiv erweitert. Das zum jetzigen Zeitpunkt vorliegende Kategoriensystem umfasst Kategorien in den Bereichen:

- Gründe für Veränderung im Antwortverhalten, beispielsweise Wiederholungs-/Lerneffekte der Testung
- Begründungen zu den einzelnen Testantworten - Wie ist der Proband auf seine Antwort gekommen? Beispielsweise Lerngelegenheiten im Alltag oder am Lernort Schule / Universität
- Einfluss des physikalischen Inhaltsbereichs bei der Testbearbeitung unterteilt in die im Test enthaltenen Bereiche Mechanik, Optik und Elektrizitätslehre
- Selbsteinschätzungen des Probanden zum Test und zu seiner gegebenen Testantwort

Mit Hilfe der Software MAXQDA und dem entwickelten Kategoriensystem werden in einem nächsten Schritt etwa 10% der Interviewtranskripte durch zwei sogenannte Coder kodiert und die Interraterübereinstimmung sowie die Intraraterübereinstimmung von Coder 1 bestimmt. Abschließend erfolgt die finale Kodierung der Transkripte und Beantwortung der Forschungsfragen 3 und 4. Erste Einblicke in die Kodierungen geben Hinweise darauf, dass die von den Probanden absolvierten physikdidaktischen Seminare Einfluss auf das Testverhalten bei der Post-Befragung nehmen, aber auch personenspezifische Effekte und Testspezifische Aspekte das Antwortverhalten beeinflussen.

## 6. Literatur


Abell, S. K. (2007): Research on Science Teacher Knowledge. In: Abell, S. K. & Lederman, N. G. (Eds.), Handbook of research on science education (1105-1149). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.

Baumert, J. & Kunter, M. (2006): Stichwort: Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. In: Zeitschrift für Erziehungswissenschaft, 9 (4), 469–520.

Blömeke, S., Felbrich, A. & Müller, Ch. (2008): Theoretischer Rahmen und Untersuchungsdesign. In: Blömeke, S., Kaiser, G. & Lehmann, R. (Hrsg.), Professionelle Kompetenz angehender Lehrerinnen und Lehrer. Wissen, Überzeugungen und Lerngelegenheiten deutscher Mathematik-Studierender und –referendare – Erste Ergebnisse zur Wirksamkeit der Lehrerausbildung. Münster: Waxmann, 15–48.

Gramzow, Y., Riese, J. & Reinhold, P. (2013): Modellierung fachdidaktischen Wissens angehender Physiklehrkräfte. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, Jg. 19, 2013.

Gramzow, Y. (2015): Fachdidaktisches Wissen von Lehramtsstudierenden im Fach Physik Modellierung und Testkonstruktion, Logos Verlag.

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.
Kultusministerkonferenz (KMK) (2004): Standards für die Lehrerbildung: Bildungswissenschaften: (Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 16.12.2004).
Riese, J. (2009): Professionelles Wissen und professionelle Handlungskompetenz von (angehenden) Physiklehrkräften. In: Niedderer, Fischler, Sumfleth (Hrsg.) Studien zum Physik- und Chemielernen, Logos Verlag, Band 97.
Riese, J., Gramzow, Y. & Reinhold, P. (2017): Das fachdidaktische Wissen von Anfängern und Fortgeschrittenen im Lehramtsstudiengang Physik. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 23, 99-112. DOI 10.1007/s40573-017-0059-2.
Riese, J., Kulgemeyer, C., Zander, S., Borowski, A., Fischer, H., Gramzow, Y., Reinhold, P., Schecker, H. & Tomczyszyn, E. (2015): Modellierung und Messung des Professionswissens in der Lehramtsausbildung Physik. In: Blömeke, S. & Zlatkin - Troitschanskaia, O. (Hrsg.): Kompetenzen von Studierenden: 61. Beiheft der Zeitschrift für Pädagogik, Weinheim: Beltz, 55 - 79.
Schlödl, A. & Göhring, A. (2015): Fachspezifische Lehrerkompetenzen (FALKO) – Teilprojekt Physik. PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung in Wuppertal.
Shulman, L. S. (1986): Those who understand: Knowledge growth in teaching. In: Educational Researcher, 15, (2), 4-14.
Tepner, O., Borowski, A., Dollny, S., Fischer, H. E., Jüttner, M., Kirschner, S., Leutner, D., Neuhaus, B.J., Sandmann, A., Sumfleth, E., Thillmannn, H., Wirth, J. (2012): Modell zur Entwicklung von Testitems zur Erfassung des Professionswissens von Lehrkräften in den Naturwissenschaften. ZfDN (Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften), 18, 7–28.
Terhart, E. (2012): Wie wirkt Lehrerbildung? Forschungsprobleme und Gestaltungsfragen. In: Zeitschrift für Bildungsforschung, 2 (1), 3–21.

**Anhang**

Das Projekt „Gemeinsam verschieden sein in einer digitalen Welt – Lehrerbildung an der RWTH Aachen (LeBiAC)“ wird im Rahmen der gemeinsamen „Qualitätsoffensive Lehrerbildung“ von Bund und Ländern aus Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gefördert (FKZ: 01JA1813).

# Physikkenntnisse von Studienanfängern des Maschinenbaus – eine Fallstudie an der Hochschule Esslingen

***Günther Kurz, [+]Hanno Käß**

* HAW Esslingen; [+]HAW Esslingen
gunther.kurz@hs-esslingen.de

**Kurzfassung**

In einen Verbundprojekt der Hochschulen Esslingen, Ulm, Mannheim und Ravensburg-Weingarten wurden in Studiengängen des Maschinenbaus die physikalischen Kenntnisse und Fertigkeiten durch einen Test im Multiple-Choice Format erhoben. Zum einen gibt dieser für die Lehrenden einen Überblick über den Kenntnisstand der Anfängerkohorte und zum anderen zeigt er den Studierenden individuelle Kenntnislücken auf. Durch die weitere Öffnung der Zugangswege zur Hochschule steigt auch der Anteil an Zulassungsberechtigten mit nur geringem Physik-Hintergrund aus dem Sekundarbereich. Insbesondere trifft dies zu auf die vielfältigen Zulassungen »Fachhochschulreife«. Erwartungsgemäß ergeben sich für diese Studienanfänger deutlich schlechtere Testleistungen. Die Belegung der Antwortalternativen liefert Hinweise auf Fehlvorstellungen.

## 1. Problemumfeld

Politik und Industrie beklagen den Mangel an Ingenieurnachwuchs. Gleichzeitig vermelden die Hochschulen hohe Abbruchquoten in MINT-Studiengängen [1]. Dieses Dilemma prägt die hochschulpolitische Diskussion. Ein Lösungsansatz des Problems wird in der Ausschreibung von Fördermitteln für Projekte zur Erhöhung der Studienerfolgsquote gesehen (z.B. Hochschulpakt bis 2020). Die Frage nach möglichen Ursachen für diese hohen Abbruchquoten bleibt dabei jedoch offen.

Die Öffnung weiterer Zugangswege zu einem Studium bringt Studierende an die Hochschulen, die in Mathematik und Physik geringes Vorwissen mitbringen. Die Vermutung liegt nahe, dass sich aufgrund dieser Defizite Schwierigkeiten mit den Anforderungen eines technischen Hochschulstudiums ergeben können.

Ingenkamp [2] hat bereits 1986 den Finger in die Wunde gelegt: »Wir kommen nicht zu grundsätzlichen curricularen Übereinkünften und/oder Abgrenzungen zwischen abgebenden und aufnehmenden Institutionen und geraten dadurch in Dauerkonflikte«. Oder schärfer ausgedrückt: »Die Schnittstelle/der Übergang Schule/Hochschule ist zwar juristisch sauber definiert, aber nicht inhaltlich«.

Hauptgrund für eine Exmatrikulation ohne Abschluss ist das schlechte Abschneiden (als Synonym für »nicht bestandene Klausuren«) in den Grundlagenfächern, denn der Studienerfolg wird zu einem großen Anteil durch die Kenntnisse und Fähigkeiten in Mathematik und den Naturwissenschaften bestimmt [3].Das Problem unzureichender Vorkenntnisse stellt sich insbesondere den Hochschulen für Angewandte Wissenschaften (HAW, Fachhochschulen) mit der Zulassungsberechtigung »Fachhochschulreife«. Dieser Weg zu einem Studium ist vielfältig und abhängig von Ländergesetzen und –regulierungen. In Baden-Württemberg verläuft dieser Zugang nach einem mittleren Bildungsabschluss (zehn Jahre Schulbesuch) über das einjährige »Berufskolleg« und erfordert als weitere Zugangsvoraussetzung eine abgeschlossene einschlägige Berufsausbildung.

## 2. Anliegen

Viele Hochschulen erheben die Kenntnisse und Fertigkeiten der Studienanfänger(innen) im Grundlagenfach Mathematik durch einen vorgeschalteten zumeist hochschuleigenen »Mathematik-Test«.

Als Beispiel sei der in den 1970-er Jahren entwickelte Esslinger Mathematik-Test genannt, der seit dieser Zeit eingesetzt wird. Testauswertungen, die nach Studienzulassungen differenzieren, zeigen dabei durchgehend gravierende Unterschiede zwischen der Zulassungs-Berechtigung »Allgemeine Hochschulreife-AHR« und den vielfältigen Berechtigungen der »Fachhochschulreife-FHR«. [4], [5].

Die Kenntnisse und Fertigkeiten in Physik stehen für MINT-Fächer nicht in gleichem Maß im Fokus. Einen großangelegten Vergleich von Studierenden der Physik hat Buschhüter [6] vorgelegt. Verglichen wird das Abschneiden einer Anfängerkohorte aus dem Jahr 2013 mit den »Ergebnissen des bundesweiten Physiktests« aus dem Jahre 1978 [7]. Die Testleistungen – von Physikstudierenden an Universitäten – haben demzufolge abgenommen.

Es ist angezeigt, die Kenntnisse und Fertigkeiten der Studienanfänger auch für das Grundlagenfach Physik in Ingenieur-Studiengängen exemplarisch zu untersuchen und bei der Auswertung für die HAWs

durchgängig nach den Studienzugangsberechtigungen »Allgemeine Hochschulreife« und »Fachhochschulreife« zu differenzieren.

Pilotmäßig wurden im WS 2016/17 im Studiengang »Maschinenbau« der HS Esslingen die Kenntnisse der Studierenden in einem zweiteiligen Test erhoben: »Physik« [17 Testitems] »Formalisieren von Zusammenhängen« [zehn Testitems]. Als Zusatzinformation wurde die »Note der Hochschulzugangsberechtigung« erhoben.

Zur Erweiterung der Datenbasis wurden die Tests im Jahr 2017 [SS 17 und WS 17/18] auch als Verbundprojekt an den Hochschulen Esslingen, Mannheim, Ulm und Ravensburg-Weingarten durchgeführt. Der Testeinsatz im Jahr 2018 [SS 18 und WS 18/19] beschränkte sich dagegen auf Esslingen und Ulm

Die vorgelegte Studie stellt Ergebnisse für den Physikteil an diesen Testeinsätzen vor.

**Physiktest**

Aus einem 2010/11 erstellten und validierten Esslinger Physik-Test mit 26 Testitems wurden 17 Testaufgaben neu zusammengestellt. Beraten bei der Auswahl haben Ulrich Harten (HS-Mannheim) und Rita Wurth (Mettnau-Schule, Radolfzell). Der Test umfasst folgende Teilbereiche: Mechanik (8 Aufgaben), Elektrizität & Magnetismus (6 Aufgaben), Hydrostatik (1 Aufgabe), Wärmelehre (2 Aufgaben).

Das Testformat ist Multiple-Choice als Papier- und Bleistift Version mit jeweils fünf Antwortalternativen, von denen nur eine die richtige oder beste Lösung ist. Um Raten zu vermeiden wurde »Weiß nicht« als mögliche Antwort mit aufgenommen. Dazu gibt es einen Hinweis bei der Einführung: »Es geht um die Diagnose Ihres persönlichen Kenntnisstands, nicht um Bestehen/nicht bestehen«.

Die Bearbeitungszeit des (gemeinsamen) Testhefts mit »Physik« (17 Items) und »Formalisieren« (10 Items) beträgt 40 Minuten. Die maschinelle Auswertung erfolgte für alle beteiligten Hochschulen zentral in Esslingen über das System »EvaExam«. Eine automatisierte, individuelle Rückmeldung an die Studierenden erfolgt über deren eMail-Adressen: Mitgeteilt werden der individuelle Testscore und der Mittelwert der Testgruppe, dazu kommen Hinweise auf Hilfsangebote,

Eine Studienanfängerkohorte besteht aus sämtlichen im 1. Fachsemester eingeschrieben Studierenden. Dabei wird nicht nach »Erstimmatrikulation« (erstmalige Immatrikulation an einer deutschen Hochschule) oder »Neuimmatrikulation« (nach Hochschul- und/oder Studiengangwechsel) unterschieden.

Aufgeschlüsselt wurde durchgängig nach den Hochschulzugangsberechtigungen »Allgemeine Hochschulreife – AHR« und »Fachhochschulreife – FHR« entsprechend der vorgegebenen Signaturen des Statistischen Bundesamts; diese wurden dem Datensatz des Zulassungsamts entnommen.

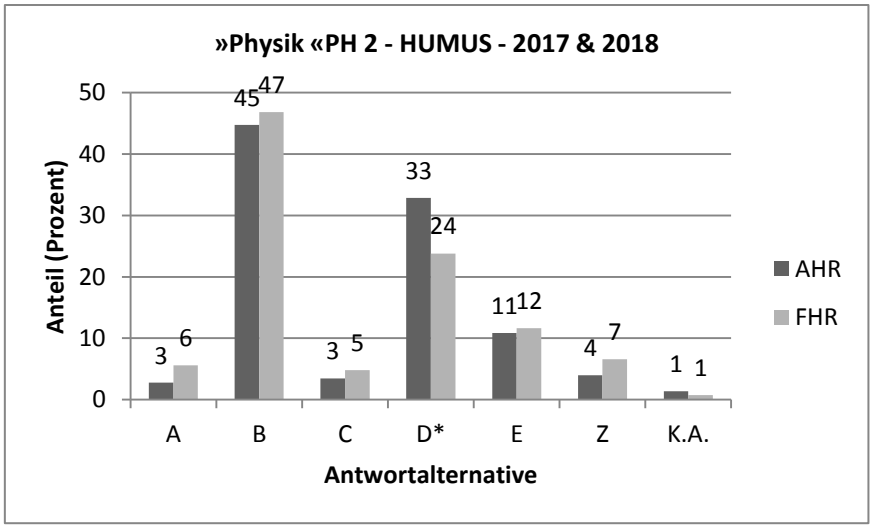
**3. Beispielaufgaben**

Drei Testaufgaben werden exemplarisch vorgestellt. Dafür wurden die Testergebnisse der beteiligten Hochschulen für die vier untersuchten Anfängerkohorten zusammengefasst. In der Darstellung der Antwortalternativen sind die Antwortalternativen mit A, B, C, D und E angegeben, die richtige Antwort ist mit einem Sternchen * markiert. Dazu kommt »Z = weiß nicht« (um blindes Ankreuzen auszuschließen); in der Einführung wurde an Ehrlichkeit (kein Abschreiben bei enger Sitzanordnung und bei Nichtbehandlung der Stoffinhalte oder echtem Nichtwissen) appelliert: »Es geht nicht um Bestehen, sondern um eine ehrliche Bestandsaufnahme«. Ausgelassene Antworten (blanks) werden als »keine Antwort – k.A.« gezählt.

In der Verteilung der Antwortalternativen wurden zum direkten Vergleich die Anteile von AHR und FHR in Prozentangaben umgerechnet.

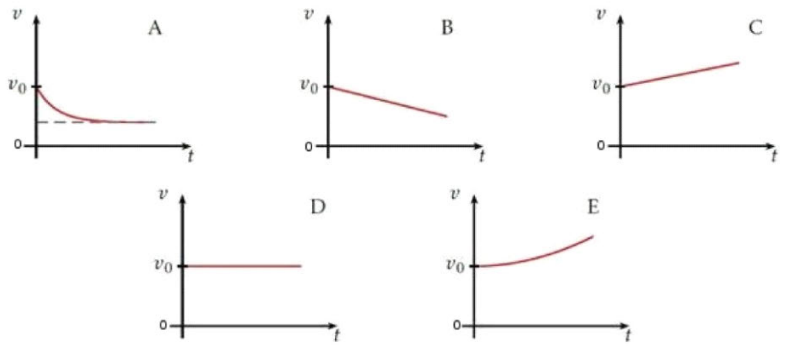
**Testaufgabe 2**

| | |
|---|---|
| Die gesetzliche Einheit im Internationalen Einheitensystem für den Betrag einer Kraft ist 1 Newton = 1 N. Welche Aussage über diese Krafteinheit ist richtig? Die Kraft $F = 1\,\mathrm{N}$ erteilt ... | **(a)** der Masse $m = 9{,}81\,\mathrm{kg}$ die Beschleunigung $a = 9{,}81\,\mathrm{m/s^2}$<br>**(b)** der Masse $m = 1\,\mathrm{kg}$ die Beschleunigung $a = 9{,}81\,\mathrm{m/s^2}$<br>**(c)** der Masse $m = 9{,}81\,\mathrm{kg}$ die Beschleunigung $a = 1\,\mathrm{m/s^2}$<br>**(d)** der Masse $m = 1\,\mathrm{kg}$ die Beschleunigung $a = 1\,\mathrm{m/s^2}$<br>**(e)** Keine der obigen Aussagen a) bis d)<br>**(z)** Weiß nicht |



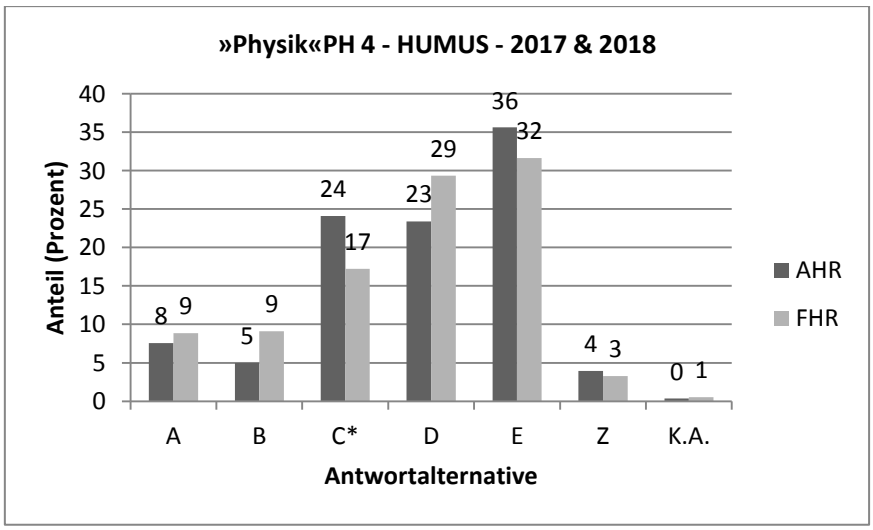

**Testaufgabe 4**

Auf dem Mond wird ein Gegenstand mit einer Anfangsgeschwindigkeit $v_0$ senkrecht nach unten geworfen.



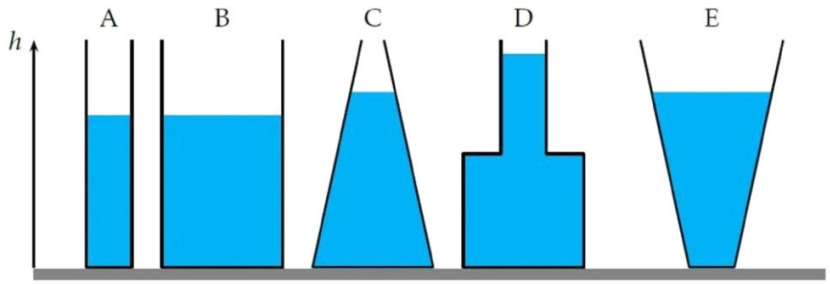

Welches Diagramm beschreibt die Abhängigkeit der Geschwindigkeit $v$ des Gegenstands von der Zeit $t$ qualitativ richtig?

**(a)** Diagramm A
**(b)** Diagramm B
**(c)** Diagramm C
**(d)** Diagramm D
**(e)** Diagramm E
**(z)** Weiß nicht



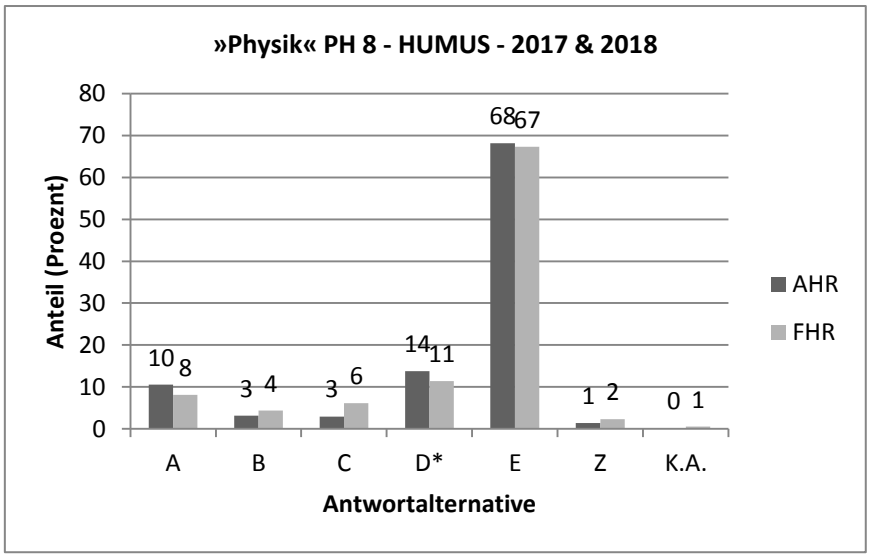
**Testaufgabe 8**

Die fünf skizzierten Gefäße unterscheiden sich durch ihre Geometrie. In die Behälter wird jeweils die gleiche Flüssigkeit eingefüllt.




In welchem Gefäß ist der Druck der Flüssigkeit auf den Behälterboden am größten?

(a) Gefäß A
(b) Gefäß B
(c) Gefäß C
(d) Gefäß D
(e) Gefäß E
(z) Weiß nicht




**4. Testergebnisse**

Die Teilnehmerzahlen und Ergebnisse sind für die beteiligten Hochschulen, differenziert nach den Hochschulzugangsberechtigungen AHR und FHR in Tabelle 1 zusammengestellt. Die zusammengefassten Summen für die vier untersuchten Anfängerkohorten stehen in Tabelle 2.

| | **Hochschulen ES, MA, RV, UL** | | | | | | **Hochschulen ES, UL** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **SS 2017** | | | **WS 2017/18** | | | **SS 2018** | | | **WS 2017/18** | | |
| | N | M | SD | N | M | SD | N | M | SD | N | M | SD |
| AHR-Insgesamt | 159 | 6,53 | 2,75 | 202 | 6,66 | 3,04 | 100 | 7,37 | 2,89 | 120 | 5,99 | 2,64 |
| FHR-Insgesamt | 81 | 5,51 | 3,28 | 160 | 5,39 | 2,67 | 54 | 5,80 | 3,32 | 100 | 5,37 | 2,96 |
| Summe | 240 | 6,18 | 2,98 | 362 | 6,10 | 2,95 | 154 | 6,82 | 3,14 | 220 | 5,71 | 2,81 |

**Tabelle 1:** Zusammengefasste Testergebnisse der beteiligten Hochschulen, aufgeschlüsselt nach Hochschulzugangsberechtigungen. Probandenzahlen N, Mittelwerte M und Standardabweichungen SD.

| HUMUS SS17-WS17/18-SS18-WS18/19 | Physik | | |
|---|---|---|---|
| | N | M | SD |
| Allgemeine Hochschulreife | | | |
| Gymnasium [3] | 408 | 6,78 | 2,82 |
| Fachgymnasium [18] | 120 | 6,65 | 2,96 |
| Andere Berechtigungen | 53 | 5,26 | 2,96 |
| AHR-Insgesamt | 581 | 6,61 | 2,89 |
| Fachhochschulreife | | | |
| Berufskolleg [70/75] | 222 | 5,23 | 2,80 |
| Andere Berechtigungen | 173 | 5,77 | 3,15 |
| FHR-Insgesamt | 395 | 5,47 | 2,97 |
| AHR & FHR Insgesamt | 976 | 6,15 | 2,98 |

**Tabelle 2:** Zusammenfassung; Probandenzahlen N, Mittelwerte M und Standardabweichungen SD.

Ein Gesamt-Mittelwert von etwas mehr als einem Drittel der erreichbaren maximalen Punktezahl liegt weit unter den Erwartungen der Hochschullehrer (innen).

Die Mittelwerte der beiden Zulassungsberechtigungen AHR und FHR unterscheiden sich für die ersten drei Kohorten signifikant (t-test (zweiseitig) $p<0.01$) voneinander.

Die Differenz spiegelt sich auch in der Verteilung der Testscores in Diagramm 1 wider. Die unterschiedlichen Populationen von AHR und FHR wurden zum direkten Vergleich auf Anteile in Prozentangaben umgerechnet.

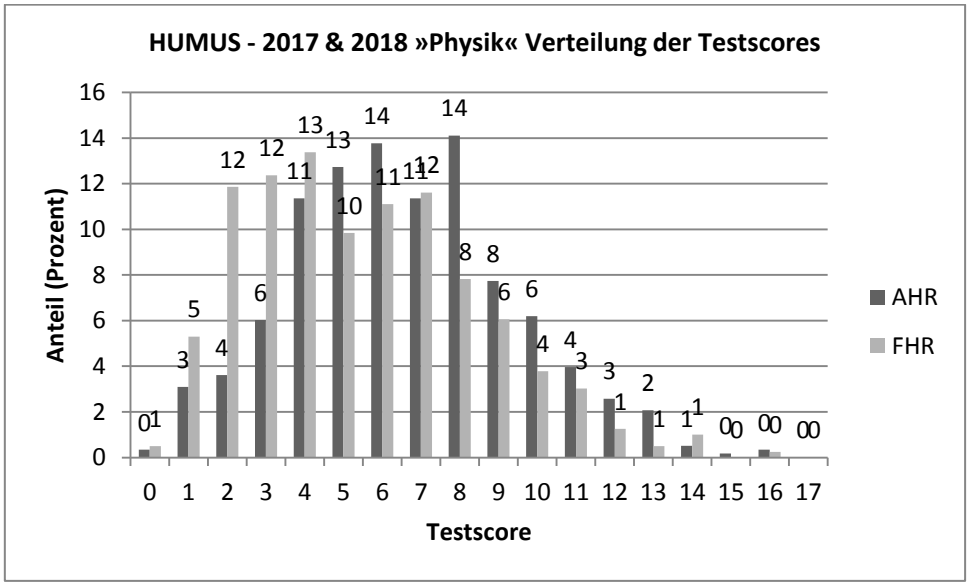



**Diagramm 1:** Verteilung der Testscores des Physiktests – AHR vs. FHR;
N(ges) = 976; N(AHR) = 581; N(FHR) = 395.

Mit einer Teilnehmerquote von 88% sind die Ergebnisse repräsentativ für den Kenntnisstand in Physik für Studierende des MINT-Studiengangs Maschinenbau Die Unterschiede zwischen den beiden Zulassungsberechtigungen AHR und FHR sind für die drei ersten Kohorten signifikant (t-test (zweiseitig) $p<0.01$); für die vierte Kohorten n.s.. Als Zeitreihe ist dies in Diagramm 2 dargestellt.

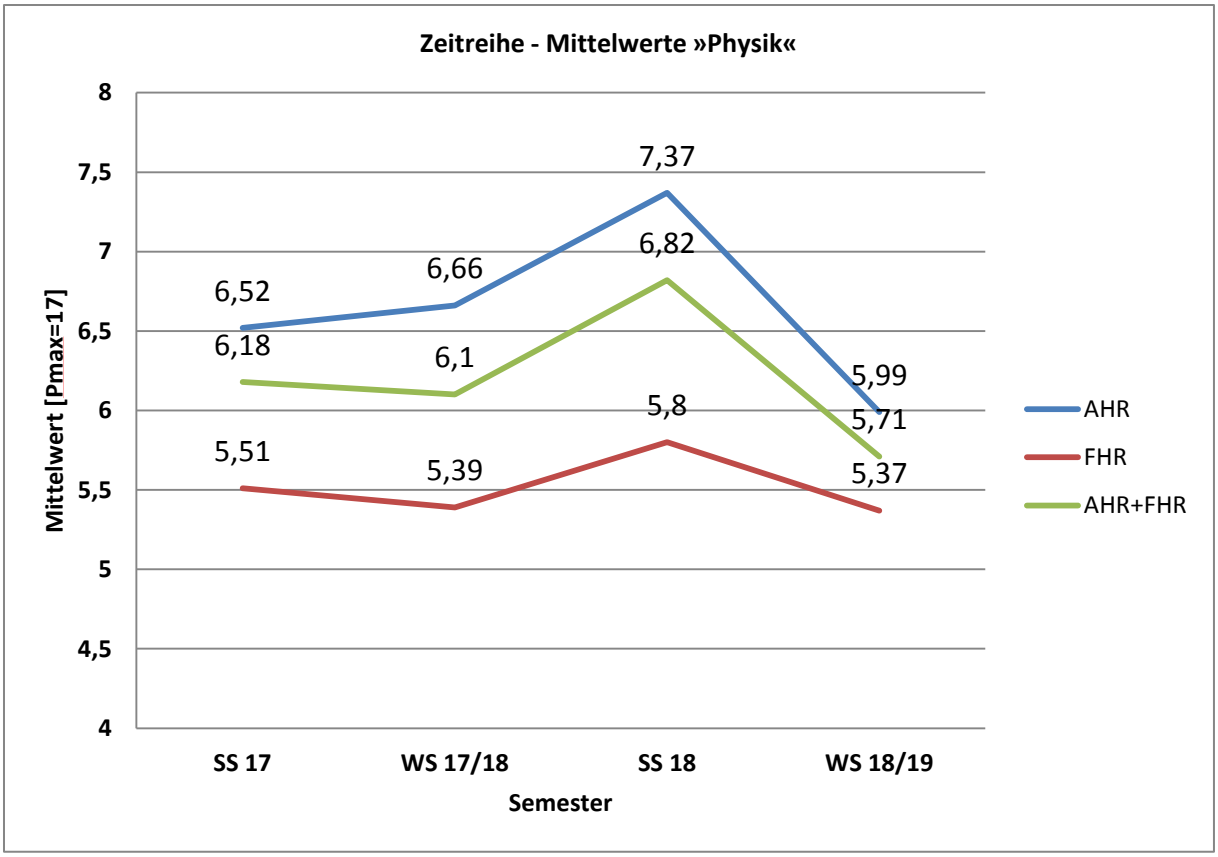



**Diagramm 2:** Zeitreihe der Mittelwerte des Physiktests WS 16/17 bis WS 18/19 – differenziert nach Zulassungsberechtigungen AHR und FHR

## 5. Folgerungen

Die hier vorgestellten Daten über Kenntnisse und Fertigkeiten von Studienanfängern in Physik passen leider zu denen in Mathematik. Das eingangs zitierte Statement von Ingenkamp [2] hat nichts von seiner Prägnanz eingebüßt.

Wie soll es weitergehen? Noch mehr Stützkurse im Hochschulbereich anbieten, was die (Über)Last im 1. Fachsemester weiter vergrößert? Anpassung der Lerninhalte des Sekundarbereichs an die Anforderungen des tertiären Bereichs?

Bahnbrechend in diesem Problemfeld ist die Initiative der COSH-Mathematik Gruppe in Baden-Württemberg. Für WiMINT Fächer wurde in zehnjähriger, geduldiger Arbeit ein Mindestanforderungskatalog Mathematik entwickelt [8], [9].

Inzwischen hat sich nun eine weitere Arbeitsgruppe aus Physiker(inne)n an Hochschulen in Baden-Württemberg gebildet, die derzeit die als unverzichtbar gehaltenen Kompetenzen »Physik« als analogen Mindestanforderungskatalog für ein WiMINT-Studium diskutiert und zusammen gestellt [10]. Die Testergebnisse flossen in die Arbeit dieser Gruppe ein. Der derzeitige Stand des Mindestanforderungskatalogs Physik wurde auf der Frühjahrstagung Aachen als Beitrag DD 18.5 vorgestellt.

Bundes-und Länderministerien fördern Projekte um den Übergang Schule / Hochschule zu erleichtern. Im Brennpunkt steht die Mathematik und praktisch jede Hochschule bietet unmittelbar vor Studienbeginn Auffrischungskurse sowie Hilfsmaßnahmen im 1. Fachsemester an. Diese Aktivitäten kommen allerdings für die neu immatrikulierten Studierenden zu spät, da es nicht realistisch ist, innerhalb weniger Wochen alle fehlenden Grundlagen zu lernen. Andererseits scheiterte bislang jeder Versuch einen Eignungstest als Zulassungsvoraussetzung für eine Immatrikulation einzuführen – ähnlich dem SAT des College Board in den USA – aus politischen Gründen (weil dies das föderative Element den Einfluss des Bundes beschneide).

Wie auch immer man es bewerkstelligt – klar ist, dass das Schließen von Kenntnislücken der Studienanfänger frühzeitiger erfolgen muss. Im Blick darauf erstellte Tests zur Selbstevaluation des Kenntnisstands, Leitfäden und Selbstlern-Materialien müssen ihnen schon weit im Vorfeld vor Studienaufnahme bereitgestellt werden. Auf welche Art man sie dann dazu bewegt, diese Angebote dann auch zu nutzen, ist eine wichtige Frage, deren Antwort noch aussteht. Nur eines ist sicher: dies wird nur mit gemeinsamen Absprachen und koordinierten Anstrengungen beider Seiten der Schnittstelle, also von Schulen und Hochschulen, gelingen können.

## 6. Ausblick

Derzeit werden in Esslingen die Klausurergebnisse des 1. Studienabschnitts (1. und 2. Fachsemester) erhoben um dem prognostischen Wert der Eingangstests auf den Klausurerfolg zu untersuchen.

## 7. Literatur


[1] Heublein, U., Ebert, J., Hutzsch, C., Isleib, S., König, R., Richter, J. & Woisch, A. (2017): Motive und Ursachen des Studienabbruchs an baden-württembergischen Hochschulen und beruflicher Verbleib der Studienabbrecherinnen und Studienabbrecher. Hannover: Deutsches Zentrum für Hochschul- und Wissenschaftsforschung.

[2] Ingenkamp, K. (1986). Zur Diskussion über die Leistungen unserer Berufs- und Studienanfänger. Zeitschrift für Pädagogik, 32(1), 1-29

[3] Isleib, S.. & Heublein, U. (2017). Ursachen des Studienabbruchs und Anforderungen an die Prävention. Empirische Pädagogik, 30. Jahrgang (Heft 3/4), S. 513-530. Verlag Empirische Pädagogik

[4] Hell, B., Linsner, M. & Kurz, G. (2008). Studienverlaufsuntersuchungen an der Hochschule Esslingen Teil 2. 'Prognose des Studienerfolgs'. In (Rentschler, M. & Voss, H.-P.; Hrsg.): Studieneignung und Studierendenauswahl – Untersuchungen und Erfahrungsberichte. Report 42 – Beiträge zur Hochschuldidaktik; S 132-178. Aachen: Shaker Verlag.

[5] Kurz, G., Metzger, G. & Linsner, M. (2014). Studienerfolg und seine Prognose. In: M. Rentschler & G. Metzger (Hrsg.) Perspektiven angewandter Hochschuldidaktik. Studien und Erfahrungsberichte. Report – Beiträge zur Hochschuldidaktik, Band 44 (S. 13 – 79). Aachen: Shaker ]

[6] Buschhüter, D.; Spoden, Chr. & Borowski, A. (2017): Physics knowledge of first semester physics students in Germany. A comparison of 1978 and 2013 cohorts. In: International Journal of Science Education, 39 (9), p. 1109–1132 https://doi.org/10.1080/09500693.2017.1318457 [6.8.2018]

[7] Krause, F., & Reiners-Logothetidou, A. (1978); Der bundesweite Studieneingangstest Physik 1978; Phys. Blätter 35, Heft 11, S. 495 ff.

[8] Dürr, R., Dürrschnabel, K., Loose, F. & Wurth, R. (Hrsg.) (2015). Mathematik zwischen Schule und Hochschule. Den Übergang zu einem WiMINT-Studium gestalten – Ergebnisse einer Fachtagung Esslingen 2015 (S. 33 – 80). Wiesbaden: Springer.

[9] Cosh Mindestanforderungskatalog Mathematik für ein WiMINT Studium: https://lehrerfortbildung-bw.de/u_matnatech/mathematik/bs/bk/cosh/katalog

[10] Mindestanforderungskatalog Physik für ein WiMINT Studium. Der derzeitige Stand ist abrufbar unter http://www.hochschuldidaktik.net/ Aktuelles: Mindestanforderungskatalog Physik Stand 11.02.2019


## Anhang

Die HUMUS-Schlussberichte 2017 und 2018 des Projekts »Kompetenzdiagnose und Selbstevaluation« [Hanno Käß & Günther Kurz] abrufbar auf der Homepage der Geschäftsstelle für Hochschuldidaktik an Fachhochschulen in Baden-Württemberg (GHD) unter www.hochschuldidaktik.net: LehrForum.de/Projektlinie »Hochschuldidaktische Professionalisierung« / Lehrprojekte].

## Danksagung


In der Förderlinie HUMUS wurde das Verbundprojekt unter dem Titel »Kompetenzdiagnose und Selbstevaluation« durch das Ministerium für Wissenschaft und Kunst gefördert.

Wir danken Jan Frederik Heger und Gabriele Nitschko für ihre Mitwirkung bei der Aufbereitung und Auswertung der Testbögen und Gottfried Metzger (UAS Karlsruhe) für seine Unterstützung in der statistischen Auswertung. An der Durchführung der Tests an den externen Hochschulen waren die beteiligten Kolleg(inn)en aus der Anfängervorlesung: in Ulm Thomas Baier, Manuela Boin und Joachim Werner; in Mannheim Wiebke Werft und in Ravensburg Zerrin Harth. Auch Ihnen danke für ihren Einsatz.

# Entwicklung und Anwendung eines Kategoriensystems zur Analyse von Lernaufgaben aus Physik- und INU-Schulbüchern

**Ronja Langendorf*, Johannes Lewing*, Susanne Schneider***

*Georg-August-Universität Göttingen, Didaktik der Physik, Friedrich Hund-Platz 1, 37077 Göttingen
rlangen@gwdg.de, johannes.lewing@uni-goettingen.de, sschnei@gwdg.de

**Kurzfassung**

In der Diskussion über die Vor- und Nachteile des fächergetrennten und integrierten naturwissenschaftlichen Unterrichts (INU) existieren einige „Mythen" (Labudde, 2014) und Vorstellungen über das integrierte Fach. Um die bereits bestehenden Vergleiche der beiden Unterrichtsformen im Hinblick auf die physikalischen Inhalte zu ergänzen, soll in diesem Beitrag eine Analyse von Schulbuchaufgaben beider Unterrichtsformen durchgeführt werden. Der Fokus liegt dabei auf Lernaufgaben, da diese von großer Bedeutung für einen erfolgreichen Lernprozess der Schülerinnen und Schüler sind. Zur Analyse werden literaturbasiert Kriterien herangezogen, die dem exemplarischen Vergleich von Lernaufgaben zur Einführung des Kraft-Konzepts aus je zwei Schulbüchern für den Physik- und den IN-Unterricht dient. Die Ergebnisse zeigen Unterschiede bezüglich formaler Merkmale zum Grad der Mathematisierung. Zudem werden die Kontextsituationen von Aufgaben in den INU-Schulbüchern als authentischer beurteilt. Hinsichtlich der Einordnung der Kontextherkunft unterscheiden sich die beiden Stichproben nicht.

## 1. Einleitung

Lernaufgaben nehmen im naturwissenschaftlichen Unterricht eine zentrale Rolle zur Entwicklung von Kompetenzen ein (Fischer & Draxler, 2001). Gleichzeitig motiviert die Einbettung von Aufgaben in authentische Kontexte die Schülerinnen und Schüler, sich mit dem Lerngegenstand zu beschäftigen (Müller, 2006; Kuhn, 2008). Im Rahmen der Diskussion über den fächerübergreifenden Unterricht schließt sich also die folgende Forschungsfrage an: *Inwiefern unterscheiden sich Lernaufgaben der Mechanik zwischen Physik-Schulbüchern und Schulbüchern des integrierten naturwissenschaftlichen Unterrichts?* Um dieser Frage nachzugehen, wird als Testinstrument ein literaturbasiertes Kategoriensystem entwickelt, welches einen Vergleich hinsichtlich verschiedener Merkmale ermöglicht.

## 2. Theoretischer Hintergrund

### 2.1 Lernaufgaben in Schulbüchern

Im Unterricht werden Aufgaben aus mehreren Gründen eingesetzt. Sie unterstützen die Lernenden gezielt beim Kompetenzaufbau und dienen der Sicherung des Lernzuwachses. Insbesondere in der Erarbeitungsphase des Unterrichts unterstützen Aufgaben die Schülerinnen und Schüler dabei, sich neue Inhalte anzueignen. Darüber hinaus können sie bei Lernenden im Unterrichtseinstieg zu einer qualitativen Problemerkennung führen, welche auf den eigenen Erfahrungen basiert. Dabei werden unterschiedliche Lösungswege unterstützt und durch unterschiedliche Kontexte ein flexibler Einsatz des Wissens gefordert (Langlet & Kremer, 2011; Niedersächsisches Kultusministerium, 2017).

Es wird zwischen Leistungsaufgaben, die Erfolge messen, und Lernaufgaben, die dem Wissensaufbau dienen, unterschieden. Nach Leisen (2010) ist eine Lernaufgabe „eine Lernumgebung zur Kompetenzentwicklung und steuert den Lernprozess durch eine Folge von gestuften Aufgabenstellungen mit entsprechenden Lernmaterialien" (S.11). Gute Lernaufgaben halten sich an die kompetenzorientierten Bildungsstandards und knüpfen an das Vorwissen der Lernenden an. Des Weiteren sind sie in einen Kontext eingebunden, demonstrieren den Lernzuwachs und liefern ein Lernprodukt. Lernaufgaben zeichnen sich durch ein unterschiedliches Niveau, einen Zusammenhang untereinander, eine integrative Förderung der Kompetenzen, vielfältige Lösungen, einen unterstützenden Zweck für Lernende sowie den Umgang mit Fehlern als Lernchance aus (ebd.).

#### 2.1.1 Schwierigkeitserzeugende Merkmale

Zur Einordnung der Aufgabenschwierigkeit werden mehrere Ansätze als Grundlage verwendet. Eine Dimension des Kompetenzstrukturmodells nach Neumann, Kauertz, Lau, Notarp und Fischer (2007) beschreibt sechs hierarchische Komplexitätsstufen einer Aufgabe. Hierbei wird zwischen der Anzahl an Fakten und Zusammenhängen unterschieden, welche die Komplexität und somit die Schwierigkeit einer Aufgabe beeinflussen. In einer überarbeiteten Version umfasst es fünf hierarchische Stufen, die sich auf das Prinzip der „Anzahl an Elementen" und das Prinzip der „Verknüpfungen zwischen Elementen" stützt (Kauertz, Fischer, Mayer, Sumfleth & Walpuski, 2010; Wellnitz et al., 2012).

Basierend auf Informationsverarbeitungsstrategien formulieren Kauertz et al. (2010) vier hierarchische

Stufen zum kognitiven Prozess, die von Schülerinnen und Schülern aufeinander aufbauend durchschritten werden, um mit den nötigen Denkprozessen auf die Lösung einer Aufgabe zu kommen. Die Stufen werden durch die drei Kriterien *Informationsverhältnis*, *Herstellen von Zusammenhängen* und *Situationsähnlichkeit* operationalisiert und teilen sich in aufsteigender Reihenfolge in *reproduzieren*, *selegieren, organisieren* und *integrieren* auf (ebd.).

#### 2.1.2 **Grad des Mathematisierens**

Das Mathematisieren wird als prozessbezogene Kompetenz des Physikunterrichts formuliert und stellt eine Besonderheit dieser Naturwissenschaft gegenüber den Schulfächern Chemie und Biologie dar (Kultusministerium, 2017). Im integrierten Fach Naturwissenschaften ist das Erlangen dieser Kompetenz im Rahmen des Bildungsbeitrages des Faches Physik ebenfalls für die Lernenden vorgesehen (Kultusministerium, 2012). Die mathematischen Herausforderungen an die Lernenden übertragen sich auf die Physikaufgaben und erschweren das Lernen der physikalischen Inhalte, welches das eigentliche Ziel darstellt (Uhden, 2012).

### 2.2 **Integrierter naturwissenschaftlicher Unterricht**

Vor dem Hintergrund der Diskussion um integrierten Unterricht fassen Fruboese, Illgen, Kohm und Wollscheid (2011) die Literatur zusammen und nennen Gründe, die für die Qualität des INU sprechen. Der INU erleichtere „die Behandlung fächerübergreifender Alltagsprobleme“ und habe durch „eine besser mögliche Alltagsorientierung die Chance, mehr Schülerinnen und Schüler für die Naturwissenschaften zu interessieren“ (S. 433). Auf ähnliche Weise listet Labudde (2008) Argumente für den fächerübergreifenden Unterricht auf. Dort heißt es, es werde auf „Schlüsselprobleme der Menschheit“ eingegangen und es gäbe eine größere Motivation für die Lernenden, welche eventuell durch neue „Ein- und Aussichten“ wegen der Vernetzung der Fächer entstehe. Darüber hinaus leiste der fächerübergreifende Unterricht den Beitrag, „ins Berufsleben bzw. in den Alltag von Forschung und Entwicklung einzuführen“ (S. 10). Insgesamt wird dem INU eine stärkere Kontextorientierung unterstellt, welche motivationsfördernd für die Schülerinnen und Schüler wirken kann. Labudde (2014) verweist auf einige „Mythen“ über fachübergreifenden Unterricht. Hierzu zählt die Annahme, dass Schülerinnen und Schüler im Integrationsfach Naturwissenschaften weniger lernen als jeweils in den drei Einzelfächern. Diese Vorstellung konnte aber weder durch PISA 2003, noch durch PISA 2006 bestätigt werden (Labudde, 2014).

In Niedersachsen werden an den integrierten Gesamtschulen (IGS) die Naturwissenschaften in einem integrierten Fach von Klasse 5 bis einschließlich 10 unterrichtet. Gymnasien haben die Option in den Klassen 5 und 6 die Naturwissenschaften integrativ zu unterrichten.

### 2.3 **Forschungsfragen und Hypothesen**

In der Studie soll folgenden Forschungsfragen nachgegangen werden:

Inwiefern unterscheiden sich Lernaufgaben aus Schulbüchern des INU und des Physikunterrichts hinsichtlich...

F1: ... der kognitionsbezogenen Merkmale *Anforderungsbereich, Denkprozess* und *Komplexität?*

F2: ... der formalen Merkmale zum Grad der Mathematisierung?

F3: ... des Anteils kontextorientierter Aufgaben und der Authentizität der Aufgaben?

Basierend auf dem vorherigen Kapitel können folgende Hypothesen formuliert werden:

H2: *Es lassen sich keine Unterschiede bezüglich der formalen Merkmale zur Mathematisierung feststellen.*

H3.1: *Es gibt mehr kontextorientierte Lernaufgaben in den INU- als in den Physik-Schulbüchern.*

H3.2: *Kontextorientierte Lernaufgaben des INU sind öfter authentisch als solche aus dem fächergetrennten Unterricht.*

## 3. **Methode**

### 3.1 **Entwicklung des Kategoriensystems**

Zur Analyse der Lernaufgaben aus naturwissenschaftlichen Schulbüchern wurde ein Raster entwickelt, das gezielte Aussagen über Aufgabenmerkmale zulässt und einen Schulbuchvergleich ermöglicht. An das Raster werden mehrere Anforderungen gestellt. Es soll die Analyse von Lernaufgaben zu unterschiedlichen Physik-Konzepten ermöglichen und unabhängig von der Jahrgangsstufe einsetzbar sein. Darüber hinaus soll es eine umfassende Untersuchung von formalen, kontext- und kognitionsbezogenen Aufgabenmerkmalen ermöglichen. Um diese Kriterien im Kategoriensystem einzubringen, werden vereinzelt Dimensionen aus Kompetenzmodellen sowie Items aus anderen Schulbuchrastern verwendet. Das Kategoriensystem umfasst darüber hinaus die Angabe der verwendeten Operatoren in einer Lernaufgabe. In diesem Beitrag wird hierauf aber nicht weiter eingegangen.

#### 3.1.1 **Kognitionsbezogene Merkmale der Lernaufgaben**

Zur Entwicklung von Kompetenztests haben Neumann et al. (2007) ein Kompetenzstrukturmodell konstruiert. Auf diesem Strukturmodell baut ein Kompetenzmodell zur bundesweiten Evaluation der Bildungsstandards für naturwissenschaftliche Fächer auf (Kauertz et al., 2010; Wellnitz et al., 2012). Die

Dimension zum *kognitiven Prozess* der Lernenden bei der Aufgabenbearbeitung wird als ein Aufgabenmerkmal mit den Ausprägungen *Reproduzieren, Selegieren, Organisieren, Integrieren* übernommen (Kauertz et al., 2010). Die weitere Dimension zur *Aufgabenkomplexität*, welche in fünf Stufen hierarchisch aufgebaut ist, wird ebenfalls als Merkmal übernommen (Wellnitz et al., 2012). Das Item zum *Anforderungsbereich* der Aufgabenstellung entspricht der Einteilung des Niedersächsischen Kerncurriculums (2017).

### 3.1.2 **Formale Merkmale zum Grad der Mathematisierung**

Die Abfrage von *formalen Aufgabenmerkmalen* erfolgt durch folgende fünf Items, die den Grad des Mathematisierens widerspiegeln:

*Die Aufgabe…*

- *… enthält explizit eine Zahl mit Einheit.*
- *… erwartet explizit eine Zahl mit Einheit in der Lösung.*
- *… erwartet die Verwendung einer Formel bei der Bearbeitung.*
- *… enthält ein Diagramm.*
- *… erwartet das Erstellen eines Diagramms in der Lösung.*

### 3.1.3 **Kontextbezogene Merkmale der Lernaufgaben**

Zuerst wird bestimmt, ob eine Lernaufgabe kontextorientiert ist oder nicht. Anschließend wird zur Einordnung der Interdisziplinarität einer Lernaufgabe untersucht, ob das Thema eher *physikspezifisch* oder *interdisziplinär* ist mit der Zuordnung zu einem oder mehreren der Bereiche *Biologie, Chemie, Mathematik, Technik, Sport.* Das Aufgabenmerkmal der *Kontextherkunft* wird anschließend in *innerfachlich, persönlich-gesellschaftliches Umfeld, professionelle Anwendungen (Technik, Wissenschaft)* unterschieden (Schecker und Parchmann, 2006).

Zur Beschreibung der *Authentizität* des Kontexts wurde die Likertskala nach Dorschu (2013, S.60) verwendet. Hierbei wird die Formulierung „Geschichte“ (ebd.) durch die differenzierenden Begriffe Kontextsituation (3 Items) und kontextualisierte Aufgabe (2 Items) ersetzt. Die Kontextsituation meint die in der Lernaufgabe beschriebene Situation an sich, wie z.B. die eines Turmspringwettkampfes. Die Items zur Authentizität der kontextualisierten Aufgabe beschreiben die damit verknüpfte Aufgabenstellung, also eine Arbeitsanweisung wie z.B. „Berechne die Auftreffgeschwindigkeit des Turmspringers.“ Bei einer Lernaufgabe sind Situation und Aufgabe nicht zwingend gleichermaßen authentisch.

## 3.2 **Messung der Gütekriterien**

Zur Untersuchung der Interrater-Reliabilität werden insgesamt 25 Lernaufgaben aus den Schulbüchern *Universum 7/8*, *Dorn Bader 7/8* (Physik) sowie *Prisma Naturwissenschaften 2*, *Erlebnis Naturwissenschaften 2* und *Natur bewusst 2* (INU) von zwei Kodierern mit dem Kodiermanual analysiert. Für dessen nachfolgende Anwendung werden Aufgabenmerkmale, bei denen Cohens-Kappa κ nur auf eine mäßige Reliabilität ($\kappa < .60$) schließen lässt, nicht weiter berücksichtigt. Dies betrifft die kognitionsbezogenen Konstrukte *kognitiver Prozess, Aufgabenkomplexität* und *Anforderungsbereich*. Wegen einer zu geringen Reliabilität dieser Items werden die Merkmale im nachfolgenden Schulbuchvergleich nicht weiter untersucht.

Auch für die *formalen Aufgabenmerkmale* ist eine Messung der Interrater-Reliabilität notwendig, da keine Musterlösungen zu den getesteten Aufgaben vorliegen. Die fünf Items weisen je ein Cohens-Kappa $\kappa > .85$ auf, was auf eine sehr gute Reliabilität hinweist.

Hinsichtlich der Kontextmerkmale wird zunächst die Interrater-Reliabilität bezüglich der Einschätzung, ob ein Kontext vorliegt oder nicht, vorgenommen. Hier ergibt sich ein Wert von $\kappa \geq .68$. Mit Werten von $\kappa > .91$ sind die Items zur Art des Kontextes (*Interdisziplinarität* und *Kontextherkunft*) ebenfalls reliabel.

Anschließend wird für jedes der fünf Items zur *Authentizität* durch das gewichtete Kappa κ* die Übereinstimmung beim Verwenden der ordinalen Antwortoptionen ermittelt. Die beiden Items zur Authentizität der kontextualisierten Aufgabe bieten nur eine geringe Übereinstimmung und werden in der weiteren Auswertung nicht berücksichtigt. Demgegenüber ergibt sich für die drei Items zur Authentizität der Aufgabensituation eine sehr gute Interrater-Reliabilität ($\kappa^* \geq .77$).

Anhand der Daten werden die drei Items zur Authentizität auf interne Konsistenz durch Cronbachs α geprüft. Die Items lauten:

*Die Situation…*

(I) *… könnte so irgendwo stattfinden.*

(II) *… ist realistisch.*

(III) *… kann ich mir gut vorstellen.*

Der Wert von $\alpha \geq .98$ deutet auf eine Redundanz der Items hin. Aus diesem Grund beschränkt sich die folgende Messung auf das Item (III), welches mit $\kappa^* = .81$ eine hohe Interrater-Reliabilität aufweist.

## 3.3 **Stichprobe**

Die genannten Aufgabenmerkmale dienen der Analyse von Lernaufgaben aus je zwei Physik- und INU-Schulbüchern (siehe Tabelle 1). Um einen Vergleich ziehen zu können, stammen die Lernaufgaben aus demselben Themengebiet der Mechanik, genauer der Einführung des Kraft-Konzepts. Bei dem Thema Kräfte handelt es sich um typische und grundlegende Inhalte der Physik, mit denen sich die

Schülerinnen und Schüler in vielen Themengebieten und Jahrgangsstufen auseinandersetzen. Am Ende von Jahrgang 8 soll gemäß der Kerncurricula beider Schulformen das Prinzip der physikalischen Kraft im Rahmen der Mechanik erstmals eingeführt werden (Niedersächsisches Kultusministerium, 2012, 2015). Die insgesamt 87 Lernaufgaben dienen folglich der Einführung und entsprechen dem ersten Kontakt der Lernenden mit Kräften. Sie bilden die Basis eines umfassenden physikalischen Prinzips, welches in späteren Jahrgängen erneut auftaucht. Um einen angemessenen Vergleich der beiden Stichproben zu gewährleisten, sollten diese in ihrem Umfang nicht zu sehr voneinander abweichen. Bei der Zusammenstellung der Stichproben wird darauf geachtet, dass stets alle auf einer Doppelseite enthaltenen Aufgaben aufgenommen werden. Dies dient dazu, ein Kapitel vollständig in die Untersuchung einzubeziehen, was die Unterschiede in der Anzahl der Aufgaben (Tabelle 1) erklärt.

| Physik-Schulbücher | INU-Schulbücher |
|---|---|
| *Universum 7/8* | *Prisma 2* |
| 27 Aufgaben | 15 Aufgaben |
| *Dorn Bader 7/8* | *Erlebnis 2* |
| 21 Aufgaben | 24 Aufgaben |

**Tab. 1:** Stichprobe und Verteilung der Aufgaben.

## 4. Ergebnisse

Die formalen Merkmale zum *Grad des Mathematisierens* sind in Abbildung 1 zu finden. Besonders starke Unterschiede zeigen sich hinsichtlich der Verwendung von Formeln und Zahlen mit Einheiten. Dies wird im Schulbuch für den fächergetrennten Physikunterricht deutlich häufiger erwartet. Diagramme sind hier grundsätzlich seltener vertreten und werden im Schulbuch des INU in wenigen Fällen erwartet. Im Gegensatz zu den untersuchten Lehrbüchern des Physikunterrichts, in dessen Aufgaben keine Diagramme enthalten sind, beinhalten die Aufgaben des INU selten Diagramme. Bei der Betrachtung der Anzahl an Aufgaben, bei denen mindestens eines der fünf formalen Merkmale zutrifft, besteht ein Unterschied zwischen den Stichproben. Die Lernaufgaben der fächergetrennten Schulbücher beinhalten zu 48% mindestens ein formales Merkmal zum Grad des Mathematisierens, demgegenüber stehen 18% der Lernaufgaben des INU ($\chi^2 = 7.28$, $df = 1$, $\boldsymbol{p^* < .05}$, $\boldsymbol{odds\ ratio = 2.99, 95\%}$ **KI für** $\boldsymbol{odds\ ratio}$ $\boldsymbol{[1.35, 6.64]}$). Hier und im Folgenden beschreibt $p^*$ den korrigierten $p$-Wert, der sich aus der Bonferroni-Korrektur ergibt.

Die beiden Stichproben zeigen keinen Unterschied hinsichtlich der Häufigkeit von Kontexten in Lernaufgaben. Mit 35% (Physik) und 38% (INU) ist etwas mehr als ein Drittel aller analysierten Aufgaben nicht kontextorientiert.

Die Überprüfung der *Interdisziplinarität* der analysierten Lernaufgaben zeigt, dass rund 80% der Kontexte in beiden Schulbuchformen eher physikspezifisch sind. In den anderen Fällen sind sie interdisziplinär und stammt mit rund 8% zu gleichen Anteilen aus den Bereichen Technik und Sport (INU) bzw. zusätzlich auch Mathematik (Physik). Hier lassen sich keine Unterschiede feststellen. Auch hinsichtlich des Aufgabenmerkmals der *Kontextherkunft* lassen sich keine Unterschiede zwischen kontextorientierten Physik- und INU-Lernaufgaben feststellen. Mit über 55% sind die meisten Situationen von Lernaufgaben der Physik und des INU im persönlich-gesellschaftlichen Umfeld anzusiedeln. Es folgen in beiden Stichproben innerfachliche Situationen zu rund einem Drittel und Situationen aus professionellen Anwendungen mit fast 10%.

Hinsichtlich der *Authentizität* der Situation bei kontextorientierten Aufgabenmerkmalen gibt es Unterschiede, die in Abbildung 2 dargestellt werden ($U = 124, p^* < .05, \boldsymbol{r = .42}$, 95% KI für $r$ [0.14, 0.66]). Die Situation aus kontextorientierten INU-Aufgaben wird mit ca. 89% öfter als authentisch eingestuft als aus Physik-Aufgaben mit 65%.

## 5. Zusammenfassung und Diskussion

Um eine Analyse von Lernaufgaben zur Einführung des physikalischen Kraftkonzepts durchzuführen, wurde zunächst ein literaturbasiertes Kategorien-

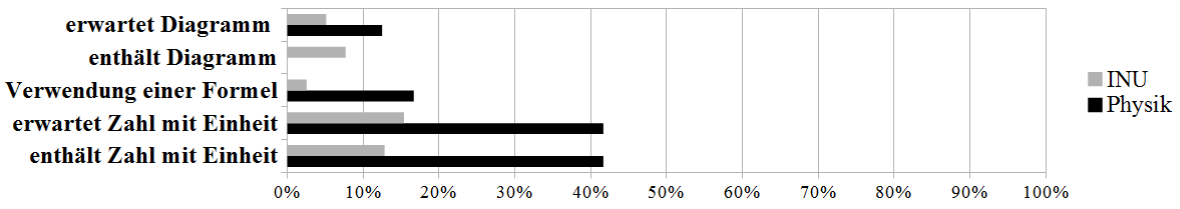



**Abb. 1:** Ergebnisse der formalen Merkmale zum *Grad des Mathematisierens*. Es werden Lernaufgaben aus Physik- (schwarz) und INU-Schulbüchern (grau) verglichen.

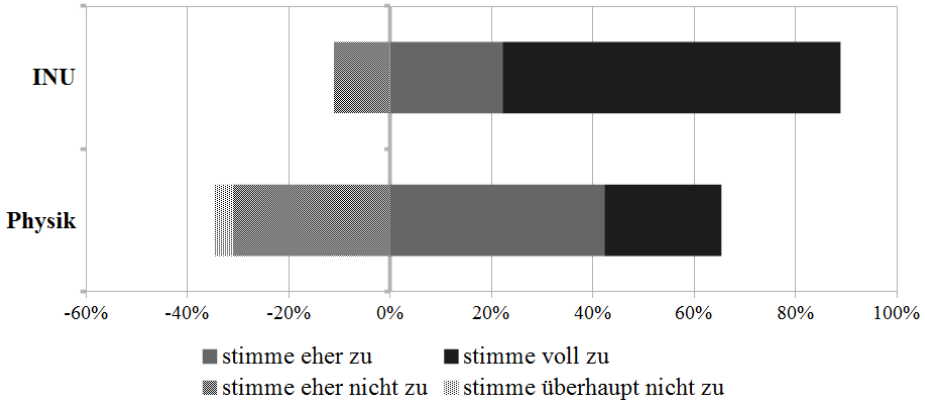



**Abb. 2:** Ergebnisse zur *Authentizität* von Lernaufgaben aus Physik- (unten) und INU-Schulbüchern (oben). Über vier Stufen wurde die Zustimmung zur Aussage „Die Situation kann ich mir gut vorstellen." abgefragt.

system, welches die Untersuchung unterschiedlicher Aufgabenmerkmale ermöglicht, erstellt. Das Kategoriensystem umfasst *kognitionsbezogene Merkmale*, *formale Merkmale zum Grad des Mathematisierens* und *Kontextmerkmale*. Wegen einer zu geringen Interrater-Reliabilität mussten die *kognitionsbezogenen Merkmale* für die weitere Auswertung verworfen werden. Diese Aufgabenmerkmale basieren auf Kompetenzmodellen zur Entwicklung von Testitems. Vor dem Hintergrund der geringen Interrater-Reliabilität stellt sich die Frage, inwiefern dessen Dimensionen für eine Analyse von Lernaufgaben, die sich von Leistungsaufgaben unterscheiden (Leisen, 2010), geeignet sind. Auch das Fehlen einer Musterlösung kann zu den nicht zufriedenstellenden Interrater-Reliabilitäten beitragen.

Im weiteren Verlauf wurde exemplarisch an der Einführung des Kraft-Konzepts untersucht, inwiefern sich die Lernaufgaben aus Physik-Schulbüchern und Schulbüchern des INU unterscheiden. Aus den oben beschriebenen Ergebnissen lässt sich ableiten, dass zumindest bezüglich der formalen Merkmale die Mathematisierungskompetenz in den Aufgaben der Physikschulbücher stärker gefordert bzw. gefördert wird als in den Aufgaben des integrierten Fachs (vgl. Abb. 1). Dies steht im Gegensatz zur Hypothese H2.

Bezüglich der Hypothese H3.1 zeigen sich keine Unterschiede. Beide Aufgabengruppen bestehen gleichermaßen zu etwa zwei Dritteln aus kontextorientierten Lernaufgaben.
Hinsichtlich der Interdisziplinarität und der Kontextherkunft konnten keine Unterschiede zwischen fachsystematischem und fächerübergreifendem Unterricht festgestellt werden. Die Überprüfung der Interdisziplinarität zeigt, dass die kontextorientierten Lernaufgaben meistens physikspezifisch sind. Die Kontextherkunft ist am häufigsten in das persönlich-gesellschaftliche Umfeld einzuordnen, gefolgt von dem innerfachlichen Bereich.

Die zweite Hypothese H3.2 zu authentischen Lernaufgaben des INU konnte durch die Ergebnisse bestätigt werden. Innerhalb kontextorientierter Aufgabenstellungen wurde die beschriebene Situation in den INU-Lernaufgaben häufiger als authentisch beurteilt als in den Aufgaben der Physikschulbücher.

Zur Einordnung der Ergebnisse muss insgesamt berücksichtigt werden, dass die Schulbücher für den INU für die integrierten Gesamtschulen in Niedersachsen konzipiert wurden, während die Physikschulbücher für das Gymnasium bestimmt sind. Somit zielen die enthaltenen Lernaufgaben auf unterschiedlich heterogene Zielgruppen ab.

Als weiterer Schritt ist der Fokus erneut auf eine Untersuchung der kognitionsbezogenen Merkmale zu legen. Hierfür sind eine spezifischere Formulierung der Items sowie die Ausarbeitung einer gezielteren Rater-Schulung anzustreben. Zudem kann die Untersuchung zum Grad des Mathematisierens über das Abfragen der formalen Merkmale hinaus erweitert werden. Die Mathematisierungskompetenz umfasst neben diesen formalen Merkmalen auch Bereiche, die sich auf funktionale Zusammenhänge und deren Darstellungsform sowie Termumformungen und das Lösen von Gleichungen beziehen (Kultusministerium, 2017). Hier gilt es herauszuarbeiten, inwiefern sich diese Merkmale durch ein geeignetes Testinstrument untersuchen lassen.

## 6. **Literatur**

Bader, F. (2015). *Dorn Bader Physik Gymnasium 7/8 Niedersachsen.* Bildungshaus Schulbuchverlage Westermann Schroedel Diesterweg Schöningh Winklers GmbH.

Bergau, M., Boldt, J., Geissler, G., Hänsel, M., Hell, K., Krause, B., . . . Tebeck, S. (2013). *Prisma Naturwissenschaften 2 Ausgabe A*. Ernst Klett Verlag Stuttgart Leipzig.

Carmesin, H.-O., Kahle, J., Konrad, U., Trumme, T. & Witte, L. (2016*). Universum Physik*: *Band 7/8 Gymnasium Niedersachsen G9*. Cornelsen Verlag GmbH, Berlin.

Cieplik, D., Dobers, J., Freundner-Huneke, I., Kirks, H.-D., Schulz, S., Tegen, H. & Zeeb, A. (2011). *Erlebnis Naturwissenschaften 2*. Bildungshaus Schulbuchverlage Westermann Schroedel Diesterweg Schöningh Winklers GmbH.

Dorschu, A. (2013*). Die Wirkung von Kontexten in Physikkompetenztestaufgaben*.. Logos Verlag Berlin GmbH.

Fischer, H. E. & Draxler, D. (2001). Aufgaben und naturwissenschaftlicher Unterricht. In: Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht, 54 7, S.388-393.

Fruboese, C., Illgen, J., Kohm, L. & Wollscheid, R. (2011). Unterricht im integrierten Fach Naturwissenschaften*. MNU Journal* 64/7, S.433-439.

Kauertz, A., Fischer, H. E., Mayer, J., Sumfleth, E. & Walpuski, M. (2010). Standardbezogene Kompetenzmodellierung in den Naturwissenschaften der Sekundarstufe I. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*; Jg. 16, S.135-153.

Kuhn, Jochen (2008). Authentische Aufgaben im theoretischen Rahmen von Instruktions- und Lehr-Lern-Forschung: Effektivität und Optimierung von Ankermedien für eine neue Aufgabenkultur im Physikunterricht. *Habilitationsschrift*, Natur- und Umweltwissenschaften der Universität Koblenz-Landau.

Labudde, P. (2008). Fächerübergreifender naturwissenschaftlicher Unterricht. *Naturwissenschaften vernetzen - Horizonte erweitern. Kallmeyer*, S.7-18.

Labudde, P. (2014). Fächerübergreifender naturwissenschaftlicher Unterricht - Mythen, Definitionen, Fakten*. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*; Jg. 20, S.11-19.

Langlet, J. & Kremer, M. (2011). Aufgaben im naturwissenschaftlichen Unterricht: Lernen - Prüfen - Diagnostizieren*. MNU Themenreihe Bildungsstandards.*

Leisen, J. (2010). Lernprozesse mithilfe von Lernaufgaben strukturieren. *Unterricht Physik* 2010 Nr. 117/118, S.9-13.

Müller, R. (2006). Physik in interessanten Kontexten – Handreichung für die Unterrichtsentwicklung. *Physik im Kontext*.

Neumann, K., Kauertz, A., Lau, A., Notarp, H. & Fischer, H. E. (2007). Die Modellierung physikalischer Kompetenz und ihrer Entwicklung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*; Jg. 13, S.101-113.

Niedersächsisches Kultusministerium (2012). *Kerncurriculum für die Integrierte Gesamtschule – Schuljahrgänge 5-10: Naturwissenschaften.*

Niedersächsisches Kultusministerium (2015). *Kerncurriculum für das Gymnasium – Schuljahrgänge 5-10: Naturwissenschaften.*

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

Schecker, H. & Parchmann, I. (2006). Modellierung naturwissenschaftlicher Kompetenz. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*; Jg. 12, S.45-66.

Sudeik, T. & Vorwerk, B. (2010*). Natur Bewusst Naturwissenschaften 2*. Westermann.

Uhden, O. (2012). Mathematisches Denken im Physikunterricht: Theorieentwicklung und Problemanalyse. *Dissertation*.

Wellnitz, N., Fischer, H. E., Kauertz, A., Mayer, J., Neumann, I., Pant, H. A., . . . Walpuski, M. (2012). Evaluation der Bildungsstandards - eine fächerübergreifende Testkonzeption für den Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*; Jg. 18, S.261-291.

# Erkenntnisgewinnung im Mathematik- und Physikunterricht.

## - Ein Vergleich im Rahmen eines Projektes zum fachdidaktisch-verbindenden Lehren und Lernen in den Lehramtsstudiengängen -

**Ina Militschenko*, Frederik Dilling[+]**

*Didaktik der Physik, Universität Siegen, Adolf-Reichwein-Straße 2,57068 Siegen
[+]Didaktik der Mathematik, Universität Siegen, Herrengarten 3, 57072 Siegen
militschenko@physik.uni-siegen.de, dilling@mathematik.uni-siegen.de

**Kurzfassung**

Im Zusammenhang mit dem internationalen Projekt Inter-Tetra unter der Beteiligung der Mathematik- und Physikdidaktik der Universität Siegen sowie den entsprechenden Instituten der Hanoi National University of Education wird unter anderem ein Modul zum fachdidaktisch-verbindenden Lehren und Lernen in den Lehramtsstudiengängen Mathematik und Physik in Vietnam implementiert. Die inhaltliche Gestaltung der Modulveranstaltungen zeichnet sich durch den fachdidaktischen Vergleich der beiden Unterrichtsfächer aus. Ein für den Vergleich ausgewählter Inhalt ist die Erkenntnisgewinnung. In der Mathematik sowie im Mathematikunterricht ist der Beweis das zentrale Element der Erkenntnisgewinnung. In der physikalischen Erkenntnisgewinnung nimmt die experimentelle Methode bzw. im Physikunterricht das Experiment einen wichtigen Platz ein. In den letzten Jahren werden im Mathematikunterricht zunehmend auch experimentelle Arbeitsweisen eingesetzt. Entsprechend legt man im Physikunterricht im Zuge der Kompetenzorientierung großen Wert auf das Argumentieren. Aus diesen Synergien entsteht ein spannendes Forschungsfeld der Mathematik- und Physikdidaktik, welches in diesem Vortrag vorgestellt werden soll.

### 1. Das Projekt InterTetra

InterTetra ist eine Abkürzung für ein internationales Projekt mit der vollständigen Bezeichnung „Cooperation between the Universities of Siegen and Hanoi for developing and implementing an Interdisciplinary Teacher Training (Ma + Phy) as a Contribution to a Competency-related Curriculum in Vietnam“. Am Projekt sind vier Institutionen beteiligt, nämlich die Mathematikdidaktik und Physikdidaktik der Universität Siegen sowie entsprechende Institute der Hanoi National University of Education [1].

Eines der Ziele des Projektes ist die Entwicklung und Implementierung eines Moduls in der Mathematik- und Physiklehrerausbildung zu kompetenzbasiertem fächerverbindenden Lehren. Das innovative an diesem Ansatz für Vietnam ist, dass dort die Ausbildung nur in einem Unterrichtsfach erfolgt, sodass eine über das eigene Fach hinausgehende Perspektive in der Phase der Ausbildung gänzlich fehlt. Zukünftig ist jedoch zusätzlich zu den einzelnen Fächern die Einführung eines sogenannten MINT-Faches geplant, sodass in der Praxis fächerverbindende Ansichten vorausgesetzt werden. Um dieser Diskrepanz entgegenzuwirken soll ein Modul in der Lehrerausbildung, eine entsprechende Lehrerfortbildung und ein Lehrbuch konzipiert, erprobt und evaluiert werden.

Der Schwerpunkt des geplanten Moduls sowie des Lehrbuchs liegt auf der vergleichenden Diskussion didaktischer Theorien der beteiligten Fächer. Die Basis für diesen Vergleich stellt eine Lehrbuchanalyse dar [2]. Ein für den Vergleich ausgewählter Inhalt ist die Erkenntnisgewinnung, die die Erkenntnismethoden der beiden Fachdisziplinen sowie die wichtigsten unterrichtsbezogenen Kompetenzen der Erkenntnisgewinnung beinhaltet.

Im Folgenden sollen zuerst die Erkenntnismethoden der Physik als Disziplin sowie die Erkenntnisgewinnung im Rahmen des Unterrichtsfachs Physik umrissen werden. Nachfolgend wird eine entsprechende Kurzanalyse für die Mathematik bzw. für den Mathematikunterricht vollzogen, um zum Schluss einen Vergleich zu ziehen und Folgerungen für die Lehrerausbildung abzuleiten.

### 2. Erkenntnismethoden der Physik

In einigen Werken werden induktive und deduktive Vorgehensweisen als naturwissenschaftliche Methoden dargestellt: Unter der induktiven Vorgehensweise im naturwissenschaftlichen Bereich versteht man zumeist den Weg von experimentell gewonnenen Erkenntnissen zu den allgemeinen Gesetzen und Theorien [3]. Der deduktive Weg zeichnet sich dadurch aus, dass die Erkenntnisgewinnung mit einer Antizipation bzw. einer Hypothese beginnt, aus der anschließend konkrete Sätze abgeleitet und mit anderen Sätzen auf logische Beziehungen geprüft werden [4]. Diese beiden Vorgehensweisen beschreiben die Methodologie der Physik jedoch nur unzureichend [3, 5, 6, 7, 8].

Kuhn [6] führt eine geschichtliche Analyse der Physik durch und unterscheidet auf ihrer Basis zwischen folgenden methodischen Konzepten: In der klassischen Physik - Galileis „metodo compositivo“ und Newtons axiomatische Methode; In der modernen Physik - Einsteins Modell der Theoriekonstruktion („EJASE-Prozess“). Schwarz [9] bezeichnet die von Galilei gegründete „metodo compositivo“ als „experimentelle Methode“ und misst dieser methodischen Vorgehensweise die zentrale Bedeutung in der Physik bei. Diese Methode beinhaltet zusätzlich zum Experiment den theoretischen Rahmen, in dem dieses eingebettet ist. Schwarz [10] beschreibt die experimentelle Methode wie folgt: „Unter dieser Methode versteht man bekanntlich das Wechselspiel zwischen Theorie und Experiment, bei dem eine zuvor im Rahmen von Modellüberlegungen und theoretischen Vorhersagen geplante Versuchsanordnung darüber entscheiden soll, ob die prognostizierten Entitäten, Zusammenhänge oder Phänomene in der Natur tatsächlich vorhanden sind“ [10, S. 3].

Die Theorie und das Experiment in der Physik sind also auf dem Weg zur Erkenntnis auf eine gewisse Weise miteinander verknüpft, die als Wechselspiel angesehen werden kann. Kuhn [11] schreibt dazu: „Naturwissenschaftliche Erkenntnisse basieren zwar auf Naturbeobachtungen, aber sie werden nicht rein empirisch gewonnen. Das Experiment ist eine gezielte theoriegeleitete Beobachtung. Es dient der Prüfung von Hypothesen über den vermuteten Zusammenhang der Naturvorgänge. Dementsprechend gibt es keinen direkten Weg von den Sinneswahrnehmungen zu physikalischen Begriffen.“ [11, S. 2]

Im Unterricht kann die experimentelle Methode in der hier definierten Form aus vielerlei Gründen (wie zeitlichen, lerntheoretischen, didaktisch-methodischen sowie aufgrund ihrer Komplexität) nur in seltenen Fällen vom Lehrer als Erkenntnisweg initiiert werden. Den Lernenden sollte jedoch keineswegs vorenthalten werden, was hinter dieser physikalischen Methode zu verstehen ist. Empfehlenswert ist es hierfür auf Galilei zurückzugreifen und seine Vorgehensweise bei der Herleitung der Gesetzmäßigkeiten einer gleichmäßig beschleunigten Bewegung aus historischer Perspektive zu betrachten [12,13].

Auch Kircher ist der Meinung: „[…] physikalische Methoden sind nicht a priori für den Physikunterricht qualifiziert“ [3, S. 794]. Wodurch zeichnet sich dann die Erkenntnisgewinnung im Unterrichtsfach Physik aus?

## 3. Erkenntnisgewinnung im Physikunterricht

Die Wege, mit welchen sich Schülerinnen und Schüler im Unterricht das physikalische Wissen aneignen, sind mit den Methoden, mit denen Wissenschaftler zu ihren physikalischen Erkenntnissen gelangen, nicht identisch. Dies liegt unter anderem darin begründet, dass Wissenschaftler über ganz andere Problemlösefähigkeiten, Vorkenntnisse und Techniken als Lernende verfügen. Der Physikunterricht kann also den physikalischen Methoden nicht ohne Weiteres folgen [3].

Die Bausteine und Tätigkeiten der naturwissenschaftlichen Arbeitsmethoden sind jedoch auch die typischen Merkmale des naturwissenschaftlichen Unterrichtes und somit des Physikunterrichtes. Die Techniken und Tätigkeiten, die also in einem engen Zusammenhang mit dem Erkennen physikalischer Sachverhalte stehen, wie beispielsweise Beobachten, Messen und Experimentieren, Modelle und Analogien anwenden, Theorien und Begriffe verstehen, werden daher der unterrichtsbezogenen Kompetenz „Erkenntnisgewinnung“ zugeordnet [14].

Aus kapazitiven Gründen wird im Folgenden nur auf das Experimentieren als dominierende Vorgehensweise bei der Erkenntnisgewinnung im Physikunterricht näher eingegangen:

### 3.1. Experimentieren im Physikunterricht

Das Experiment ist das wesentliche Merkmal des naturwissenschaftlichen Arbeitens und hat daher eine zentrale Stellung im Physikunterricht. Kircher [3] misst dem Experiment im Unterricht aus vielerlei Überlegungen eine herausragende Bedeutung bei. Dabei führt er Gründe wie die Nachfolgenden auf: Ein Experiment ist ein unverzichtbarer Bestandteil der physikalischen Methodologie; viele Unterrichtsziele sind mit dem Schülerexperiment eng verknüpft usw.

Das Experimentieren als eine der grundlegenden Fähigkeiten der Schülerinnen und Schüler im naturwissenschaftlichen Unterricht wird als sogenannte „experimentelle Kompetenz“ bezeichnet. Zur Beschreibung der experimentellen Kompetenz werden unterschiedliche Modelle herangezogen, die diese Fähigkeit in Teilkompetenzen zerlegen. So wird im Modell von Hammann [15] zwischen drei Teilkompetenzen unterschieden: (i.) das Suchen und Aufstellen von Hypothesen, (ii.) die Planung und Durchführung von Experimenten sowie (iii.) die Analyse der experimentellen Ergebnisse. Auch bei Schreiber, Theyßen und Schecker [16] findet man ein darauf basierendes Modell vor (Tabelle 1), wobei die Hypothesenbildung und Entwicklung von Fragestellungen der Komponente Planung zugeordnet werden.

Aus diesem Modell wird ersichtlich, dass das Experimentieren viel mehr als die bloße Durchführung eines Experimentes beinhaltet: Zur ersten Komponente des Experimentierens, nämlich zur Planung, werden bereits mehrere Teilschritte gezählt: Fragestellungen entwickeln, Fragestellungen klären, Hypothesen bilden und Erwartungen formulieren. Nach Meinung von Schreiber, Theyßen und Schecker [16] wird der Hypothesenbildung im Unterricht, in Anlehnung an das wissenschaftliche Arbeiten, jedoch zu viel Bedeutung beigemessen, denn das wissenschaftliche Experimentieren und das Experimentieren im Rahmen des

Unterrichtes unterscheiden sich trotz ähnlicher Strukturierung. Der Entwurf eines Versuchsplanes, zu dem auch die Parameterkontrolle gehört, wird in diesem Modell als ein eigenständiger Schritt zwischen Planung und Durchführung angesehen. Da die Parameterkontrolle sowohl bei der Planung als auch bei der Durchführung des Experimentes berücksichtigt werden soll, kann der experimentelle Aspekt „Versuchsplan" in diesem Modell nicht eindeutig zugeordnet werden [16].

| | | |
|---|---|---|
| **Planung** | • vorgegebene Fragestellung klären<br>• Fragestellung entwickeln<br>• Erwartungen formulieren<br>• Hypothese bilden | Versuchsplan entwerfen |
| **Durchführung** | • Geräte zusammenstellen<br>• Versuchsanordnung aufbauen<br>• Messungen durchführen<br>• Messungen dokumentieren | |
| **Auswertung** | • Messdaten aufbereiten<br>• Messdaten verarbeiten<br>• Ergebnis interpretieren | Umgang mit Problemen und Fehlern |

**Tab. 1:** Modell der experimentellen Kompetenz nach [15]

Zur Komponente „Durchführung des Versuches" gehören nach diesem Modell vier Teilschritte: (i.) Zusammenstellung der Geräte, (ii.) Aufbau der Versuchsanordnung, (iii. - iv.) Messwertaufnahme und –dokumentation. Die Auswertung, als der letzte Schritt des Modells, beinhaltet die Aufbereitung von Daten (beispielsweise tabellarisch oder grafisch) und ihre Verarbeitung (z.B. Untersuchung der Zusammenhänge zwischen Größen) sowie die Interpretation der Ergebnisse bezüglich der eingangs formulierten Fragestellungen. Ein weitere Teilschritt „Umgang mit Problemen und Fehlern" ist nach diesem Modell eine Schnittstelle zwischen Durchführung und Auswertung [16].

### 3.2. **Didaktisch-methodische Anmerkungen zum Experimentieren als Methode der Erkenntnisgewinnung im Physikunterricht**

Muckenfuß [17] warnt davor, das hypothesengeleitete Experimentieren im Unterricht mit dem in der Wissenschaft zu vergleichen und folgert aus didaktischer Sicht: „Für den Physikunterricht erscheint [in diesem Licht] das Zelebrieren eines angeblichen Standardweges zu physikalischer Erkenntnis nach dem Schema „Problemfrage" → „Vermutung" → „Versuchsplanung" → „Experiment" → „Beobachtung" → „Schussfolgerungen" nicht als der Weisheit letzter Schluss" [17, S.5].

Er begründet seine Aussage damit, dass es sich im Unterricht in der Regel um eine stark verkürzte Variante des wissenschaftlichen hypothesengeleiteten Experimentierens handelt, da Experimente im Vorfeld von Lehrmittelherstellern sowie von Lehrpersonen sorgfältig vorbereitet bzw. entwickelt werden. Die theoretische Vorüberlegung, die zur experimentellen Methode gehört, „steckt in den Konstruktionsmerkmalen des speziellen Lehrgerätes und in der sorgfältigen Vorbereitung des Versuches durch die Lehrkraft" [17]. An der Planung des Experimentes sind die Schülerinnen und Schüler demnach nur oberflächlich beteiligt. Im Unterricht geht es in den meisten Fällen um „die anschauliche und attraktive Vermittlung der Theorie und nicht um authentisches hypothesengeleitetes Experimentieren" [17, S.18]. Auch Höttecke [18] warnt davor die Schülerexperimente als Beispiel für die Arbeitsweise von Wissenschaftlern hinzustellen. Demnach erfüllen Experimente in der Wissenschaft andere Funktionen als die Experimente im Unterricht.

### 3.3. **Funktionen des Experimentes im Unterricht**

Wie bereits erwähnt, ist das Experiment im Unterricht stark mit den unterrichtlichen Zielen verknüpft und kann daher zu verschiedenen Zwecken eingesetzt werden. Die Funktionen des Experimentes, wie beispielsweise die „Demonstration eines Phänomens" sind sehr vielfältig. Diese werden in Anlehnung an Girwidz [19] im Folgenden erläutert. Aus Gründen der Übersichtlichkeit werden die von Girwidz aufgeführte Funktionen zusätzlich in drei Kategorien eingeteilt:

*(i) An physikalische Arbeitsweise angelehnte Experimente:* Zu dieser Kategorie werden hier Experimente gezählt, die dem Zweck dienen, Gesetzmäßigkeiten erfahrbar zu machen, theoretische Aussagen zu prüfen, Gesetze quantitativ zu überprüfen, naturwissenschaftliches Arbeiten im unterrichtlichen Rahmen zu ermöglichen sowie Meilensteine unserer Kulturgeschichte kennenzulernen (Tabelle 2).

Diese Kategorie soll am Beispiel der Funktion „Gesetze quantitativ überprüfen" erläutert werden: Theoretische Aussagen bzw. Gesetze, die aus Theoriebetrachtungen gewonnen oder axiomatisch aufgestellt wurden, werden auch im Unterricht, in Anlehnung an die wissenschaftliche Vorgehensweise, durch Experimente darauf geprüft, wie sinnvoll diese bei der Beschreibung von Naturereignissen sind. Die Überprüfung kann qualitativ oder quantitativ erfolgen. Ein Beispiel zur qualitativen Überprüfung einer theoretischen Aussage ist das Vakuumrohr-Experiment zum freien Fall, in dem eine Feder genauso schnell fällt wie ein Stein.

Unter der Kategorie *(ii) Experimente zum Aufbauen von Grunderfahrungen und Konzepten:* werden hier unter anderem Experimente verstanden, die dem

Zweck dienen, physikalische Konzepte zu verdeutlichen, Grunderfahrungen aufzubauen, etc. (Tabelle 2).

So lassen sich beispielsweise physikalische Konzepte und Modelle im Rahmen von Experimenten auf die folgende Art und Weise deutlich machen: Das Konzept der geradlinigen Ausbreitung des Lichtes bzw. das Modell „Lichtstrahl“ kann verdeutlicht werden, indem ein Laserstrahl mit Hilfe von Kreidestaub sichtbar gemacht wird. Dies visualisiert die Geradlinigkeit der Lichtausbreitung und schafft eine Vorstellung von Lichtstrahlen [18].

Experimente die die Motivation und das Interesse wecken, Schülervorstellungen prüfen und nachhaltig Eindrücke vermitteln, werden hier zur Kategorie *(iii) Berücksichtigung weiterer lernpsychologischer Aspekte* zusammengefasst. Experimente, die zu diesem Zwecke eingesetzt werden, verfolgen nicht primär das Ziel der Erkenntnisgewinnung, sie sind jedoch für erfolgreiche Wissensvermittlung aus lernpsychologischer Sicht von hoher Bedeutung.

| **Funktionen von Experimenten** | | |
|---|---|---|
| | **an physikalische Arbeitsweise angelehnte Experimente** | • Gesetzmäßigkeiten erfahrbar machen<br>• theoretische Aussagen prüfen<br>• Gesetze quantitativ überprüfen<br>• naturwissenschaftliches Arbeiten im unterrichtlichen Rahmen ermöglichen<br>• Meilensteine unserer Kulturgeschichte kennenlernen |
| | **Experimente zum Aufbauen von Grunderfahrungen und Konzepten** | • physikalische Konzepte verdeutlichen<br>• ein Phänomen zeigen<br>• Grunderfahrungen aufbauen<br>• Denkanstöße geben<br>• physikalische Vorstellungen aufbauen<br>• Physik in Technik und Alltag aufzeigen |
| | **Experimente zur Berücksichtigung weiterer lernpsychologischer Aspekte** | • Motivation und Interesse wecken<br>• Schülervorstellungen prüfen<br>• nachhaltig Eindrücke vermitteln |

**Tab. 2:** Übersicht über die Funktionen des Experimentes nach Girwidz [19], eingeteilt in drei übergeordnete Kategorien

### 3.4. Weitere mit der Erkenntnisgewinnung verwandte Arbeitsweisen und Kompetenzen im Physikunterricht

Die mit Erkenntnisgewinnung eng verknüpften Tätigkeiten wie Experimentieren, Messen, Beobachten, Theorien- und Begriffsbildung nachvollziehen etc., sollten im Unterricht nicht isoliert betrachtet werden. Sie sind Komponenten im Gesamtgefüge auf dem Weg zum Erwerb physikalischer bzw. naturwissenschaftlicher Bildung. So trägt beispielsweise die Kompetenz „Beherrschen der Fachsprache“, zweifelsfrei auch zur Erkenntnisgewinnung bzw. zum Verständnis der physikalischen Theorien im Unterricht bei. Auf alle wichtigen Kompetenzen kann im Rahmen dieses Artikels nicht gesondert eingegangen werden. Eine Fähigkeit, nämlich die des Argumentierens (z.B. im Rahmen eines Experimentes für oder gegen die aufgestellte Hypothese) scheint in Anbetracht der aktuellen didaktischen Forschungsergebnisse jedoch von großer Bedeutung zu sein, da sie in besonderer Weise zur Erkenntnisgewinnung beisteuert [20].

Naturwissenschaftliches Argumentieren ist eine Arbeitsweise, die mit den Tätigkeiten wie Modellieren und hypothesengeleitetes Experimentieren eng verknüpft ist. Argumente werden im Physikunterricht dann eingesetzt, wenn beispielsweise alternative Lösungen eines physikalischen Problems vorliegen, wenn es gegensätzliche theoretische Ansätze gibt oder allgemein bei Widersprüchen und kognitiven Konflikten [21].

Gromadecki [22] plädiert für die Förderung der argumentativen Fähigkeiten von Lernenden im Physikunterricht. Sie begründet ihre Forderung damit, dass es sich beim Argumentieren um eine naturwissenschaftliche Arbeitsweise handelt und beleuchtet die Wichtigkeit des Argumentierens aus verschiedenen Perspektiven:

Aus naturwissenschaftlicher Sicht hat diese Arbeitstechnik eine besondere Bedeutung, da Argumentieren das Kernstück des kritischen und folgerichtigen Denkens bildet (wie auf Platon und Sokrates zurückzuführen ist, zitiert nach [22]). Um ein adäquates Bild von der Fachwissenschaft im Unterricht zu vermitteln, sollte die sogenannte Metastruktur der Physik diskutiert und gelernt werden. Unter der Metastruktur ist die physikgeschichtliche, die wissenschaftsethische, die gesellschaftliche und die politische Komponente der Physik zu verstehen [3]. Werden Fragestellungen aus diesen Themenbereichen diskutiert, so spielt die argumentative Vorgehensweise eine außerordentlich wichtige Rolle. Nicht zuletzt ist der argumentative Teil bei der Kommunikation unter den Wissenschaftlern auf Tagungen und Konferenzen von großer Bedeutung, da neue Erkenntnisse unter Wissenschaftlern auch verbal ausgehandelt werden.

Aus der Perspektive der naturwissenschaftlichen Methodik verweist Gromadecki auf McComas [23] und erläutert, dass der Prozess der Erkenntnisgewinnung

erst durch entsprechende Argumente abgerundet wird. Weitere Gründe, die von Gromadecki [22] zur Legitimation der besonderen Beachtung der Argumentation im Unterricht aufgeführt werden, sind die Ausbildung von prozeduralen Fähigkeiten und die Zugehörigkeit der Argumentation zur naturwissenschaftlichen Grundbildung.

## 4. Erkenntnismethoden der Mathematik

Bei der formalen Mathematik handelt es sich um eine Wissenschaft zur Untersuchung abstrakter Strukturen. Die Untersuchung erfolgt dabei mit Hilfe spezifizierter Schlussregeln. Harro Heuser beschreibt dies in seinem bekannten Lehrwerk zur Analysis wie folgt:

„Es versteht sich heutzutage von selbst, daß jede Darstellung der Analysis gemäß der axiomatischen Methode zu erfolgen hat: Der ganze Bestand analytischer Aussagen muß streng deduktiv aus einigen Grundeigenschaften reeller Zahlen entfaltet werden. Jede mathematische Disziplin verdankt ihre Sicherheit, ihre Überzeugungskraft und ihre Schönheit dieser Methode. Zu sehen, wie der reiche Teppich der Analysis mit seinen unendlich mannigfaltigen Farben und Figuren aus wenigen Fäden (den Axiomen über reelle Zahlen) enger und enger geknüpft wird – das ist eine geistige Erfahrung höchsten Ranges, um die kein Student betrogen werden darf.“ [24], (S.5)

Das zentrale Element der Mathematik ist somit der Beweis, der die deduktive Herleitung eines mathematischen Satzes nach bestimmten Schlussregeln aus Axiomen und zuvor bereits bewiesenen Sätzen darstellt. Es lassen sich verschiedene Beweisarten unterscheiden wie der direkte und der indirekte Beweis, die vollständige Induktion oder die vollständige Fallunterscheidung.

Auch wenn die Absicherung von Sätzen in der Mathematik deduktiv durch einen formalen Beweis geschieht, sind empirische Arbeitsweisen bei der Generierung von Hypothesen durchaus etabliert. So kann es sinnvoll sein, eine Vermutung zunächst an einzelnen Beispielen oder Klassen von Beispielen auszuprobieren. Dies stellt allerdings in der Mathematik keinesfalls eine Verifikation dieser Aussagen dar.

Eine solche formale Auffassung von Mathematik wird insbesondere an Universitäten vermittelt. Die Darstellung der Mathematik im Schulunterricht unterscheidet sich hiervon insbesondere in Bezug auf die Wege der Erkenntnisgewinnung teilweise stark [25], wie es im Folgenden aufgezeigt wird.

## 5. Erkenntnisgewinnung im Mathematikunterricht

Im Gegensatz zu einer formalen Darstellung der Mathematik ist das mathematische Wissen von Kindern empirisch-gegenständlicher Art ([26], [27]). Es wird im Unterricht insbesondere durch den Umgang mit realen Phänomenen entwickelt, sodass eine ontologische Bindung des mathematischen Wissens mit Bezug auf gewisse empirische Referenzobjekte entsteht. Damit sind die Untersuchungsgegenstände der Schulmathematik in weiten Teilen keine abstrakten Objekte, sondern konkrete empirische Objekte. Dieses Phänomen wird durch den vermehrten Einsatz digitaler Technologien noch einmal verstärkt [28].

Damit ist auch die Rolle des Beweises in der Schulmathematik eine andere als in der Mathematik als Fachwissenschaft. Jahnke und Ufer (2015) beschreiben dies folgendermaßen:

„Es besteht ein weitgehender Konsens, dass sich ein axiomatisch-deduktives Vorgehen im allgemeinbildenden Mathematikunterricht verbietet. Vom Beweisen bleibt dann der Anspruch übrig, dass Aussagen auf Gründe zurückgeführt werden sollen. Welche Gründe als akzeptabel gelten, hängt vom Entwicklungsniveau der Schülerinnen und Schüler ab und ist letztlich Sache des in einer Lerngemeinschaft vorgefundenen „geteilten Wissens“.“ [29], (S.333f.)

Somit gibt es neben dem formalen Beweis weitere Beweisformen, die im Mathematikunterricht verwendet werden. Wittmann und Müller [30] unterscheiden diesbezüglich drei Formen des Beweises:

*Experimentelle Beweise*

Experimentelle Beweise sind Verifikationen von Aussagen an einzelnen Beispielen. Dies umfasst „Veranschaulichungen, Plausibilitätsbetrachtungen, empirische Verifikationen und an Beispielen erläuterte Regeln, die bestimmte Aufgabenfelder erschließen“ ([30], S.248). Experimentelle Beweise verlangen weder logische Schlussfolgerungen noch das formale Formulieren eines Zusammenhangs. Sie bieten allerdings auch keine abschließende Sicherheit bezüglich der Allgemeingültigkeit. Ein Beispiel für diese Beweisform ist das Abreißen und Aneinanderlegen von Dreiecksecken zur Begründung des Innenwinkelsummensatzes.

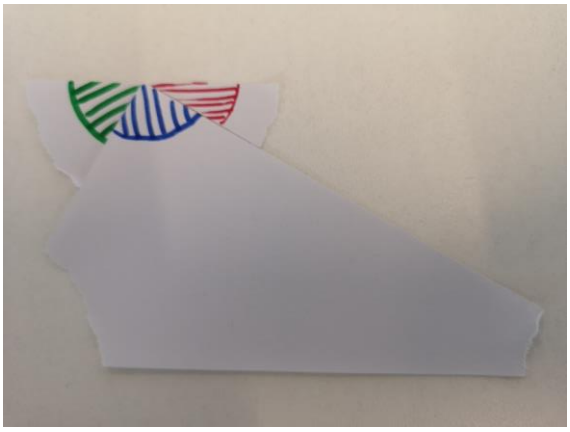


**Abb. 1:** Begründung des Innenwinkelsummensatzes am Dreieck durch Abreißen von Papierecken

*Inhaltlich-anschauliche Beweise*
Inhaltlich-anschauliche Beweise sind mehr als das Zeigen der Gültigkeit einer Aussage an einzelnen Beispielen. Sie stützen sich auf „Konstruktionen und Operationen, von denen intuitiv erkennbar ist, dass sie sich auf eine ganze Klasse von Beispielen anwenden lassen und bestimmte Folgerungen nach sich ziehen“ ([30], S.249). Es handelt sich bei inhaltlich-anschaulichen Beweisen um eine Kette korrekter Schlüsse – diese müssen allerdings nicht formal formuliert sein und dürfen explizit auf empirische Objekte Bezug nehmen. Ein Beispiel für einen inhaltlich-anschaulichen Beweis bildet die Begründung des Hauptsatzes der Differential- und Integralrechnung auf der Basis eines Integraphen – ein mechanisches Instrument zum Zeichnen einer Integralkurve [28].

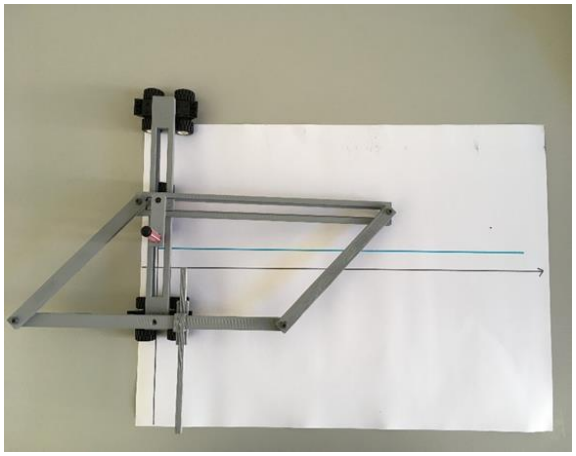


**Abb. 2:** Integraph zum inhaltlich-anschaulichen Beweisen des Hauptsatzes der Analysis ([31])

*Formal-deduktive Beweise*
Der formal-deduktive Beweis entspricht dem wissenschaftlichen Beweis, bei dem eine Aussage in einem strengen logischen Prozess aus einer anderen Aussage abgeleitet wird. Das Ziel ist die Darstellung als logische Beweiskette in möglichst kurzer Form. Dabei wird stets eine formale algebraische Sprache verwendet.

Neben den von Wittmann und Müller [30] aufgestellten Beweisarten lassen sich weitere Formen unterscheiden, die allerdings aus Kapazitätsgründen an dieser Stelle nicht ausgeführt werden können. Es bleibt dabei die Frage, welche Beweisform für den Mathematikunterricht angemessen ist. So genügt es auf der einen Seite sicherlich nicht, sämtliche mathematischen Sätze, die vom Wesen her Allaussagen darstellen, nur noch an Einzelbeispielen zu überprüfen. Auf der anderen Seite ist die ausschließliche Verwendung formaler Beweise für Schülerinnen und Schüler schwer zugänglich. Ein differenzierender Mathematikunterricht stellt verschiedene Beweise zur Verfügung, sodass die Art der Begründung angepasst an den individuellen Wissensstand vom Lernenden gewählt werden kann. Auf diese Weise können die Schülerinnen und Schüler schrittweise zu formalen Beweisen geführt werden.

Im Mathematikunterricht sind neben der Verifikation einer Aussage weitere Intentionen mit dem Beweisen verbunden. De Villier [32] nennt sechs Funktionen des Beweisens im Mathematikunterricht:

- Verifikation: Festlegung der Gültigkeit einer Aussage
- Erklärung: Warum ist die Aussage wahr?
- Systematisierung: Organisation verschiedener Sätze in einem logischen Zusammenhang
- Entdeckung: Erzeugen neuer Ergebnisse
- Kommunikation: Vermittlung mathematischen Wissens
- Intellektuelle Herausforderung: Selbstverwirklichung durch die Entwicklung eines Beweises

Diese verschiedenen Beweisfunktionen finden im Mathematikunterricht Berücksichtigung und prägen den empirisch-gegenständlichen Charakter der Schulmathematik.

## 6. **Folgerungen**

### 6.1. Vergleich der Erkenntniswege

Die vorangegangenen Ausführungen haben gezeigt, dass sich die Erkenntniswege in der Mathematik und der Physik in zahlreichen Punkten unterscheiden (Tabelle 3). Dies liegt insbesondere an den verschiedenen untersuchten Objekten. In der Mathematik werden einerseits konstruierte abstrakte Objekte betrachtet. Dies schließt natürlich nicht aus, dass mathematische Erkenntnisse auf reale Objekte übertragen werden können. Andererseits untersucht die Physik explizit reale Objekte und Situationen mit Hilfe der Mathematik. Dabei werden aber auch theoretische Überlegungen einbezogen.

Ein weiterer wichtiger Unterschied zwischen den beiden Wissenschaften ist die Qualität der Schlussfolgerungen. Aussagen in der Mathematik können entweder wahr oder falsch sein – andere Möglichkeiten gibt es nicht. Grundlage dafür ist der mathematische Beweis, bei dem Aussagen deduktiv aus Axiomen abgeleitet werden. So bleibt das einmal verifizierte Wissen für immer erhalten - mathematische Aussagen sind daher zeitunabhängig. In der Physik werden Aussagen auf der Grundlage von Modellen der Realität untersucht. Da die Modelle nicht der Realität selbst entsprechen, kann man nur sagen, ob es sich um eine gute oder schlechte Beschreibung handelt. Diese Eignung wird durch ein physikalisches Experiment überprüft. So kann es immer eine bessere Beschreibung geben – deshalb können physikalische Aussagen nicht unabhängig von der Zeit gesehen werden.

Die Rolle der Theorie und der Empirie ist daher in der Mathematik und Physik sehr unterschiedlich. In der Mathematik erfolgt die Überprüfung einer Aussage ausschließlich durch formales Beweisen und damit auf rein theoretischer Ebene. Die Generierung von Hypothesen kann jedoch empirisch erfolgen. Auch in

der Geschichte der Mathematik können verschiedene Beispiele mathematischer Theorien mit einem starken Bezug zur Empirie angeführt werden – so genannte empirische Theorien ([26], [27]). In der Physik müssen Aussagen über reale Sachverhalte mit empirischen Objekten überprüft werden. Diese werden durch das physikalische Experiment empirisch verifiziert. Physikalische Theorien beinhalten aber auch theoretische Elemente, so genannte theoretische Begriffe (z.B. Kraft), die keine direkten empirischen Referenzobjekte besitzen.

In der Mathematik und der Physik als Schulfächer verschwimmen diese recht strengen Grenzen – und das steht nicht im Gegensatz zu einer adäquaten Theorieentwicklung. Schülerinnen und Schüler im Mathematikunterricht entwickeln das Wissen weitgehend auf der Grundlage von empirischen Objekten. Dazu gehören viele ikonische und enaktive Darstellungen sowie außermathematische Anwendungen, z.B. aus der Physik. Wie aus den obigen Ausführungen hervorgeht, sind neben dem formalen Beweis auch andere informelle experimentelle Beweisarten möglich, die nicht den Anforderungen der Mathematik als Wissenschaft entsprechen. Dennoch können sie eine sinnvolle Grundlage für die Entwicklung des Wissens der Schüler bilden. Im Physikunterricht verwenden jüngere Schüler vor allem empirische Argumente, um Theorien zu entwickeln und zu begründen. In höheren Klassen werden zunehmend theoretische Elemente aus der Mathematik in die Theorieentwicklung einbezogen.

### 6.2. Folgerungen für die Lehrerbildung

Der Umgang mit den Erkenntniswegen der Mathematik und Physik kann für Lehramtsstudierende und ausgebildete Lehrkräfte beider Fächer einen interessanten Diskussionsgegenstand darstellen. So kann die Beschäftigung mit der Thematik für die Präzisierung der Eigenschaften des eigenen Faches im Sinne der Konzepte „Nature of Science“ und „Auffassungen von Mathematik“ sorgen. Diese Einnahme einer Metaperspektive in Bezug auf das Argumentieren, Begründen, Experimentieren oder Beweisen kann dann zu einem reflektierten Umgang mit empirischen und theoretischen Elementen im Unterricht führen.

| | **Mathematik** | **Physik** |
|---|---|---|
| **Untersuchungsgegenstand** | Konstruierte abstrakte Objekte | Reale Objekte oder Sachverhalte |
| **Wahrheitsbegriff** | Wahre / falsche Aussagen | Gute / schlechte Beschreibungen |
| **Verifikation** | Überprüfung der inneren Konsistenz | Passung an die Realität (und Überprüfung der inneren Konsistenz) |
| **Theorie** | Erkenntnissicherung durch deduktives Schließen | Einbezug theoretischer Begriffe |
| **Empirie** | Hypothesenentwicklung mit empirischen Herangehensweisen | Erkenntnissicherung durch empirische Überprüfung |

**Tab. 3:** Vergleich der Erkenntnismethoden der Mathematik und der Physik

## 7. Literatur


[1] Kraus, S., Krause, E., Dilling, F. (2018): InterTeTra - A German-Vietnamese project combining physics and mathematics didactics. In: Vietnam Journal of Education, 2 (5), S. 1-8.

[2] Dilling, F., Holten, K., Krause, E. (2019, online first): Explikation möglicher inhaltlicher Forschungsgegenstände für eine Wissenschaftskollaboration der Mathematik- und Physikdidaktik – Eine vergleichende Inhaltsanalyse aktueller deutschsprachiger Handbücher und Tagungsbände. In: *Mathematica Didactica*.

[3] Kircher, E., Girwidz, R., Häussler, P. (2010): Physikdidaktik. Theorie und Praxis. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum.

[4] Popper, K.R. (1976): Logik der Forschung. Tübingen: J.C.B. Mohr.

[5] Feyerabend, P. (1986): Wider den Methodenzwang. Frankfurt: Suhrkamp.

[6] Kuhn, W. (1983): Das Wechselspiel von Theorie und Experiment im physikalischen Erkenntnisprozess. In: Praxis der Naturwissenschaften - Physik. 83 (12).

[7] Kuhn, T.S. (1976): Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen. Frankfurt: Suhrkamp.

[8] Lakatos, I. (1974): Falsifikation und Methodologie wissenschaftlicher Forschungsprogramme. In: Lakatos, I., Musgrave, A. (Hrsg.), Kritik und Erkenntnisfortschritt. Braunschweig: Vieweg, S. 89–189.

[9] Schwarz, O. (2009): Die Theorie des Experiments. Aus der Sicht der Physik, der Physikgeschichte und der Physikdidaktik. In: Geographie und Schule, 31 (180), S. 15-21.

[10] Schwarz, O. (2016): Vorwort zu Kuhn, W.: Ideengeschichte der Physik. Eine Analyse der Entwicklung der Physik im historischen Kontext. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum.
[11] Kuhn, W. (1990): Ziel und Struktur der Physikalischen Theorien. Praxis der Naturwissenschaften - Physik 39 (2), S. 2–9.
[12] Kuhn, W. (2016): Ideengeschichte der Physik. Eine Analyse der Entwicklung der Physik im historischen Kontext. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum.
[13] Militschenko, I., Kraus, S. (2017): Entwicklungslinien der Mathematisierung der Physik. Die Rolle der Deduktion in der experimentellen Methode. In: *Der Mathematikunterricht* 63 (5), S. 21–29.
[14] Kultusministerkonferenz (2005): Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss (Jahrgangsstufe 10). Beschluss vom 16.12.2004. online verfügbar unter: https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2004/2004_12_16-Bildungsstandards-Physik-Mittleren-SA.pdf. (abgerufen am 15.01.2019)
[15] Hammann, M. (2004): Kompetenzentwicklungsmodelle: Merkmale und ihre Bedeutung – dargestellt anhand von Kompetenzen beim Experimentieren. In: Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht, 57 (4), S.196-203.
[16] Schreiber N., Theyßen, H., Schecker, H. (2009): Experimentelle Kompetenz messen?! In: Physik und Didaktik in Schule und Hochschule. PhyDidA, 8 (3), S. 92-101.
[17] Muckenfuss, H. (2010): Experimentieren und Versuche machen. Erkenntnistheoretische Aspekte der Sachbegegnung im naturwissenschaftlichen Unterricht. Veröffentlichung im Rahmen des 23. Karlsruher Didaktik-Workshops. Online verfügbar unter: http://www.physikdidaktik.uni-karlsruhe.de/tagungen/didaktik-workshop10/01_muckenfuss_text.pdf (abgerufen am 15.01.2019).
[18] Höttecke, D. (2008): Fachliche Klärung des Experimentierens. In: Höttecke, D. (Hrsg.): Kompetenzen, Kompetenzmodelle, Kompetenzentwicklung. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Essen 2007. Münster: Lit-Verlag.
[19] Girwidz, R. (2010): Medien im Physikunterricht. In Kircher, E., Girwidz, R., Häussler, P. (Hrsg.), Physikdidaktik. Theorie und Praxis. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum.
[20] Ludwig, T. (2017): Argumentieren beim Experimentieren in der Physik. Die Bedeutung personaler und situationaler Faktoren. Online verfügbar unter: https://edoc.hu-berlin.de/bitstream/handle/18452/19085/ludwig.pdf?sequence=6&isAllowed=y (abgerufen am 15.01.2019).
[21] Gromadecki, U., Mikelskis-Seifert, S. (2005): Argumentieren als naturwissenschaftliche Arbeitsweise. In: Pitton, A. (Hrsg.), Beiträge zur GDCP-Tagung 2005 in Paderborn, Nr. L. 26, Münster: Lit-Verlag.
[22] Gromadecki, U. (2008): Argumente in physikalischen Kontexten. Welche physikalischen Geltungsgründe halten Physikanfänger für überzeugend? Berlin: Logos.
[23] McComas, W. F. (1998): The Nature of Science in Science Education. Dordrecht, Boston, London: Kluwer Academic Publisher.
[24] Heuser, H. (2009): Lehrbuch der Analysis Teil 1. Wiesbaden: Vieweg + Teubner.
[25] Dilling, F., Witzke, I. (2019, angenommen): Epistemological Beliefs about Mathematics. Challenges and Chances for Mathematical Learning: Back to the Future. In: ESU-8 Proceedings.
[26] Burscheid, H. J., Struve, H. (2010): Mathematikdidaktik in Rekonstruktion: Ein Beitrag zu ihrer Grundlegung. Hildesheim, Berlin: Franzbecker.
[27] Witzke, I. (2009): Die Entwicklung des Leibnizschen Calculus: Eine Fallstudie zur Theorieentwicklung in der Mathematik. Hildesheim, Berlin: Franzbecker.
[28] Dilling, F. (2019). Der Einsatz der 3D-Druck-Technologie im Mathematikunterricht: Theoretische Grundlagen und exemplarische Anwendungen für die Analysis. Wiesbaden: Springer Spektrum.
[29] Jahnke, H. N., Ufer, S. (2015): Argumentieren und Beweisen. In: Bruder, R., Hefendehl-Hebecker, L., Schmidt-Thieme, B. & Weigand, H.-G. (Hrsg.), Handbuch der Mathematikdidaktik. Berlin, Wiesbaden: Springer Spektrum, S. 331-355.
[30] Wittmann, E. C., Müller, G. (1988): Wann ist ein Beweis ein Beweis? In: Bender, P. (Hrsg.), Mathematikdidaktik: Theorie und Praxis. Berlin: Cornelsen, S. 237-257.
[31] Dilling, F., Witzke, I. (2018): The Use of 3D-printing Technology in Calculus Education. In: Vietnam Journal of Education, 2 (5), S. 54-58.

# Schülervorstellungen zur Quantenphysik und zur Quanteninformationsverarbeitung

**Bernadette Schorn*, Heidrun Heinke[+]**

*Lehrerbildungszentrum der RWTH Aachen, Theaterplatz 14, 52056 Aachen, [+]I. Physikalisches Institut IA, RWTH Aachen, Sommerfeldstr. 14, 52074 Aachen
Bernadette.Schorn@rwth-aachen.de, heinke@physik.rwth-aachen.de

**Kurzfassung**

Die Quantenphysik ist mittlerweile ein fester und wichtiger Bestandteil des Physikunterrichts in der Qualifikationsphase der Sekundarstufe II. Sie wird zu den Inhaltsbereichen des Kerncurriculums der Oberstufe gezählt und somit als Kern physikalischer Bildung erachtet [1]. Anwendungen der Quantenphysik für Quantentechnologien wie z.B. die Quanteninformationsverarbeitung thematisieren ein aktuelles und zukunftsträchtiges Thema in Forschung und Entwicklung und bilden gleichzeitig einen möglichen Zugang zur Quantenphysik über die technische Nutzbarkeit von quantenphysikalischen Phänomenen. Vor diesem Hintergrund werden in dem Beitrag erste Ergebnisse zu Vorstellungen von Schülerinnen und Schülern zu grundlegenden Konzepten der klassischen Informationsverarbeitung und der Quanteninformationsverarbeitung vorgestellt. Die Daten wurden im Rahmen von einwöchigen Physikkursen für besonders interessierte Schülerinnen und Schüler der Oberstufe erhoben. Hierzu wurde eine modifizierte Fragebogenstudie durchgeführt, bei der die Fragebögen von Schülerpaaren bearbeitet und die Diskussionen der Probandinnen und Probanden mittels Smartpens aufgezeichnet wurden.

## 1. Quanteninformationsverarbeitung in der Schule

Die Quanteninformationsverarbeitung gehört aktuell zu den dynamischsten Forschungsgebieten, der zudem ein großes wirtschaftliches Potential zugesprochen wird. Dies wird u.a. eindrucksvoll durch die von der EU-Kommission im Herbst 2018 gestartete neue Forschungsinitiative zu Quantentechnologien, das sogenannte Quantum Flagship, belegt. Für diese Forschungsinitiative ist ein Budget von 1 Milliarde Euro sowie eine Laufzeit von zunächst 10 Jahren angedacht, in deren Rahmen mehr als 5000 Forscherinnen und Forscher sowie Industriepartner die Grundlagenforschung zu Quantentechnologien sowie deren technischen Anwendungen in Europa vorantreiben werden [2]. Dabei ist die Forschung in die Bereiche Quantencomputer, Quantensimulation, Quantensensoren sowie Quantenkommunikation gegliedert (siehe Abb.1). Darüber hinaus sollen im Bereich der Grundlagenforschung Fragestellungen behandelt werden, die für mehrere der genannten Forschungsbereiche relevant sind, wobei insbesondere die benötigte Technik entwickelt werden soll. Zur Realisierung der Ziele in Forschung und Entwicklung werden nicht nur eine leistungsfähige Forschungsinfrastruktur, sondern in den nächsten Jahren und Jahrzehnten vor allem auch in zunehmendem Maße Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, Ingenieurinnen und Ingenieure, Technikerinnen und Techniker sowie Anwendungsentwicklerinnen und Anwendungsentwickler benötigt, die sich in dieses Forschungsgebiet einbringen können und wollen.

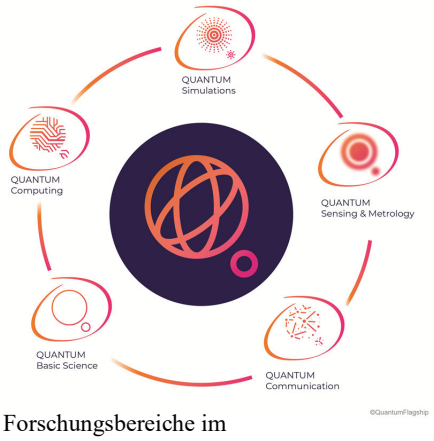



**Abb.1:** Forschungsbereiche im Quantum Flagship (Quelle: [2])

Betrachtet man die Bedarfsargumente der Gesellschaft für den Physikunterricht, so kann und soll er entsprechend dem ökonomischen Bedarfsargument einen Beitrag zur Nachwuchsförderung in der Schule leisten, indem er einerseits möglichst vielen Schülerinnen und Schülern notwendige Kompetenzen vermittelt. Andererseits ist es erforderlich, dass die Jugendlichen eine positive Einstellung gegenüber den Naturwissenschaften aufbauen bzw. beibehalten (vgl. [3]). Im Sinne des politischen Bedarfsarguments der Gesellschaft für den Physikunterricht soll dieser zudem dazu beitragen, den Weg zu einer mündigen Bürgerin bzw. einem mündigen Bürger zu ebnen, so dass sie/er in der Lage ist, sich an politischen Entscheidungsprozessen aktiv zu beteiligen. Dafür ist u.a. eine fundierte naturwissenschaftliche Bildung notwendig (ebd.). Um diesem Anspruch gerecht zu werden, bedarf es eines Physikunterrichts, der auch Themen der Modernen Physik und ihre aktuellen und potentiellen Anwendungsmöglichkeiten behandelt. Die Quanten-

informationsverarbeitung mit ihrer großen prognostizierten Zukunftsbedeutung stellt für diese Herangehensweise ein prototypisches Beispiel dar. Hier kann Schülerinnen und Schülern im Zuge des Physikunterrichts im Rahmen des Inhaltsfeldes Quantenphysik ein Einblick in Grundlagen und Anwendungsmöglichkeiten vermittelt werden, so dass sie – im Sinne der mündigen Bürgerin bzw. des mündigen Bürgers – über das zukunftsbedeutsame Gebiet informiert und – im Sinne der Nachwuchssicherung – im besten Fall dafür begeistert werden.

Zur Behandlung der Quanteninformationsverarbeitung in der Schule wurden bislang vereinzelt grundlegende Überlegungen angestellt und/oder Materialien wie Animationen, Interaktive Bildschirmexperimente und Arbeitsblätter, meist zur Quantenkryptographie, für den Einsatz im Unterricht der Sekundarstufe II entwickelt (siehe z.B. [4–11]). Als Vorteile dieser Ansätze im Vergleich zu den bisherigen Unterrichtskonzeptionen zur Quantenphysik werden u.a. angesehen, dass die betrachteten Zwei-Zustandssysteme einfacher als einige traditionell betrachtete Objekte wie Atome und Festkörper sind, die Inhalte zur Quanteninformationsverarbeitung mit einfacheren Begriffen und damit klarer formuliert werden können und (Analogie-)Experimente auch in der Schule durchführbar sind (vgl. [12]). Weitere Motive für die Behandlung von Themen der Quanteninformationsverarbeitung sind zum einen, dass (potentielle) Anwendungen wie z.B. die Quantenkryptographie bei Schülerinnen und Schülern auf Interesse stoßen (vgl. [11]). Zum anderen bieten Themen wie der Quantencomputer und die Quantenkryptographie vielfältige Möglichkeiten für fächerübergreifende Betrachtungen mit der Informatik und Mathematik. Insgesamt eröffnen sich somit im Zusammenhang mit der Thematisierung der Quanteninformationsverarbeitung vielversprechende neue und kontextorientierte Zugänge für das Lernen von physikalischen Prinzipien der Quantenphysik, die nach allen Erwartungen für Schülerinnen und Schüler interessant sind.

## 2. Schülervorstellungen zur Quantenphysik und zur Quanteninformationsverarbeitung

Im Allgemeinen stellt das Lehren und Lernen der Quantenphysik eine besondere Herausforderung dar, da man beim Unterrichten dieses Themas mit erheblichen sachbedingten, lehrbedingten sowie innenbedingten Lernschwierigkeiten konfrontiert wird, die sich teilweise gegenseitig bedingen und überschneiden (vgl. z.B. [13], S. 2 ff.). Im Hinblick auf die innenbedingten Lernschwierigkeiten sind vor allem die Schülervorstellungen zur Atom- und Quantenphysik zu nennen, die in hohem Maße von der Klassischen Physik und deren Prinzipien sowie von Alltagserfahrungen bestimmt sind und mit den quantenmechanischen Konzepten nicht in Einklang stehen. Darüber hinaus sind die alternativen Vorstellungen und Konzepte prädominant und offenbar sehr fest in den Köpfen verankert und werden durch den Schulunterricht nur sehr schwierig bzw. teilweise gar nicht überwunden (siehe z.B. [14–24]).

Mit dem Ziel, Lehr- und Lernmaterialien zur Quanteninformationsverarbeitung zu entwickeln sowie zu evaluieren und dabei das Modell der Didaktischen Rekonstruktion (siehe z.B. [25]) zugrunde zu legen, wurden in einem ersten Schritt Vorstellungen bzw. Konzepte von Schülerinnen und Schülern zu Grundlagen der klassischen Informationsverarbeitung und der Quanteninformationsverarbeitung erhoben. Besonderes Augenmerk liegt dabei sowohl auf den lernhinderlichen als auch anschlussfähigen Schülervorstellungen, die es bei der Konzeption der Lehr- und Lernmaterialien zu berücksichtigen gilt. Da bislang keine Untersuchungen zu den Vorstellungen bzw. Konzepten von Schülerinnen und Schülern zu Themen der Quanteninformationsverarbeitung existieren und keine Erhebungsinstrumente vorliegen, ist ein Fragebogen mit Items zur Quantenphysik, klassischen Informationsverarbeitung und Quanteninformationsverarbeitung konstruiert worden. Dieser Fragebogen umfasst Multiple-Choice-Aufgaben, Zuordnungs-Aufgaben und Aufgaben, die zeichnerisch gelöst werden sollen und enthält darüber hinaus kurze Informationstexte.

### 2.1. Erste Ergebnisse

Der Fragebogen wurde bislang in den Jahren 2017 bis 2019 im Rahmen der Physikwoche der RWTH Aachen eingesetzt. Die Physikwoche ist ein Angebot für die ca. 25 Gymnasien und Gesamtschulen der Städteregion Aachen, die jeweils einen Jugendlichen melden können. In der Regel setzen sich die Gruppen aus je zwei Teilnehmerinnen und Teilnehmern von 15 Schulen zusammen. Bei den ausgewählten Schülerinnen und Schülern handelt es sich um besonders begabte und interessierte Jugendliche der Jahrgangsstufen 11 und 12.

In der Physikwoche werden den Teilnehmerinnen und Teilnehmern eine Woche lang verschiedene Vorträge, Experimente und Laborbesichtigungen hauptsächlich zum Thema „Licht“ angeboten. Dabei ist auch eine Einheit zum Quantencomputer vorgesehen, deren Ablauf sich wie folgt gestaltet: Nach einer kurzen Einführung bearbeiten die Schülerinnen und Schüler den Fragebogen zur Erhebung von Vorstellungen bzw. Konzepten zu Themen der Quantenphysik, der klassischen Informationsverarbeitung und Quanteninformationsverarbeitung in 2er Gruppen mittels Smartpens, über die das Schriftbild und die Gespräche beim Ausfüllen des Fragebogens aufgezeichnet werden (vgl. [26]). Erst im Anschluss daran wird das Thema „Quantencomputer“ in einem Vortrag behandelt.

Im Folgenden werden erste Ergebnisse dieser modifizierten Fragebogenstudie zu grundlegenden Konzepten der Informationsverarbeitung im Vergleich von klassischer Informationsverarbeitung und Quanteninformationsverarbeitung vorgestellt. Diesen Ergebnis-

sen liegen die mittels Smartpens aufgezeichneten audiovisuellen Daten von 95 Probandinnen und Probanden zugrunde. Auch wenn die Bearbeitung der Fragebögen in 2er Gruppen erfolgt, bietet die Dokumentation mittels Smartpens die Möglichkeit, sowohl die schriftlichen als auch mündlichen Daten jeder einzelnen Probandin und jedem einzelnen Probanden zuzuordnen und auszuwerten (ebd.).

### 2.1.1. **Informationsträger**

In einem Informationstext zu den Informationsträgern der klassischen Informationsverarbeitung, dem Bit, und den Informationsträgern der Quanteninformationsverarbeitung, dem Qubit, werden diese als Zwei-Zustandssysteme eingeführt. Als Basiszustände eines Bits werden die Zustände „0“ und „1“ betrachtet, denen die Werte 0 und 1 zugeordnet werden. Als Basiszustände eines Qubits werden die Zustände „$|0\rangle$“ und „$|1\rangle$“ betrachtet, denen die Werte 0 oder 1 zugeordnet werden. Die im Anschluss an den Informationstext zu bearbeitenden Items beziehen sich auf den Zustand, den ein Bit bzw. ein Qubit annimmt. Das Antwortverhalten der Probandinnen und Probanden zu den Multiple-Choice-Aufgaben mit vorgegebenen Aussagen ist in der Abbildung 2 dargestellt:

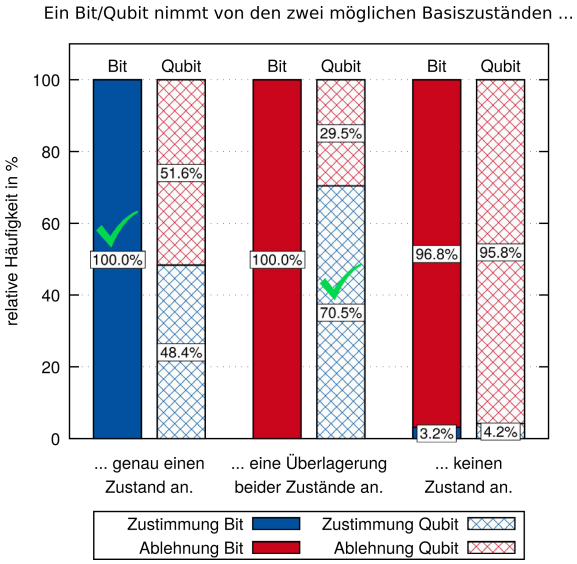



**Abb.2:** Antwortverhalten zu den Zuständen eines Bits/Qubits

Im Hinblick auf das Bit stimmen alle Schülerinnen und Schüler der richtigen Aussage „Ein Bit nimmt von den zwei möglichen Basiszuständen genau einen Zustand an.“ zu und lehnen die Aussage „Ein Bit nimmt von den zwei möglichen Basiszuständen eine Überlagerung beider Zustände an.“ ab. Zudem lehnen die Probandinnen und Probanden fast ausnahmslos (96,8 %) ebenfalls die Aussage „Ein Bit nimmt von den zwei möglichen Basiszuständen keinen Zustand an.“ ab.

Die bisherige Analyse der Audiodaten zeigt, dass einigen Schülerinnen und Schülern Grundlagen aus der klassischen Informationsverarbeitung bekannt sind und sie die Items zu den Zuständen eines Bits korrekt und relativ sicher bearbeiten. Beispielsweise äußern sich die Probandinnen und Probanden wie folgt:

> S1: Ein Bit kann doch nur entweder 0 oder 1 zeigen, oder? S2: Ja, nimmt genau einen Zustand an. S1: […] Kann das auch überhaupt keinen Zustand annehmen? Oder […] nee, eine Überlagerung nicht. S2: Auf jeden Fall nicht, nein. S1: Kann es denn auch überhaupt nichts annehmen? S2: Keinen Zustand? S1: Ich mein, das ist, das ist doch ungefähr so, als wär eine Lampe an oder aus. […] S2: Ja, das ist 0 und 1, also geht eigentlich kein Zustand nicht. […]

Derartige Ansätze sind nicht bei allen Jugendlichen zu erkennen und die Bearbeitung der Items zu den Zuständen eines Bits erfolgt beispielsweise nach dem Ausschlussprinzip oder basiert auf Raten.

Das Qubit betreffend stimmen die meisten Schülerinnen und Schüler (70,5 %) der zutreffenden Aussage „Ein Qubit nimmt von den zwei möglichen Basiszuständen eine Überlagerung beider Zustände an.“ zu. Ein nicht vernachlässigbarer Anteil der Probandinnen und Probanden (48,4 %) stimmt aber auch der Aussage „Ein Qubit nimmt von den zwei möglichen Basiszuständen genau einen Zustand an.“ zu. Bezüglich der Aussage „Ein Qubit nimmt von den zwei möglichen Basiszuständen keinen Zustand an.“ ergibt sich ein vergleichbares Antwortverhalten wie für das Bit und die Aussage wird von der überwiegenden Mehrheit der Jugendlichen (95,8 %) abgelehnt.

Die bisherige Analyse der Audiodaten lässt darauf schließen, dass die Bearbeitung der Items zu den Zuständen eines Qubits in der Regel auf Vermutungen, Raten und dem Ausschlussprinzip basiert. Dabei beziehen sich einige Schülerinnen und Schüler auf das „Andersartige“ eines Qubits oder auch auf Informationen aus verschiedenen Medien:

> S1: Und das hier nimmt immer eine Überlagerung an, glaube ich […] ich habe das mal so in einem Film gesehen […] ich glaube schon, ich weiß es aber nicht genau.

Des Weiteren lassen die Audiodaten erkennen, dass der Begriff des Zwei-Zustandssystems den Probandinnen und Probanden in der Regel nicht geläufig und mit Verständnisschwierigkeiten behaftet ist.

### 2.1.2. **Messung/Messergebnisse**

In einem Informationstext wird dargelegt, dass sowohl in der klassischen Informationsverarbeitung als auch in der Quanteninformationsverarbeitung zur Berechnung von Funktionen Programme verwendet werden. Diese bestehen jeweils aus einer Abfolge logischer Verknüpfungen (auch Gatter), welche im Falle der klassischen Informationsverarbeitung auf einen Basiszustand angewendet werden und im Falle der Quanteninformationsverarbeitung gleichzeitig auf mehrere Basiszustände angewendet werden kön-

nen (Quantenparallelismus). Zur Auslesung der Ergebnisse wird in beiden Fällen eine Messung durchgeführt. Die im Anschluss an den Informationstext zu bearbeitenden Multiple-Choice-Aufgaben mit vorgegebenen Aussagen beziehen sich auf die Anzahl der Messergebnisse in der klassischen Informationsverarbeitung und in der Quanteninformationsverarbeitung. Das Antwortverhalten der Probandinnen und Probanden zu diesen Items zeigt, dass alle Schülerinnen und Schüler der korrekten Aussage „Im Falle der klassischen Informationsverarbeitung erhält man genau ein Ergebnis.“ zustimmen (siehe Abb. 3).

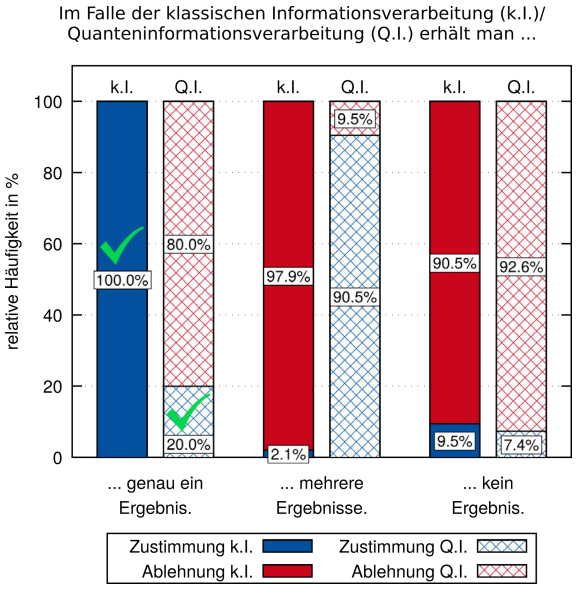



**Abb.3:** Antwortverhalten zur Anzahl der Messergebnisse in der klassischen/Quanten-Informationsverarbeitung

Darüber hinaus werden die Aussagen „Im Falle der klassischen Informationsverarbeitung erhält man mehrere Ergebnisse.“ (97,9 %) und „Im Falle der klassischen Informationsverarbeitung erhält man kein Ergebnis.“ (90,5 %) von den Probandinnen und Probanden größtenteils abgelehnt.

Die bisherige Analyse der Audiodaten zeigt abermals, dass einige Schülerinnen und Schüler die Items zu der Anzahl der Messergebnisse in der klassischen Informationsverarbeitung korrekt und relativ sicher bearbeiten. Dabei äußern sich die Probandinnen und Probanden z.B. wie folgt:

> S1: […] Ja richtig, genau ein Ergebnis […] wenn Du] ein Experiment auswertest, kannst Du nur ein Ergebnis haben.

Darüber hinaus erfolgt die Bearbeitung der Items zu der Anzahl der Messergebnisse in der klassischen Informationsverarbeitung verschiedentlich mittels Raten, Vermutungen oder nach dem Ausschlussprinzip.

Im Hinblick auf die Anzahl der Messergebnisse in der Quanteninformationsverarbeitung wird der zutreffenden Aussage „Im Falle der Quanteninformationsverarbeitung erhält man genau ein Ergebnis.“ nur in geringem Maße zugestimmt (20,0 %). Die deutliche Mehrheit der Jugendlichen stimmt der Aussage „Im Falle der Quanteninformationsverarbeitung erhält man mehrere Ergebnisse.“ zu (90,5 %) und lehnt die Aussage „Im Falle der Quanteninformationsverarbeitung erhält man kein Ergebnis.“ ab (92,6 %).

Die bisherige Analyse der Audiodaten lässt darauf schließen, dass dieses Antwortverhalten vor allem als Schlussfolgerung aus dem Quantenparallelismus resultiert, wie das folgende Zitat exemplarisch zeigt:

> S1 (liest zu Beginn seiner Ausführungen noch mal einen Absatz zur Quanteninformationsverarbeitung vor): „[…] In der Quanteninformationsverarbeitung ist es möglich, ein Programm gleichzeitig auf mehrere [Basiszustände anzuwenden (Quantenparallelismus)]“ So hier, mehrere. Im Fall der Quanteninformationsverarbeitung erhält man mehrere Ereignisse. Ist ja im Prinzip genau das, was da oben steht.

Zudem beruhen die Antworten der Jugendlichen abermals vielfach auf Vermutungen, Raten, dem Ausschlussprinzip oder auf der „Andersartigkeit“ der Quanteninformationsverarbeitung. Die Probandinnen und Probanden äußern sich beispielsweise folgendermaßen:

> S2: Und dadurch, dass die Quanteninformationsverarbeitung besonders ist, können mehrere Ergebnisse … S1: … richtig … S2: … hervorkommen… S1: … und das schließt natürlich die anderen Sachen aus. S2: Genau.

Weiterhin wird in dem Fragebogen auf eine mögliche graphische Darstellung der Messung eines Wertes eines Bits oder Qubits eingegangen. Dazu werden zunächst die folgenden eindimensionalen bzw. zweidimensionalen Darstellungen von Bits und Qubits betrachtet: Eine mögliche graphische Darstellung eines Bits ist ein Pfeil der Länge 1 in einem eindimensionalen Koordinatensystem z.B. mit der z-Achse. Der Basiszustand „0“ wird durch einen Pfeil der Länge 1 vom Koordinatenursprung aus in positiver z-Achsenrichtung dargestellt (siehe Abb. 4). Der Basiszustand „1“ wird durch einen Pfeil der Länge 1 vom Koordinatenursprung aus in negativer z-Achsenrichtung dargestellt.

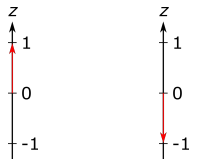



**Abb.4:** Graphische Darstellung der Basiszustände „0“ (links) und „1“ (rechts) eines Bits

Eine mögliche vereinfachte graphische Darstellung eines Qubits ist die eines Bloch-Kreises mit einem Pfeil der Länge 1 in einem zweidimensionalen x-z-Koordinatensystem (siehe Abb. 5): Der Basiszustand

„|0⟩“ wird durch einen Pfeil der Länge 1 vom Koordinatenursprung aus in positiver z-Achsenrichtung dargestellt, der Basiszustand „|1⟩“ wird durch einen Pfeil der Länge 1 vom Koordinatenursprung aus in negativer z-Achsenrichtung dargestellt und ein beliebiges Qubit „$|\psi\rangle$“ wird durch einen Pfeil der Länge 1 vom Koordinatenursprung aus mit beliebiger Orientierung in der x-z-Ebene dargestellt.

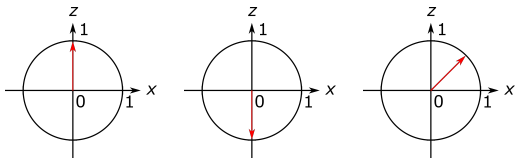



**Abb.5:** Graphische Darstellung der Basiszustände „|0⟩“ (links) und „|1⟩“ (Mitte) eines Qubits sowie einer Überlagerung (rechts)

Der Messprozess wird ebenfalls graphisch veranschaulicht: Die Messapparatur ist als eine Vorrichtung mit einem Schlitz dargestellt, die bezüglich des Koordinatensystems so platziert wird, dass der Schlitz entlang der z-Achse orientiert ist (vgl. [6]). Mithilfe dieser Messvorrichtung wird das Bit bzw. das Qubit in einen Basiszustand mit entsprechendem Wert gezwungen. Damit ist der Messprozess beendet und man kann auf den Wert des Bits oder Qubits nach der Messung in z-Richtung schließen: Befindet sich das Bit bzw. Qubit nach der Messung in dem Basiszustand „0“ bzw. „|0⟩“ entspricht dies dem Messwert 0 (siehe Abb. 6). Befindet sich das Bit bzw. Qubit nach der Messung in dem Basiszustand „1“ bzw. „|1⟩“ entspricht dies dem Messwert 1.

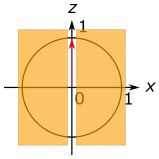



**Abb.6:** Graphische Darstellung des Messergebnisses „|0⟩“

Die im Anschluss an diese Darstellungen zu bearbeitende Zuordnungs-Aufgabe bezieht sich auf das Ergebnis einer Messung an Bits bzw. Qubits in z-Richtung. Dazu sind den Probandinnen und Probanden die in Abbildung 7 graphisch dargestellten Bits und Qubits vorgegeben.

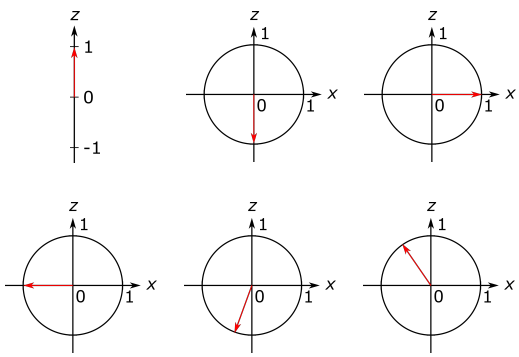



**Abb.7:** Verschiedene Bits bzw. Qubits vor einer Messung

Bezüglich dieser verschiedenen Bits bzw. Qubits sollen die Schülerinnen und Schüler durch eine Zuordnung von vorgegebenen Aussagen (siehe Tab. 1) angeben, in welchem Basiszustand sich das Bit bzw. Qubit nach einer Messung entlang der z-Achse befindet.

| Nr. | Aussage |
|---|---|
| 1 | Mit Sicherheit „0“ bzw. „|0⟩“. |
| 2 | Mit Sicherheit „1“ bzw. „|1⟩“. |
| 3 | Mit größerer Wahrscheinlichkeit „0“ bzw. „|0⟩“. |
| 4 | Mit größerer Wahrscheinlichkeit „1“ bzw. „|1⟩“. |
| 5 | Gleichwahrscheinlich „0“ bzw. „|0⟩“ oder „1“ bzw. „|1⟩“. |
| 6 | Keine der Aussagen 1–5 trifft zu. |

**Tab.1:** Aussagen möglicher Ergebnisse einer Messung in z-Richtung

Das Ergebnis lässt erkennen, dass durch die Jugendlichen in allen Fällen größtenteils eine richtige Zuordnung von Aussagen über das Messergebnis entlang der z-Achse erfolgt (siehe Abb. 8).

Die bisherige Analyse der Audiodaten zeigt, dass die Schülerinnen und Schüler auf der Grundlage des Informationstextes und der graphischen Veranschaulichung teilweise intuitiv richtig vorgehen und zu zutreffenden Schlussfolgerungen kommen. Bei einem Großteil der Probandinnen und Probanden lassen die Äußerungen jedoch darauf schließen, dass ihre Zuordnungen der Aussagen zu möglichen Ergebnissen einer Messung an Bits bzw. Qubits in z-Richtung insbesondere auf Vermutungen und Raten basiert.

Im Anschluss an diese Zuordnungs-Aufgabe stimmen die Schülerinnen und Schüler mehrheitlich der korrekten Aussage 1 „Erhält man bei einer Messung des Wertes eines Bits in z-Richtung den Wert 0, dann hat sich das Bit unmittelbar vor der Messung mit Sicherheit im Basiszustand „0“ befunden.“ zu (76,8 %) und lehnen die nicht zutreffende Aussage 2 „Erhält man bei einer Messung des Wertes eines Qubits in z-Richtung den Wert 0, dann hat sich das Qubit unmittelbar vor der Messung mit Sicherheit im Basiszustand „|0⟩“ befunden.“ ab (80,0 %) (siehe Abb. 9).

Die bisherige Analyse der Audiodaten lässt darauf schließen, dass das Antwortverhalten überwiegend auf Raten und Vermutungen beruht, wie das folgende Zitat beispielhaft verdeutlicht:

> S2: Ich würde sagen falsch, aber ich habe keine Ahnung warum.

Nur selten ist in den Gesprächen der Jugendlichen ein Bezug zu der Zuordnungs-Aufgabe wie z.B. der folgende im Zusammenhang mit der Aussage 2 feststellbar:

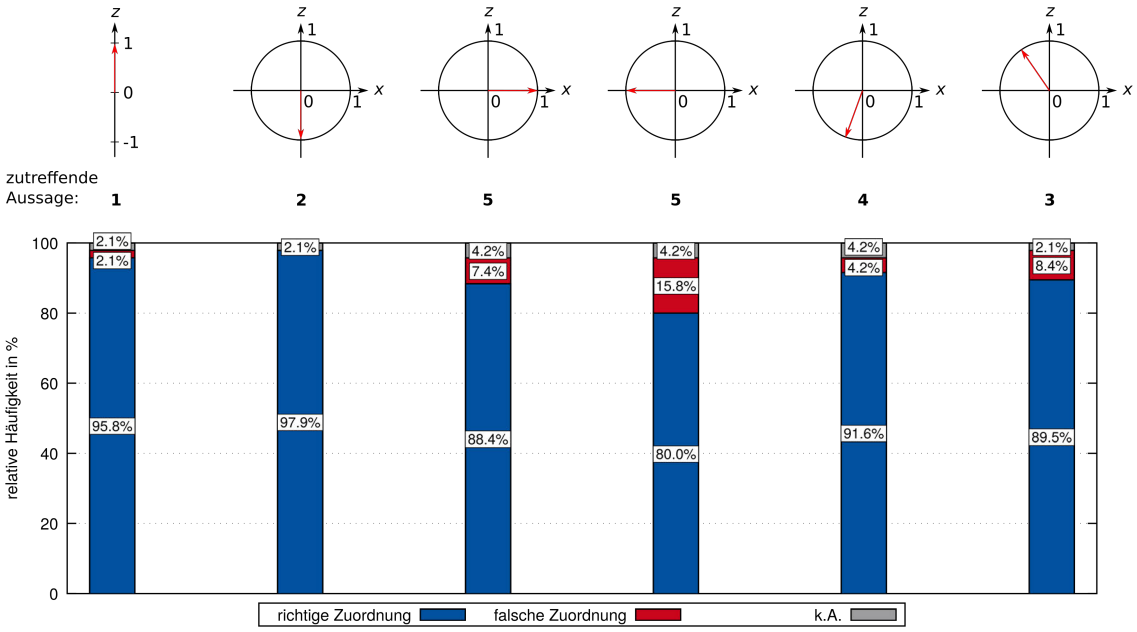



**Abb. 8:** Antwortverhalten für die Zuordnungs-Aufgabe zu den Ergebnissen einer Messung in z-Richtung

S2: Und was ist hier? S1: Ich glaub das ist falsch. Weil das ist ja bei den Kreisen. S2: Hmhm. S1: Und wenn das Null ist, das muss ja nicht mit Sicherheit Null sein, oder? S2: Ok. S1: Also das wird ja am Ende auf Eins gedrängt und wenn das am Ende Null ist, dann kann das ja davor auch nicht Null gewesen sein, sondern irgendwie so ein anderer.

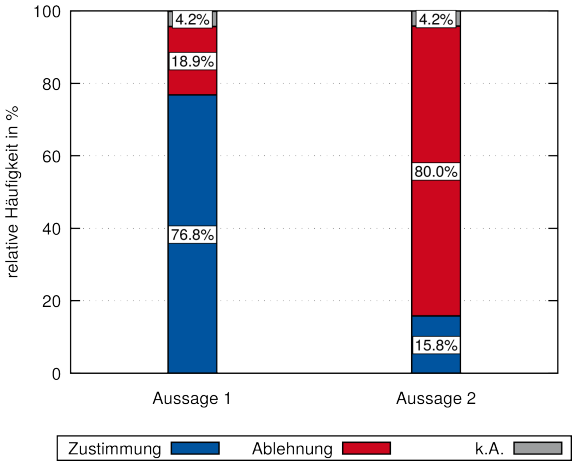



**Abb.9:** Antwortverhalten zum Rückschluss vom Messergebnis auf den Zustand des Bits/Qubits vor der Messung

## 3. Fazit

Erste Ergebnisse einer modifizierten Fragebogenstudie zur Erhebung von Vorstellungen von Schülerinnen und Schülern zu grundlegenden Konzepten der klassischen Informationsverarbeitung und der Quanteninformationsverarbeitung zeigen, dass einigen Probandinnen und Probanden Grundlagen aus der klassischen Informationsverarbeitung bekannt sind und teilweise bei den Jugendlichen anschlussfähige Konzepte vorhanden sind. Bezüglich der Quanteninformationsverarbeitung hingegen deutet die bisherige Analyse der audiovisuellen Daten insgesamt darauf hin, dass (naturgemäß) keine fundierten Konzepte bei den Schülerinnen und Schülern existieren. Eine weitere wichtige Erkenntnis im Zusammenhang mit der Entwicklung und Evaluation von Lehr- und Lernmaterialien zur Quanteninformationsverarbeitung liefert das Resultat, dass nach einer kurzen Einführung in Begrifflichkeiten wie z.B. das Zwei-Zustandssystem und die graphische Darstellung von Bits bzw. Qubits sowie den Messprozess ein teilweise richtiges und teilweise problematisches (intuitives) Antwortverhalten festzustellen ist. Darüber hinaus zeigen die weiteren Ergebnisse der Befragungen u.a., dass sich die Schülerinnen und Schüler für das Thema Quantencomputer interessieren.

## 4. Literatur

[1] Schecker, Horst; Fischer, Hans E.; Wiesner, Hartmut (2004): Physikunterricht in der gymnasialen Oberstufe. In H.-E. Tenorth (Hrsg.), Kerncurriculum Oberstufe II (S. 148 - 234). Weinheim und Basel: Beltz Pädagogik

[2] Press Dossier – Quantum Flagship Kick-off Event, Vienna, October 29-30, 2018. Url: https://qt.eu//app/uploads/2018/11/Press_Dossier_FINAL_EMBARGOED.pdf (Stand: 6/2019)

[3] Heering, Peter (2011): Bildungswert und Bildungsziele. In H. Wiesner, H. Schecker & M. Hopf (Hrsg.), Physikdidaktik kompakt (S. 16 - 20). Hallbergmoos: Aulis Verlag in der STARK Verlagsgesellschaft mbH & Co. KG.

[4] Bronner, Patrick (2010): Quantenoptische Experimente als Grundlage eines Curriculums zur Quantenphysik des Photons. Berlin: Logos.

[5] Dür, Wolfgang (2009): Quanteninformation – Ein Thema für den Schulunterricht. In: Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule, 58 (6), S. 12 - 21.
[6] Dür, Wolfgang; Heusler, Stefan (2012): Was man vom einzelnen Qubit über Quantenphysik lernen kann. In: PhyDid A - Physik und Didaktik in Schule und Hochschule, 11 (1), S. 1 - 16. Url: http://www.phydid.de/index.php/phydid/article/view/311 (Stand: 6/2019)
[7] Dür, Wolfgang; Heusler, Stefan (2014): Was man von zwei Qubits über Quantenphysik lernen kann: Verschränkung und Quantenkorrelationen. In: PhyDid A - Physik und Didaktik in Schule und Hochschule, 13 (1), S. 11 - 34. Url: http://www.phydid.de/index.php/phydid/article/view/484 (Stand: 6/2019)
[8] Kohnle, Antje (2016): Interaktive Simulationen für Quantenphysik und Quanteninformation. In: Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule, 65 (1), S. 17 - 22.
[9] Pospiech, Gesche (2004): Moderne Quantenphysik im Unterricht – Ein Lehrgang. Berlin: Logos.
[10] Pospiech, Gesche; Schorn, Bernadette (2016): Der Quantencomputer in der Schule. In: Praxis der Naturwissenschaften - Physik in der Schule, 65 (1), S. 5 - 10.
[11] Reisch, Cordula (2015): Quantenkryptographie als Thema für den Physikunterricht. Masterarbeit TU Braunschweig.
[12] Müller, Rainer (2016): Quanteninformation – ein neues Paradigma für den Quantenphysik-Unterricht?. In: Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule, 65 (1), S. 4.
[13] Schorn, Bernadette (2014): Quantenphysik in der Schule. Eine Unterrichtskonzeption zur Einführung in die Quantenphysik für die 10. Jahrgangsstufe, Dissertation, Technische Universität Dresden, 2014.
[14] Bayer, Hans-Jürgen (1985): Schülervorstellungen über das Atom in der Sek. II. In H. Mikelskis (Hrsg.), Zur Didaktik der Physik und Chemie - Tagung 1984 (S. 265 - 267).
[15] Bethge, Thomas; Niedderer, Hans (1995): Students' conceptions in quantum physics. Url: http://www.idn.uni-bremen.de/pubs/Niedderer/1995-AJP-TBHN.pdf (Stand: 6/2019)
[16] Bormann, Malte (1988): Das Schülervorverständnis zum Themenbereich „Modellvorstellungen zu Licht und Elektronen“. In W. Kuhn (Hrsg.), Didaktik der Physik. Vorträge Physikertagung 1987 in Berlin (S. 475 - 481).
[17] Ireson, Gren (2000): The quantum understanding of pre-university physics students. In: Physics Education, 35 (1), S. 15 - 21.
[18] Lichtfeldt, Michael (1992): Schülervorstellungen in der Quantenphysik und ihre möglichen Veränderungen durch Unterricht. Essen: Westarp.
[19] Stefanel, Alberto; Michelini, Marisa; Santi, Lorenzo (2012): Upper Secondary School Students learning pathways through quantum concepts. In C. Bruguière, A. Tiberghien & P. Clément (Hrsg.), E-Book Proceedings of the ESERA 2011 Conference: Science learning and Citizenship. Part [1] (R. Pinto & K. Niebert (Mithrsg.) (S. 110 - 116). Lyon, France: European Science Education Research Association. ISBN: 978-9963-700-44-8.
[20] Olsen, Rolf V. (2002): Introducing quantum mechanics in the upper secondary school: a study in Norway. In: International Journal of Science Education, 24 (6), S. 565 - 574.
[21] Müller, Rainer; Wiesner, Hartmut (2002): Teaching quantum mechanics on an introductory level. In: AJPh, 70 (3), S. 200 - 209.
[22] Wiesner, Hartmut (1989): Beiträge zur Didaktik des Unterrichts über Quantenphysik in der Oberstufe. Essen: Westarp.
[23] Wiesner, Hartmut (1996): Verständnisse von Leistungskursschülern über Quantenphysik. Ergebnisse mündlicher Befragungen. In: Physik in der Schule, 34 (3), S. 95 - 99.
[24] Wiesner, Hartmut (1996): Verständnisse von Leistungskursschülern über Quantenphysik (2). Ergebnisse mündlicher Befragungen. In: Physik in der Schule, 34 (4), S. 136 - 140.
[25] Kattmann, Ulrich; Duit, Reinders; Gropengießer, Harald; Komorek, Michael (1997): Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion - Ein Rahmen für naturwissenschaftsdidaktische Forschung und Entwicklung. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften (ZfdN) 3, S. 3 - 18.
[26] Schorn, Bernadette; Baja (geb. Fraß), Stephan; Büsch, Leonard; Heinke, Heidrun (2019): Einsatz von Smartpens in fachdidaktischer Forschung und Entwicklung. 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. 412 - 415). Universität Regensburg.

# Entwicklung und Evaluation eines zweistufigen Testinstruments für Schülervorstellungen zur Anfangsoptik

**Albert Teichrew*, Roger Erb***

*Institut für Didaktik der Physik, Goethe-Universität Frankfurt am Main
teichrew@physik.uni-frankfurt.de

**Kurzfassung**

Die Kenntnis von alternativen Vorstellungen bei Schülerinnen und Schülern ist eine Voraussetzung für die Entwicklung von Lernumgebungen zur Förderung physikalisch gültiger Konzepte. Die erste Begegnung mit der Physik stellt häufig die Optik dar, weshalb hier eine frühzeitige Etablierung von anschlussfähigen Denkmodellen für die weitere Beschäftigung mit der Physik ausschlaggebend sein kann. Um gedankliche Strukturen aufzudecken, sind offene Erhebungsmethoden wie Interviews oder Concept Maps zielführend. Um die Wirksamkeit von Lernumgebungen zu evaluieren, werden jedoch verfahrensökonomischere Methoden benötigt. Allerdings ist die Aussagekraft von Multiple-Choice Tests bezüglich der Vorstellungen, auf denen eine Auswahl basiert, oft eingeschränkt. Einen Lösungsansatz stellen zweistufige Testverfahren dar, die mithilfe bereits bekannter Schülervorstellungen entwickelt werden. Als Indikator einer bestimmten Vorstellung wird dabei die übereinstimmende Kombination aus Vorhersage und Begründung einer dargestellten Ausgangssituation gesehen. Der Beitrag behandelt das Testverfahren sowie die Testentwicklung und präsentiert Ergebnisse aus Erhebungen und Itemanalysen.

## 1. Hintergrund

Schülerinnen und Schüler greifen beim Erlernen neuer Inhalte oder beim Lösen von Aufgaben häufig auf Vorstellungen zurück, die sie vor dem Unterricht zu einem bestimmten Sachverhalt erworben haben. Diese sich im Alltag als fruchtbar erwiesenen Vorerfahrungen oder auch unterrichtsinduzierte Ansichten zu naturwissenschaftlichen Phänomenen, Begriffen und Prinzipien werden unter dem Begriff „Schülervorstellungen“ seit der Mitte der 70er Jahre intensiv untersucht [1]. Obwohl sie sich selten mit den geförderten Konzepten überschneiden und zu Lernschwierigkeiten führen können, birgt ihre Kenntnis Verbesserungspotential für den Unterricht.

Im Rahmen eines Promotionsvorhabens zu physikalischer Modellbildung mithilfe Dynamischer Geometrie-Software wird ein Schülerlabor etabliert, das mit dynamischen Modellen [2] und Experimenten physikalisch gültige Konzepte der Anfangsoptik bei Schülerinnen und Schülern der Klassenstufe 7 fördert. Der im Folgenden vorgestellte Test wurde mit dem Ziel entwickelt, die in der Zielgruppe am weitesten verbreiteten Schülervorstellungen als Lernvoraussetzungen zu erheben, die Ergebnisse bei der Entwicklung des Schülerlabors zu berücksichtigen und die Wirksamkeit des Schülerlabors zu messen.

Das Vorgehen basiert auf dem konstruktivistischen Modell der Didaktischen Rekonstruktion, das drei wechselwirkende Teilaufgaben beinhaltet: Fachliche Klärung, Erfassung der Perspektive der Lernenden und didaktische Strukturierung [3]. Lernen wird darin als aktive Modifizierung oder Rekonstruktion vorunterrichtlicher Vorstellungen oder erworbener Konzepte angesehen. Wissenschaftliche Perspektiven und Schülervorstellungen werden als persönliche Konstrukte der jeweiligen Personengruppen gleichwertig behandelt. Während der didaktischen Strukturierung können aus dem Vergleich der Ansichten Leitlinien für den Unterricht entwickelt werden, die Korrespondenzen zwischen dem Fachwissen und individuellen Lernbedingungen beinhalten [4]. Die Kenntnis der Perspektiven der Lernenden wird somit als Voraussetzung für die Entwicklung von effektiven Lernumgebungen angesehen, was eine zeitnahe Erhebung der Schülervorstellungen innerhalb der Zielgruppe erforderlich macht.

Für die Untersuchung von Schülervorstellungen gibt es verschiedene Erhebungsmethoden, die je nach Forschungslage zum Einsatz kommen können. Diskursiv-dialogische Interviews ermöglichen durch offene Fragen mit zunehmend gezielteren Nachfragen das Erfassen subjektiver Sinnbezüge, Sicht-, und Handlungsweisen [5]. Ebenso können Concept Maps als Diagnoseinstrument von Schülervorstellungen verwendet werden [6]. Diese Methode erlaubt es zum Beispiel bei Vorgabe bestimmter Begriffe, anhand ihrer spezifischen Anordnung und Verbindung durch die Lernenden, auf vorliegende Sinnzusammenhänge zu schließen. Mithilfe von diesen und anderen qualitativen Forschungsmethoden, die oft mit Bildmaterial oder Experimenten unterstützt werden, lassen sich alternative Schülervorstellungen zu einem neuen Themengebiet anhand einer kleinen Fallzahl erfassen (z. B. [7]). Repräsentative Ergeb-

nisse bezüglich der Ausprägung einzelner Vorstellungen oder ihrer Entwicklung lassen sich damit dagegen nicht ohne großen Aufwand bewerkstelligen. Die anhand von Einzelgesprächen erforschten Vorstellungen bieten jedoch eine sichere Grundlage für die Erstellung von standardisierten, verfahrensökonomischen Verfahren zur Erhebung von Schülervorstellungen. Dazu zählen Multiple-Choice Tests, die in kurzer Zeit Vorstellungen bezüglich verschiedener Inhalte erfassen können. Allerdings besteht selbst bei authentischen Distraktoren, die anhand von Schülerantworten formuliert wurden, die Wahrscheinlichkeit eine richtige Antwort anzukreuzen, ohne das entsprechende Konzept zu besitzen [8]. 1986 machte Treagust den Vorschlag, durch zweistufige Multiple-Choice Items mit dieser Unsicherheit umzugehen [9]. In diesen Tests werden Schülerinnen und Schüler zunächst aufgefordert, eine inhaltliche Frage zu beantworten (Stufe 1) und im nächsten Schritt ihre Antwort zu begründen (Stufe 2). Zur Auswahl stehen dabei Aussagen, die mit wissenschaftlichen Konzepten oder alternativen Vorstellungen im Einklang stehen. Erst mit der passenden Begründung wird dabei ein Item auch als richtig oder falsch gewertet. Im Folgenden wird neben der Entwicklung und Gestaltung des vorgestellten Testinstruments auch die Erhebungs- und Auswertemethode näher beleuchtet.

## 2. Testentwicklung

Die Erforschung von Schülervorstellungen zur Optik hat eine Vielzahl an Ergebnissen hervorgebracht, die regelmäßig durch aktuelle Studien erweitert werden (z. B. zu weißem Licht und Farben [10]). Angehende Lehrkräfte können somit auf strukturierte Zusammenstellungen verbreiteter Ansichten bezüglich elementarer physikalischer Konzepte zurückgreifen [11].

Die Entwicklung des zweistufigen Testinstruments für Schülervorstellungen zur Anfangsoptik ($TIA_2$) verlief deshalb in den folgenden vier Phasen:

- Zusammenstellung elementarer physikalischer Konzepte sowie bekannter Schülervorstellungen zur Anfangsoptik
- Auswahl von Situationen mit je nach Vorstellung alternativen Antwortmöglichkeiten
- Gestaltung von Abbildungen sowie Formulierung von Fragestellungen, alternativen Antworten und vorstellungsbezogenen Begründungen
- Neugestaltung der Abbildungen sowie Anpassung der Formulierungen nach Expertenbefragung und Itemanalysen während der Pilotierung

In der ersten Phase wurde eine literaturbasierte Vorauswahl an Konzepten und Vorstellungen getroffen, die unter dem Oberbegriff Anfangsoptik zusammengefasst werden können und noch stark an Alltagserfahrungen anknüpfen (s. Tab. 1). Die Konzepte zu Abbildungsvorgängen mit Linsen oder zur Lichtbrechung wurden nicht einbezogen und können mit fachorientierten Tests erhoben werden (z. B. der einstufige Rasch-skalierte Multiple-Choice Fachwissenstest zur geometrischen Optik [12]).

Bei der Auswahl und Anordnung der Objekte zur Gestaltung der Situationen wurden in der zweiten Phase Ansätze aus einer Reihe von bereits konzipierten Tests in Betracht gezogen [13]–[15]. Die Autoren dieser Tests folgen jedoch unterschiedlichen Gestaltungsmustern und Formulierungsrichtlinien. Mitunter wurden ähnliche Situationen verwendet, die entweder durch offene Fragen, ein- oder zweistufige Multiple-Choice Fragen sowie durch Konstruktion verschiedener Strahlengänge eine Diagnose von Schülervorstellungen ermöglichen.

Um eine Standardisierung zu gewährleisten, wurden in der dritten Phase eigene Abbildungen nach einheitlichen Vorgaben gestaltet und mit demselben zweistufigen Testformat ausgestattet. Die 16 im Test verwendeten Abbildungen samt zugehörigen Formulierungen weichen deshalb im Endergebnis von den zur Testentwicklung einbezogenen Vorbildern ab. Die Hälfte der Items entstand in Eigenentwicklung.

Eine erste Version wurde in der vierten Phase von vier Experten kritisch begutachtet. Die eingebundenen Didaktiker verfügen über Expertenwissen zur Optik, zu Schülervorstellungen und Testkonstruktion. Sowohl inhaltliche als auch methodische Schwierigkeiten konnten dank der Expertenbefragung aufgedeckt werden. Nach der ersten Überarbeitung der Abbildungen und Formulierungen wurde der Test in einer 8. Klasse und mit Studierenden des Lehramts im ersten Fachsemester pilotiert. Als Ergebnis konnten zwei Items mit überdurchschnittlich hohen Anteilen ohne inhaltliche Deckung der Antwort mit der Begründung ermittelt und umgestaltet werden. Die dritte und finale Version wurde schließlich für eine Erhebung der Schülervorstellungen in verschiedenen Lerngruppen eingesetzt und die Ergebnisse zur Evaluation des Tests genutzt.

## 3. Testgestaltung

Bei der Entwicklung des $TIA_2$ wurde der Versuch unternommen, den Testcharakter der Aktivität einzudämmen. Im Vordergrund spielt sich deshalb eine Geschichte von zwei Protagonisten ab, die in verschiedenen Situationen mit optischen Phänomenen konfrontiert sind. Die zweistufigen Items folgen einem einheitlichen Gestaltungmuster. Jede Seite des Testheftes enthält folgende Elemente (s. Abb. 1):

- Eine **Fortschrittsanzeige** macht transparent, an welcher Stelle der Bearbeitung man sich befindet.
- Ein **Prozesshinweis** soll die Motivation der Testpersonen aufrechterhalten.
- Eine **Beschreibung der Situation** liefert mit wenigen und kurzen Sätzen relevante Informationen über die Lichtverhältnisse, Personen sowie Anordnungen der Objekte im Raum.

| | Inhaltsbereich | Physikalisches Konzept | Alternative Vorstellung |
|---|---|---|---|
| Licht | Ausbreitung (ohne Wechselwirkung) | Kontinuierlich, unendlich, ungerichtet | Unverzüglich, endlich, gerichtet |
| | | Unabhängig von den Lichtverhältnissen | Abhängig von den Lichtverhältnissen |
| | Wechselwirkung und Erscheinungsform | Streuung und Reflexion | Licht auf dem Objekt oder auf der Quelle |
| | | Absorption und Emission | Alles-oder-Nichts-Prinzip |
| | | Primäre und sekundäre Lichtquellen | Licht nur aus selbstleuchtenden Objekten |
| | Sehvorgang | Lichtweg Quelle-Objekt-Empfänger | Licht auf dem Objekt oder als Lichtbad im Raum |
| | | Passives Empfangen | Aktives Abtasten |
| | | Licht als Notwendigkeit | Anpassung an die Dunkelheit |
| | Schatten | Fehlendes Licht | Graufärbung |
| | | Schattenbild als Projektion | Schattenbild entspricht der Körperform |
| | | Dreidimensionaler Schattenraum | Zweidimensionale Schattenfläche |
| | Spiegel | Lichtweg Objekt-Spiegel-Empfänger | Aktives Erfassen der Objekte durch den Spiegel |
| | | Spiegelbild hinter dem Spiegel | Spiegelbild auf dem Spiegel |
| | | Ort des Spiegelbildes abhängig vom Ort des Objekts | Ort des Spiegelbildes abhängig vom Ort des Beobachters |
| | | Vorne-Hinten-Umkehrung | Rechts-Links-Umkehrung |
| | Farben | Lichtfarbe als Spektralfarbe oder ihre Zusammensetzung | Farbloses Licht oder Farbmischung von Lichtfarben entspricht Farbmischung von Körperfarben |
| | | Ausfiltern bestimmter Farben (Absorption und Emission) | Ganzheitliches Einfärben des Lichts oder des Objekts (Alles-oder-Nichts-Prinzip) |
| | | Abhängigkeit des Farbreizes von der Körperfarbe und der Lichtfarbe | Lichtfarbe überwiegt Körperfarbe |

**Tab.1:** Inhaltliche Übersicht der im Test vorkommenden Konzepte und Vorstellungen der Anfangsoptik.

- Eine schematische **Abbildung der Situation** illustriert die beschriebene Szene.
- Eine **Fragestellung** fordert zur Abgabe einer Vorhersage auf.
- Drei möglichst erschöpfende **Antwortmöglichkeiten** garantieren eine ungezwungene Meinungsäußerung.
- Eine Frage nach der „besten“ **Begründung der Antwort** deutet auf einen Spielraum in den Formulierungen an.
- Vier **Begründungsmöglichkeiten** stellen eine Auswahl an etwa gleich langen Aussagen dar, die in einer ähnlich einfachen Sprache formuliert sind.

Die Abbildungen sollen Vorstellungen anregen und enthalten deswegen keine Modellelemente wie Lichtstrahlen oder optische Erscheinungen wie Schatten- und Spiegelbilder. Bei ihrer Gestaltung wurde zwischen *tagsüber* (Objekte mit schwarzen Konturen auf weißem Hintergrund) und *nachts* (Objekte mit weißen Konturen auf schwarzen Hintergrund) unterschieden. Letzteres deutet auf wenig bis gar kein Licht im Raum, während sonst eine in diffuses Licht gehüllte Situation ohne klare Schattengrenzen vorliegt. Zusätzliche Punktlichtquellen werden als *Lampen* bezeichnet und Lichtbündel werden durch *Taschenlampen* erzeugt. Als Streuobjekte oder Hindernisse werden *Tische, Eimer* oder *Kartons* eingesetzt. Als Empfänger dienen entweder die Augen der Protagonisten oder es wird von vorläufigen Empfängern ausgegangen, wie dem *Boden* oder der *Wand*. *Spiegel* werden als beschriftete Rahmen angedeutet und Bewegungsrichtungen mit Pfeilen angegeben.

Im Unterricht aufkommende Fachbegriffe wie *reflektieren*, *strahlen* oder *streuen* werden bewusst vermieden. Eine Aussage entspricht dabei einer physikalisch vertretbaren Auffassung und drei weitere können auf verbreitete alternative Schülervorstellungen zurückgeführt werden (s. Tab. 1).

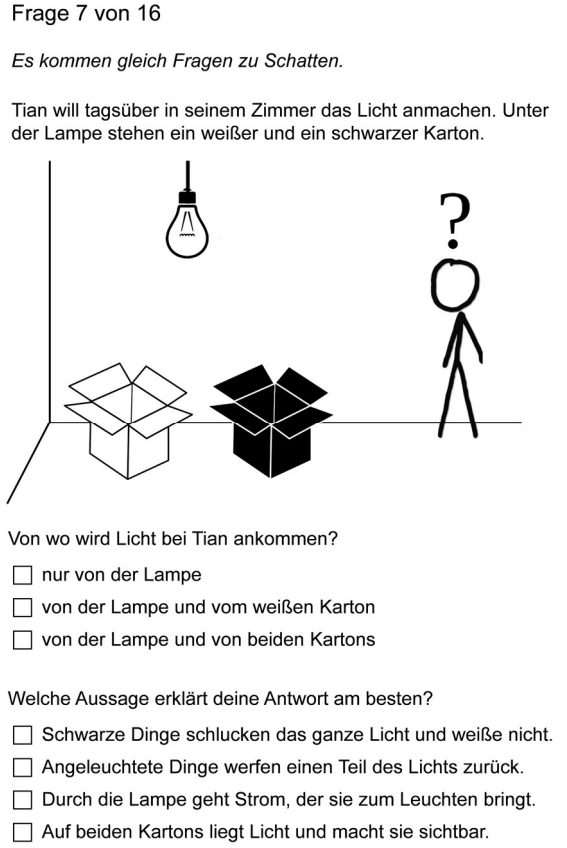



**Abb. 1:** Item zu primären und sekundären Lichtquellen.

## 4. Testmethode

Zur Erhebung der Schülervorstellungen im angewandten Testverfahren werden folgende Schritte durchlaufen:

- Wahrnehmung der Situation durch die Testperson anhand einer Beschreibung und der zugehörigen Abbildung
- Von der Wahrnehmung geprägte Antwort zur Lösung der Situation (Stufe 1)
- Auswahl einer physikalischen oder alternativen Begründung für die Antwort (Stufe 2)
- Überprüfung der Art der Antwort und der Begründung sowie ihrer inhaltlichen Deckung

Die Feststellung bei einer Testperson entweder eines physikalischen Konzepts oder einer alternativen Vorstellung erfolgt ausschließlich bei inhaltlicher Deckung der Antwort mit der Begründung. Das Ankreuzverhalten aus der ersten und zweiten Stufe wird damit in Kombination betrachtet und nicht gesondert ausgewertet.

Während der Auswertung wurden deshalb für jedes zweistufige Item folgende Ausgänge kodiert: Die Testperson wählt eine …

A) … physikalische Begründung, die sich mit der Antwort deckt.

B) … physikalische Begründung, die sich **nicht** mit der Antwort deckt.

C) … alternative Begründung, die sich mit der Antwort deckt.

D) … alternative Begründung, die sich **nicht** mit der Antwort deckt.

Die Art der Begründung steht bei der gewählten Kodierung im Vordergrund, da die Antwort auf die Frage zunächst davon abhängt, wie die dargestellte Situation wahrgenommen und verstanden wurde. Dagegen ist die Begründung in der Regel allgemein formuliert und leitet sich von physikalischen Konzepten oder verbreiteten alternativen Vorstellungen ab. Das Vorhandensein der jeweiligen Vorstellung wird allerdings erst durch die Entscheidung für die entsprechende Antwort bestätigt.

Diese Form der Auswertung stellt einen hohen Anspruch an die Konstruktion der Items dar, da nur folgerichtige Kreuze eine Vorstellungseinschätzung liefern (A&C). Als Alternative könnten richtige Antworten und Begründungen jeweils mit Punkten bewertet und summiert werden. Die Bewertung könnte dabei gleich oder unterschiedlich gewichtet sein, was das Endergebnis allerdings von der Wahl der Gewichtungsfaktoren abhängig machen würde.

## 5. Ergebnisse der Hauptzielgruppe

Als Hauptzielgruppe für den $TIA_2$ wird die Klassenstufe 7 betrachtet. Die mit dem Test erhobenen Schülervorstellungen betreffen Inhalte, die üblicherweise in dieser Klassenstufe, am Anfang des Physikunterrichts behandelt werden. Nichtsdestotrotz macht die Schülervorstellungsforschung deutlich, dass Schülerinnen und Schüler auch nach dem regulären Unterricht in Interviews oder Tests überwiegend mit alternativen Schülervorstellungen und nicht mit physikalischen Konzepten argumentieren. Die entworfene Intervention in Form eines Schülerlabors, dessen Wirksamkeit gemessen werden soll, setzt bei diesem Zustand an. Zur Bildung einer Normstichprobe wurde der Test deshalb in sieben Lerngruppen der Klassenstufe 7 im Anschluss an eine erste Unterrichtseinheit zur Optik eingesetzt (N = 165). Es nahmen fünf Gymnasialklassen und eine Realschulklasse einer Schule aus dem hessischen Hochtaunuskreis und eine Lerngruppe des Goethe-Schülerlabors aus einem Frankfurter Gymnasium teil.

Der Anteil gültiger Angaben, bei denen sowohl Antwort als auch Begründung genau einmal angekreuzt wurden, liegt bei 94%. Das heißt die Testpersonen hielten sich nicht immer an die Vorgabe, jeweils nur ein Kreuz pro Auswahlmöglichkeit zu setzen, oder haben teilweise keine Angaben gemacht. Bei den gültigen Angaben liegt die relative Häufigkeit ohne inhaltliche Deckung bei 11% (s. Tab. 2). In solchen Fällen lässt sich keine Vorstellung bezüglich eines Sachverhalts zuordnen. Das lässt sich sowohl auf Verständnisschwierigkeiten als auch auf Flüchtigkeitsfehler zurückführen.

| Klassenstufe 7 (N = 165) | A | B | C | D |
|---|---|---|---|---|
| M | 4.72 | .51 | 8.58 | 1.21 |
| SD | 1.98 | .76 | 2.25 | 1.36 |
| H | 778 | 84 | 1415 | 199 |
| h | 31% | 3% | 57% | 8% |

**Tab.2:** Mittelwert (M), Standardabweichung (SD), absolute (H) und relative Häufigkeit (h) der Ausgänge gültiger Angaben in der Klassenstufe 7.

Das Testergebnis der Stichprobe, bezogen auf diagnostizierte physikalische Konzepte (A), ist erwartungsgemäß niedrig. Die Spannweite physikalisch richtig gelöster Items erstreckt sich von 0 bis 10 bei einem möglichen Maximum von 16 (s. Abb. 2). Der erhobene Anteil alternativer Vorstellungen (C) fällt entsprechend höher aus.

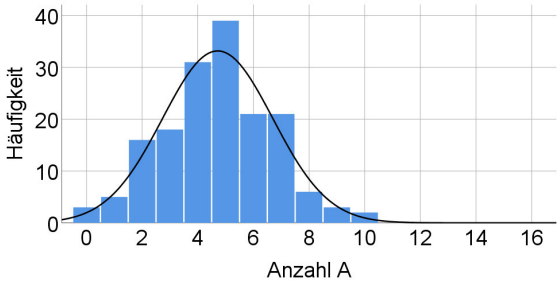



**Abb.2:** Häufigkeitsverteilung des Ausgangs A.

Es nahmen 82 Schülerinnen und 78 Schüler an dieser Erhebung teil, fünf Testpersonen machten zum Geschlecht keine Angabe (s. Tab. 3). Die Häufigkeit physikalisch gültiger Konzepte fällt bei den männli-

chen Testpersonen höher aus als bei den weiblichen (s. Abb. 3). Der Unterschied weist jedoch in dieser Stichprobe keine statistische Signifikanz auf, $t(158) = 1.022$, $p = .309$.

| Geschlecht (N = 160) | | A | B | C | D |
|---|---|---|---|---|---|
| weiblich (n = 82) | M | 4.63 | .41 | 9.12 | 1.05 |
| | SD | 1.80 | .68 | 1.95 | 1.28 |
| | H | 380 | 34 | 748 | 86 |
| | h | 30% | 3% | 60% | 7% |
| männlich (n = 78) | M | 4.95 | .58 | 7.90 | 1.35 |
| | SD | 2.09 | .78 | 2.39 | 1.44 |
| | H | 386 | 45 | 616 | 105 |
| | h | 34% | 4% | 53% | 9% |

**Tab.3:** Ergebnisübersicht nach Geschlecht.

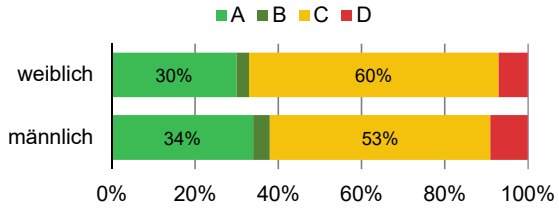



**Abb.3:** Relative Häufigkeiten der Ausgänge nach Geschlecht.

Allerdings ist die Häufigkeit alternativer Vorstellungen bei den weiblichen Testpersonen signifikant höher als bei den männlichen, $t(158) = -3.558$, $p < .001$, $d = -.57$. Gleichzeitig ist die inhaltliche Deckung der Antworten mit der Begründung bei weiblichen Testpersonen (A&C, Median = 14) höher als bei den männlichen (Median = 13), Mann-Whitney-U-Test: $U = 2555$, $p = .026$, $r = .18$.[i] Die Ergebnisse deuten darauf, dass Schülerinnen den zweistufigen Test zwar konzentrierter bearbeiten, aber dadurch offenbaren sich eher alternative Vorstellungen als physikalische Konzepte.

Die mit dem Test angesprochenen Vorstellungen und Konzepte lassen sich den vier Inhaltsbereichen Licht, Schatten, Spiegel und Farben zuordnen (s. Tab. 1). Anhand des Diagramms in Abbildung 4 lässt sich erkennen, dass die Items zu Schatten häufiger aus physikalischer Sicht richtig gelöst werden als zu Licht oder Spiegel. Die zwei Items zu Farben zeigen die niedrigste Lösungswahrscheinlichkeit, da das Thema im Anfangsunterricht der Optik selten behandelt wird und in diesem Bereich alternative Schülervorstellungen am weitesten verbreitet sind.

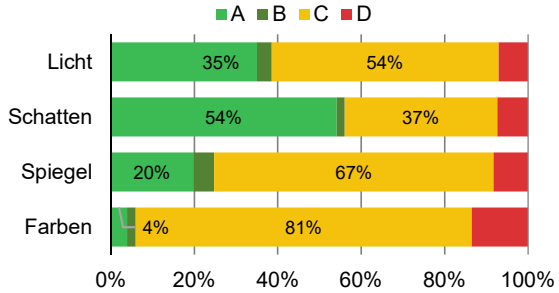



**Abb.4:** Relative Häufigkeiten der Ausgänge nach Inhalt.

Entsprechend zeigt lediglich eine Subskala aus sechs Items zu Licht eine akzeptable interne Konsistenz mit Cronbachs Alpha = .69 und guten Trennschärfen zwischen .35 und .50 (Auswertung von n = 245 gültigen Fällen aus der Gesamtstichprobe N = 279). Die restlichen Items sprechen insgesamt betrachtet, und auch innerhalb eines Inhaltsbereichs, sehr unterschiedliche Vorstellungen und Konzepte an, sodass man testtheoretisch nicht mehr von der Messung von genau einem latenten Konstrukt ausgehen kann. Im Folgenden werden deshalb Ergebnisse bezüglich bestimmter Schülervorstellungen innerhalb der Inhaltsbereiche berichtet (s. Tab. 4). In der Auswahl befinden sich pro Inhaltsbereich jeweils zwei physikalische Konzepte mit den niedrigsten relativen Häufigkeiten und die alternativen Vorstellungen, die stattdessen diagnostiziert werden konnten.

| Inhalt | | Beschreibung des Konzepts (A) oder der alternativen Vorstellungen (C1-C3) | h |
|---|---|---|---|
| Licht | A | Von selbstleuchtenden und beleuchteten Objekten geht Licht aus. | 14% |
| | C1 | Nur von selbstleuchtenden Objekten geht Licht aus. | 17% |
| | C2 | Von schwarzen beleuchteten Objekten geht überhaupt kein Licht aus. | 36% |
| | C3 | Auf beleuchteten Objekten liegt Licht. | 11% |
| | A | Ohne Licht kann man nichts sehen. | 18% |
| | C1 | Man kann sich daran gewöhnen, ohne Licht zu sehen. | 8% |
| | C2 | Katzen können sich daran gewöhnen, ohne Licht zu sehen. | 67% |
| | C3 | Um etwas im Dunkeln zu sehen, muss man lediglich in die richtige Richtung schauen. | 2% |
| Schatten | A | Zum Schatten gehört der ganze Raum hinter dem Objekt. | 43% |
| | C1 | Im Raum hinter dem Objekt befindet sich mehr Licht als im Schattenbild. | 1% |
| | C2 | Zum Schatten gehört nur das Schattenbild. | 32% |
| | C3 | Schatten färbt den Raum hinter dem Objekt unabhängig von den Lichtverhältnissen grau ein. | 16% |
| | A | Schatten entsteht hinter einem Objekt an den Stellen, an denen kein Licht ankommt. | 56% |
| | C1 | Die Helligkeit des Schattens ist abhängig von dem Größenunterschied zwischen Objekt und Schattenbild. | 11% |
| | C2 | Schatten färbt die Fläche hinter einem Objekt unabhängig von den Lichtverhältnissen grau ein. | 7% |
| | C3 | Die Helligkeit des Schattens ist abhängig von seiner Größe. | 15% |
| Spiegel | A | Wenn man den Abstand zum Spiegel vergrößert, ist der sichtbare Bildausschnitt des eigenen Spiegelbildes … … gleich, weil der Körper und das Spiegelbild sich gleichzeitig vom Spiegel entfernen. | 3% |
| | C1 | … größer, weil der Spiegel so mehr vom Körper einfangen kann. | 72% |
| | C2 | … kleiner, weil die Dinge im Spiegel von weiter weg kleiner erscheinen. | 4% |
| | C3 | … gleich, da es auf dem Spiegel liegt. | 6% |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | A | Das Spiegelbild entsteht hinter dem Spiegel und ist unabhängig von der Position des Beobachters. | 8% |
| | C1 | Der Ort des Spiegelbildes ist abhängig von der Position des Beobachters. | 40% |
| | C2 | Das Spiegelbild liegt direkt hinter dem Objekt mit dem Beobachter auf einer Linie. | 8% |
| | C3 | Das Spiegelbild entsteht auf dem Spiegel und ändert seine Position nicht. | 27% |
| Farben | A | Hinter einem Farbfilter gibt es weniger Licht als vorher, da bestimmte Lichtfarben nicht durchgelassen werden. | 4% |
| | C1 | Farbfilter färben das gesamte Licht in die entsprechende Farbe um. | 4% |
| | C2 | Farbfilter färben das Licht, wie die Farben im Malkasten. | 79% |
| | C3 | Farbfilter haben verschiedenen Farben, aber farbloses Licht geht durch sie nicht durch. | 6% |
| | A | Objekte strahlen ihre Körperfarbe nur dann ab, wenn sie mit Licht bestrahlt werden, das diese Farbe enthält. | 4% |
| | C1 | Nur die Farbe des Lichts bestimmt über die Farbe des Objekts. | 25% |
| | C2 | Die Farbe des Objekts ist unabhängig von der Farbe des Lichts, mit dem es angestrahlt wird. | 25% |
| | C3 | Die Farben des Lichts und der Objekte können sich gegenseitig auslöschen. | 22% |

**Tab.4:** Relative Häufigkeiten physikalischer Konzepte und alternativer Vorstellungen bezogen auf die Angaben mit inhaltlicher Deckung.

Aus den vorliegenden Ergebnissen der Hauptzielgruppe können unter anderem folgende Leitlinien für eine Intervention abgeleitet werden:

Für eine Veränderung der Schülervorstellungen zum Sehvorgang wird die Rolle der Streuung des Lichts an allen sichtbaren Oberflächen im Lichtweg Quelle-Objekt-Empfänger unterstrichen (physikalische Komponente). Außerdem werden Lichtreize auf der Netzhaut als Notwendigkeit für alle Lebewesen herausgestellt (biologische Komponente).

Während das zweidimensionale Schattenbild mehrheitlich als ein Bereich aufgefasst wird, indem weniger Licht ankommt als um das Schattenbild herum, ist das Konzept des dreidimensionalen Schattenraumes nicht fest verankert und wird mithilfe von 3D-Dastellungen der Lichtwege gestärkt.

Phänomenologische Beobachtungen am Spiegel werden mit Modelldarstellungen der Lichtwege Objekt-Spiegel-Empfänger vorbereitet. Insbesondere werden Fälle erarbeitet, bei denen Objekt und Empfänger gemeinsam oder voneinander unabhängig vor dem Spiegel bewegt werden.

Die aus dem Kunstunterricht bekannten Primärfarben des Deckfarbkastens nach DIN 5023 (Gelb, Magentarot und Cyanblau) mischen sich nicht zu Rot, Grün und Blau, sondern zu Orange, Grün und Violett [16]. Als Einstieg in das Thema Farben werden deshalb Farbmischungen mit den Farben eines Tintenstrahldruckers behandelt, die einer Farblehre mit physikalischer anstelle von künstlerisch-ästhetischer Herangehensweise folgen. Daran anknüpfend wird die Wirkung von mehreren Filtern in den Grundfarben der subtraktiven Farbmischung (Gelb, Magenta und Cyan) auf weißes Licht im Zusammenhang mit dem Konzept der Absorption bestimmter Lichtfarben durch Körperfarben diskutiert (physikalische Komponente). Anschließend werden Farbdarstellungen nicht nur im weißen, sondern auch im Licht verschiedener Farben betrachtet. Die Wahrnehmung der vorhandenen Farbreize wird im Sinne der additiven Farbmischung interpretiert (biologische Komponente).

## 6. Evaluation

Neben inhaltlichen Einschätzungen und statistischen Methoden zur Überprüfung der internen Konsistenz lässt sich die Validität eines empirischen Tests mithilfe eines äußeren Kriteriums der Testpersonen bewerten. Üblicherweise werden bei Leistungstests Schulnoten herangezogen. Allerdings basieren gute Noten häufig auf der Lösungskompetenz schematischer Routineaufgaben, während sich in einem abgewandelten Aufgabenkontext wiederum Alltagsvorstellungen offenbaren [17]. Um trotzdem einschätzen zu können, inwieweit der entwickelte Test in der Lage ist, erwartbar unterschiedliche Ausprägungen der Schülervorstellungen abzubilden, wurden neben der Hauptzielgruppe noch andere Lerngruppen getestet. Das sind zum einen Schülerinnen und Schüler der Klassenstufe 6, die noch keinen Physikunterricht hatten und eher auf Alltagsvorstellungen zurückgreifen, und zum anderen Schülerinnen und Schüler der Klassenstufe 8, deren physikalische Vorstellungen ausgeprägter sein sollten (s. Tab. 5).

| Klassenstufe (N =214) | | A | B | C | D |
|---|---|---|---|---|---|
| 6 (n = 26) | M | 3.82 | .69 | 10.31 | .85 |
| | SD | 2.13 | .84 | 1.89 | .78 |
| | H | 102 | 18 | 268 | 22 |
| | h | 25% | 4% | 65% | 5% |
| 7 (n = 165) | M | 4.72 | .51 | 8.58 | 1.21 |
| | SD | 1.98 | .76 | 2.25 | 1.36 |
| | H | 778 | 84 | 1415 | 199 |
| | h | 31% | 3% | 57% | 8% |
| 8 (n = 23) | M | 5.52 | .61 | 7.91 | .78 |
| | SD | 2.13 | .84 | 2.15 | .95 |
| | H | 127 | 14 | 182 | 18 |
| | h | 37% | 4% | 53% | 5% |

**Tab.5:** Ergebnisübersicht nach Klassenstufe.

Zunächst lässt sich feststellen, dass sich die Anzahl der Items mit inhaltlicher Deckung der Antworten mit der Begründung zwischen den Testgruppen nicht signifikant unterscheidet (Median = 14), Kruskal-Wallis-Test: Chi-Quadrat(2) = 2.741, $p = .254$. Die relative Häufigkeit der Ausgänge A steigt jedoch mit der Klassenstufe an, während sie für Ausgang C entsprechend abnimmt (s. Abb. 5), Kruskal-Wallis-Test für A: Chi-Quadrat(2) = 9.592, $p = .008$ und für C: Chi-Quadrat(2) = 18.269, $p < .001$. Anschließend durchgeführte Post-hoc Tests mit von der Bonferro-

ni-Korrektur angepassten Signifikanzwerten zeigen, dass sich für Ausgang A lediglich die Klassenstufen 6 und 8 signifikant unterscheiden ($z = -3.051$, $p = .007$, $r = .44$). Für Ausgang C unterscheiden sich sowohl die Klassenstufen 6 und 8 ($z = 3.929$, $p < .001$, $r = .56$) als auch 7 und 6 ($z = 3.799$, $p < .001$, $r = .27$) signifikant.

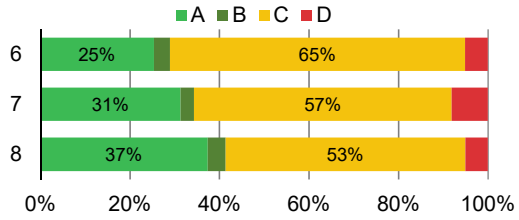



**Abb.5:** Relative Häufigkeiten der Ausgänge nach Klassenstufe.

Schließlich wurden die Testergebnisse der Schülerinnen und Schüler der Klassenstufen 6 bis 8 mit den Ergebnissen von Studierenden des Lehramts Physik im ersten Fachsemester verglichen (s. Tab. 6). Die relative Häufigkeit der Ausgänge A und C ist bei Studierenden in der Summe etwas höher, aber der Unterschied ist nicht signifikant (Median = 14), Mann-Whitney-U-Test: $U = 5922$, $p = .066$. Die Ausgänge A und C haben dagegen jeweils einen signifikanten Unterschied mit einem großen Effekt (s. Abb. 6), für A: $t(277) = 13.434$, $p < .001$, $d = 1.61$ und für C: $t(277) = -10.677$, $p < .001$, $d = -1.28$.

| Bildungseinrichtung (N = 279) | | A | B | C | D |
|---|---|---|---|---|---|
| Schule (n = 214) | M | 4.71 | .54 | 8.71 | 1.12 |
| | SD | 2.04 | .78 | 2.28 | 1.27 |
| | H | 1007 | 116 | 1865 | 239 |
| | h | 31% | 4% | 58% | 7% |
| Universität (n = 65) | M | 8.80 | .75 | 5.32 | .74 |
| | SD | 2.48 | .83 | 2.11 | .96 |
| | H | 572 | 49 | 346 | 48 |
| | h | 56% | 5% | 34% | 5% |

**Tab.6:** Ergebnisübersicht nach Bildungseinrichtung.

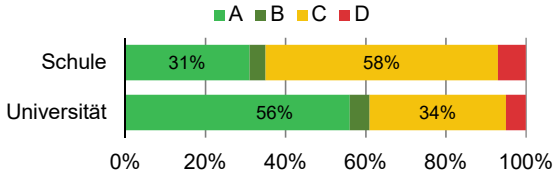



**Abb.6:** Relative Häufigkeiten der Ausgänge nach Bildungseinrichtung.

Obwohl die Ergebnisse der Studierenden deutlich besser sind als die der Schülerinnen und Schüler, können 40% nur die Hälfte oder weniger Items richtig beantworten und begründen. Insbesondere in den Inhaltsbereichen Spiegel und Farben bleiben auch nach der Schule alternative Vorstellungen erhalten. Des Weiteren zeigen die Häufigkeitsverteilungen, dass das Testinstrument für beide Gruppen geeignet ist, da keine wesentlichen Boden- oder Deckeneffekte auftreten (s. Abb. 7).

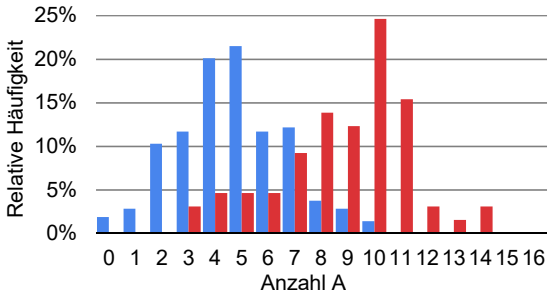



**Abb.7:** Relative Häufigkeitsverteilungen des Ausgangs A für Schülerinnen und Schüler (blau) und Studierende (rot).

## 7. Zusammenfassung

Der $TIA_2$ ist als Instrument zur Erhebung von Schülervorstellungen zu verschiedenen Inhaltsbereichen der Anfangsoptik entwickelt worden. Multiple-Choice Tests gelten als in der Durchführung und Auswertung objektive Erhebungsverfahren. Das Auftreten etwaiger Messfehler wird durch den Einsatz von zweistufigen Multiple-Choice Items im Zusammenhang mit dem strengen Kriterium inhaltlicher Deckung der Antwort mit der Begründung eingegrenzt, was die Reliabilität und Validität der Messung verbessern soll.

Nichtsdestotrotz muss man damit rechnen, dass bei vollständig ausgefüllten Testheften etwas 10% der Angaben nicht zu einer fundierten Einschätzung der Schülervorstellungen verwendet werden können. Im Gegenzug verteilen sich die restlichen 90% zu aussagekräftigen Ergebnissen. Diese Frageform senkt allerdings die maximale Anzahl an Items, die mit gleichbleibender Konzentration bearbeitet werden können. Kommt noch die Absicht hinzu, unterschiedliche Konzepte und Vorstellungen in endlicher Zeit zu erheben, dann geht das zulasten der Homogenität der Items und schränkt die interne Konsistenz der Messung ein. Es wurde dennoch der Versuch unternommen, inhaltlich valide Items zu verschiedenen Sachverhalten mithilfe von Literatur und Experten zu erstellen. Die geringe Korrelation der Items untereinander und unterschiedliche Ergebnisse bezüglich verschiedener Inhaltsbereiche lässt sich in diesem Sinne auch als ein Hinweis auf eine Diskriminanzvalidität deuten. Für genauere Untersuchungen bietet es sich deshalb an, nicht die Mittelwerte allein zu interpretieren, sondern die Ergebnisse nach einzelnen Vorstellungen differenziert zu betrachten. Erst dadurch wird die Erfassung der Perspektive der Lernenden im Sinne des Modells der Didaktischen Rekonstruktion möglich. Die vorgestellten Ergebnisse unterstützen die Entwicklung einer an die Zielgruppe angepassten Intervention.

Insgesamt betrachtet stimmen die erhobenen Testergebnisse im Sinne einer Kriteriumsvalidität mit den angenommenen Unterschieden zwischen den Testgruppen verschiedener Alters- bzw. Wissensstufen überein. Bei etwa gleichbleibendem Anteil nicht zuordenbarer Angaben wird ein Anstieg physikalisch gültiger Konzepte deutlich, während alternative

Vorstellungen abnehmen. Weitere Vergleiche zeigen jedoch, dass es durchaus vorkommen kann, dass signifikante Unterschiede nur für bestimmte Ausgänge gemessen werden können. So zeigen beispielsweise die getesteten Schülerinnen und Schüler der Klassenstufe 7 zwar weniger alternative Vorstellungen als in der Klassenstufe 6, aber das muss nicht unbedingt mit der Zunahme physikalischer Vorstellungen zusammenhängen, sondern könnte auch mit der abnehmenden inhaltlichen Deckung der Antworten mit den Begründungen erklärt werden.

In Bezug auf die Messung der Wirksamkeit einer Intervention zur Veränderung von Schülervorstellungen wäre eine Erweiterung des Testinstruments zur Bildung von Subskalen denkbar, die gleiche Vorstellungen in verschiedenen Kontexten messen.

## 8. Literatur


[1] R. Duit, „Zur Rolle der konstruktivistischen Sichtweise in der naturwissenschaftsdidaktischen Lehr- und Lernforschung.“, *Zeitschrift für Pädagogik*, Bd. 41, Nr. 6, S. 905–923, 1995.

[2] A. Teichrew und R. Erb, „Videobasierte Analyse des Lernens mit dynamischen Modellen“, in *Naturwissenschaftliche Bildung als Grundlage für berufliche und gesellschaftliche Teilhabe*, C. Maurer, Hrsg. Universität Regensburg: Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Kiel 2018, 2019, S. 464.

[3] U. Kattmann, R. Duit, H. Gropengießer, und M. Komorek, „Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion - Ein Rahmen für naturwissenschaftsdidaktische Forschung und Entwicklung.“, *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, Bd. 3, Nr. 3, S. 3–18, 1997.

[4] S. Reinfried, C. Mathis, und U. Kattmann, „Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion. Eine innovative Methode zur fachdidaktischen Erforschung und Entwicklung von Unterricht“, *Beiträge zur Lehrerinnen- und Lehrerbildung*, Bd. 27, Nr. 3, S. 404–414, 2009.

[5] G. Mey und K. Mruck, „Qualitative Interviews“, in *Qualitative Marktforschung in Theorie und Praxis: Grundlagen, Methoden und Anwendungen*, G. Naderer und E. Balzer, Hrsg. Gabler, 2007, S. 249–278.

[6] H. Fischler und J. Peuckert, Hrsg., *Concept mapping in fachdidaktischen Forschungsprojekten der Physik und Chemie*. Berlin: Logos-Verl, 2000.

[7] T. Wilhelm und L. Glatz, „Schülervorstellungen zur Ausdehnung bei Erwärmung“, in *Naturwissenschaftliche Bildung als Grundlage für berufliche und gesellschaftliche Teilhabe*, C. Maurer, Hrsg. Universität Regensburg: Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Kiel 2018., 2019, S. 691.

[8] D. K. Gurel, A. Eryilmaz, und L. C. McDermott, „A Review and Comparison of Diagnostic Instruments to Identify Students’ Misconceptions in Science“, *EURASIA Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, Bd. 11, Nr. 5, S. 989–1008, Okt. 2015.

[9] D. Treagust, „Evaluating students’ misconceptions by means of diagnostic multiple choice items“, *Research in Science Education*, Bd. 16, Nr. 1, S. 199–207, Dez. 1986.

[10] C. Haagen-Schützenhöfer, „Students’ conceptions on white light and implications for teaching and learning about colour“, *Physics Education*, Bd. 52, Nr. 4, S. 044003, Juli 2017.

[11] H. Schecker, T. Wilhelm, M. Hopf, und R. Duit, Hrsg., *Schülervorstellungen und Physikunterricht: Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis*. Springer Spektrum, 2018.

[12] J. Weber, J. Winkelmann, R. Erb, F. Wenzel, M. Ullrich, und H. Holger, „Ein Fachwissenstest zur geometrischen Optik“, in *Implementation fachdidaktischer Innovation im Spiegel von Forschung und Praxis*, C. Maurer, Hrsg. Universität Regensburg: Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Zürich 2016, 2017, S. 107.

[13] C.-C. Chen und M.-L. Lin, „Developing a two-tier diagnostic instrument to assess high school students’ understanding The formation of image by plane mirror“, *Proceedings of the National Science Council, Republic of China. Part D, Mathematics, science and technology education*, Bd. 12, Nr. 3, S. 106–121, 2002.

[14] H.-E. Chu und D. F. Treagust, „Secondary Students’ Stable and Unstable Optics Conceptions Using Contextualized Questions“, *Journal of Science Education and Technology*, Bd. 23, Nr. 2, S. 238–251, 2014.

[15] Z. Lakhdar, I. Culaba, V. Lakshminarayanan, J. Maquiling, A. Mazzolini, und D. Sokoloff, *Active learning in optics and photonics: training manual*. UNESCO, 2006.

[16] „Der Pelikan Farbmischer – Farben am Bildschirm mischen – Pelikan Lehrer-Info“, *Pelikan Deckfarbkasten K12®*, 2019. [Online]. Verfügbar unter: https://www.pelikan.com/pulse/Pulsar/de_DE.CMS.displayCMS.210018./online-farbkasten-farben-online-mischen. [Zugegriffen: 17-Mai-2019].

[17] H. Schecker und E. Klieme, „Mehr Denken, weniger Rechnen: Konsequenzen aus der internationalen Vergleichsstudie TIMSS für den Physikunterricht“, *Physikalische Blätter*, Bd. 57, Nr. 7–8, S. 113–117, 2001.


[i] Nichtparametrische Tests wurden bei nicht normalverteilten Daten oder kleinen Stichprobengrößen gerechnet.

# Idealisierungen und Modelle im Physikunterricht

**Jan Winkelmann**

Goethe-Universität Frankfurt am Main, Institut für Didaktik der Physik,
Max-von-Laue Straße 1, 60438 Frankfurt am Main
winkelmann@physik.uni-frankfurt.de

**Kurzfassung**

Die folgenden Überlegungen sollen einen Beitrag zur Klärung der Begriffe Idealisierung und Modell in der Physik und im Physikunterricht leisten. Im allgemeinen Umgang mit Modellen finden sich viele Begriffe, die möglicherweise das Gleiche oder nur Ähnliches beschreiben: modellieren, Situationsmodellierung, Modellkonstruktion, Idealisierung, Repräsentation, Modellbildung, Arbeiten mit Modellen, hinzu kommen englische Bezeichnungen wie (scientific) modeling, modeling based teaching, theoretical und instructional approach (...). Eine hilfreiche Strukturierung bieten Überlegungen zur Erfassung von Modellkompetenz aus der Biologie- und Physikdidaktik (Digel, Scheid, & Kauertz, 2018; Krüger, Kauertz, & Upmeier zu Belzen, 2018). Dabei gehen diese Strukturierungen bereits von bestehenden Modellen zur Erklärung eines Phänomens aus. Um aber ein physikalisches Phänomen oder Problem modellieren zu können, müssen im Vorfeld Idealisierungen vorgenommen werden. Diese Reflexion über die Genese von Modellen mittels Idealisierung erscheint bisher nicht genügend Beachtung innerhalb der Naturwissenschaftsdidaktiken zu erhalten.
Der Fokus dieses Beitrags liegt daher auf dem Bereich der Konstruktion von Modellen, indem Idealisierungen verwendet werden. Hierfür wird eine Kategorisierung angeboten, die auf Hüttemann (2012) zurückgeht. Exemplarisch wird die Kategorisierung an einem Beispiel aus der Optik vorgestellt, wobei sie auf alle Teilbereiche der Physik anwendbar ist.

## 1. Hintergrund

Erkenntnisse in der Wissenschaft aggregieren sich in Theorien und Modellen. Experimente überprüfen die theoretischen Überlegungen oder stoßen neue Modellierungen an. Sowohl Theorien als auch Modelle verfolgen das Ziel, beobachtete Phänomene zu beschreiben und zu erklären sowie Vorhersagen über das beobachtete Verhalten zu formulieren. Dabei ist es nicht trivial, zwischen Theorie und Modell zu differenzieren. Über das tatsächliche Verhältnis von Modell und Theorie sind sich Wissenschaftstheoretiker nicht einig. Viele Fachwissenschaftlerinnen und Fachwissenschaftler vertreten die Auffassung, dass Theorien das allgemeinere Konstrukt seien und Modelle diese Theorien ergänzten (Bailer-Jones, 2002). Leicht nachvollziehbar ist, dass auch Schülerinnen und Schülern eine Differenzierung schwerfällt (Reinisch & Krüger, 2014).

Im schulischen Kontext wird die Beschäftigung mit Modellen mit dem Feld „Nature of Science“ und damit einem wesentlichen Aspekt des Kompetenzbereichs Erkenntnisgewinnung verbunden (Allchin, 2011; Irzik & Nola, 2011; Lederman, 2007; Schwarz et al., 2009). Seit einigen Jahren besteht die Forderung, dass dieser Kompetenzbereich explizit Gegenstand des Physikunterrichts sein soll, wozu es bereits Unterrichtsvorschläge gibt (Höttecke, 2008; KMK, 2004; Lederman, Antink, & Bartos, 2014).

Es gibt viele Studien zum Modellverständnis von Schülerinnen und Schülern, wobei deren Fokus häufig auf dem Arbeiten *mit* Modellen liegt (Gilbert & Justi, 2016; Gobert et al., 2011; Oh & Oh, 2011; Rönnebeck, Bernholt, & Ropohl, 2016). Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass Schülerinnen und Schüler einige Schwierigkeiten in der Beschäftigung mit Modellen haben. Dies deckt sich mit normativen Überlegungen schwierigkeitserzeugender Merkmale des Physikunterrichts (Fruböse, 2010) und wird von Schülerinnen und Schülern selbst auch entsprechend wahrgenommen (Fareed & Winkelmann, 2019, in diesem Band: DD 2.11).

Bisher ist wenig darüber bekannt, was genau Schülerinnen und Schüler unter Modellen verstehen – was zugegebenermaßen sehr schwierig ist, wenn sich selbst viele Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler nicht einig darüber sind. Zukünftige Studien sollten daher weitere Aspekte des Modellverständnisses in den Blick nehmen, z.B. die Konstruktion von Modellen oder das Verhältnis von Modell und Theorie (Gilbert & Justi, 2016; Louca & Zacharia, 2012; Sandoval, 2005).

Einen Vorschlag, wie Theorien, Modelle und Experimente in Beziehung zueinander verstanden werden könnten, bietet Abbildung 1. Hierbei wird keine Aussage über den Beginn eines Erkenntnisprozesses ge-

troffen (im Gegensatz zu einer induktivistischen Perspektive, die das Experimentiren als Ausgangspunkt nehmen würde). Vielmehr ist die Bedeutung der Beziehung zwischen Experiment und Theorie – und damit auch zwischen Experiment und Modell – als wechselseitige Überprüfung zu verstehen.

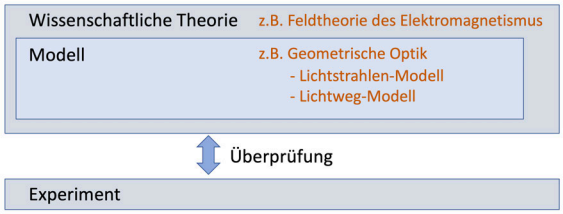



**Abb. 1:** Mögliche Beziehung zwischen Theorie, Modell und Experiment.

## 2. Modelle – der Blick der Naturwissenschaftsdidaktik

Modelle sind seit vielen Jahren Gegenstand naturwissenschaftsdidaktischer Forschung. In diesem Beitrag wird daher lediglich auf einige aktuelle Arbeiten Bezug genommen.

Eine umfangreiche und scharfsinnige Annäherung an das, was in der Naturwissenschaftsdidaktik ein Modell sein könnte, findet sich aktuell bei (Wagner, 2018). In seiner Festlegung des Begriffs „Modell" differenziert Wagner zwischen einem Modell und der jeweiligen Repräsentationsform und legt Wert auf die notwendigerweise zu betrachtende Zweckmäßigkeit eines Modells (Ebd., S. 28).

Weitere Struktur bieten aktuelle Überlegungen aus der Biologie- und Physikdidaktik zur *Modellkompetenz* (Digel, 2018; Upmeier zu Belzen & Krüger, 2010) sowie *Prozessbeschreibungen* während der Beschäftigung mit Modellen (Gilbert & Justi, 2016; Krell, Upmeier zu Belzen, & Krüger, 2016). Beide Beschreibungen (Modellkompetenz und Prozessbeschreibung) umfassen Bereiche der Konstruktion von Modellen sowie den Umgang mit Modellen.

An dieser Stelle sei auf eine Schwierigkeit bezüglich der häufig gewählten Begrifflichkeiten hingewiesen. Zwar wird nachvollziehbar zwischen einer Herstellungsperspektive und einer Anwendungsperspektive bezüglich der Beschäftigung mit Modellen unterschieden, jedoch wird zum Beispiel die Anwendungsperspektive mit dem Begriff der Modellbildung verknüpft (z.B. Upmeier zu Belzen & Krüger, 2010, S. 53). Der Begriff Bildung kann zumindest doppeldeutig verstanden werden. Zum einen kann darunter ein Konstruktionsprozess verstanden werden („Ich bilde / erschaffe / konstruiere mir ein Modell."). In diesem Sinne wäre Modellbildung der Herstellungsperspektive zuzuordnen. Zum anderen kann Bildung als Erkenntnisprozess verstanden werden („Ich bilde mich, indem ich Modelle anwende oder teste."). In diesem Sinne wäre Modellbildung der Anwendungsperspektive zuzuordnen.

Der Begriff „modellieren" wird oft sehr unterschiedlich verstanden, mal als Kenntnis über die Eigenschaften eines Modells, mal als die eigentliche Arbeit *mit* Modellen und manchmal gar als eine sämtliche Aspekte der Beschäftigung mit Modellen umfassendes Tätigkeit. Wenn dann noch Begriffe der englischen Sprache hinzukommen (modeling, modeling-based ...), wird schnell unklar, auf welchen Aspekt der Beschäftigung mit Modellen aktuell fokussiert wird. Hier wäre eine schärfere (sprachliche) Differenzierung wünschenswert.

## 3. Idealisierungen

Sämtlichen Prozessen der Erkenntnisentwicklung liegen Idealisierungen zu Grunde. Sei es beim Experimentieren, bei dem ein (Natur-)Phänomen im Labor unter idealen Bedingungen untersucht wird oder bei der Beschäftigung mit Modellen, während der lediglich die interessierenden Aspekte des Phänomens in den Blick genommen werden. In Anlehnung an vorangegangene Überlegungen zur Beziehung zwischen Theorie, Modell und Experiment verdeutlicht dies der gelbe Kasten „Idealisierungen" in Abbildung 2.

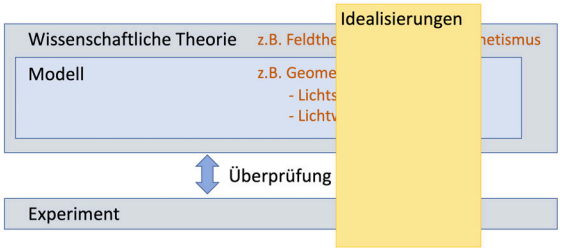



**Abb. 2:** Idealisierungen finden in allen Bereichen der Erkenntnisgewinnung statt.

Diese Tatsache ist Physikerinnen und Physikern nicht neu und auch Physiklehrkräfte werden davon berichten können, dass sie in ihrem Unterricht an ganz unterschiedlichen Stellen idealisieren, zum Beispiel bei der (Luft)-Reibung in der Mechanik oder bei dünnen Linsen in der Optik.

Um das Modellverständnis von Schülerinnen und Schülern (auch von Studierenden) zu steigern, sollte vermittelt werden, wie man zu einem Modell gelangt, nämlich unter zu Hilfenahme von Idealisierungen. Die zu Grunde liegende These dieses Beitrags lautet entsprechend: Idealisierungen sollten häufiger als bisher explizit in der Lehre identifiziert und reflektiert werden, um ein verbessertes Modellverständnis bei Schülerinnen und Schülern zu erzielen.

Um diesem Anspruch gerecht werden zu können, ist eine Definition von Idealisierung notwendig. Zusätzlich wird im Folgenden ein Kategoriensystem angeboten, mit dessen Hilfe verschiedene Idealisierungen voneinander unterschieden werden können. Schließlich wird dieses Kategoriensystem am Beispiel der Idealisierung „dünne Linse" veranschaulicht.

### 3.1 **Definition**

Als Definition dessen, was hierbei unter Idealisierungen verstanden werden soll, werden im Folgenden zwei Vorschläge aus der Wissenschaftsphilosophie genutzt:

a) Eine Idealisierung ist die Zerlegung eines gegebenen Phänomens. Als nebensächlich beurteilte Eigenschaften werden ausgeschlossen. Nur die Eigenschaften bleiben übrig, die als wesentlich für das Ziel des Modells empfunden werden (Nowak & Nowak, 1998).

b) Während des Prozesses des Idealisierens ist die Annahme der Optimierung grundlegend. So verstanden handelt es sich bei Idealisierungen um gewollte Ersetzungen. Damit werden verfälschende Annahmen bewusst akzeptiert (Hüttemann, 2012; Strevens, 2017).

Idealisierungen haben also zwei miteinander in Zusammenhang stehende Charaktereigenschaften. Zum einen beschränken sich Idealisierungen auf das Wesentliche. Hierbei hängt es von der Fragestellung ab, was jeweils wesentlich ist. Zum anderen stellen Idealisierungen stets eine bewusst verfälschende Ersetzung dar. Unbestritten bleibt trotz dieser Verfälschung eine mögliche Bewertung von konstruierten Modellen hinsichtlich der Zweckmäßigkeit gerechtfertigt, wenn nicht sogar notwendig – und nicht mit Blick darauf, ob diese Modelle „richtig“ oder „falsch“ sind.

### 3.2 **Kategoriensystem**

Eine weitergehende Analyse von Idealisierungen und deren Ziele betreibt Hüttemann (2012). Er unterscheidet in seiner Arbeit zwischen acht Kategorien von Idealisierungen. Die Kategorien unterscheiden sich mit Blick auf das jeweilig verfolgte Ziel (Tabelle 1). Hierbei handelt es sich nicht um eine Rangliste. Gleichwohl lässt sich ein qualitativer Unterschied zwischen den ersten vier und den letzten vier Kategorien feststellen. Fokussieren die ersten vier Kategorien auf die experimentelle Annäherung an ein zu untersuchendes Phänomen (grau hinterlegt), so handelt es sich bei den vier übrigen Kategorien um Idealisierungen, die die Konstitution von Modellen betreffen.

| **Kategorien von Idealisierungen** | **Ziel der Idealisierung** |
|---|---|
| Präparation, Herstellung, Aufbereitung | Konstitution des Untersuchungsgegenstands: Messungen vornehmen, theoretische Behandlung erreichen |
| Isolation, Abschirmung | |
| Datenextrapolation und Datenberichtigung | Repräsentation des Gegenstands und seines Verhaltens, um zu einem theoretischen Verständnis zu gelangen |
| Mathematische Vereinfachung | Eine Gleichung auf einfache Art und Weise lösbar machen. |
| Abstraktion eines physikalischen Systems | Aufteilung eines physikalischen Systems in getrennt zu betrachtende Teilsysteme |
| Abstraktion von Eigenschaften | Bestimmte Eigenschaften nicht berücksichtigen. |
| Idealisierung im engeren Sinne:<br>Einem physikalischen System Eigenschaften zuschreiben, die es offensichtlich nicht hat. | Mathematische und zeichnerische Handhabbarkeit erreichen. |
| Vereinfachung oder Vernachlässigung | Funktionale Abhängigkeiten zwischen verschiedenen Eigenschaften oder Größen werden hergestellt. |

**Tab. 1:** Kategorien und Ziele von Idealisierungen

### 3.3 **Beispiel „dünne Linse“**

Eine übliche Idealisierung in der Optik ist die Untersuchung von Lichtwegen an „dünnen Linsen“. Die Vielzahl an Idealisierungen, die bei diesem Beispiel zum Tragen kommen, wird in Tabelle 2 illustriert.

| **Kategorie** | **Idealisierung** |
|---|---|
| Präparation | Streuung auf *weißem Hintergrund* |
| Isolation | *Abdunkeln* des Raums |
| Datenberichtigung | *Paraxiale Lichtwege*<br>- Fehlerbetrachtung bei Randstrahlen |
| Abstraktion physikalischer Systeme | - Konzentration auf *Lichtbrechung*<br>- *Lichtstreuung* ignorieren<br>- *Lichtreflexion* ignorieren |
| Abstraktion von Eigenschaften | - Einzelne *Lichtwege statt Lichtbündel*<br>- *Geometrische Optik* statt Wellen- oder Quantenmodell |
| Idealisierung im engeren Sinne | Brechung an *Mittelebene*: zeichnerische Handhabbarkeit |
| Vereinfachung | *Ausgewählte Lichtwege* (z.B. durch den Mittelpunkt oder Brennpunkt) |

**Tab. 2:** Veranschaulichung der Kategorien von Idealisierungen am Beispiel der „dünnen Linse“.

Über die vorgeschlagene Zuordnung lässt sich diskutieren, allerdings geht es nicht um eine „richtige“ Zuordnung. Vielmehr erscheint das Nachdenken über

die vielfältigen Idealisierungen, z.B. anhand des Kategoriensystems hilfreich, um über die Konstruktion von Modellen zu reflektieren.

## 4. **Fazit und Ausblick**

Die Beschäftigung mit Modellen findet im Physikunterricht ständig statt. Allerdings werden Modelle dabei häufig implizit verwendet. Es zeigt sich, dass Schülerinnen und Schüler im Umgang mit Modellen Lernschwierigkeiten haben. Zudem wird von Schülerinnen und Schülern unter anderem das Arbeiten mit Modellen als schwierigkeitserzeugend im Physikunterricht wahrgenommen. Gründe hierfür können das erhörte Abstraktionsniveau von Modellen sowie eine sehr fachspezifische Sprache sein. Möglicherweise spielt auch ein mangelndes Verständnis über das Zustandekommen verwendeter Modelle eine Rolle.

Ein Aspekt, der als unterstützend angenommen werden darf, sowohl für das Modellverständnis von Schülerinnen und Schülern, als auch für die Kommunikation innerhalb der Fachdidaktik, ist eine eindeutige Sprache. Zielführend erscheint es, prägnant zu beschreiben, welcher Prozess im Umgang mit Modellen mit den von einem selbst verwendeten Begriffen gemeint ist. Ein Wort wie „modellieren“, ist häufig nicht eindeutig. Möglichkeiten präziser Beschreibungen bieten aktuelle Überlegungen von Modellkompetenz. Ein weiterer Aspekt betrifft die Konstruktion von Modellen. Wie gezeigt wurde, sind Idealisierungen hierfür notwendig. Eine Reflexion über die Konstruktion von Modellen und das damit einhergehende Idealisieren findet bisher nicht in ausreichendem Maße statt. Eine explizite Auseinandersetzung mit Idealisierungen erscheint daher notwendig.

Mit der Zuordnung von Idealisierungen zu verschiedenen, in diesem Beitrag vorgestellten, Kategorien ist nicht intendiert, die einzig richtige Klassifizierung zu finden oder gar zu erlernen. Vielmehr kann das Kategoriensystem eine Orientierung für die Reflexion des Konstruktionsprozesses von Modellen darstellen.

Derzeit ist eine Lehrkräftebefragung zur Klärung, ob die Kategorien eine sinnvolle Auseinandersetzung mit Idealisierungen anbahnen können, in Vorbereitung. Darüber hinaus wird eine Bedarfsanalyse für eine Fortbildung durchgeführt, die eine Verbesserung der Modellkompetenz zum Gegenstand hat. Dabei sollen auch digitale Hilfsmittel wie Augmented Reality zum Tragen kommen, da in der Nutzung digitaler Unterstützung das Potential gesehen wird, eine Verknüpfung zwischen Experiment und Modell zu ermöglichen. Außerdem sollen in dieser umfangreichen Fortbildung zu Idealisierungen und Modellen die Wirkungen auf das Modellverständnis bei Schülerinnen und Schülern untersucht werden. Die Fortbildung wird sich an Lehramtsstudierende, Lehrkräfte im Vorbereitungsdienst sowie an Lehrkräfte im Schuldienst richten.

Im Rahmen einer zweiten Studie ist vorgesehen, die Lernentwicklung von Schülerinnen und Schülern mit Blick auf deren Modellkompetenz zu untersuchen. Variiert wird in dieser Studie der Grad der Integration von Modell und Experiment mit Hilfe von Augmented Reality sowie der Grad der Schüleraktivität.

## 5. **Literatur**


Allchin, D. (2011). Evaluating knowledge of the nature of (whole) science. *Science Education*, *95*(3), 518–542. https://doi.org/10.1002/sce.20432

Bailer-Jones, D. M. (2002). Scientists' Thoughts on Scientific Models. *Perspectives on Science*, *10*(3), 275–301. https://doi.org/10.1162/106361402321899069

Digel, S. (2018). *Messung von Modellierungskompetenz in Physik – Theoretische Herleitung und empirische Prüfung eines Kompetenzmodells physikspezifischer Modellierungskompetenz.* Universität Koblenz-Landau.

Digel, S., Scheid, J., & Kauertz, A. (2018). Modellieren beim Problemlösen – Untersuchung prozeduraler Kompetenz. In C. Maurer (Hrsg.), *Qualitätsvoller Chemie- und Physikunterricht-normative und empirische Dimensionen. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Regensburg 2017* (S. 289–292). Universität Regensburg.

Fareed, B., & Winkelmann, J. (2019). Schülerwahrnehmung von Schwierigkeit des Physikunterrichts und der kognitiven Aktivierung durch die Lehrkraft. In H. Grötzebauch & V. Nordmeier (Hrsg.), *PhyDid B – Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung des Fachverbands Didaktik der Physik in Aachen 2019*. DD 2.11.

Fruböse, C. (2010). Der ungeliebte Physikunterricht. *Mathematischer und Naturwissenschaftlicher Unterricht*, *63*(7), 388–392.

Gilbert, J., & Justi, R. (2016). *Modelling-based teaching in science education*. Abgerufen von http://public.eblib.com/choice/publicfullrecord.aspx?p=4534015

Gobert, J. D., O'Dwyer, L., Horwitz, P., Buckley, B. C., Levy, S. T., & Wilensky, U. (2011). Examining the Relationship Between Students' Understanding of the Nature of Models and Conceptual Learning in Biology, Physics, and Chemistry. *International Journal of Science Education*, *33*(5), 653–684. https://doi.org/10.1080/09500691003720671

Höttecke, D. (Hrsg.). (2008). Themenheft Was ist Physik - Über die Natur der Naturwissenschaften unterrichten. *Naturwissenschaften im Unterricht - Physik*, *19 (Heft 103)*(3).

Hüttemann, A. (2012). *Idealisierungen und das Ziel der Physik: Eine Untersuchung zum Realismus, Empirismus und Konstruktivismus in der Wissenschaftstheorie*. Abgerufen von https://doi.org/10.1515/9783110811896

Irzik, G., & Nola, R. (2011). A family resemblance approach to the nature of science for science education. *Science & Education*, *20*, 591–607.

KMK, Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland. (2004). *Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss.* Abgerufen von https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2004/2004_12_16-Bildungsstandards-Physik-Mittleren-SA.pdf

Krell, M., Upmeier zu Belzen, A., & Krüger, D. (2016). Modellkompetenz im Biologieunterricht. In A. Sandmann & P. Schmiemann (Hrsg.), *Biologiedidaktische Forschung: Schwerpunkte und Forschungsstände* (S. 83–102). Berlin: Logos Verlag Berlin.

Krüger, D., Kauertz, A., & Upmeier zu Belzen, A. (2018). Modelle und das Modellieren in den Naturwissenschaften. In D. Krüger, I. Parchmann, & H. Schecker (Hrsg.), *Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 141–157). https://doi.org/10.1007/978-3-662-56320-5_9

Lederman, N. G. (2007). Nature of science: past, present, future. In S. Abell (Hrsg.), *Handbook of research on science education* (S. 831–879). Mahwah, N.J: Lawrence Erlbaum Associates.

Lederman, N. G., Antink, A., & Bartos, S. (2014). Nature of Science, Scientific Inquiry, and Socio-Scientific Issues Arising from Genetics: A Pathway to Developing a Scientifically Literate Citizenry. *Science & Education*, *23*(2), 285–302. https://doi.org/10.1007/s11191-012-9503-3

Louca, L. T., & Zacharia, Z. C. (2012). Modeling-based learning in science education: cognitive, metacognitive, social, material and epistemological contributions. *Educational Review*, *64*(4), 471–492. https://doi.org/10.1080/00131911.2011.628748

Nowak, I., & Nowak, L. (1998). "Model(s)" and "Experiment(s) as Homogeneous Families of Notions. In N. Shanks & J. Brzeziński (Hrsg.), *Idealization in contemporary physics* (S. 35–50). Amsterdam: Rodopi.

Oh, P. S., & Oh, S. J. (2011). What Teachers of Science Need to Know about Models: An overview. *International Journal of Science Education*, *33*(8), 1109–1130. https://doi.org/10.1080/09500693.2010.502191

Reinisch, B., & Krüger, D. (2014). Vorstellungen von Studierenden über Gesetze, Theorien und Modelle in der Biologie. *Erkenntnisweg Biologiedidaktik*, *13*, 41–56.

Rönnebeck, S., Bernholt, S., & Ropohl, M. (2016). Searching for a common ground – A literature review of empirical research on scientific inquiry activities. *Studies in Science Education*, *52*(2), 161–197. https://doi.org/10.1080/03057267.2016.1206351

Sandoval, W. A. (2005). Understanding students' practical epistemologies and their influence on learning through inquiry. *Science Education*, *89*(4), 634–656. https://doi.org/10.1002/sce.20065

Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. A., Kenyon, L., Achér, A., Fortus, D., … Krajcik, J. (2009). Developing a learning progression for scientific modeling: Making scientific modeling accessible and meaningful for learners. *Journal of Research in Science Teaching*, *46*(6), 632–654. https://doi.org/10.1002/tea.20311

Strevens, M. (2017). How Idealizations Provide Understanding. In S. R. Grimm, C. Baumberger, & S. Ammon (Hrsg.), *Explaining understanding: new perspectives from epistemology and philosophy of science* (S. 37–39). New York ; London: Routledge,Taylor & Francis Group.

Upmeier zu Belzen, A., & Krüger, D. (2010). Modellkompetenz im Biologieunterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, *16*, 41–57.

Wagner, S. (2018). *Erklärung physikalischer Phänomene mit Modellen* (PhD Thesis, Humboldt-Universität zu Berlin, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät). https://doi.org/10.18452/18655

# Kräftegleichgewicht vs. Wechselwirkungsgesetz – Konzeption und Evaluation zweier Unterstützungsmaßnahmen zur Unterscheidung beider Konzepte

**Julia Wöllermann, Michael Kahnt, Roland Berger**

Universität Osnabrück, FB 4 / Physikdidaktik, Barbarastr. 7, 49076 Osnabrück
jwoellermann@uni-osnabrueck.de

**Kurzfassung**

Als Element von Science Literacy ist die Unterscheidung von Kräftegleichgewicht und Wechselwirkungsgesetz auch wichtiger Gegenstand der Curricula der Sekundarstufe I. Allerdings zeigt sich, dass Schülerinnen und Schüler die beiden Konzepte häufig miteinander verwechseln.
Um den Schwierigkeiten der Unterscheidung zu begegnen, wurden zwei Unterstützungsmaßnahmen entwickelt und in 12 Klassen der achten Jahrgangsstufe an Gymnasien verglichen. Dabei zeigte sich, dass sowohl eine Unterstützungsmaßnahme bestehend aus einer Kombination aus Kontrastierung und „Freischneiden" (grafischer Hilfe) als auch eine Unterstützungsmaßnahme bestehend aus einer Kombination aus Kontrastierung und einer eher formalen Hilfe wirksam die Unterscheidung von Kräftegleichgewicht und Wechselwirkungsgesetz fördern.

## 1. Hintergrund

„Kraft und Gegenkraft greifen am gleichen Körper an" [1]. Diese und ähnliche Aussagen tätigen Schülerinnen und Schüler nach dem Mechanikunterricht nicht selten. Obwohl die Unterscheidung von Kräftegleichgewicht und Wechselwirkungsgesetz als Element von Science Literacy [2] auch wichtiger Gegenstand der Curricula der Sekundarstufe I (z. B. [3]) ist, fällt Schülerinnen und Schülern die Unterscheidung häufig nicht leicht [1]. Diese Schwierigkeiten können an ungeschickten Bezeichnungen wie bspw. „actio = reactio" liegen, die zu inkorrekten Interpretationen führen [4], wie auch auf fehlende Hilfestellungen hindeuten.

In unserer Vergleichsstudie greifen wir diese Aspekte auf. Als „grafische Hilfe" führen wir das „Freischneiden" ein. Während das Freischneiden in Deutschland hauptsächlich in den Ingenieurwissenschaften Verwendung findet (z. B. [5]), ist es im englischsprachigen Raum im Kontext Schule unter dem Namen „Free-Body Diagrams" relativ weit verbreitet (z. B. [6]). Eine Einführung des Freischneidens erscheint auch wegen der damit verbundenen Systembetrachtungen lohnenswert. Diese ermöglichen eine Erweiterbarkeit im Hinblick auf Systemgrenzen bei energetischen Betrachtungen [7].

In Anlehnung an die im Unterricht häufig verwendete Betrachtung von Kraftpfeilbeschriftungen wurde eine „formale Hilfe" entwickelt. Diese hebt die Betrachtung von Kraftpfeilbeschriftungen, die in Anlehnung an die von [8] vorgeschlagene Sprechweise in der Notation $\vec{F}_{Körper\ 1\ auf\ Körper\ 2}$ erfolgen, explizit hervor.

Für das Unterscheiden zweier leicht verwechselbarer Konzepte ist die Methode des Kontrastierens günstig [9]. In beiden Vergleichsgruppen werden daher vor der Einführung der grafischen bzw. formalen Hilfe die beiden Konzepte einander gegenüber gestellt. Die Kombination aus Kontrastierung und der grafischen bzw. formalen Hilfe wird im Folgenden als „Unterstützungsmaßnahme" bezeichnet.

Unsere Fragestellung lautet daher: Führt die Unterstützungsmaßnahme aus Kontrastierung und grafischer Hilfe zu besseren Lernleistungen als die Unterstützungsmaßnahme aus Kontrastierung und formaler Hilfe?

## 2. Methode

### 2.1. Design und Ablauf

Die beiden Unterstützungsmaßnahmen wurden im Schuljahr 2018/19 in 12 Klassen der 8. Jahrgangsstufen an niedersächsischen Gymnasien im Rahmen einer quasi-experimentellen Vergleichsstudie evaluiert. Den Bedingungen wurden jeweils 6 Klassen zufällig zugelost (grafische Hilfe: n=142, formale Hilfe: n=146).

Insgesamt wurde der Unterricht von 9 verschiedenen Lehrkräften durchgeführt, wobei eine Lehrkraft mit 4 Klassen an der Studie teilnahm. Jeweils 2 der von dieser Lehrkraft betreuten Klassen wurden einer der beiden Bedingungen grafische bzw. formale Hilfe zugelost. Die teilnehmenden Lehrkräfte führten den Unterricht selbst aus.

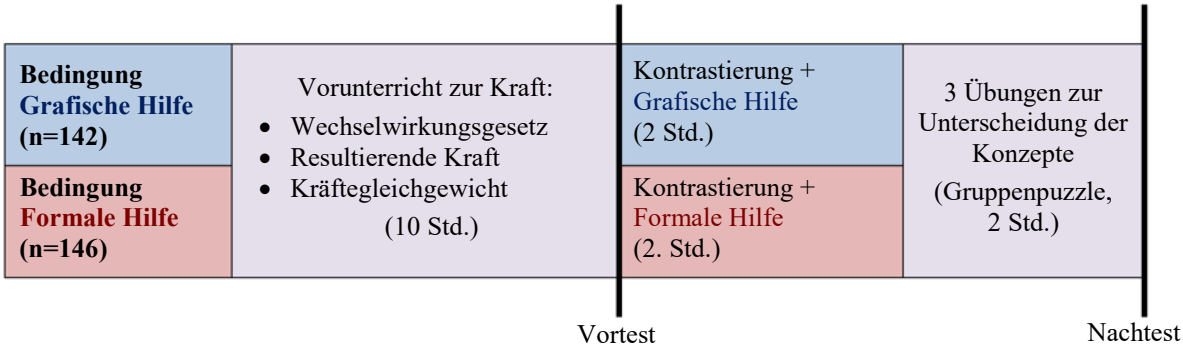



**Abb. 1:** Ablaufplan der Studie. In einem zehnstündigen Vorunterricht wurde das Thema Kraft von der Einführung bis zum Wechselwirkungsgesetz und dem Kräftegleichgewicht als Spezialfall der resultierenden Kraft unterrichtet. Es folgte ein Vortest, für den eine Schulstunde zur Verfügung stand. Anschließend wurden die Unterstützungsmaßnahmen in zwei Schulstunden eingeführt und in zwei weiteren Schulstunden im Rahmen eines Gruppenpuzzles die Unterscheidung der Konzepte Kräftegleichgewicht und Wechselwirkungsgesetz geübt. Daran schloss sich der Nachtest an.

Abb. 1 zeigt den Ablauf der Studie. Da die Unterstützungsmaßnahmen erst bei der Unterscheidung der Konzepte Kräftegleichgewicht und Wechselwirkungsgesetz ansetzen, basieren sie auf Vorkenntnis von Kräften, Kräftegleichgewicht und Wechselwirkungsgesetz. Aus diesem Grund wurde das Thema Kraft in den teilnehmenden Klassen anhand eines vorgegebenen zehnstündigen Vorunterrichts von Beginn an eingeführt. In diesen Unterrichtsstunden wurden ausführlich das Kräftegleichgewicht als Spezialfall der resultierenden Kraft und das Wechselwirkungsgesetz besprochen (vgl. Abb. 1). Um Schwierigkeiten mit den Begrifflichkeiten zum Wechselwirkungsgesetz zu vermeiden, wurden außerdem die Kräftepaare beim Wechselwirkungsgesetz in Anlehnung an [10] als Zwillingskräfte bezeichnet.

Anschließend erfolgte ein Vortest, für den eine Unterrichtsstunde zur Verfügung stand. Diesem folgte in zwei Unterrichtsstunden die Einführung der Unterstützungsmaßnahmen, die in Kap. 2.2 näher erläutert werden. Es folgten drei Übungen zur Unterscheidung der Konzepte Kräftegleichgewicht und Wechselwirkungsgesetz, die im Rahmen eines Gruppenpuzzles durchgeführt wurden.

Die Kontrastierung und die Hilfe sehen wir als integrale Einheit an, da eine Hilfe zur Problemlösung nur dann als hilfreich erscheint, wenn das Problem von den Schülerinnen und Schülern (durch Kontrastierung der Konzepte) überhaupt gesehen wird. Daher haben wir uns entschieden, die Kombination aus Kontrastierung und Hilfe gemeinsam zu testen.

Abschließend wurde ein Nachtest geschrieben, für den eine Unterrichtsstunde zur Verfügung stand.

Um die Vergleichbarkeit zwischen den Bedingungen möglichst gut zu sichern, wurden die Lehrkräfte an zwei Nachmittagen (5 Stunden gesamter Zeitaufwand) geschult. In einer Schulung wurde der Vorunterricht besprochen und in der zweiten Schulung wurden die Unterstützungsmaßnahmen explizit vorgestellt, geübt und der zugehörige Unterricht besprochen. Zusätzlich bekamen die Lehrkräfte tabellarische Verlaufspläne sowie einen exemplarisch ausformulierten Verlauf der Unterrichtsstunden.

Für beide Bedingungen waren der Unterrichtsablauf wie auch die Übungen bis auf die Einführung und Nutzung der jeweiligen Hilfe identisch, sodass sich die beiden Vergleichsgruppen nur in der Art der bereitgestellten Hilfe unterschieden.

### 2.2. Der Unterricht

Die an den Vorunterricht anschließende Kontrastierung von Zwillingskräften und Kräftegleichgewicht geschieht nach dem Vortest mittels Tab. 1. Mit deren Hilfe stellen die Schülerinnen und Schüler die Eigenschaften beider Konzepte einander gegenüber. Es wird ersichtlich, dass die Differenzierung beider Konzepte durch Betrachtung des Angriffspunktes ermöglicht wird. Bei Zwillingskräften liegen die beiden Angriffspunkte in zwei verschiedenen Körpern, während sie beim Kräftegleichgewicht im selben Körper liegen.

Eingeführt wird die grafische bzw. formale Hilfe mittels des Beispiels „Drücken eines Klingelknopfes“. Dazu wird in Anlehnung an [7] folgendes Paradoxon formuliert:

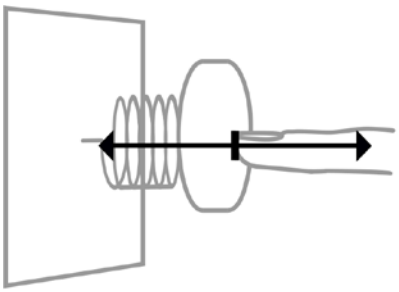


**Abb. 2:** "Drücken eines Klingelknopfes"

*Wenn du den Klingelknopf drückst, übst du eine Kraft auf die Klingel aus. Nach dem Wechselwirkungsgesetz übt der Klingelknopf eine Zwillingskraft aus, die genauso groß und entgegengesetzt gerichtet ist. Wenn du stärker drückst, wird auch die Zwillingskraft größer. Aber wenn beide Kräfte gleich groß sind, dann*

| | | Zwillingskräfte | Kräftegleichgewicht |
|---|---|---|---|
| Wie viele Kräfte sind beteiligt? | | *2* | *Mindestens 2* |
| Wenn beim Kräftegleichgewicht **zwei** Kräfte beteiligt sind: | Welche Richtung haben die beiden Kräfte? | *Die beiden Kräfte sind entgegengesetzt gerichtet.* | |
| | Welche Stärke haben die beiden Kräfte? | *Die beiden Kräfte sind gleich groß.* | |
| | Wo befindet sich der Angriffspunkt der beiden Kräfte? | *An verschiedenen Körpern. (An jedem der beteiligten Körper greift jeweils eine Kraft an.)* | *Am selben Körper.* |
| | Welche Wirkung haben die Kräfte auf den Körper? | *Die Kräfte beschleunigen jeweils den Körper, an dem sie angreifen.* | *Der Körper ändert seine Bewegung nicht.* |

**Tab. 1:** Kontrastierung von Zwillingskräften und Kräftegleichgewicht. Diese Tabelle wurde an die Schülerinnen und Schüler ausgeteilt und gemeinsam mit ihnen ausgefüllt (kursiv). Es wird ersichtlich, dass der Angriffspunkt der Kräfte ein entscheidendes Unterscheidungsmerkmal darstellt.

*heben sich die Kräfte auf und der Klingelknopf kann sich gar nicht bewegen.*

Dieses Beispiel ist hinreichend schwierig, um die Verwendung der Hilfen zu motivieren. Es dient im Folgenden zur Illustration der beiden Hilfearten.

Den Schülerinnen und Schülern wird zur Lösung des Problems das rezeptartige Vorgehen in Abb. 3 in frontaler Form vorgestellt. Zunächst werden zur Lösung des Problems bei beiden Hilfearten die Kraftpfeile beschriftet. Anschließend erfolgt die Kennzeichnung der Zwillingskräfte entsprechend Schritt 1 in Abb. 3 und die Klärung, dass der Bewegungszustand des Klingelknopfes zu betrachten ist.

### 2.2.1. Grafische Hilfe

Der Klingelknopf wird entsprechend Schritt 2a) in der linken Spalte von Abb. 3 umrandet. Dabei wird betont, dass darauf zu achten ist, dass alle an dem Klingelknopf angreifenden Kräfte innerhalb der Umrandung liegen und alle Kräfte, die nicht an dem Klingelknopf angreifen, außerhalb der Umrandung. Durch diesen Schritt werden die an dem Klingelknopf angreifenden Kräfte optisch von ihren Zwillingskräftepartnern, die außerhalb der Umrandung liegen, abgegrenzt.

Alle Körper und Kraftpfeile, die nicht innerhalb der Umrandung liegen, werden gemäß Schritt 2b) entfernt. Dazu entfernt die Lehrkraft die magnetisch an der Tafel befestigte Klingelknopfhalterung und den Finger.

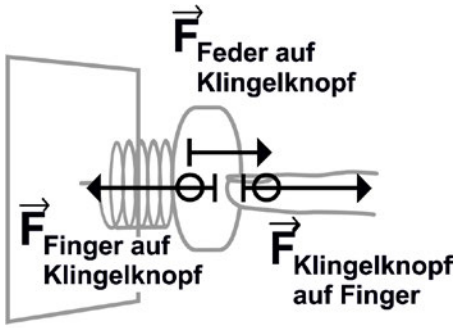
Im letzten Schritt 3 wird die resultierende Kraft bestimmt, indem alle innerhalb der Umrandung liegenden Kraftpfeile addiert werden. So wird ersichtlich, dass am Klingelknopf kein Kräftegleichgewicht vorliegt.

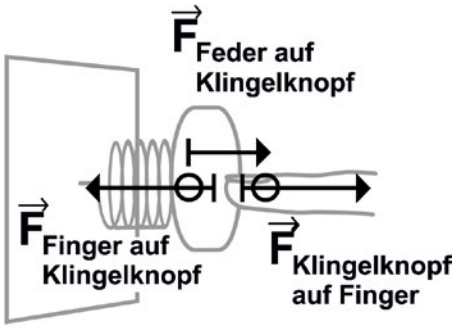
In der anschließend von den Schülerinnen und Schülern selbstständig durchgeführten Aufgabe werden in Schritt 2b) mittels Scheren die nicht in der Umrandung liegenden Objekte entfernt. Im weiteren Verlauf des Unterrichts wird Schritt 2b) nicht mehr eingefordert.

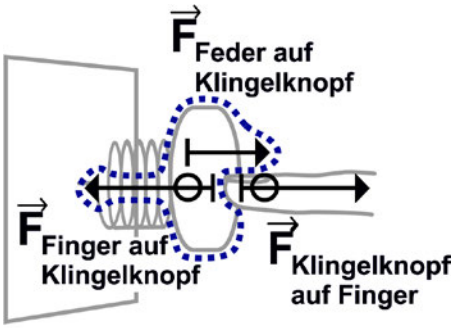
### 2.2.2. Formale Hilfe

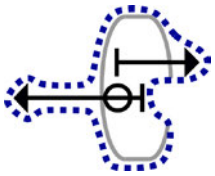
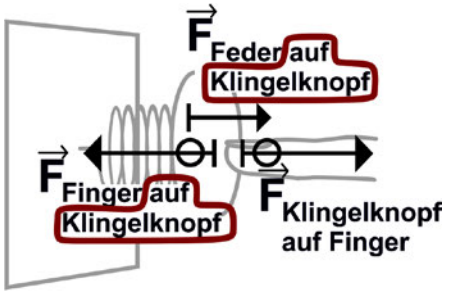
Die Beschriftungen der Kraftpfeile werden nach der Wortkombination „auf Klingelknopf“ durchsucht. Entsprechend Schritt 2 der rechten Spalte in Abb. 3 wird diese Wortkombination umrandet. Dabei wird ersichtlich, dass nur ein Partner der Zwillingskräfte eine Umrandung aufweist.

Anschließend erfolgt in Schritt 3 die Kräfteaddition aller Kraftpfeile, deren Beschriftung eine Umrandung aufweist. Daraus kann die resultierende Kraft bestimmt und die Frage, ob ein Kräftegleichgewicht am Klingelknopf vorliegt, geklärt werden.

<table>
<tr><th>Grafische Hilfe</th><th>Formale Hilfe</th></tr>
<tr><td>1. Zwillingskräfte markieren</td><td>1. Zwillingskräfte markieren</td></tr>
<tr><td> 

Markieren der Zwillingskräfte.</td><td> 

Markieren der Zwillingskräfte.</td></tr>
<tr><td>2. Freischneiden</td><td>2. Umranden</td></tr>
<tr><td>a) Umranden<br> 

Umranden des Körpers, der betrachtet werden soll.<br><br>Dabei darauf achten, dass<br>• alle Kraftpfeile, die an dem Körper angreifen, innerhalb der Umrandung liegen,<br>• kein Kraftpfeil innerhalb der Umrandung liegt, der nicht an dem Körper angreift.<br>b) Ausschneiden<br>  <br>Entfernen aller Körper und Kraftpfeile, die außerhalb der Umrandung liegen.</td><td> 

Durchsuchen der Beschriftungen nach den Worten „auf Körper“ und umranden dieser Worte.</td></tr>
<tr><td>3. Resultierende Kraft bestimmen</td><td>3. Resultierende Kraft bestimmen</td></tr>
<tr><td> <br>Um die resultierende Kraft zu bestimmen, sind alle in der Umrandung liegenden Kräfte zu addieren.</td><td> <br>Um die resultierende Kraft zu bestimmen, sind alle Kräfte, deren Beschriftungen umrandet sind, zu addieren.</td></tr>
</table>

**Abb. 3:** Vorgehen der grafischen Hilfe (links) und formalen Hilfe (rechts). In Schritt 1 werden Zwillingskräfte gekennzeichnet. Bei der grafischen Hilfe wird in Schritt 2 der Klingelknopf mitsamt der an ihm angreifenden Kräfte umrandet (a). Alle nicht in der Umrandung liegenden Objekte werden entfernt (b). Durch Addition der in der Umrandung liegenden Kraftpfeile kann die resultierende Kraft bestimmt werden (Schritt 3). Bei der formalen Hilfe werden in Schritt 2 die Beschriftungen nach den Worten „auf Klingelknopf“ durchsucht und die Wortkombination umrandet. Addition der Kraftpfeile, deren Beschriftung eine Umrandung aufweist, führt zur resultierenden Kraft (Schritt 3).

**Aufgabe 3**

Alex hält einen Apfel in der Hand.

| Betrachte die Kraft, die die Hand auf den Apfel ausübt und die Kraft, die die Erde auf den Apfel ausübt. | | | **richtig** | **falsch** |
|---|---|---|---|---|
| Die von der Erde ausgeübte Kraft ist | *genauso groß* | wie die von der Hand. | X | |
| Die von der Erde ausgeübte Kraft ist | *größer* | als die von der Hand. | | X |

| Betrachte nun die Kraft, die die Hand auf den Apfel ausübt und die Kraft, die der Apfel auf die Hand ausübt. | | | **richtig** | **falsch** |
|---|---|---|---|---|
| Die von der Hand ausgeübte Kraft ist | *genauso groß* | wie die vom Apfel. | X | |
| Die von der Hand ausgeübte Kraft ist | *größer* | als die vom Apfel. | | X |

**Abb. 4:** Beispiel einer Basisaufgabe mit Lösung. Der erste Aufgabenteil umfasst zwei Items zum Kräftegleichgewicht, der zweite Aufgabenteil zwei Items zum Wechselwirkungsgesetz.

### 2.3. Testinstrument

Um das Verständnis der Schülerinnen und Schüler hinsichtlich des Kräftegleichgewichts, Wechselwirkungsgesetzes und der Unterscheidung beider Konzepte zu erfassen, wurden ein Vor- und ein Nachtest konzipiert.

Die Grundlage der Tests bilden acht im Folgenden als „Basisaufgaben" bezeichnete Aufgaben, von denen eine Aufgabe die Beschriftung von Kraftpfeilen fordert und sieben Aufgaben Items im Multiple-Choice Format beinhalten. Eine dieser Aufgaben ist in Abb. 4 dargestellt. Der erste Aufgabenteil umfasst zwei Items zum Kräftegleichgewicht, der zweite Aufgabenteil zwei Items zum Wechselwirkungsgesetz. Ein Aufgabenteil wird nur dann als korrekt gelöst gewertet, wenn alle zugehörigen Items korrekt gelöst werden. Die Basisaufgaben werden unverändert im Vortest (19 Aufgabenteile: $\alpha$=.79) und Nachtest (19 Aufgabenteile: $\alpha$=.77) gestellt.

Der Nachtest beinhaltet zusätzlich drei Aufgaben, die im Folgenden „Transferaufgaben" genannt werden. Diese Transferaufgaben sind nah an den drei Aufgaben des Gruppenpuzzles formuliert, allerdings in anderen Kontexten (z. B. Schieben eines Schranks, Abb. 5).

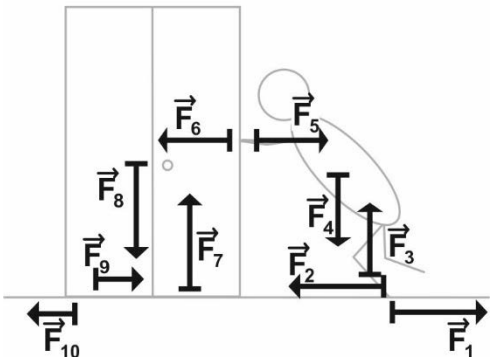
Abb. 5 stellt Aufgabenteil a) einer solchen Transferaufgabe dar. Die Kraftpfeile waren bereits eingezeichnet und die Schülerinnen und Schüler sollten in Aufgabenteil a) für gegebene Kräftepaare ankreuzen, ob es sich um ein Kräftegleichgewicht, Zwillingskräfte, beides oder keins von beidem handelt. Bei der Korrektur wurde die zu jedem Kräftepaar gegebene Antwort bewertet. In Aufgabenteil b) und c) sollte anschließend ausgewählt werden, welche der zur Auswahl stehenden Kräfteadditionen zur Bestimmung der resultierenden Kraft an einem vorgegebenen Körper dient. Die insgesamt 21 Items der drei Transferaufgaben haben eine Reliabilität von Cronbachs $\alpha$=.88.

Korrekte Antworten wurden mit 1, inkorrekte oder nicht gegebene Antworten mit 0 codiert. Teilweise korrekte Antworten in der offenen Aufgabe wurden zudem mit 0,5 codiert.

**Aufgabe 11**

Jan schiebt einen Schrank.

Situation:




$\vec{F}_1$: Mensch auf Boden
$\vec{F}_2$: Boden auf Mensch
$\vec{F}_3$: Boden auf Mensch
$\vec{F}_4$: Erde auf Mensch
$\vec{F}_5$: Schrank auf Mensch
$\vec{F}_6$: Mensch auf Schrank
$\vec{F}_7$: Boden auf Schrank
$\vec{F}_8$: Erde auf Schrank
$\vec{F}_9$: Boden auf Schrank
$\vec{F}_{10}$: Schrank auf Boden

a) Kreuze an: Folgende Kräfte bilden…

| | … ein Kräftegleichgewicht | … Zwillingskräfte | … ein Kräftegleichgewicht und Zwillingskräfte | … weder ein Kräftegleichgewicht noch Zwillingskräfte |
|---|---|---|---|---|
| $\vec{F}_1$ und $\vec{F}_3$ | | | | X |
| $\vec{F}_5$ und $\vec{F}_6$ | | X | | |
| $\vec{F}_6$ und $\vec{F}_9$ | | | | X |
| $\vec{F}_7$ und $\vec{F}_8$ | X | | | |
| $\vec{F}_9$ und $\vec{F}_{10}$ | | X | | |

**Abb. 5:** Beispiel einer Transferaufgabe mit Lösung. Dargestellt ist Aufgabenteil a). Zu zwei gegebenen Kräften ist anzukreuzen, ob sie ein Kräftegleichgewicht, Zwillingskräfte, beides oder keins von beiden bilden. Auf die Darstellung von Aufgabenteil b) und c) wurde aus Platzgründen verzichtet.

## 3. Ergebnisse

Da alle Skalen eine ausreichende interne Konsistenz aufweisen (Cronbachs $\alpha > .7$), wurden Mittelwerte aus den jeweiligen Aufgabenteilen bzw. Items (vgl. Kap. 2.3) der Tests gebildet (Tab. 2).

Die zweifaktorielle Varianzanalyse mit den Faktoren Messzeitpunkt (Basisaufgaben Vortest bzw. Basisaufgaben Nachtest) und Bedingung (grafische Hilfe bzw. formale Hilfe) zeigt einen signifikanten Unterschied zwischen Vor- und Nachtest, $F(1, 289) = 187.19$, $p < .001$. Auch zwischen den Bedingungen kann ein signifikanter Unterschied festgestellt werden ($F(1, 289) = 4.52$, $p = .03$). Dieser ist auf ein zufällig höheres Vorwissen in der Bedingung formale Hilfe zurückzuführen. Die Interaktion von Testzeitpunkt und Bedingung ist marginal signifikant $F(1, 289) = 3.26$, $p = .07$) (Abb. 6). Die Leistungen im Vor- und Nachtests unterscheiden sich bei der formalen Hilfe mit einer großen ($d = 0.80$), und bei der grafischen Hilfe mit einer mittleren Effektstärke ($d = 0.57$).

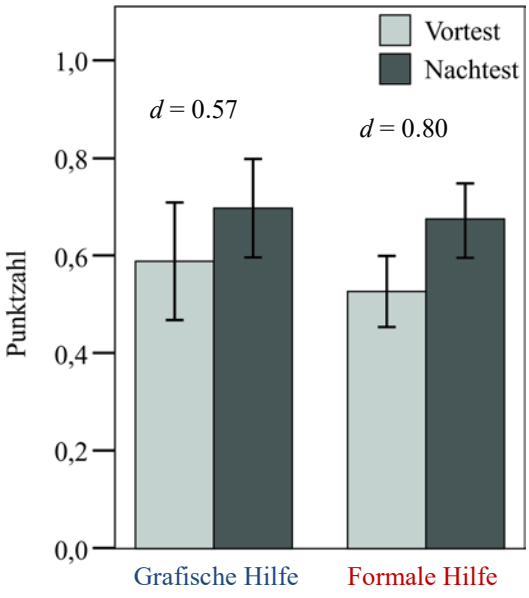



**Abb. 6:** Ergebnisse der Basisaufgaben. Die Leistungen im Vortest und Nachtest unterscheiden sich mit mittlerer (grafische Hilfe) und großer (formale Hilfe) Effektstärke.

Bei den Transferaufgaben zeigt die einfaktorielle Varianzanalyse mit dem Vortest als Kovariate keinen signifikanten Unterschied zwischen den Bedingungen ($F(1, 288) < 1$, $p = .46$) (Abb. 7).

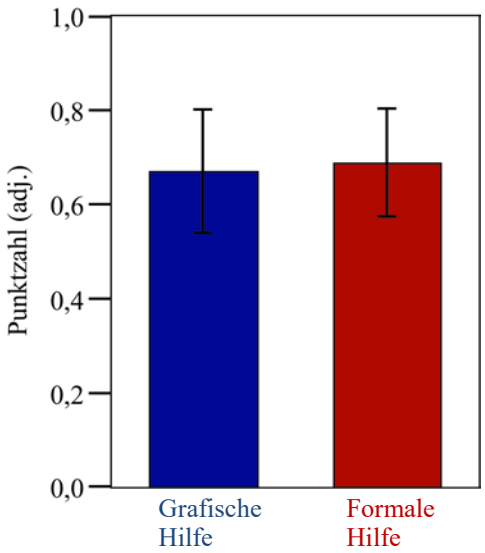



**Abb. 7:** Ergebnisse der auf den Vortest adjustierten Transferaufgaben. Es zeigt sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Bedingungen.

## 4. Diskussion

Die Ergebnisse zeigen, dass sich die Unterstützungsmaßnahmen (Kontrastierung + grafische / formale Hilfe) erfolgreich in den Unterricht bereits der achten Jahrgangsstufe einbringen lassen. Die Unterstützungsmaßnahmen erscheinen mit einem signifikanten Lernzuwachs in den Basisaufgaben vom Vortest zum Nachtest mit mittlerer bzw. hoher Effektstärke wirksam.

Bezüglich der Transferaufgaben sind beide Unterstützungsmaßnahmen ebenbürtig.

Es ist erstaunlich, dass Schülerinnen und Schüler bereits der achten Jahrgangsstufe derart schwere Aufgaben gut lösen können.

In dieser Studie zeigt sich, dass die Unterstützungsmaßnahme mit grafischer Hilfe ebenbürtig zur Unterstützungsmaßnahme mit formaler Hilfe ist. Ein zentraler Vorteil der grafischen Hilfe ist ihre Erweiterbarkeit in Richtung Systeme bei energetischen Betrachtungen (Vgl. [7], S. 170 ff), sodass die Unterstützungsmaßnahme aus Kontrastierung und grafischer Hilfe empfohlen werden kann.

| | Testzeitpunkt | Bedingung | M | SD |
|---|---|---|---|---|
| Basis | Vortest | Grafische Hilfe | 0.59 | 0.22 |
| | | Formale Hilfe | 0.53 | 0.17 |
| | Nachtest | Grafische Hilfe | 0.70 | 0.20 |
| | | Formale Hilfe | 0.67 | 0.17 |
| Transfer | Nachtest | Grafische Hilfe | 0.69 | 0.26 |
| | | Formale Hilfe | 0.67 | 0.23 |

**Tab. 2:** Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) für die Bedingungen zu verschiedenen Testzeitpunkten

## 5. Literatur

[1] Schecker, Horst; Wilhelm, Thomas; Hopf, Martin; Duit, Reinders; Fischler, Helmut; Haagen-Schützenhöfer, Claudia; Höttecke, Dietmar; Müller, Rainer; Wodzinski, Rita (2018): Schülervorstellungen und Physikunterricht: Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis. Berlin: Springer Spektrum

[2] American Association for the Advancement of Science (2001): Atlas of Science Literacy: Project 2061. Washington, DC: American Association for the Advancement of Science

[3] Niedersächsisches Kultusministerium (2015): Kerncurriculum für das Gymnasium Schuljahrgänge 5-10: Naturwissenschaften: http://db2.nibis.de/1db/cuvo/datei/nw_gym_si_kc_druck.pdf (Stand 3/2019)

[4] Warren, John W. (1979): Understanding Force. London: John Murray

[5] Böge, Alfred (2013): Technische Mechanik: Statik – Reibung – Dynamik – Festigkeitslehre – Fluidmechanik. Wiesbaden: Springer Vieweg

[6] IQWST (2013): Physical Science 3: How Will It Move? Force and Motion. Norwalk: SASC LLC

[7] Müller, Rainer (2009): Klassische Mechanik: Vom Weitsprung zum Marsflug. Berlin: De Gruyter

[8] Wodzinski, Rita (1996): Untersuchungen von Lernprozessen beim Lernen Newtonscher Dynamik im Anfangsunterricht. Münster: LIT

[9] Rittle-Johnson, Bethany; Star, Jon. R. (2011): The Power of Comparison in Learning and Instruction: Learning Outcomes Supported by Different Types of Comparisons. In: Psychology of Learning and Motivation, 55, 199

[10] Backhaus, Udo (2001): Die Kraft ist ein Zwillingspaar: Beispiele zur Einführung des Wechselwirkungsprinzips in der Schule. In: Naturwissenschaften im Unterricht/Physik, 65, 12-14

# Didaktische Rekonstruktion der Beschleunigerphysik und Entwicklung eines Lehr-Linearbeschleunigers

**Stefan Bechstein*, Achim Stahl*, Josef Riese***

*RWTH Aachen University, Sommerfeldstraße 14, 52074 Aachen
bechstein@physik.rwth-aachen.de

**Kurzfassung**

Für Studierende wie auch für Schülerinnen und Schüler sind die fachlichen Konzepte in Zusammenhang mit der Erklärung des Verhaltens von Teilchen in Beschleunigern recht komplex. Das hier vorgestellte Projekt beschäftig sich damit, das Lernen dieser Konzepte durch nutzbringende didaktische Analogien und Experimente zu erleichtern. Kern der Didaktischen Rekonstruktion ist die Grundannahme, dass Ladungen den elektrischen Raum verändern. Befinden sich mehrere Ladungen dicht gepackt an einem Ort, so bildet sich ein Potentialraum aus, in dem elektrische Felder herrschen und dementsprechend Kräfte auf vorbeifliegende Ladungen wirken. Hierzu wird eine Analogie zum Gravitationspotential vorgeschlagen, die eine Anknüpfung an Alltagserfahrungen ermöglicht.

Als zentrale Experimente werden ein Lehr-Linearbeschleuniger (Lehr-LINAC) und zwei mechanische Tabletop-Versuche entwickelt, die in Analogie zum Gravitations-Potential sowohl den Beschleunigungsprozess als auch das Zustandekommen gepulster Teilchenstrahlen verdeutlichen und für den Einsatz in der gymnasialen Oberstufe sowie in der Hochschullehre genutzt werden sollen. Der Lehr-LINAC wird ein etwa 2m langer 0,5keV-Elektronen-Beschleuniger mit drei Driftröhren/vier Beschleunigungsstufen werden. Im ersten Betrieb eines Prototypen können Elektronenpakete auf eine Geschwindigkeit von $v_{max}=8{,}39\cdot10^6$ m/s gebracht und während des ganzen Beschleunigungs- und Fokussierungs-Prozesses als Spur im Leuchtgases beobachtet werden.

## 1. Motivation

Die Beschleunigerphysik findet in den letzten Jahren immer mehr Anwendung auf dem Gebiet der Medizin oder der Forschung und Entwicklung. Freie Elektronen Laser ermöglichen neue Einblicke in den Mikrokosmos, Elektronen- oder Protonenbeschleuniger ermöglichen neue, erfolgreiche Methoden zur Tumor-Bekämpfung (Stahl et al., 2017). Die große Nachfrage beispielsweise nach Anlagen für die Protonentherapie kann kaum bedient werden, weil Fachkräfte im Bereich der Physik oder des Ingenieurwesens fehlen, die sich mit Teilchenbeschleunigern auskennen (Römer, 2017).

Aus schulischer Sicht ist der Bau von Beschleuniger-Versuchen deshalb so wichtig, weil sie Hauptkontext der Oberstufen-Physik sind und (in NRW z.B. explizit das Zyklotron) in den curricularen Vorgaben als sog. Schlüssel-Experimente vorgeschrieben sind (KLP Physik NRW, 2014), es bis dato aber noch keine Experimentiergelegenheiten gibt.

Neben dem gesellschaftlichen Bedarf an Fachwissen zur Beschleuniger-Technologie insbesondere im Bereich der Medizin-Technik und neben den Vorgaben für die Schulen gibt es auch aus fachdidaktischer Sicht gute Gründe, warum es Sinn macht, Experimente zur Beschleunigerphysik zu bauen: „Theorie und Praxis miteinander zu verbinden…“ hat große Bedeutung in der Didaktik und gibt dem Experiment einen hohen Stellenwert (Welzel et al., 1998, S.37). Das Prüfen von Hypothesen auf experimenteller Grundlage spricht dafür, im Themenfeld der Beschleunigerphysik lernförderliche Unterrichtsmaterialein und Experimente zu entwickeln. Dem gegenüber findet das Thema kaum Berücksichtigung in Schulbüchern und die vorhandenen Inhalte haben kaum Bezug zu Schülervorstellungen.

Nach einer kurzen Erklärung zur Nutzung der Methode der Didaktischen Rekonstruktion (Kapitel 2) führt eine Sachstrukturanalyse zu den elementaren Grundideen (Kapitel 3 und 4). Mit der Entwicklung von Experimenten und der Konstruktion von Unterrichtsgegenständen werden Grundlagen für die Sachstruktur für den Unterricht vorgestellt (Kapitel 5 und 6). Mit den Ausblicken und einem Blick auf die geplante Timeline schließt der Artikel (Kapitel 7).

## 2. Didaktische Rekonstruktion und Zielsetzung

Mit Hilfe des Modells der Didaktischen Rekonstruktion werden Unterrichtsgegenstände oder Lerngelegenheiten für die universitäre Lehre so entwickelt, dass die Entwicklungsschritte zum Erlernen der Sachthemen immer in Beziehung gesetzt werden zu der Perspektiven der Lernenden (Duit et al., 1997). Unterrichts-, Vorlesungs- oder Praktikumseinheiten werden so konzipiert, dass die Lernenden ihre Modellvorstellungen, Erklärungskonzepte oder Anschauungen nutzen können, um Schritt für Schritt

Neues zu entwickeln und in ihre vorhandenen Gedanken-Konstrukte einzubinden. Dazu wird zunächst das fachliche Ziel festgelegt, die Sachstruktur analysiert und die Schülerperspektive erhoben. Mit der Elementarisierung der Inhalte und weiteren Erhebungen zu Präkonzepten der Lernenden entsteht daran angelehnt eine Sachstruktur für den Unterricht. Unter Nutzung dieses didaktischen Modells können auch bei der Entwicklung der Experimente und Unterrichtseinheiten zur Beschleunigerphysik die Schüler- und Studierendenvorstellungen angemessen berücksichtigt werden.

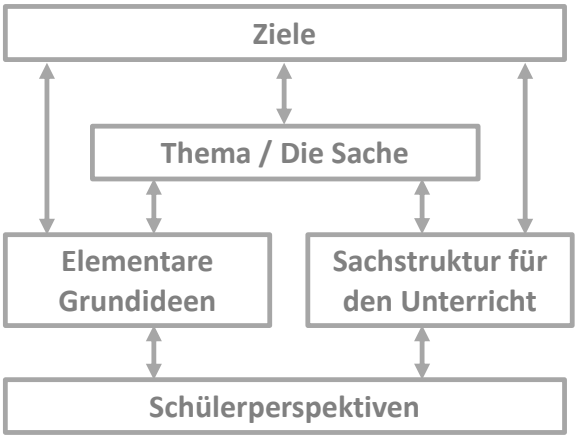



**Abb.1:** Grafik zum Modell der Didaktischen Rekonstruktion (Duit et al., 1997).

Ziel der zu entwickelnden Lerngelegenheiten für Uni und Schule ist es, die Parameter, Prozesse und Zusammenhänge beim Beschleunigen geladener Teilchen in elektrischen Feldern begreifbar zu machen.

## 3. Sachstruktur-Analyse

Ladungen verändern die elektrischen Eigenschaften des Raums. Ladung, Ladungsdichte, Potential, elektrisches Feld und Kraft sind die fünf physikalischen Größen, mit denen man die elektrische Veränderung des Raums und die Bewegung freier Ladungen in diesem Raum erklären kann.

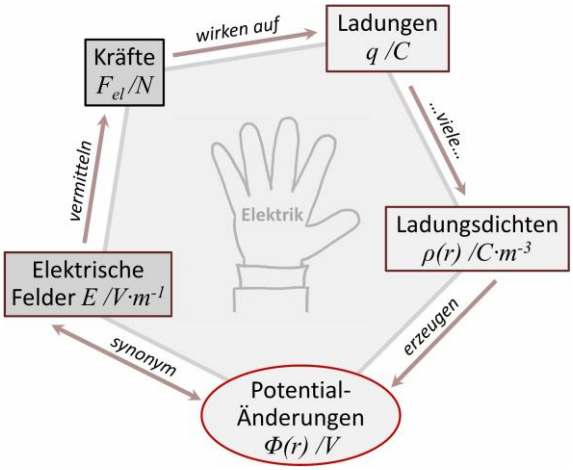



**Abb.2:** Pentagon der fünf wichtigsten Parameter und ihrer Zusammenhänge (Darstellung für die universitäre Lehre).

Für die Erklärung von Bewegungen freier Teilchen wie der Beschleunigung und Fokussierung von Teilchenstrahlen schlagen wir vor, diese fünf Parameter in ihrem Funktionszusammenhang darzustellen. Werden mehrere diskrete Ladungen $q_i$ (Elektronen) in einem Raumbereich $\vec{r}$ gesammelt, können sie durch die Ladungsdichte $\boldsymbol{\rho_n(\vec{r})}$ beschrieben werden. Mehrere solcher Pakete können zu unterschiedlichen Ladungsdichten $\boldsymbol{\rho_j(\vec{r})}$ im Raum angeordnet werden.

Zwischen verschiedenen Ladungsdichten $\rho_j$ bilden sich Potentiale $\Phi_j$ aus, die als Potentialflächen dreidimensional dargestellt werden können. Die Höhe in z-Richtung zeigt die Höhe des Potentials an.

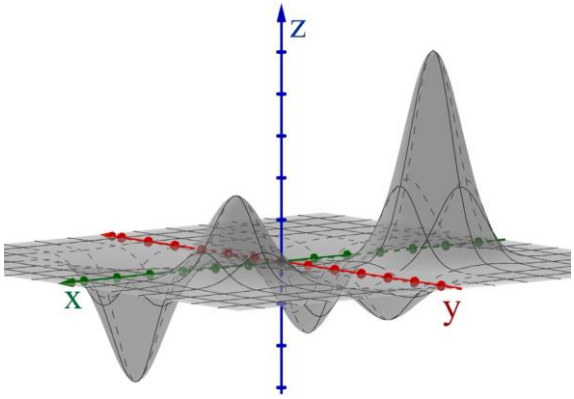



**Abb.3:** Potentialbild von zwei positiven und drei negativen Ladungsdichteverteilungen.

Man darf vermuten, dass diese in der Fachliteratur übliche Darstellungsform den Vorteil hat, dass die Bewegung eines Teilchens in diesem Potentialraum intuitiv vorhergesagt werden kann. Eine freie Ladung, die sich in einem Raum bewegen kann, in dem weitere feste Ladungen platziert sind, wird sich so bewegen wie eine Kugel im Raum mit Bergen und Tälern.

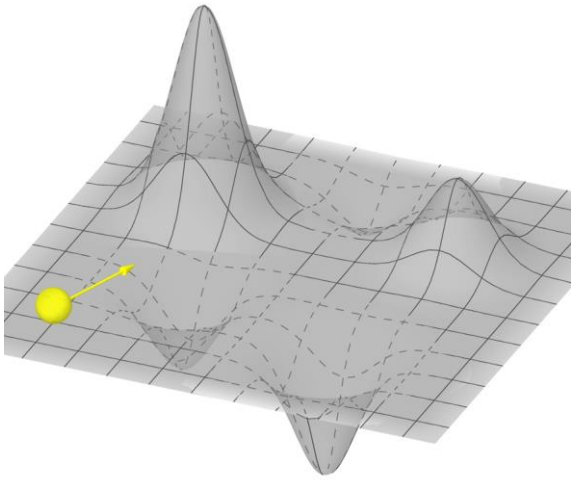


**Abb.4:** Gleiches Potentialbild wie in Abb.3 aus anderer Perspektive und mit einer freien Ladung, die sich im Potentialfeld bewegt.

Zwischen zwei elektrischen Potentialen $\Phi_1$ und $\Phi_2$ entsteht ein elektrisches Feld. Es wird bestimmt vom

negativen Gradienten des Potentials (Poisson-Gleichung): $\vec{E} = -\vec{\nabla}\Phi$ . Um in der Analogie zum Potentialbild zu bleiben: Die elektrische Feldstärke ist identisch mit den Steigungen zwischen den Bergen und Tälern. Diese Formel ist deshalb so wichtig, weil sie verdeutlicht, dass nur dann ein E-Feld entsteht, wenn sich das Potential *ändert*. Die Kraftwirkung der elektrischen Kraft auf eine Ladung wird dann identifizierbar mit der beschleunigenden Wirkung der Gewichtskraft auf eine Kugel auf hügeliger Fläche.

## 4. Analogie zum Gravitationspotential

In vielen Lehrbüchern und Simulationen wird der durch Ladungen veränderte Raum durch Feldlinienbilder dargestellt (Rouinfar et al., 2019):

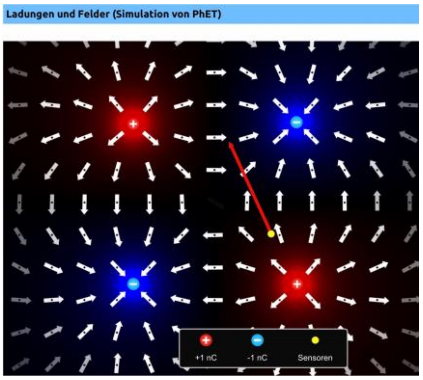



**Abb.5:** Kraftrichtungspfeile zur Verdeutlichung der Bewegung eines Teilchens im Quadrupol-Feldes

Die Bewegung einer freien Ladung lässt sich hierin mit einiger Erfahrung vorhersagen.

Die Potentialdarstellung eines Quadrupols, das sog. Sattelpotential, ermöglicht jedoch eher eine intuitive Vorhersage, wie sich ein Körper in diesem Potentialbild verhalten wird.

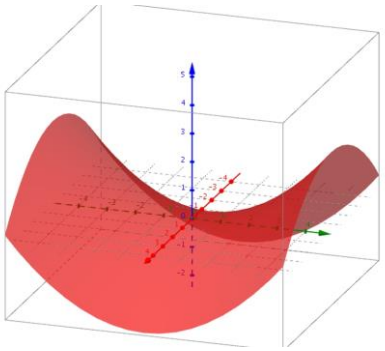


**Abb.6:** Potentialbild eines Quadrupols

Feldlinienbilder findet man auch bei Kondensatoren, freien Ladungen, bei Geräten wie dem Wehnelt-Zylinder, Blenden, Fokussierungs-Ringen oder der starken Fokussierung. Potentialbilder würden aber, so unsere Vermutung, die Vorhersage der Bewegung freier Teilchen in den Geräten intuitiver ermöglichen und dadurch weniger fehleranfällig sein. Wolfgang Paul hat beispielsweise bei seinem Nobel-Vortrag 1989 das Prinzip der Starken Fokussierung in wechselnden elektrischen Feldern mit diesem mechanischen Modell verdeutlicht: eine Kugel liegt stabil im Sattelunkt eines rotierenden Quadrupol-Potentials – die Filmsequenz kann man sich auf (Bechstein, 2019) ansehen.

**Abb.7:** Nachbau des mechanischen Modells von Wolfgang Paul zum Potentialbild eines Quadrupols

Als Kernaussage lässt sich Folgendes formulieren:

Ladungen verändern den Raum. Man stelle sich die Veränderung des elektrischen Raumes durch Potentiale ähnlich vor wie die Veränderungen unserer Erdoberfläche durch Berge und Täler.

Mit Blick auf die klassischen Sachstruktur-Modelle, bei denen die Ladung-Feld-Wechselwirkung und damit die Bewegung der Teilchen im Raum nur über die Feldvektoren erklärt wird, schlagen wir einen Modellwechsel vor, weg von Merksätzen wie „Ladungen ziehen sich (irgendwie) an“ hin zur Analogie zum Gravitations-Potential in Verbindung mit den fünf wichtigsten Parametern (vgl. Pentagon Abb.2).

In der folgenden Tabelle wird gezeigt, inwiefern die vorgeschlagene Sachstruktur eng an die Schülervorstellungen anknüpfen im Sinne einer Didaktischen Rekonstruktion:

| **Sachinhalte** | **Sinnstiftende Analogien** |
|---|---|
| Ladung als Eigenschaft des Elektrons | Elektron als kleines, punktförmiges Kügelchen – die negative Ladung ist abstrakt |
| Ladungsdichte | Dicht gepackte Kügelchen, Elektronengasmodell |
| **Potential** | **Analogie zur Gravitation**: Berge und Täler |
| Gradient des Potentials | **Analogie:** steiler oder flacher Hang |
| Elektrische Feldstärke | Abstrakt, Vektorfeld-Darstellung |
| Kraftwirkung auf andere Ladungen | Kraft ist abstrakt, Kraftwirkung zeigt sich in Veränderung der Bewegung |

**Tab.1:** Sachstruktur und Elementarisierung

Diese Darstellungsreihenfolge weicht zum Teil von der in den Schulbüchern üblichen Sachstruktur ab, böte aber die Chance, dass sie bei der Erklärung von Beschleunigungsprozessen möglicherweise zu weniger Problemen führen würde.

Mit der Darstellung der fünf wichtigsten Parameter (vgl. Pentagon Abb.2) und der Anknüpfung an sinnstiftende Analogien, mit denen sich die Lernenden die Parameter verdeutlichen können (vgl. Tab.1), kann ein Vorschlag für Experimente im Unterricht und in der universitären Lehre gemacht werden.

## 5. Entwicklung von Lerngelegenheiten am Experiment „Lehr-Linearbeschleuniger“

Die Beschleunigung von Teilchen zwischen Potentialdifferenzen kann in mechanischen Modellen wie auch in praxisnahen, erlebbaren Versuchsaufbauten gezeigt werden. Da man die schnell fliegenden Elektronen in einem Beschleuniger nicht direkt sehen kann, muss ihre Spur über ein Leuchtgas sichtbar gemacht werden, wie man es auch schon aus Versuchen wie dem Fadenstrahlrohr oder dem Wien-Filter kennt. Für die Konstruktion des Lehr-LINACs haben wir folgende Grund-Prämissen aufgestellt: Das Experiment soll die Grundfunktionalitäten der großen Beschleuniger in Forschung und Entwicklung besitzen, es soll das Beschleunigungsprinzip zeigen, das 1927 von Wideröe in Aachen entdeckte wurde, ferner soll es zuverlässige Bedienungselemente haben und der Elektronenstrahl soll im abgedunkelten Raum gut sichtbar sein. Diese Grundideen haben zahlreiche Entscheidungen zur Folge, beispielsweise, dass die Vakuum-Kammer im Wesentlichen aus Glas gebaut wird (siehe Abb.8).

Als Quelle werden Glühkathoden und Wehnelt-Zylinder genutzt, die aus einer Kathodenstrahlröhre und alten Monitoren entnommen wurden. Die Elektronen durchqueren drei Driftröhren, die aus Kupferzylindern bestehen, und kommen dann in den Detektionsbereich.

### 5.1. Schülerperspektive und v-Messung

Wichtigste Aufgabe eines Beschleunigers ist es, die erreichte Beschleunigung der Teilchen zu messen. Die Frage nach der Art der Messung haben wir exemplarisch mit einer Schülergruppe diskutiert. An dieser Stelle sei zunächst beschrieben, wie wir für die Entwicklung des Detektor-Bereichs den Schülerwunsch erhoben haben, um die Sensoren für die Geschwindigkeitsmessung im hinteren Lehr-LINAC-Bereich zielgruppengerecht entwickeln zu können.

Im Rahmen der Unterrichtsreihe „Ladungen in elektrischen Feldern“ im Sachkontext „Beschleuniger“ und nach der Vorstellung aller Messmethoden zur Geschwindigkeit $v$ freier Elektronen wurde mit der Methode Think-Pair-Share die Frage erörtert, welche der Methoden denn die eingängigste sei, im LINAC eine $v$-Messung zu machen. Ganz bewusst wurde die Gruppe auch gefragt, welche Methode für andere Lernende am besten zu verstehen sei. Bei den vielen technischen Möglichkeiten der $v$-Messung beispielsweise mittels Bahnkrümmung auf einem Leuchtschirm, Wien-Filtern, Gegenfeldmethoden oder Kalorimetern haben sich die Befragten (Q2Ph-GK, N=19) klar für die Messung mittels einer Start-Stopp-Methode ausgesprochen, bei der die Zeit gestoppt wird beim Durchgang der Teilchen an zwei hintereinanderliegenden Stellen.

Als Geschwindigkeits-Detektor haben wir uns deshalb dafür entschieden, zwei Gitter[1] zu nehmen, mit deren Hilfe der $nA$-Puls der Elektronenpakete mittels Oszilloskop ausgelesen werden kann.

### 5.2. Grundsätzliche Dimensionierung

Der Abstand der Detektions-Gitter zur $v$-Messung muss kleiner sein als der Abstand der Teilchenpakete, allerdings groß genug, um den Zeitversatz der beiden Pulse mit einfacheren 100MHz-Oszilloskopen aufzulösen. Die Pulse, die den vierten (n=4) Beschleunigungsbereich verlassen, sollten aufgrund der Diffusion recht schnell gemessen werden, daher liegt der Detektionsbereich nah hinter der letzten Potential-Platte.

Beim Durchlaufen der Beschleunigungsstufen nimmt die Geschwindigkeit jeweils um $v = \sqrt{2qU_B/m}$ zu, beträgt nach der $n$-ten Stufe (n=Zahl der Beschleunigungsstufen), also nach dem Flug durch ein Potential-

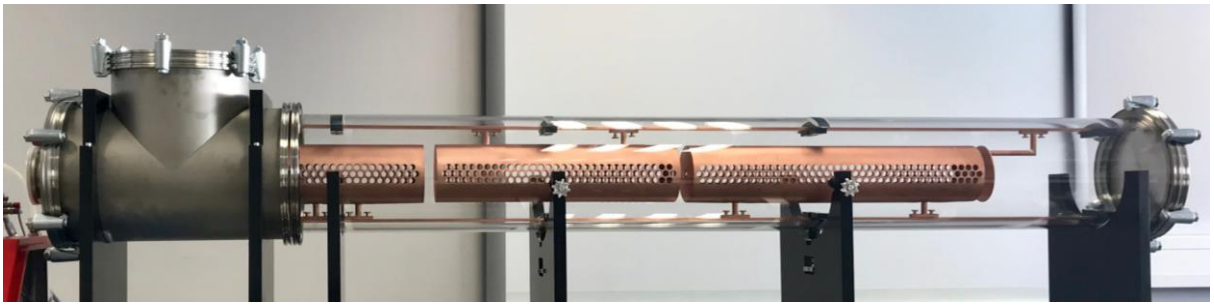


**Abb.8**: Foto des Lehr-LINACs mit Quellen-Kamme und Vakuum-Röhre aus Glas, drei Driftröhren aus Kupfer und einem noch leeren Detektionsbereich rechts.

[1] Alternativ können auch Kugel- oder Plattenpaare eingebaut werden, an denen die Elektronenpakete vorbeifliegen und einen Puls per Influenz erzeugen. So könnte man zusätzlich eine Information über die Lage des Strahls gewinnen.

differenz von $n \cdot U_B$, etwa $v_{n=1} \approx 4.2 \cdot 10^6 m/s$, $v_{n=2} \approx 5.9 \cdot 10^6 m/s$, $v_{n=3} \approx 7.3 \cdot 10^6 m/s$ und $v_{n=4} \approx 8.4 \cdot 10^6 m/s$ ($U_B = 53V$). Die Darstellung des Beschleunigungsprinzips nach Wideröe, der Zusammenhang mit dem $\sqrt{n}$-Verhältnis, das Entstehen der Pulse aus einem kontinuierlichen Quellstrahl und eine messbare Veränderung der Pulslänge während der Beschleunigung lassen sich bei einem Linearbeschleuniger mit vier Beschleunigungsstufen (die erste Stufe liegt noch im Quellbereich, siehe Markierung ① in Abb.9) nach unseren Simulationen schon deutlich zeigen, so dass alle Zusammenhänge auch quantitativ im Experiment überprüft werden könnten.

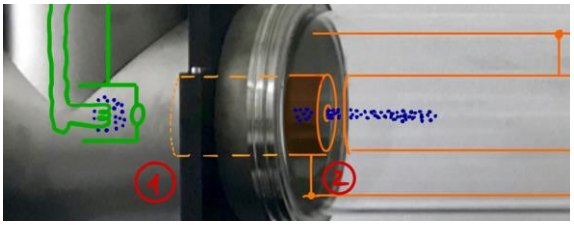



**Abb.9:** Auszug aus einem Foto des Lehr-LINACs, darin eine Handskizze der Elektronenquelle und der ersten beiden Beschleunigungsbereichen ① und ②.

Im Teilchenstrahl entstehen durch den Beschleunigungsprozess Pakete, deren Länge und Größe im Experiment gemessen werden sollen. Kalkulationen zur Form der Beschleunigungsspannung haben ergeben, dass ein Betrieb mit einer recht sauberen Rechteckspannung kompaktere, sauber voneinander abgegrenzte Teilchenpakete erzeugen würde - anders als ein Betrieb mit einer Sinusspannung. Die Beschleunigung unter kurzzeitig konstanter Spannung (für die Dauer eines Pulses bei der Rechteckspannung) entspricht didaktisch einer leichteren Reduzierungs-Stufe und wäre für Oberstufenschülerinnen/-schüler gerade mit Blick auf die quantitative Kalkulation im Rahmen der Schulmathematik möglich. Die Entwicklung einer solchen Quelle ist schwierig, ihre Frequenz ist aus technischen Gründen zurzeit[2] auf $f_{max} = 7\ MHz$ bei $U_{max} = 50\ V$ begrenzt. Frequenz und Spannung sollen von Null bis $f_{max}$ bzw. $U_{max}$ einstellbar sein, damit der enge Zusammenhang zwischen Frequenz und Beschleunigungsspannung im Experiment untersucht werden kann.

### 5.3. **Vakuum-Kammer und sichtbarer Strahl**

Verwendet man Neon als Leuchtgas, um die Spur des Elektronenstrahls sichtbar zu machen, reicht rein rechnerisch eine Spannung von wenigen Volt aus, um die Atome zum Leuchten anzuregen: der Energieübergang $18{,}4 \ldots 19eV$ auf $16.2eV$ wäre als rot-orangenes Leuchten sichtbar, wie man es aus dem Franck-Hertz-Experiment mit Neon für Schulen oder Praktika kennt. Messungen an Versuchsaufbauten von Phywe (Wasserstoff (H), Gasdruck $p_H \approx 1{,}0\ Pa$) und ELWE (Neon (Ne), Gasdruck $p_{Ne} \approx 1{,}33\ Pa$) haben aber ergeben, dass ein Elektronenstrahl über eine Distanz von $l \approx 20\ cm$ bei $U_B = 91\ V$ (H) bzw. $U_B = 72\ V$ (Ne) sichtbar ist. Insb. bei Neon sind erste, schwache Leuchteffekte ab 40V zu erkennen. Bei dieser Distanz fächert der Strahl aber merklich auf.

Um einen auf $l \approx 150\ cm$ wenig aufgefächerten Strahl beobachten zu können, muss die Kammer, die den Beschleuniger trägt, ein möglichst stabiles Vakuum unter $1\ Pa$ halten können. Für den Einsatz in Vorlesungen und Praktika ist es nötig, den Aufbau in weniger als einer Stunde evakuieren zu können.

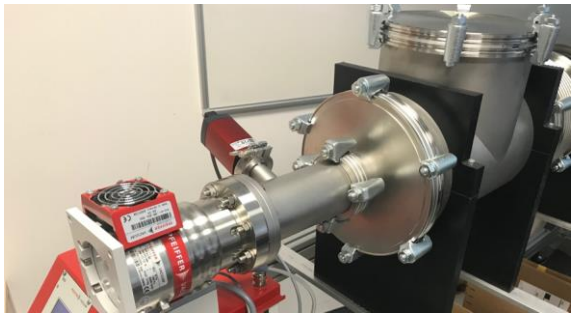


**Abb.10:** Foto, Vakuum-Komponenten am Lehr-LINAC

Dies gelingt nur über einen Pumpstand, dessen Turbopumpe gerade in der Achse des Beschleunigers montiert ist (s. Foto Abb.10). Erste Versuche zeigen, dass die Vakuumkammer in 35 Minuten von Atmosphärendruck auf $p_{Luft} = 3{,}5 \cdot 10^{-5}\ mbar$ (Größenordnung $10^{-8}$ !) leer gepumpt werden kann. Beim Fluten mit Neon und anschließendem Einstellen eines Drucks auf $1\ Pa = 10^{-2}\ mbar$ wären dann noch ca. 0,3% Luftanteil im Lehr-LINAC. Aufgrund der guten Leistung des Pumpstands und der kurzen Zeiten scheint genug Spielraum gegeben, um den Beschleuniger falls nötig auch deutlich unterhalb $1\ Pa$ betreiben zu können.

### 5.4. **Flexibilität beim Bau des Prototyps**

Viele Aspekte der Dimensionierung basieren auf Analysen, Berechnungen, Simulationen, Annahmen und Erfahrungen. Eine ausreichende Flexibilität beim schrittweisen Aufbau des Lehr-LINACs war erforderlich, weil viele Parameter wie die tatsächliche Kapazität der Driftröhren oder die Auswirkung einer Vorspannung an der Elektronenquelle nur schwer mit großer Genauigkeit simuliert oder analytisch berechnet werden können. Daher werden die Driftröhren so an die Zuleitungsstangen montiert, dass sie justierbar sind. Damit zwischen Zuleitungen und Driftröhren mehr Abstand ist als im Spalt zwischen den Driftröhren, müssen die Leitungen mehr als 2cm Abstand zur den Kupferröhren haben, sonst wäre das elektrische Feld in den Beschleunigungs-Spalten nicht groß genug. Aus diesen Überlegungen ergibt sich ein Durch-

[2] Die heute am Markt erhältlichen Verstärker-Bauteilen haben Schaltzeiten nicht unter $t_{min} = 8\ ns$, bei schnelleren Schaltungen entstehen in den Umschaltpunkten zu große Spannungsüberschläge (Umschalt-Peaks). Ferner können die Bauteile die aus der benötigten Leistung resultierende Wärme kaum noch abführen.

messer der Vakuumkammer von *200mm* und ein Aufbau mit DN 200 ISO-K - Komponenten. Die Glasröhre wurde aufwendig mit dem zweikomponentigen Epoxid LOCTITE 9483 der Firma Henkel mit den Flanschringen verklebt, hingegen wurden Halterungen der Zuleitungen mit einkomponentigem, vakuumgeeigneten Kleber omnivise 1050 fixiert. Die Kupferröhren sind seitlich mit Löchern versehen, damit man den Strahl auch im Driftbereich beobachten kann.

### 5.5. **Betriebsdaten**

Der Lehr-LINAC wird ein 0,5keV-Elektronen-Beschleuniger werden. Eventuell auftretende Gammastrahlung würde vom 7mm dicken Glas oder den Edelstahlkomponenten komplett absorbiert werden. Die Beschleunigungsspannung kann später bei maximal 4x *120 V* bei einer geplanten Frequenz von $f_{max}$= *20 MHz* liegen. Die Quelle wird mit üblichen *6,3V* ($I_{max}$=*2A*) geheizt. Damit liegt der Aufbau innerhalb der für die Schule zugelassenen Kenngrößen. Auch ein Betrieb in Vorlesungen oder eine Nutzung Praktika durch Studierende ist möglich.

Die Beschleunigerstufen des Prototyps haben einen Abstand von $l_1$=*308mm*, $l_2$=*436mm* und $l_3$=*534mm*. Die drei Driftröhren sind je *2cm* kürzer, damit zwischen ihnen ein Beschleunigungsbereich von je *2cm* bleibt. Mit einem zurzeit maximalen Betrieb von $U_{max}$= *53 V* bei $f_{max}$= *7 MHz* erreichen die Elektronenpakete eine Geschwindigkeit von $v_{max}=8{,}39\cdot10^6$ *m/s* und erreichen damit knapp 3% der Lichtgeschwindigkeit. Relativistische Effekte wären damit nicht zu beobachten, alle Berechnungen können näherungsweise klassisch erfolgen.

Bei dieser Maximalgeschwindigkeit lägen die beiden Pulse, die im Detektions-Bereich an den beiden Gittern (Abstand *d=10cm*) gemessen werden, um $\Delta t \approx 1{,}2\cdot10^{-8}$ *s* (= *12 ns*) auseinander, was mit einem Zweikanal-Oszilloskop und einer Auflösung von *1..3 ns* noch gut zu messen wäre. Bei Bedarf kann auch ein größerer Gitterabstand gewählt werden, da für den Abstand der Elektronen-Pakete untereinander beim Verlassen der 4. Beschleunigungsstufe ein Wert von ca. *60cm* erwartet wird. Damit ist der Abstand der beiden Mess-Gitter in jedem Fall kleiner als der Abstand zwischen zwei Elektronenpaketen.

### 5.6. **Mess- und Experimentiermöglichkeiten**

Vor jedem Betrieb muss die Vakuum-Kammer des Lehr-LINACs evakuiert, dann mit Leuchtgas (Neon) geflutet und anschließend auf den gewünschten Druck wieder evakuiert werden. Die Betriebsdaten der Pumpe (Drehzahl *in Hz*, Stromaufnahme *in A*) sowie die Werte der Messsonde (Druck *in mbar*) können am Pumpstand beim entwickelten Versuchsgeräte direkt abgelesen werden.

Anschließend wird die Quelle in Betrieb genommen. Zur Einstellung des Heizstroms ($I_H$ = *2,0 A*) und der Glühdraht-Spannung ($U_H$ = *6,3 V*) steht ein Präzisions-Netzteil zur Verfügung. Die komplette Quelle kann bei Bedarf auch auf ein Vorspannungs-Potential gegen Null von bis zu $U_{Vor}$ = ±*60V* gesetzt werden.

Mit einem weiteren Netzgerät wird die Beschleunigungs-Spannung $U_B$ = *0…53V* und deren Frequenz auf $f_B$= *0…7 MHz* unabhängig voneinander eingestellt. Schon bei einer geringen Spannung soll man den Strahl in der ersten Driftröhre sehen können, es hängt aber von der richten Wahl der Frequenz ab, ob die Elektronen auch die weiteren Beschleunigungsbereiche durchfliegen oder ob sie im Laufe des Weges gebremst werden. Neben dem Verlauf des Beschleunigungs-Prozesses können mit der *v*-Messung im Detektor-Bereich auch quantitativ alle Zusammenhänge der Beschleunigerphysik überprüft und nachvollzogen werden.

## 6. **Entwicklung von Tabletop-Experimenten**

Die Beschleunigungsprinzipien bei Linear- und Zirkularbeschleunigern wie einem LINAC und einem Zyklotron können mittels mechanischer Modelle veranschaulicht werden. Dabei werden Kugeln auf schiefen Ebenen durch die Potentialdifferenz zwischen den Röhren (LINAC) oder Platten (Zyklotron) beschleunigt (vgl. Filmsequenz Lawrence, 1939). Der Vorteil dieser mechanischen Modelle ist, dass der Prozess so langsam ist, dass das Laufen der Kugeln beobachtet und die Zunahme der Geschwindigkeit schon mit bloßem Auge und einer Stoppuhr gemessen werden kann (vgl. Filmsequenzen zu Abb.7). Auch die Entstehung von Teilchenpaketen kann nachvollzogen werden, daher bietet es sich an, zusätzlich zum Lehr-LINAC mechanische Modelle zu entwickeln, mit denen man in Analogie zum Gravitationspotential einige Abläufe in der Beschleunigerphysik verdeutlichen kann.

### 6.1. **Mechanisches Lehr-LINAC-Modell**

Beim Lehr-LINAC sind zwei der drei Driftröhren über eine Kupferleitung an eine Spannungsquelle angeschlossen, die das Potential der Röhren zwischen $+U_B$ und $-U_B$ hin und her schaltet. Analog dazu heben und senken sich zwei Röhren im mechanischen Modell (Abb: Laborbuch-Skizze zum Funktionsprinzip):

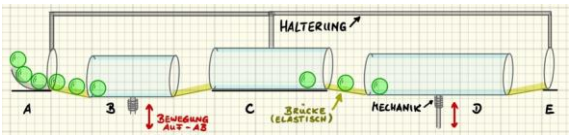



**Abb.11:** Skizze A mechanisches Lehr-LINAC-Modell

Auch der qualitative Zusammenhang zwischen Potentialdifferenz und Frequenz kann gezeigt werden: je größer die Hubhöhe ist, desto schneller werden die Kugeln, und desto schneller muss zwischen Heben und Senken umgeschaltet werden.

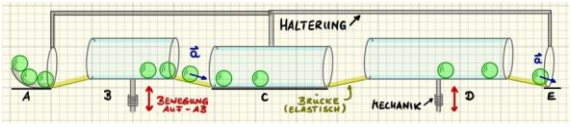



**Abb.12:** Skizze B mechanisches Lehr-LINAC-Modell

### 6.2. **Mechanisches Lehr-Zyklotron-Modell**

In enger Anlehnung an das Modell von Lawrence, mit dem er 1939 beim Nobelvortrag sein Beschleunigungsprinzip vorgestellt hat, wurde ein 3D-druckbares Tabletop-Modell entwickelt: die linke Platte kann per Hand, Motor- oder Servo-Steuerung gehoben und gesenkt werden. Geschieht das mit der richtigen Frequenz, kommt die Kugel immer wieder genau in dem Moment an der schiefen Ebene an (im Bild blau), in welchem sie die Ebene herunterrollen und dadurch zyklisch beschleunigt werden kann.

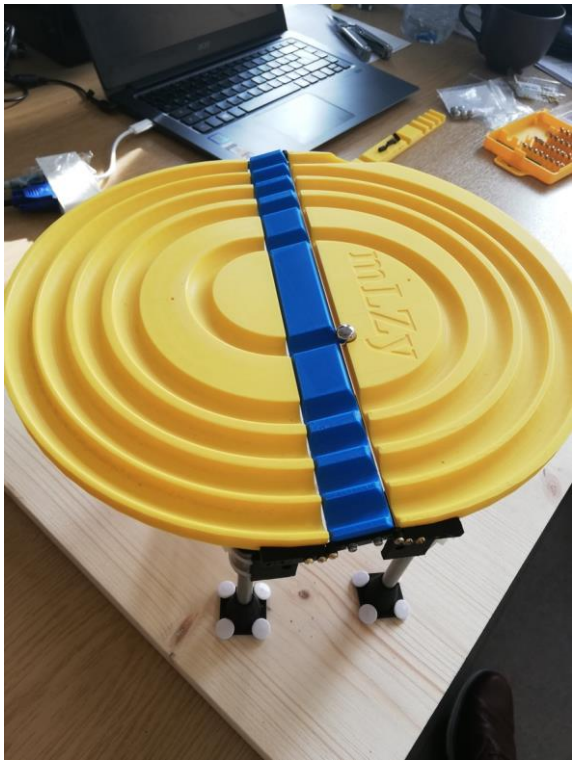



**Abb.13:** Foto, Modell des mechanischen Lehr-Zyklotrons (kurz: mLZy)

Da bei den Modellen die Reibung eine nicht unerhebliche Rolle spielt, müssen die Bahnradien gegenüber dem echten $\sqrt{n}$-Verhältnis deutlich korrigiert werden. Hier sind wir noch in der Erprobungsphase und hoffen, bald die Daten und Maße für ein funktionstüchtiges Modell gefunden zu haben. Alle Pläne, CAD-Zeichnungen und Bauanleitungen zu den mechanischen Modellen werden dann frei zum Nachbau in Schulen, Universitäten oder Ausstellungen zur Verfügung gestellt.

## 7. **Zeitplan und Ausblick**

Das aktuelle Forschungsprojekt ist terminiert bis zum Sommer 2020. In den nächsten Monaten soll der Lehr-LINAC in Betrieb genommen werden und, falls es keine technischen Überraschungen geben sollte, kann der Umgang mit dem Experiment bei ersten Lerngruppen im universitären Umfeld exemplarisch getestet werden. Begleitend werden die beiden Tabletop-Experimente weiterentwickelt und erste Ideen für ein Unterrichtsmodul zusammen mit den Bauplänen fertig gestellt. Schließlich soll die Beschleunigerphysik den jungen Menschen im Umfeld der Universitäten zugänglich gemacht werden.

## 8. **Literatur**

Stahl, A., Aßmann, R., & Lehrach, A. (2017), Diskussionsbeiträge in der Schlussrunde zum Symposium „90 Years of RF Accelerators“ in Aachen am 07.09.2017

Römer, J., (2017), Protonentherapie – die nächste industrielle Generation. Vortrag auf Einladung der DPG im Rahmen der Bad Honnefer Industriegespräche am 24.05.2017,

KLP Physik NRW (2014), Kernlehrplan für die Sekundarstufe II Gymnasium/Gesamtschule in Nordrhein-Westfalen, Physik (1. Auflage). Heftnummer 4721, 34, 36 und 47.

Welzel, M., Haller, K., Bandiera, M., Hammelev, D., Koumaras, P., Niedderer, H., Paulsen, A., Robinault, K., & Aufschnaider, S. (1998). Ziele, die Lehrende mit dem Experimentieren in der naturwissenschaftlichen Ausbildung verbinden – Ergebnisse einer europäischen Umfrage. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 4(1), 29-44

Bliesmer, K., & Komorek, M. (2019). Strömungsmuster für Ausstellungen didaktisch rekonstruieren. *GDCP-Tagungsband zur Jahrestagung in Kiel*, 177-180.

Duit, R., Kattmann, U., Gropengießer, H., & Komorek, M. (1997). Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion – Ein Rahmen für naturwissenschaftliche Forschung und Entwicklung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 3, Heft 3, 3-18.

Schecker, H., Wilhelm, Th., Hopf, M., & Duit, R. (2018). Schülervorstellungen und Physikunterricht - *Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis*.

Schecker, H., Wilhelm, Th., Hopf, M., & Duit, R. (2019). Schülervorstellungen - Forschungsstand, Konsequenzen Desiderata. *GDCP-Tagungsband zur Jahrestagung in Kiel*, 201-204.

Rouinfar, A., Dubson, M., Adare, A., Veillette, M., & Paul, A., & Perkins, K.,PhET-Simulation mit vier selbst platzierten Ladung (2019, 30. Mai) auf https://www.leifiphysik.de/elektrizitaetslehre/ladungen-felder-oberstufe/versuche.

Bechstein, S. (2019, 30. Mai). Film zum Potentialmodell und zum mechanischen Modell der Starken Fokussierung aus dem Deutschen Museum Bonn auf http://hp-ben.de/hp-ben/Forschung/Eintrage/2019/3/27_Filmsequenz_Paul-sche_Teilchenfalle.html.

Lawrence, E. (1939) Film vom Barkeley-Lab zum Beschleunigungsprozess beim Zyklotron (2019, 30.Mai) unter https://www.youtube.com/watch?v=cutKuFxeXmQ.

**Danksagung**

Mein herzlicher Dank geht an Claudia Kellermann (Verwaltung und Einkauf), René Reimann (PhD-Student bei IceCube am III. Physikalischen Institut B), Dieter Jahn (Leiter der Werkstatt bei 3B) und sein ganzes Team, Wolfgang Feldhäuser (Leiter der Abteilung Elektronik-Entwicklung), Falco Beijer, (Techniker und Firmenvertreter bei Fa. Pfeiffer-Vakuum) und an Christian Wolf (StD a.D. und Leiter der COLUMBUS-Projekts in Coburg).

**Beteiligte Institute**

I. Physikalisches Institut A der RWTH Aachen University, Lehrstuhl für Didaktik der Physik und Technik, Prof. Josef Riese

III. Physikalisches Institut B der RWTH Aachen University, Prof. Achim Stahl

# Eine 3D-gedruckte Plasmaelektronenquelle für den Physikunterricht

**Fabian Bernstein*[+], 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, sascha.schmeling@cern.ch, wilhelm@physik.uni-frankfurt.de

**Kurzfassung**

Zur experimentellen Untersuchung von geladenen Teilchen in elektrischen und magnetischen Feldern werden im Physikunterricht der Oberstufe zumeist Elektronen- und Fadenstrahlröhren eingesetzt. Diese weisen verschiedene, primär praktische Vorzüge auf, die allerdings mit didaktischen Nachteilen einhergehen. Insbesondere sind die Bestandteile dieser Lehrmittel konstruktionsbedingt unzugänglich, nicht-alltäglich und nicht modifizierbar – einer explorativen, selbsttätigen Beschäftigung der Schülerinnen und Schüler werden somit enge Grenzen gesetzt.
Am Schülerlabor S'Cool LAB des CERN wurde daher eine 3D-gedruckte Plasmaelektronenquelle entwickelt, die diese Nachteile überwinden soll: Sie ist kostengünstig, modular und leicht modifizierbar und soll erlauben, auf einfache Weise Experimente zur Strahlerzeugung, -fokussierung und -ablenkung durchzuführen. Ermöglicht wird dies durch den Einsatz einer Plasmaelektronenquelle, die, anders als thermische Elektronenquellen, auch bei vergleichsweise hohen Drücken und in reaktiven Gasen betrieben werden kann.

## 1. Motivation

Das Verhalten von geladenen Teilchen in elektrischen und magnetischen Feldern ist ein zentrales Thema der Physik der gymnasialen Oberstufe. Die *experimentelle* Auseinandersetzung im Physikunterricht erfolgt üblicherweise anhand der Beschäftigung mit Elektronen- und Fadenstrahlröhren – sofern nicht gänzlich auf die Durchführung von Experimenten verzichtet und stattdessen auf Simulationen, Interaktive Bildschirmexperimente (z. B. [1]) oder Lehrbuchtexte zurückgegriffen wird. Diese typische Herangehensweise unter Verwendung standardisierter Lehrmittel weist, insbesondere in praktischer Hinsicht, wesentliche Vorteile auf: So sind diese Lehrmittel i. d. R. vergleichsweise robust, von begrenzter Komplexität, lehrplankonform, schnell auf- und abgebaut und erlauben eine zuverlässige Reproduktion der interessierenden Phänomene. Darüber hinaus ermöglichen sie gleichermaßen qualitative als auch quantitative Untersuchungen.

Bei genauerer Betrachtung stellen sich jedoch Zweifel ein, ob diese *praktischen* Vorteile nicht durch *didaktische* Nachteile erkauft werden: So ist der direkte, unmittelbar an der Fachsystematik orientierte Ansatz, der die Schülerinnen und Schüler „auf systematische Weise mit meist künstlichen, fiktiven Objekten und gereinigten Phänomenen in Verbindung […] [bringt], deren einziger Zweck darin besteht, einige isolierte physikalische Zusammenhänge und Gesetzmäßigkeiten zu offenbaren" [2], wiederholt kritisiert und in seinen Annahmen hinterfragt worden. Der Vorwurf der „kanonisierten Requisite" [3] liegt hier nicht fern und tatsächlich können Elektronen- und Fadenstrahlrohr beispielhaft als Elemente jener „synthetischen Wirklichkeit" [4] aufgefasst werden, die den Schülerinnen und Schülern im Physikunterricht entgegentritt, jeden Bezug zur alltäglichen Lebenswelt ermangelt, auf diese Weise den Distanzcharakter der physikalischen Betrachtungsweise unterstreicht und somit letztlich den Zugang zur Physik für eine große Zahl von Schülerinnen und Schülern erschwert.

In methodischer Hinsicht schließen diese Lehrmittel aus Kostengründen Schülerübungen in aller Regel aus, so dass allein die Durchführung als Demonstrationsexperiment bleibt. Infolgedessen wird die unterrichtliche Herangehensweise primär durch praktische Rahmenbedingungen diktiert und nicht umgekehrt eine Unterrichtspraxis aus didaktischer Reflexion abgeleitet. Schließlich ließe sich argumentieren, dass die bauartbedingt eingeschränkten Manipulationsmöglichkeiten – kein Teil der Elektronenquelle ist haptisch zugänglich – eine explorative und problemgeleitete Beschäftigung deutlich erschweren.

Um diese Nachteile zu überwinden, wird daher am S'Cool LAB, dem Schülerlabor des CERN, derzeit ein Experimentiergerät entwickelt, das aus alltäglichen Gegenständen zusammengesetzt werden kann, erschwinglich und modular ist und zugleich den Schülerinnen und Schülern eine eigentätige Untersuchung von geladenen Teilchenstrahlen ermöglichen soll. Dabei wurden gezielt die Vorteile des 3D-Druckens für die Konstruktion der Elektronenquelle nutzbar gemacht, um den Zielkonflikt zwischen technischen Erfordernissen einerseits und wirtschaftlichen Randbedingungen andererseits aufzulösen.

## 2. Konstruktionsprämissen

In technischer Hinsicht basieren Elektronen- und Fadenstrahlröhren auf thermischen Elektronenquellen, die einfach zu fertigen sind sowie kostengünstig und technologisch vollständig beherrscht sind. Allerdings lassen sie sich nur bei vergleichsweise niedrigen Drücken in der Größenordnung von $10^{-5}$ mbar oder in nichtreaktiven Gasen betreiben [5]. Im Allgemeinen enthalten die Röhren daher ein Edelgas bei einem Druck von ca. $10^{-1}$ mbar, das gleichzeitig dazu dient, den Elektronenstrahl sichtbar zu machen und zu fokussieren [6]. Daraus folgt jedoch zwingend, dass die Röhre nicht ohne Verlust ihrer Funktionsfähigkeit geöffnet werden kann, was wiederum die Konstruktion eines modularen Systems unmöglich macht.

Aus diesem Grund wurde für die Neuentwicklung eine LowCost-Plasmaelektronenquelle konzipiert, die auf dem Prinzip der Gasentladung beruht und deren Vorteile für die vorliegende Anwendung u. a. darin liegen, dass sie in reaktiven Gasen (wie z. B. Luft) bei vergleichsweise hohen Drücken von ca. $10^{-1}$ mbar betrieben werden kann [7]. Dies erlaubt, die Bestandteile der Elektronenquelle frei zugänglich zu machen und auf anspruchsvolle Vakuumtechnik, wie sie an Schulen für gewöhnlich nicht zur Verfügung steht, zu verzichten.

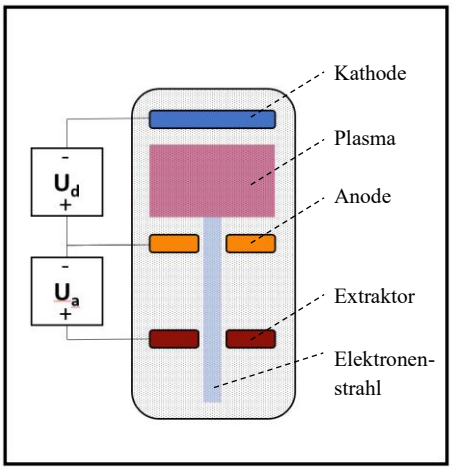



**Abb. 1:** Schema einer Plasmaelektronenquelle

## 3. Design und Optimierung

### 3.1. Prinzip der Plasmaelektronenquelle

Der schematische Aufbau einer Plasmaelektronenquelle ist der Abbildung 1 zu entnehmen. Drei Elektroden befinden sich in einem Rezipienten, der Luft bei einem Druck von ca. $10^{-1}$ mbar enthält. Legt man nun zwischen Anode und Kathode eine Spannung an, werden Elektronen im stationären elektrischen Feld zwischen den Elektroden beschleunigt. Entspricht oder übersteigt die kinetische Energie der Elektronen die Ionisationsenergie der Neutralteilchen, so werden durch inelastische Stöße neue Elektron-Ion-Paare erzeugt und die Zahl der freien Ladungsträger vervielfacht sich. Die Ionen driften zur Kathode und können dort Sekundärelektronen aus dem Metall herausschlagen. Wird nun für jedes freie Elektron sukzessive durch die Produktion von Sekundärelektronen im Mittel mindestens ein neues freies Elektron erzeugt, brennt die Entladung selbstständig und eine Glimmentladung, bei der Elektronen und Ionen ständig rekombinieren und so die charakteristischen Leuchterscheinungen hervorbringen, setzt ein [8]. Zwischen Kathode und Anode bildet sich so ein Niedertemperaturplasma aus, das als Elektronenreservoir betrachtet werden kann, aus welchem durch einen vorgeschalteten Extraktor auf positivem Potential gegenüber der Anode unter bestimmten Bedingungen ein Elektronenstrahl extrahiert werden kann.

Eine grundsätzliche technische Schwierigkeit bei dieser Art von Design stellt das Erfordernis dar, dass die Zündspannung zwischen Anode und Extraktor nicht überschritten werden darf, da andernfalls das zur Beschleunigung dienende elektrische Feld zwischen Anode und Extraktor durch die Ausbildung von entgegengesetzten Ladungsschwerpunkten im Plasma fast vollständig kompensiert wird [9]. Die Zündspannung wiederum hängt in komplexer Weise von verschiedenen Parametern ab, insbesondere von der Gasart, dem Gasdruck und dem Elektrodenabstand. Daneben spielen aber auch die Elektrodenform, die Geometrie des Entladungsgefäßes und – bedingt durch verschiedene Austrittsarbeiten – das Kathodenmaterial eine Rolle [10].

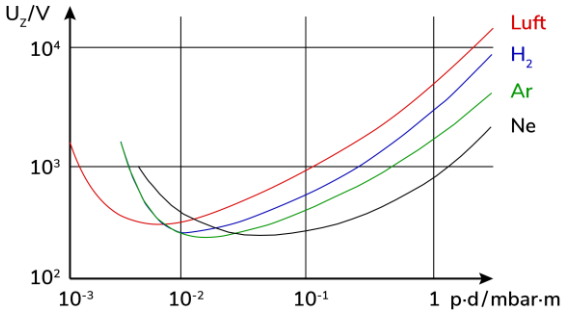



**Abb. 2:** Paschen-Kurven verschiedener Gase (nach [10])

In vereinfachter Form wird der Zusammenhang zwischen Druck, Abstand der Elektroden und sich einstellender Zündspannung dabei durch die sog. Paschen-Kurven (Abb. 2) beschrieben. Auf der Abszisse ist der Paschen-Parameter, das Produkt von Druck und Elektrodenabstand $p \cdot d$, aufgetragen, auf der Ordinate die Zündspannung. Da mit steigendem Abstand der Elektroden zwar die Zündspannung steigt, gleichzeitig aber die Stoßwahrscheinlichkeit der Elektronen mit den Neutralteilchen zunimmt, bestehen die gängigen Strategien zum Erreichen einer hohen Zündspannung entweder in einer Absenkung des Drucks, was aber die Notwendigkeit der Erzeugung verschiedener Druckregime in den Bereichen von Strahlerzeugung und -beschleunigung nach sich zieht, oder – technisch einfacher – in der Wahl eines möglichst geringen Abstandes zwischen Anode und Extraktor [9]. In der Praxis hängen allerdings zusätzlich die maximale Beschleunigungsspannung und die

Strahldivergenz über die Systemgeometrie, insbesondere den Elektrodenabstand, zusammen, so dass weitergehende Analysen und Simulationen für ein Verständnis der Systemdynamik unerlässlich sind.

### 3.2. Design der Plasmaelektronenquelle

Der Aufbau des Systems ist der Abbildung 3 zu entnehmen.

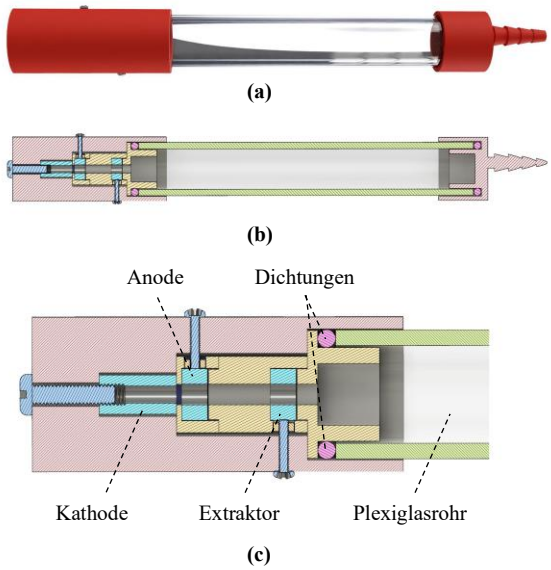



**Abb. 3:** Design der 3D-gedruckten Plasmaelektronenquelle: (a) Gesamtsystem mit Anschluss für Vakuumpumpe, (b) Schnittbild des Systems, (c) Schnittbild der Elektronenquelle

Um die Kosten gering zu halten, wurde ausschließlich auf 3D-gedruckte Bauteile (Kappe in Standard-ABS) oder handelsübliche Baumarkt-Komponenten (Schrauben, Abstandhalter, Dichtungsringe) zurückgegriffen. Die Kathode ist als Aluminiumzylinder ausgeführt, Anode und Extraktor werden durch einfache Abstandhalter gebildet. Die elektrischen Zuleitungen wurden durch Schrauben realisiert, die zugleich die Kappe dicht gegen den Umgebungsdruck abschließen. Die einzelnen Bestandteile der Elektronenquelle können zur Montage ineinandergesteckt werden. Als Rezipient dient eine Plexiglasröhre, die mittels eines ebenfalls 3D-gedruckten Schlauchanschlusses und einer schulüblichen, einstufigen Drehschieberpumpe auf ca. $\mathbf{10^{-1}\ mbar}$ evakuiert werden kann. Die Ausbildung einer Gasentladung – als notwendiger Voraussetzung der Plasmaelektronenquelle – in einem vereinfachten, auf diese Weise hergestellten, 3D-gedruckten Rezipienten (Abb. 4) gelingt so problemlos.

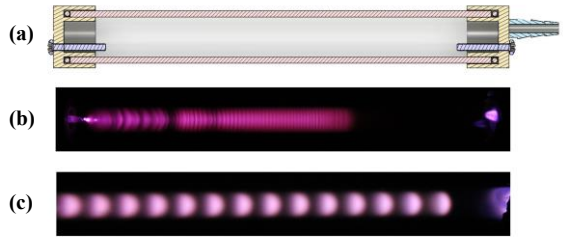



**Abb. 4:** Design der Gasentladungsröhre: (a) Schnittbild, (b,c) charakteristische Leuchterscheinungen bei ~5 mbar (b) und $\sim 10^{-1}$ mbar (c)

### 3.3. Simulation und Optimierung

Die Extraktion eines Elektronenstrahls, der sich zum Experimentieren in einem unterrichtlichen Kontext eignet, ist technisch anspruchsvoller. Aufgrund des komplexen Zusammenhangs der verschiedenen Designparameter im Hinblick auf die Strahlerzeugung und -formung (s.o.) sind qualitative und einfache analytische Betrachtungen für eine erfolgreiche Optimierung nicht hinreichend. Aus diesem Grund wurden in der Software „Comsol“ Simulationen des elektrischen Potentials und Feldes für unterschiedliche Geometrien und Spannungen durchgeführt, um die experimentell zu evaluierenden Designs auf ein handhabbares Maß zu beschränken (Abb. 5 und 6).

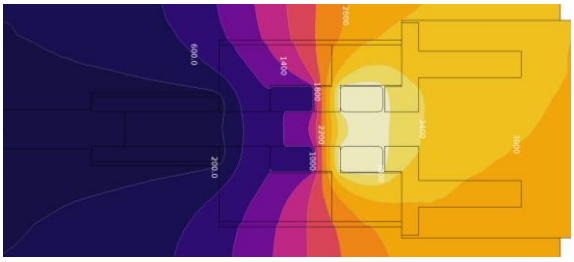


**Abb. 5:** Simulationen des elektrischen Potentials

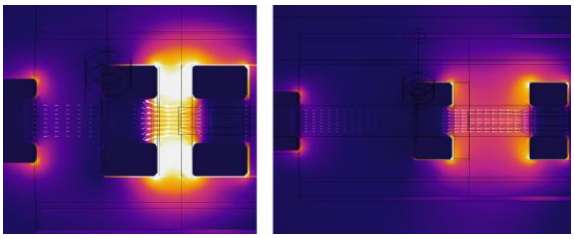


**Abb. 6:** Simulationen der Feldverteilung für verschiedene Geometrien

So zeigt Abbildung 5 beispielsweise, dass das Potential aufgrund der Geometrie der Elektronenquelle und der erforderlichen Zuleitungen nicht symmetrisch zur optischen Achse ist. Dies hat unmittelbare Auswirkungen auf die Propagation des Elektronenstrahls durch die Quelle (Abb. 7).

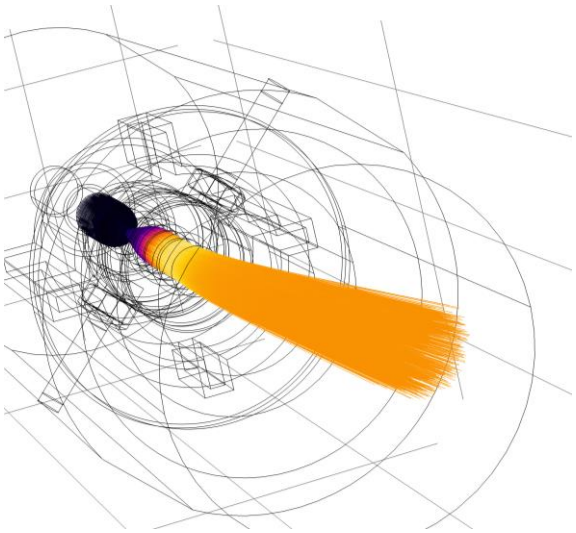


**Abb. 7:** Simulation der Propagation des Elektronenstrahls für einen Abstand Kathode-Anode von 6 mm und Anode-Extraktor von 3 mm

Genauere Betrachtungen zeigen zudem, dass die Divergenz des Elektronstrahls mit den Abständen zwischen Kathode, Anode und Extraktor verknüpft ist, wobei gleichzeitig der Abstand von Anode und Extraktor – wie zuvor erläutert – mit der maximal erzielbaren Beschleunigungsspannung zusammenhängt.

### 3.4. Fazit und Ausblick

Experimentell konnte bisher im Sinne eines proof-of-principle gezeigt werden, dass eine 3D-gedruckte LowCost-Plasmaelektronenquelle grundsätzlich realisierbar ist und die Strahlerzeugung nach diesem Prinzip gelingt (Abb. 8). Gleichsam besteht das Erfordernis, konstruktive Eigenschaften und Strahlqualität weiter zu optimieren, bevor die 3D-gedruckte Plasmaelektronenquelle eine Alternative zu den oben genannten Standard-Lehrmitteln darstellen kann.

**Abb. 8:** Erfolgreiche Strahlerzeugung mittels Plasmaelektronenquelle in 3D-gedrucktem Rezipienten

## 4. Literatur


[1] Bewegung von Elektronen im E- und B-Feld: https://www.didaktik.physik.uni-muenchen.de/elektronenbahnen/index.php (Stand: 5/2019)

[2] Schlichting, H. J. (1992): Die physikalische Dimension des Sports. In: Naturwissenschaften im Unterricht – Physik, S. 4–6. URL: https://www.uni-muenster.de/imperia/md/content/fachbereich_physik/didaktik_physik/publikationen/153_phys_dim_des_sports.pdf (Stand: 5/2019)

[3] Toeplitz, O., zitiert nach: Wagenschein, M. (1956): Zum Begriff des exemplarischen Lehrens. In: Zeitschrift für Pädagogik 2. URL: http://www.martin-wagenschein.de/en/2/W-128.pdf. (Stand: 5/2019)

[4] Müller, R.: Physik in interessanten Kontexten. Handreichung für die Unterrichtsentwicklung, URL: https://www.tu-braunschweig.de/Medien-DB/ifdn-physik/physik-in-interessanten-kontexten-rmueller.pdf (Stand: 5/2019)

[5] Oks, E. M., & Schanin, P. M. (1999): Development of plasma cathode electron guns. In: Physics of Plasmas 6 (5), S. 1649-1654

[6] 3BScientific: Bedienungsanleitung zum Lehroszilloskop 1000902. URL: https://www.3bscientific.de/product-manual/1000902_DE.pdf (Stand: 5/2019)

[7] Burdovitsin, V., Oks, E., & Serov, A. (1998): Hollow cathode electron gun for beam generation in forevacuum gas pressure. In: 12th International Conference on High-Power Particle Beams. BEAMS98. Proceedings 1, S. 412-415

[8] Stroth, U. (2011): Plasmaphysik. Phänomene, Grundlagen, Anwendungen. 1. Auflage. Wiesbaden: Vieweg & Teubner

[9] Oks, E. M. (2006): Plasma cathode electron sources. Physics, technology, applications. Weinheim: Wiley-VCH

[10] Demtröder, W. (2009): Experimentalphysik 2. Elektrizität und Optik. 5. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer

# Re-Design des Frankfurter Unterrichtskonzepts im Rahmen von EPo-EKo

**Jan-Philipp Burde*, Thomas Wilhelm*, Thomas Schubatzky[x], Claudia Haagen-Schützenhöfer[x], Lana Ivanjek°, Martin Hopf°, Liza Dopatka[+], Verena Spatz[+]**

*Institut für Didaktik der Physik, Goethe-Universität Frankfurt, Max-von-Laue-Str. 1, 60438 Frankfurt;
[x]Institut für Physik, Physikdidaktik, Karl-Franzens-Universität Graz, Universitätsplatz 5, 8010 Graz;
°Österreichisches Kompetenzzentrum für Didaktik der Physik, Universität Wien, Porzellangasse 4, 1090 Wien;
[+]Institut für Physik, Physikdidaktik, Technische Universität Darmstadt, Hochschulstraße 12, 64289 Darmstadt;
burde@physik.uni-frankfurt.de, wilhelm@physik.uni-frankfurt.de, thomas.schubatzky@uni-graz.at, claudia.haagen@uni-graz.at, lana.ivanjek@univie.ac.at, martin.hopf@univie.ac.at, liza.dopatka@physik.tu-darmstadt.de, verena.spatz@physik.tu-darmstadt.de

**Kurzfassung**

Viele Lernende besitzen auch nach der Sekundarstufe I kein angemessenes Verständnis der elektrischen Grundgrößen „Spannung“, „Stromstärke“ und „Widerstand“ sowie ihrer wechselseitigen Beziehung in einfachen Stromkreisen. In der Studie von Burde (2018) konnte gezeigt werden, dass das Frankfurter Unterrichtskonzept auf Basis des Elektronengasmodells zu einem deutlich besseren konzeptionellen Verständnis beiträgt. Im Sinne des für Design-Based-Research-Ansätze typischen zyklischen Vorgehens von Entwicklung, Erprobung und Evaluation wurde das ursprüngliche Unterrichtskonzept für die aktuell laufende binationale Studie „Elektrizitätslehre mit Potenzial und Kontexten“ (EPo-EKo) weiterentwickelt. Grundlage hierfür waren einerseits die schulpraktischen Erfahrungen der Lehrkräfte in der Studie von Burde (2018) und andererseits kognitionspsychologische Erkenntnisse der „Dual-Process Theory“, wonach Lernende trotz besseren Wissens oftmals in ein intuitives, aber falsches Denkschema zurückfallen, statt eine physikalisch gesehen korrekte Argumentation zu verfolgen. Um eine unkomplizierte Implementierung im Regelunterricht zu ermöglichen, wurde das überarbeitete Frankfurter Unterrichtskonzept inzwischen unter dem Titel „Eine Einführung in die Elektrizitätslehre mit Potenzial“ in Form eines kostenfreien Schulbuchs veröffentlicht.

## 1. Das EPo-EKo-Projekt

Das in diesem Artikel beschriebene Re-Design des Frankfurter Unterrichtskonzepts fand im Rahmen des gemeinsamen Design-Based Research (DBR) Projekts „Elektrizitätslehre mit Potenzial und Kontexten“, kurz EPo-EKo, der Universitäten Frankfurt, Darmstadt, Wien und Graz statt. Das übergeordnete Ziel dieses DBR-Projektes besteht darin, zu einer Verbesserung des Elektrizitätslehreunterrichts in der Sekundarstufe I beizutragen. Zu diesem Zweck wird der traditionelle Unterricht mit drei im Rahmen des EPo-EKo-Projektes entwickelten Unterrichtskonzepten verglichen. Die empirische Evaluation der verschiedenen Unterrichtskonzepte umfasst dabei neben dem konzeptionellen Verständnis auch das Sach- und Fachinteresse sowie das physikbezogene Selbstkonzept der Lernenden. Zusätzlich werden u.a. Facetten des fachdidaktischen Wissens der unterrichtenden Lehrkräfte sowie die jeweilige Unterrichtsstruktur erhoben und untersucht.

Das erste Unterrichtskonzept „EPo“ basiert dabei auf dem bisherigen Frankfurter Unterrichtskonzept auf Basis des Elektronengasmodells. Dieses hat sich in einer Treatment-Kontrollgruppen-Studie mit 790 Schülerinnen und Schülern als sehr lernförderlich erwiesen [1]. Schülerinnen und Schüler, die nach dem Frankfurter Unterrichtskonzept unterrichtet wurden, zeigten ein deutlich besseres konzeptionelles Verständnis einfacher Stromkreise als traditionell unterrichtete Schülerinnen und Schüler. Der mit Hilfe eines psychometrisch ausgereiften Testinstruments [2] ermittelte Verständnisvorsprung der Treatmentgruppe war nicht nur höchst signifikant, sondern entsprach insbesondere einer großen Effektstärke von $d = .94$ [1]. Eine sich an die empirische Studie anschließende Befragung der Lehrkräfte zu ihren Erfahrungen mit dem ursprünglichen Frankfurter Unterrichtskonzept gab wertvolle Hinweise für ein Re-Design des Konzepts.

Das zweite Unterrichtskonzept „EKo“ wird vor dem Hintergrund entwickelt, dass in der physikdidaktischen Forschung seit langem bekannt ist, dass eine geeignete Kontextorientierung das Interesse der Schülerinnen und Schüler steigern kann [3]. Unklar ist hingegen, inwiefern ein kontextorientierter Unterricht auch zu einem besseren inhaltlichen Verständnis beiträgt [4]. Durch die empirische Evaluation des kontextstrukturierten Unterrichtskonzepts „EKo“ in Hinblick auf die Entwicklung des konzeptionellen

Verständnisses und des Interesses der Schülerinnen und Schüler an Physik soll hier der fachdidaktische Forschungsstand weiter vorangebracht werden.

Das dritte zu evaluierende Unterrichtskonzept „EPo-EKo“ stellt eine Kombination der beiden bereits vorgestellten Unterrichtskonzepte „EPo“ und „EKo“ dar. Dabei besteht das Ziel, ein kontextstrukturiertes Unterrichtskonzept auf Basis des überarbeiteten Frankfurter Unterrichtskonzepts zu entwickeln und dieses empirisch zu evaluieren.

## 2. Das bisherige Frankfurter Unterrichtskonzept

Die Motivation zur Entwicklung des Frankfurter Unterrichtskonzepts bestand darin, dass es vielen Lernenden in der Sekundarstufe I im traditionellen Unterricht nicht gelingt, ein angemessenes Verständnis von einfachen Stromkreisen zu entwickeln. Als eine besondere Herausforderung hat sich hierbei die elektrische Spannung erwiesen, die von den meisten Lernenden als Eigenschaft des elektrischen Stroms und nicht als eigenständige physikalische Größe wahrgenommen wird [5]. Die Schwierigkeit, Strom und Spannung konzeptionell zu trennen, spiegelt sich auch in der Verwendung des Begriffs der sogenannten „Stromspannung“ wider. Dieser wird nicht nur in der Schule oftmals von Schülerinnen und Schülern verwendet, sondern stellt zum Zeitpunkt des Schreibens dieses Artikels sogar bei „Google Translate“ die offizielle Übersetzung des englischen Begriffs „voltage“ dar und wird dort als „von der Übersetzer-Community bestätigt“ angezeigt.

Um den Schülerinnen und Schülern ein eigenständiges Spannungskonzept zu ermöglichen und ihnen insbesondere die Bedeutung der elektrischen Spannung für die Stromstärke verständlich zu machen, wird die elektrische Spannung im Frankfurter Unterrichtskonzept noch vor der Stromstärke in Analogie zu Luftdruckunterschieden als elektrischer Druckunterschied eingeführt. Indem die Lernenden zunächst in offenen Stromkreisen die elektrischen Drücke entsprechend einer vorgegebenen Farbkodierung einfärben, wird von Beginn an gezielt versucht, bei ihnen die elektrische Spannung als Primärkonzept zur Analyse von Stromkreisen zu verankern, um dem oft beklagten „übermächtigen Strombegriff“ entgegenzuwirken [5, 6]. Erst nach der Einführung der elektrischen Spannung als elektrischer Druckunterschied wird dann in Analogie zu den zuvor besprochenen und den Lernenden aus dem Alltag bekannten Luftdruckbeispielen (z.B. Luftmatratzen oder Fahrradreifen) besprochen, dass die z.B. an Lämpchen anliegenden „elektrischen Druckunterschiede“ genauso eine Elektronenströmung durch ein Lämpchen bewirken wie Luftdruckunterschiede eine Luftströmung bewirken. Eine umfassende Darstellung der Ideen des ursprünglichen Unterrichtskonzepts findet sich in [7].

## 3. Darstellung des Re-Designs

Nach der Entwicklung und empirischen Evaluation des ursprünglichen Frankfurter Unterrichtskonzepts fand im Rahmen von EPo-EKo entsprechend der Forschungsphilosophie von Design-Based Research ein Re-Design des Unterrichtskonzepts statt, u.a. um einen Beitrag zur nachhaltigen Verbesserung des Physikunterrichts zu leisten [8]. Dieses Re-Design fand auf Grundlage theoretischer Überlegungen, eigener Unterrichtserfahrung und vor allem den schulpraktischen Erfahrungen der Lehrkräfte statt, die in der Studie von Burde [1] bereits nach dem Unterrichtskonzept unterrichteten. Dabei zeigte sich, dass alle Lehrkräfte das gewählte Vorgehen, die Spannung als Potenzial- bzw. Druckdifferenz einzuführen, für sinnvoll erachten. Besonders gelobt wurde die verwendete Luftdruckanalogie in Kombination mit der farblichen Kodierung des elektrischen Drucks in Schaltplänen, da dieses Vorgehen bei den Schülerinnen und Schülern nicht nur zu einem besseren Verständnis der elektrischen Grundgrößen beitrage, sondern insbesondere die Bedeutung der elektrischen Spannung für die Stromstärke verständlich darstelle.

Auch wenn die bisherigen Unterrichtsmaterialien von den Lehrkräften als Bereicherung ihres Unterrichts betrachtet wurden, bestand eine Kritik darin, dass die Materialien insgesamt zu umfangreich seien. Kritisiert wurde ferner, dass Schülerinnen und Schüler der Sekundarstufe I damit überfordert seien, Reihenschaltungen mit Hilfe von Übergangszuständen zu analysieren. Ein weiterer Kritikpunkt von Seiten der Lehrkräfte bestand in der Diskussion von Lade- bzw. Entladevorgängen von Kondensatoren zur Vorbereitung einer Argumentation mit Übergangszuständen bei Reihenschaltungen, da Kondensatoren i.d.R. nicht Teil des Lehrplans der Sekundarstufe I sind. Die Farbwahl bei der Farbkodierung des elektrischen Drucks in Stromkreisen wurde von den Lehrkräften zwar als intuitiv bezeichnet, nichtsdestotrotz äußerten sie den Wunsch, dass in den Unterrichtsmaterialien zumindest der Widerspruch zur traditionellen Farbgebung thematisiert wird. Hintergrund ist hier, dass im Unterrichtskonzept der hohe elektrische Druck im mit dem Minuspol verbundenen Leiterstück rot und der niedrige elektrische Druck im mit dem Pluspol verbundenen Leiterstück blau eingefärbt wird, während die Farbgebung traditionell genau andersrum ist. Für eine detailliertere Auseinandersetzung mit dem Feedback der Lehrkräfte sei an dieser Stelle auf [9] verwiesen.

### 3.1. Farbkodierung und Oberflächenladungen

Vor dem Hintergrund, dass von Seiten der Lehrkräfte der Wunsch geäußert wurde, in den Unterrichtsmaterialien näher auf den Widerspruch zur traditionellen Farbkodierung einzugehen, wird im überarbeiteten Unterrichtskonzept kurz auf den Zusammenhang zwischen Oberflächenelektronen und „elektrischem Druck“ sowie den Unterschied zwischen konventioneller und physikalischer Stromrichtung eingegangen. Anknüpfend an die zuvor besprochenen Luftdruckbeispiele, bei denen der Zusammenhang zwischen Kompression und Druck über eine Teilchen-

darstellung erarbeitet wurde, wird der in Leitern herrschende elektrische Druck mit der Anzahl an Oberflächenelektronen in Verbindung gebracht. Dabei wird bei dieser sich insbesondere an Lehrkräfte und interessierte Schülerinnen und Schüler gerichteten Erklärung darauf hingewiesen, dass sich bei elektrischen Leitern im Gegensatz zu den zuvor diskutierten Luftdruckbeispielen durch die Batterie nicht die Anzahl der Elektronen im Inneren vom Leiter ändert, sondern lediglich an dessen Oberfläche [10]. Der Zusammenhang zwischen Oberflächenelektronen und dem postulierten elektrischen Druck wird dann an Hand von Abb.1 aufgezeigt und erklärt, dass viele Oberflächenelektronen einen hohen elektrischen Druck, normal-viele Oberflächenelektronen einen normalen elektrischen Druck und wenige Oberflächenelektronen einen niedrigen elektrischen Druck bedeuten. Die farbliche Kodierung des elektrischen Drucks (rot = hoher elektrischer Druck; blau = niedriger elektrischer Druck) ist dabei bewusst der alltäglichen Verwendung dieser Farben z.B. bei Wasserhähnen oder Wetterkarten entlehnt, wo rot i.d.R. für einen hohen Wert und blau i.d.R. für einen niedrigen Wert steht.

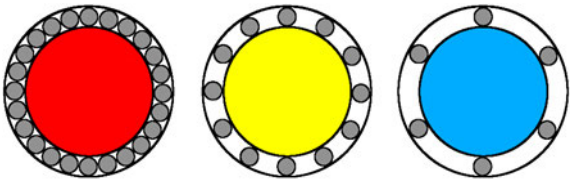


**Abb. 1:** Darstellung des Zusammenhangs zwischen Oberflächenelektronen und „elektrischem Druck". Dabei steht Rot für einen hohen elektrischen Druck, Gelb für einen normalen elektrischen Druck und Blau für einen niedrigen elektrischen Druck.

Nach der Klärung des Ursprungs des elektrischen Drucks anhand unterschiedlicher Oberflächenelektronendichten wird im überarbeiteten Unterrichtskonzept der Frage nachgegangen, warum die Farbkodierung des elektrischen Drucks nicht mit der traditionellen Farbkodierung übereinstimmt, wie man sie z.B. bei Netzgeräten oftmals antrifft. Hierzu wird erklärt, dass die konventionelle Farbkodierung zu einer Zeit festgelegt wurde, als man noch dachte, dass „positiv geladene Teilchen" vom Plus- zum Minuspol strömen würden. In Anlehnung an die vermittelte Modellvorstellung wird dann argumentiert, dass man am Pluspol einen „hohen elektrischen Druck" positiv geladener Teilchen annahm und ihn deshalb rot einfärbte, während man am Minuspol einen „niedrigen elektrischen Druck" positiv geladener Teilchen annahm und ihn deshalb blau einfärbte. Ein Vorteil dieser Erklärung besteht darin, dass sie an die ohnehin oftmals im Physikunterricht behandelte Unterscheidung zwischen konventioneller und physikalischer Stromrichtung unmittelbar anschlussfähig ist, weshalb die beiden Stromrichtungen im überarbeiteten Unterrichtskonzept an dieser Stelle auch explizit thematisiert werden.

### 3.2. Stromkreise als Energieübertragungssysteme

Die von den Lehrkräften geäußerte Kritik in Hinblick auf das Kapitel „Kondensatoren" und „Übergangszustände" wurde im Rahmen des Re-Designs dadurch aufgegriffen, dass Kondensatoren im überarbeiteten Unterrichtskonzept nicht mehr behandelt werden und Übergangszustände eine weniger zentrale Stellung im Konzept einnehmen. Der Verzicht auf eine Auseinandersetzung mit den Lade- und Entladevorgängen von „Kondensatoren" bedeutet auch, dass eine Einführung in die „Elektrostatik" auf Basis einer mikroskopischen Modellvorstellung (positiv geladene Atomrümpfe, negativ geladene Elektronen) im Unterrichtskonzept nicht mehr zwingend stattfinden muss.

Anstelle eines Einstiegs in die Thematik über die Elektrostatik geht das überarbeitete Unterrichtskonzept in der ersten Einheit deshalb der Frage nach, welche Bedeutung Stromkreise für unsere heutige Gesellschaft haben und wie mit ihnen Energie übertragen wird. In Anlehnung an Überlegungen von Härtel [11] und Muckenfuß [12] wird der elektrische Stromkreis dabei anderen Energieübertragungssystemen gegenübergestellt und von diesen abgegrenzt, um bereits zu Beginn der Stromverbrauchsvorstellung entgegenzuwirken. Dies geschieht vor dem Hintergrund, dass sich der elektrische Stromkreis als System zur Energieübertragung wesentlich von Energieübertragungssystemen unterscheidet, die den Schülerinnen und Schülern oftmals aus dem Alltag vertraut sind. Zu nennen sind hier insbesondere Öl- bzw. Gaspipelines, Kohletransporte per Schiff oder Zug sowie das Betanken eines Autos mit Benzin. In all diesen Fällen findet ein linearer Energietransport statt, wobei das Überträgermedium (Öl, Kohle, Benzin) von der Quelle zum Ziel transportiert und dort verbraucht wird. Aus diesem Grund sollte es nicht überraschen, dass Schülerinnen und Schüler bei einem einfachen Stromkreis mit Lämpchen zunächst einmal davon ausgehen, dass im Lämpchen der elektrische Strom genauso verbraucht wird, wie z.B. eine Gasflamme das Erdgas verbraucht. Eines der wesentlichen Ziele der ersten Einheit im überarbeiteten Unterrichtskonzept besteht deshalb darin, den Schülerinnen und Schülern bewusst zu machen, dass sich elektrische Stromkreise als Energieübertragungssysteme fundamental von der Energieübertragung z.B. über eine Öl-Pipeline unterscheiden. Basierend auf Ideen von Härtel [11] wird der elektrische Stromkreis deshalb zu Beginn mit einer Fahrradkette bzw. einem „starren Elektronenring" verglichen, da hier Energie mit Hilfe eines zirkulierenden Mediums über einen „Kraftschluss" zwischen Antrieb und Widerstand übertragen wird. Während bei der Öl-Pipeline das Öl als Überträgermedium der Energie am Ende verbraucht wird, überträgt der Stromkreis analog zur Fahrradkette Energie, ohne dass dabei die Kettenglieder oder die Elektronen selbst verbraucht werden.

Um diesen Kraftschluss zwischen Antrieb und Widerstand bzw. Lämpchen den Schülerinnen und Schülern auch experimentell zugänglich zu machen, wird

auf den handgetriebenen Generator „DynaMot“ nach Muckenfuß [12] zurückgegriffen (siehe Abb. 2). Sofern dieser in einem Schülerexperiment in einem unverzweigten Stromkreis mit einer 30 W Lampe (5 A bei 6 V) verbunden wird, können die Lernenden am eigenen Körper erfahren, dass es mit merklicher Anstrengung verbunden ist, ein Lämpchen zum Leuchten zu bringen – eine Erfahrung, die man bei elektrischen Geräten im Alltag nicht macht, da hier bloß der Schalter betätigt werden muss.

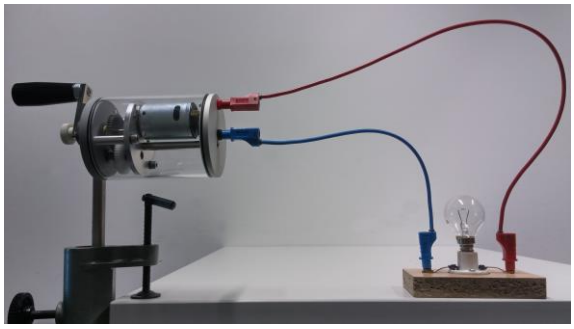


**Abb. 2:** Erfahrbare Energieübertragung mit Hilfe des handgetriebenen Generators „DynaMot“ nach Muckenfuß und einer 30 W Lampe.

Der direkte Vergleich mit einer Fahrradkette bzw. einem „starren Elektronenring“ hat ferner zum Ziel, der Stromaussendevorstellung entgegenzuwirken. Insbesondere sollen die Lernenden erkennen, dass in einer Batterie keine Elektronen gespeichert sind wie Öl in einem Fass und dann z.B. vom Minuspol aus den Stromkreis Bauteil für Bauteil durchlaufen. Hierzu wird die Batterie in Analogie zu den Pedalen bei einer Fahrradkette als Antrieb des „starren Elektronenrings“ eingeführt. Ein weiterer Vorteil des Einstiegs über die Fahrradkettenanalogie besteht darin, dass den Lernenden von Beginn an der Systemcharakter des elektrischen Stromkreises vor Augen geführt wird und so beispielsweise auch die Frage diskutiert werden kann, warum eine Deckenlampe nach Betätigen des Schalters sofort anfängt zu leuchten, obwohl zwischen Schalter und Lampe mehrere Meter liegen und Elektronen in Kupferleitungen in einer Sekunde nur etwa 0,1 mm zurücklegen.

### 3.3. Übergangszustände bei Reihenschaltungen

Wie bereits angedeutet, bestand ein weiterer Kritikpunkt der Lehrkräfte in der bisher ausgiebigen Auseinandersetzung mit Übergangszuständen zur Erklärung von Stromstärke und Spannung bei Reihenschaltungen. Dieser Kritik wurde im Rahmen des Re-Designs des Unterrichtskonzepts Rechnung getragen, indem zunächst der Zusammenhang zwischen Stromstärke und Gesamtwiderstand bei Reihenschaltungen ohne Bezugnahme zu Übergangszuständen behandelt wird. Hierzu wird argumentiert, dass z.B. drei identische in Reihe geschaltete Widerstände die Elektronenströmung dreimal so stark behindern wie ein einzelner solcher Widerstand. Um den Schülerinnen und Schülern diesen Zusammenhang intuitiv verständlich zu machen, wird an dieser Stelle auf eine Strohhalmanalogie zurückgegriffen. In Analogie zu einer Reihenschaltung von Widerständen, die mit einem größeren Gesamtwiderstand einhergeht und die Elektronenströmung stärker behindert, werden die Lernenden auf folgenden Zusammenhang aus dem Alltag aufmerksam gemacht: Je mehr Strohhalme hintereinander „zusammengesteckt“ werden, desto schwerer lässt sich Luft durch sie blasen und desto größer ist folglich ihr „Gesamtwiderstand“.

Gleichzeitig wurde im Rahmen des Re-Designs versucht, die Erklärungsmächtigkeit der Analyse von Reihenschaltungen mit Hilfe von Übergangszuständen insbesondere in Hinblick auf die elektrische Spannung weiter zu nutzen. Um mit „elektrischen Drücken“ verstehen zu können, warum beispielsweise bei zwei in Reihe geschalteten Widerständen an einem größeren Widerstand eine größere Spannung anliegt, benötigen die Lernenden eine dynamische Modellvorstellung. In der ersten Version des Unterrichtskonzepts diente die Betrachtung von Lade- und Entladevorgängen von Kondensatoren dazu, die Schülerinnen und Schüler gedanklich an eine solche Vorstellung heranzuführen. Die Grundidee bestand darin, dass z.B. beim Laden eines Plattenkondensators der „elektrische Druck“ auf der einen Platte langsam absinkt, während er in gleichem Maße auf der anderen Platte zunimmt.

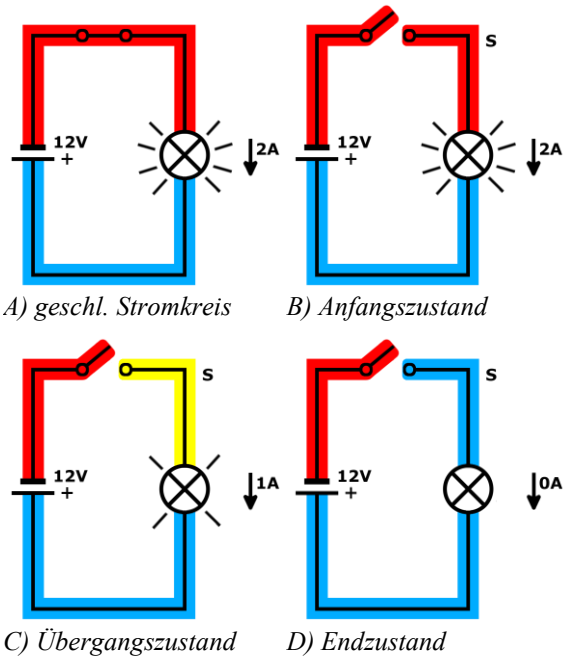



**Abb. 3:** Hinführung zur dynamischen Modellvorstellung mit einem Schalter, der geöffnet wird.

Da Kondensatoren im überarbeiteten Unterrichtskonzept nicht mehr vorkommen, findet die Hinführung zur dynamischen Modellvorstellung stattdessen über die Betrachtung der Spannung an einem Schalter statt (siehe Abb. 3). Hierzu wird bei einem einfachen Stromkreis mit einem zunächst geschlossenen Schal-

ter die Veränderung der elektrischen Drücke unmittelbar nach dem Öffnen des Schalters betrachtet. Solange der Schalter noch geschlossen ist, liegt an ihm kein elektrischer Druckunterschied an, da der Schalter keinen elektrischen Widerstand hat (Situation A: geschl. Stromkreis). Im ersten Moment nach der Öffnung des Schalters liegt an diesem immer noch kein elektrischer Druckunterschied an, da zu diesem Zeitpunkt gedacht noch keine Elektronen aus dem Leiterstück S durch das Lämpchen in das untere Leiterstück geflossen sind (Situation B: Anfangszustand).

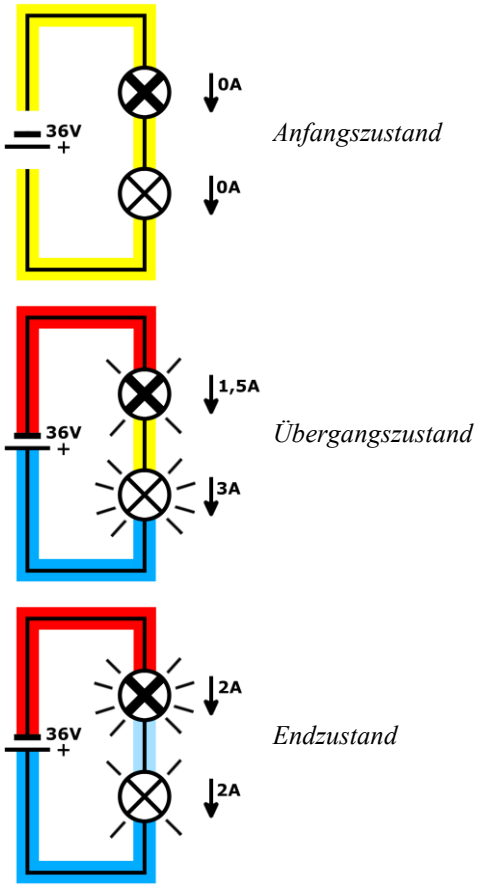



**Abb. 4:** Dynamische Modellvorstellung bei einer Reihenschaltung von zwei Lämpchen. Im Beispiel soll das obere Lämpchen einen doppelt so großen Widerstand haben wie das untere Lämpchen.

Aufgrund des an dem Lämpchen anliegenden elektrischen Druckunterschieds strömen aus dem Leiterabschnitt S jedoch Elektronen durch das Lämpchen zum unteren Leiterabschnitt, während bedingt durch den nun offenen Schalter keine neuen Elektronen nachströmen. Dadurch sinkt der elektrische Druck in Leiterabschnitt S ab, womit gleichzeitig auch der elektrische Druckunterschied und damit die Intensität der Elektronenströmung durch das Lämpchen absinken (Situation C: Übergangszustand). Dieser Prozess setzt sich fort, bis so viele Elektronen aus dem Leiterabschnitt S geströmt sind, dass dort der gleiche elektrische Unterdruck herrscht wie im unteren Leiterabschnitt. Da dann am Lämpchen kein elektrischer Druckunterschied mehr anliegt, strömen auch keine Elektronen mehr durch das Lämpchen. Stattdessen liegt nun am Schalter der volle von der Batterie erzeugte elektrische Druckunterschied an, womit der sogenannte Endzustand erreicht ist (Situation D: Endzustand).

Im nächsten Schritt wird die dynamische Modellvorstellung mit Anfangs-, Übergangs- und Endzuständen übertragen auf einfache Reihenschaltungen bestehend z.B. aus zwei Lämpchen mit unterschiedlich großem Widerstand (siehe Abb. 4). Analog zum bisherigen Unterrichtskonzept wird hier für den Anfangszustand angenommen, dass der Stromkreis noch nicht mit der Batterie verbunden wurde und deshalb in allen Leiterabschnitten noch ein „elektrischer Normaldruck“ herrscht. Der Übergangszustand ist dadurch charakterisiert, dass im oberen bzw. unteren Leiterabschnitt schon der jeweilige elektrische Über- bzw. Unterdruck des Minus- bzw. Pluspol herrscht, jedoch noch keine Elektronen durch die Lämpchen geströmt sind. Aufgrund des als doppelt so groß angenommenen Widerstands des oberen Lämpchens verglichen mit dem unteren Lämpchen kommt es in Folge der an beiden Lämpchen zunächst identischen elektrischen Druckunterschiede zu unterschiedlich großen Elektronenströmungen durch die Lämpchen. Da dann mehr Elektronen aus dem mittleren Leiterabschnitt rausströmen als reinströmen, sinkt dort der elektrische Druck ab, bis die Intensität der Elektronenströmung durch beide Lämpchen gleich groß ist. Dies ist unter der idealisierten Annahme von Lämpchen mit Ohm’schen Widerstand dann der Fall, wenn die Spannung am oberen Lämpchen doppelt so groß ist wie am unteren Lämpchen.

Im Gegensatz zum bisherigen Unterrichtskonzept werden die wesentlichen Erkenntnisse dieser Überlegungen dann auch in der folgenden Form zusammengefasst: „An einem großen Widerstand stellt sich immer ein großer Druckunterschied ein. An einem kleinen Widerstand stellt sich immer ein kleiner Druckunterschied ein. An gleichen Widerständen stellt sich immer der gleiche Druckunterschied ein.“ Anhand der Regeln sollen auch lernschwächere Schülerinnen und Schüler in die Lage versetzt werden, die an in Reihe geschalteten Widerständen anliegende Spannung in Abhängigkeit ihrer jeweiligen Widerstandswerte *R* einschätzen zu können, ohne dafür auf die dynamische Modellvorstellung zurückgreifen zu müssen. Damit wird der Kritik der Lehrkräfte Rechnung getragen, dass gerade lernschwächere Schülerinnen und Schüler Schwierigkeiten damit hätten, die dynamische Modellvorstellung zielführend anzuwenden.

### 3.4. Förderung der Metakognition

Bei der Umsetzung des Konzepts im eigenen Unterricht hat sich zudem gezeigt, dass einige Schülerinnen und Schüler Schwierigkeiten damit haben, die erlernte und an sich verstandene Modellvorstellung konsequent auf Parallelschaltungen anzuwenden. Obwohl die Lernenden bei unterschiedlichsten elektrischen Stromkreisen zuvor die elektrischen Drücke in

den verschiedenen Leiterabschnitten erfolgreich identifizieren konnten und verstanden haben, dass ein elektrischer Druckunterschied eine Elektronenströmung bewirkt, tendieren sie oftmals dazu, Parallelschaltungen aus Sicht des elektrischen Stroms und nicht auf Grundlage von Druckunterschieden zu analysieren. Die Problematik soll im Folgenden an Hand einer einfachen Parallelschaltung, wie sie in Abb. 5 dargestellt ist, erläutert werden.

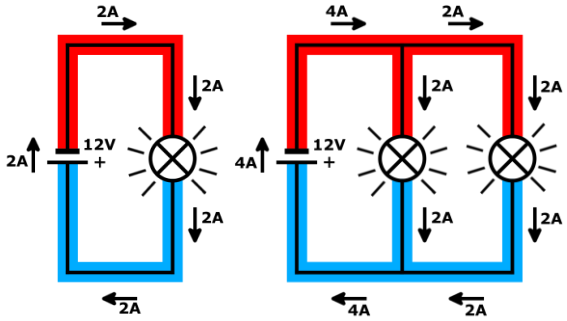



**Abb. 5:** Zu einem bestehenden Lämpchen wird ein weiteres, identisches Lämpchen parallelgeschaltet.

Entsprechend der im Unterrichtskonzept vermittelten Modellvorstellung sollen Schülerinnen und Schüler das Leuchten des Lämpchens im linken Schaltplan von Abb. 5 wie folgt erklären. Die Batterie erzeugt einen vorgegebenen elektrischen Druckunterschied (z.B. 12 V) in den mit ihren Polen verbundenen Leiterstücken. In Folge des nun an dem Lämpchen anliegenden elektrischen Druckunterschieds kommt es zu einer Elektronenströmung durch das Lämpchen. Dabei wird die Elektronenströmung von dem durch die Batterie erzeugten elektrischen Druckunterschied bewirkt und von dem Widerstand des Lämpchens gehemmt. Im vorliegenden Fall kommt es also in Folge des elektrischen Druckunterschieds von 12 V bei dem gegebenen Lämpchen zu einer Intensität der Elektronenströmung von $I = 2$ A. Wird nun wie im rechten Schaltplan von Abb. 5 dargestellt ein identisches Lämpchen parallel zum bisherigen Lämpchen geschaltet, so liegt an diesem Lämpchen der gleiche elektrische Druckunterschied an wie am ursprünglichen Lämpchen. Wenden die Schülerinnen und Schüler nun die Modellvorstellung konsequent an, erkennen sie, dass durch das zweite Lämpchen aufgrund des gleichen an ihm anliegenden elektrischen Druckunterschiedes und des gleichen elektrischen Widerstands ebenfalls eine Intensität der Elektronenströmung von $I = 2$ A vorliegen muss. Die beiden so entstandenen Einzelströmungen kommen am unteren Knoten zusammen, weshalb im Hauptzweig eine Intensität der Elektronenströmung von $I = 4$ A vorliegt, die von der Batterie bewirkt werden muss.

Eine häufige Argumentation von Schülerinnen und Schülern, die zum ersten Mal mit der beschriebenen Situation konfrontiert werden, basiert jedoch nicht auf einer Analyse der elektrischen Druckunterschiede. Stattdessen gehen sie davon aus, dass die Batterie eine Konstantstromquelle ist und sich der Strom mit $I = 2$ A am oberen Knoten zu je $I = 1$ A aufteilen müsse. Mit anderen Worten geben die Schülerinnen und Schüler in der beschriebenen Situation also die gelernte Modellvorstellung zugunsten des schon lange beklagten „übermächtigen Strombegriffs“ auf [5]. Statt eine physikalisch gesehen korrekte Argumentation zu verfolgen, greifen die Lernenden also auf eine für sie intuitiv korrekt erscheinende Erklärung zurück. Wichtig ist dabei anzumerken, dass dieses Verhalten nicht auf ein mangelndes Modellverständnis zurückzuführen ist, sondern auf die Art und Weise, wie das kognitive System die wahrgenommenen Informationen verarbeitet [13, 14]. Entsprechend der Dual-Process Theory [15] kommen bei der Informationsverarbeitung zwei unterschiedliche Prozesse zum Tragen: Auf der einen Seite der sogenannte „Process 1“, der unbewusst, schnell und ohne größere kognitive Anstrengung abläuft und somit intuitiven Denkprozessen entspricht. Auf der anderen Seite der „Process 2“, der bewusst und langsam abläuft und mit kognitiver Anstrengung verbunden ist und damit analytische Denkprozesse widerspiegelt. Der durch die Betrachtung der Parallelschaltung unbewusst getriggerte intuitive Denkprozess geht dabei mit der Analyse der Parallelschaltung aus Sicht des Stroms einher. Die Tatsache, dass eine solche Analyse den Lernenden zuerst in den Kopf kommt und mit einem für sie plausiblen Ergebnis einhergeht, behindert sie darin, den „Process 2“ und damit einen reflektierten, rationalen und bewussten Denkprozess zu verfolgen.

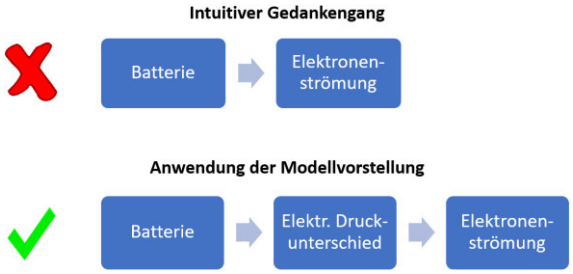



**Abb. 6:** Vereinfachte Darstellung des „Process 1“ (oben) und des „Process 2“ (unten) der Dual-Process Theory bezogen auf einfache Stromkreise in den Unterrichtsmaterialien.

Vor dem Hintergrund dieser im Unterricht gemachten Erfahrungen und des theoretischen Erklärungsansatzes auf Basis der Dual-Process Theory wurde bei der Weiterentwicklung und Optimierung der Unterrichtsmaterialien gezielt versucht, die Metakognition der Lernenden zu fördern, damit sie sich ihrer eigenen Denkpfade bewusst werden und somit Stromkreise nicht länger ausgehend von der intuitiv erscheinenden Perspektive des elektrischen Stroms, sondern ausgehend von Potentialunterschieden analysieren. Hierzu wurde u.a. Abb. 6 in die Unterrichtsmaterialien aufgenommen, um den Schülerinnen und Schülern zu helfen, sich über die unterschiedlichen Argumentati-

onspfade bewusst zu werden und ihre eigenen Argumentationen bei der Analyse von Stromkreisen zu reflektieren und ggf. zu korrigieren.

Um den ohnehin oftmals „übermächtigen Strombegriff“ bei den Schülerinnen und Schülern nicht unbewusst zu fördern, sollten Lehrkräfte die Stromstärke bei Parallelschaltungen nicht damit begründen, dass sich der Strom an den Knotenpunkten aufteilt. Stattdessen sollte im Unterricht immer wieder betont werden, dass sich die aufgrund der elektrischen Druckunterschiede an den einzelnen Lämpchen entstandenen Einzelströmungen zu einem Gesamtstrom addieren, um so die elektrische Spannung bei den Schülerinnen und Schülern als Primärkonzept bei der Analyse von Stromkreisen zu verankern.

Ähnlich wie bei den Reihenschaltungen, bei denen der mit jedem zusätzlichen Lämpchen größer werdende Gesamtwiderstand über eine Strohhalm-Analogie plausibel gemacht wird, wird den Lernenden auch bei Reihenschaltungen über die gleiche Analogie versucht verständlich zu machen, warum der Gesamtwiderstand mit jedem zusätzlichen Widerstand weiter absinkt. Zu diesem Zweck wird die Parallelschaltung von Widerständen verglichen mit der Situation, wenn mehrere Strohhalme „parallel“ in den Mund gesteckt werden. Hier kann auf die Erfahrung zurückgegriffen werden, dass sich die Luft in einer solchen Situation umso leichter durch die Strohhalme blasen lässt, je mehr von ihnen gleichzeitig „parallel“ in den Mund gesteckt werden. In der Terminologie von Parallelschaltungen sinkt also der „Gesamtwiderstand“ mit jedem zusätzlichen Strohhalm ab (siehe Abb. 7, oben).

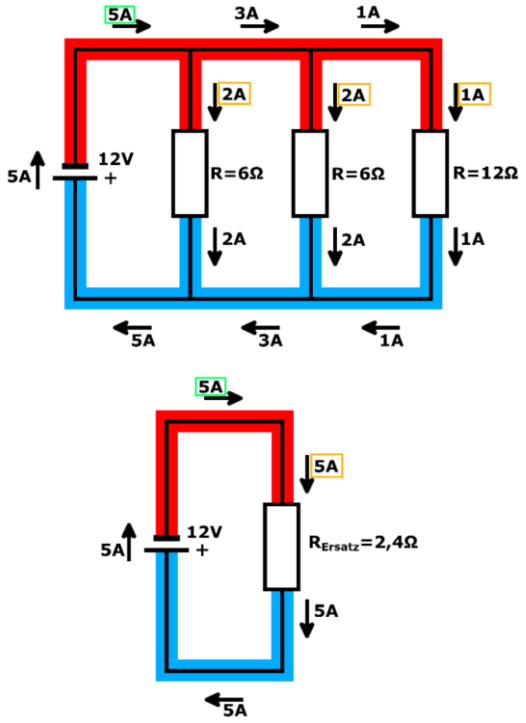



**Abb. 7:** Einführung des „Ersatzwiderstands“ (unten) über den „Gesamtwiderstand“ von Einzelwiderständen (oben)

Ausgehend von der Fragestellung, welchen Widerstandswert $R$ ein einzelner Widerstand haben müsste, um bei der gleichen Spannungsquelle zu einer Elektronenströmung zu führen, die der Summe der Elektronenströmungen durch die verschiedenen ursprünglich parallelgeschalteten Widerstände entspricht, wird in einem nächsten Schritt der Begriff des „Ersatzwiderstands“ eingeführt. Beträgt bei einer Spannung von $U = 12$ V die Intensität der Elektronenströmung durch alle drei Widerstände zusammen beispielsweise $I = 5$ A, so berechnet sich der nötige Ersatzwiderstand $R$ entsprechend des Unterrichtskonzepts zu $R = U / I = 12$ V / 5 A = 2,4 Ω (siehe Abb. 7, unten). Eine Berechnung des Ersatzwiderstands mittels der Widerstandswerte $R$ der einzelnen parallelgeschalteten Widerstände findet aufgrund der zu erwartenden mathematischen Schwierigkeiten mit dem Kehrwert erst gegen Ende der Unterrichtseinheit statt.

### 3.5. Weitere Änderungen im Re-Design

Die zu Beginn des überarbeiteten Unterrichtskonzepts aufgeworfene Fragestellung, wie mit Hilfe von Stromkreisen Energie übertragen wird, dient nicht nur der Motivation des Themas, sondern wird in den weiteren Einheiten immer wieder aufgegriffen. Auch wenn der Fokus der Unterrichtseinheit klar darauf liegt, den Schülerinnen und Schülern ein qualitatives Verständnis der elementaren Größen Spannung, Stromstärke und Widerstand und ihres wechselseitigen Zusammenhangs in einfachen Stromkreisen zu vermitteln, finden sich in den Unterrichtsmaterialien immer wieder Info-Boxen für interessierte Schülerinnen und Schüler, die den Zusammenhang zwischen Spannung, Stromstärke und der pro Zeiteinheit an einem Widerstand umgesetzten Energie in Form der elektrischen Leistung $P = U\,I$ aufzeigen. Dies geschieht nicht nur vor dem Hintergrund der hohen Alltagsrelevanz der Thematik, sondern auch um ein tieferes konzeptionelles Verständnis für Stromkreise insgesamt zu fördern. Denkt man beispielsweise an einen einfachen Stromkreis bestehend aus einer (idealen) Batterie und einem Lämpchen, welcher um ein weiteres identisches parallelgeschaltetes Lämpchen erweitert wird, so leuchten beide Lämpchen mit der gleichen Helligkeit wie das ursprüngliche Lämpchen. Wird dieser Umstand experimentell gezeigt, führt dies regelmäßig zu großer Verwunderung auf Seiten der Schülerinnen und Schüler, da diesen intuitiv bewusst ist, dass sich „etwas“ nun auf die beiden Lämpchen aufteilen muss. Wie bereits dargestellt, ist die erste Vermutung der Lernenden oftmals, dass sich der Strom auf beide Lämpchen aufteilt, was vermutlich darauf zurückzuführen ist, dass der Strombegriff in der Alltagssprache energetisch verwendet wird [16]. Nachdem die Schülerinnen und Schüler gelernt haben, die Modellvorstellung auch auf Parallelschaltungen korrekt anzuwenden, bietet sich eine energetische Betrachtung an, um die Intuition der Lernenden aufzugreifen. Indem an Hand des einfachen Zusammenhangs $P = U\,I$ aufgezeigt wird, dass die Batterie bei zwei parallelgeschalteten Lämpchen doppelt so viel

leisten muss wie bei nur einem Lämpchen, d.h. eine doppelt so große Energiemenge pro Zeiteinheit bereitstellen muss, ist den meisten Lernenden intuitiv klar, dass die in der Batterie gespeicherte Energie doppelt so schnell auf zwei Lämpchen übertragen sein wird als auf nur ein Lämpchen, weil nun die in der Batterie gespeicherte Energie auf zwei statt auf ein Lämpchen übertragen werden muss.

Eine weitere im Rahmen des Re-Designs vorgenommene Änderung betrifft die Darstellung von Schaltplänen. Während diese im bisherigen Unterrichtskonzept in Analogie zu den besprochenen Luftdruckbeispielen ähnlich dargestellt wurden wie Rohrsysteme und erst gegen Ende zur konventionellen Darstellung mit einfachen Leiterbahnen gewechselt wurde, wird im überarbeiteten Unterrichtskonzept von Anfang an die konventionelle Schaltplandarstellung verwendet (siehe Abb. 8). Dies geschieht u.a. vor dem Hintergrund, dass damit eine höhere Anschlussfähigkeit gewährleistet wird und sich die Farbdarstellung problemlos auf einfache Leiterbahnen anwenden lässt.

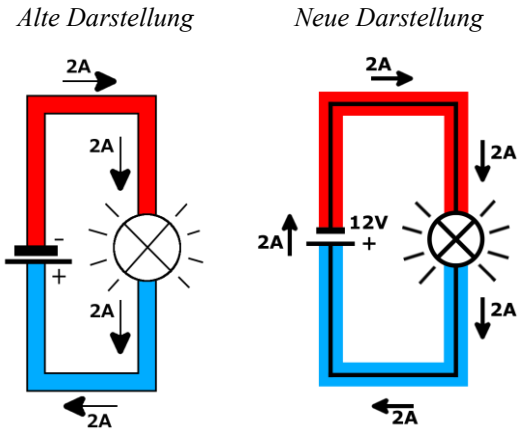



**Abb. 8:** Gegenüberstellung der ursprünglichen und der neuen Darstellung von Schaltplänen.

Um einerseits dem Wunsch der Lehrkräfte nach einer kompakteren Fassung des Unterrichtskonzeptes Rechnung zu tragen und andererseits eine möglichst unkomplizierte Implementierung des überarbeiteten Unterrichtskonzepts im regulären Physikunterricht zu ermöglichen, wurde das überarbeitete Unterrichtskonzept im Format eines Schulbuchs mit einem Umfang von 46 Seiten veröffentlicht. Dieses steht auf www.einfache-elehre.de unter der Creative-Commons-Lizenz zur Verfügung und kann dort kostenfrei heruntergeladen werden. Vor dem Hintergrund, dass Lehrkräfte oftmals auch im traditionellen Unterricht auf Schulbücher zur Strukturierung ihres Unterrichts zurückgreifen, erscheint dieses Format besonders geeignet, die hinter dem Konzept stehenden didaktischen Ideen in die Schulpraxis zu tragen.

## 4. Literatur

[1] Burde, J.-P. (2018): Konzeption und Evaluation eines Unterrichtskonzepts zu einfachen Stromkreisen auf Basis des Elektronengasmodells, Bd 259. Berlin: Logos-Verlag

[2] Urban-Woldron, H.; Hopf, M. (2012): Entwicklung eines Testinstruments zum Verständnis in der Elektrizitätslehre. In: ZfDN, 18, S.201–227

[3] Lubben, F.; Bennett, J.; Hogarth, S.; Robinson, A. (2005): A systematic review of the effects of context-based and Science-Technology-Society (STS) approaches in the teaching of secondary science on boys and girls, and on lower-ability pupils. Review, University of London

[4] Taasoobshirazi, G.; Carr, M. (2008): A review and critique of context-based physics instruction and assessment. In: Edu. Res. Rev., 3, Nr.3, S.155–167

[5] Rhöneck, C.v. (1986): Vorstellungen vom elektrischen Stromkreis und zu den Begriffen Strom, Spannung und Widerstand. In: NiU – Physik, 34, Nr.13, S.10–14

[6] Cohen, R.; Eylon, B.; Ganiel, M. (1983): Potential difference and current in simple electric circuits: A study of students' concepts. In: Am. J. Phys., 51, Nr.5, S.407–412

[7] Burde, J.-P.; Wilhelm, T. (2017): Die Elektrizitätslehre mit dem Elektronengasmodell. In: PdN–PidS, 65, Nr.8, S.18–24

[8] Reinmann, G. (2005): Innovation ohne Forschung? Ein Plädoyer für den Design-Based Research Ansatz. In: Unterrichtswissenschaft, 33, Nr.1, S.52–69

[9] Burde, J.-P.; Wilhelm, T. (2018): Das Elektronengasmodell aus Sicht der Lehrkräfte. In: PhyDid B, S.297–303

[10] Chabay, R.W.; Sherwood, B.A. (2011): Matter & Interactions. In: Wiley, Hoboken N.Y.

[11] Härtel, H. (2012): Der alles andere als einfache elektrische Stromkreis. In: PdN–PidS, 61, Nr.5, S.17–24

[12] Muckenfuß, H.; Walz, A. (1997): Neue Wege im Elektrikunterricht. Köln: Aulis Deubner

[13] Kryjevskaia, M.; Stetzer, M.R.; Grosz, N. (2014): Answer first: Applying the heuristic-analytic theory of reasoning to examine student intuitive thinking in the context of physics. In: Phys. Rev. PER, 10, Nr.2

[14] Gette, C.R.; Kryjevskaia, M.; Stetzer, M.R.; Heron, P.R.L. (2018): Probing student reasoning approaches through the lens of dual-process theories. In: Phys. Rev. PER, 14, Nr.1

[15] Evans, J.S.B.T. (2006): The heuristic-analytic theory of reasoning: Extension and evaluation. In: Psychon Bull Rev, 13, Nr.3, S.378–395

[16] McDermott, L.C.; Shaffer, P.S. (1992): Research as a guide for curriculum development: An example from introductory electricity. Part I: Investigation of student understanding. In: Am. J. Phys., 60, Nr.11, S.994–1013

## Danksagung

Das Re-Design des ursprünglichen Unterrichtskonzepts wurde durch eine finanzielle Förderung der Deutschen Telekom Stiftung ermöglicht.

# Gestaltung von variablenkontrollierten Experimenten für Schülerinnen und Schüler mit Lernbeeinträchtigungen

**Larissa Fühner*, Alexander Pusch***

*Institut für Didaktik der Physik
Westfälische Wilhelms-Universität
Wilhelm-Klemm-Str. 10
48149 Münster
larissa.fuehner@uni-muenster.de, alexander.pusch@uni-muenster.de

**Kurzfassung**
Schülerinnen und Schüler mit Lernbeeinträchtigungen haben es im regulären Physikunterricht meist besonders schwer. Aus der Praxisarbeit von Förderschulen gibt es für diese Lernendengruppen grundlegende Handlungsempfehlungen für die Ausgestaltung von Lernprozessen, die wir im Rahmen eines Lernsettings anwenden und analysieren.
In diesem Beitrag möchten wir ein solches außerschulisches Lernsetting als Best-Practice-Beispiel für Schülerinnen und Schüler mit u.a. Schwierigkeiten beim Lernen oder mit Störungen in der geistigen Entwicklung vorstellen. Wir gehen dabei mit Lernenden unterschiedlicher Förderschwerpunkte experimentell und variablenkontrolliert der Frage nach, von welchen Einflussfaktoren die Wurfweite beim schiefen Wurf abhängt. Wir nennen Probleme von lernbeeinträchtigten Schülerinnen und Schülern bei der experimentellen Erarbeitung physikalischer Sachverhalte und stellen durch Handlungsempfehlungen mögliche Lösungsansätze vor. Diese Kernideen lassen sich auf schulisches Experimentieren übertragen, um Lernenden mit sonderpädagogischer Unterstützung eine bessere Teilhabe und Erarbeitung zu ermöglichen.

## 1. Warum Experimente mit Schülerinnen und Schüler mit sonderpädagogischen Unterstützungsbedarf an der Wasserbombenschleuder?

Physikunterricht zeichnet sich in der Regel durch eine große Handlungsorientierung aus, die es gerade Schülerinnen und Schülern mit sonderpädagogischer Unterstützung besonders ermöglichen kann, am gemeinsamen Lernprozess zu partizipieren. Zusätzlich bilden die unterschiedlichen Ebenen des Verstehens physikalischer Fachinhalte auch eine Möglichkeit, gemeinsame, aber zieldifferente Lernprozesse sinnvoll zu gestalten. Am Beispiel des „schiefen Wurfes“ möchten wir zeigen, wie die Prinzipien Handlungsorientierung sowie eine Elementarisierung und Zugang auf unterschiedlichen Ebenen in einem Lernsetting realisiert werden können. Dabei geht es weniger um die Beschreibung des spezifischen Lerninhalts “Schiefer Wurf”, sondern vielmehr darum, allgemeine Handlungsempfehlungen für Lernende mit Lernschwierigkeiten vorzustellen.

Lernbeeinträchtigten Schülerinnen und Schülern haben verschiedene, individuell unterschiedliche Einschränkungen und Schwierigkeiten, es sind vornehmlich:

- Kognitive Einschränkungen
- Motorische Schwierigkeiten
- Sinneseinschränkungen
- Konzentrationsschwierigkeiten

Zudem treten weitere Probleme auf, die häufig auch bei Schülerinnen und Schülern ohne sonderpädagogischen Unterstützungsbedarf zu erkennen sind:

- Fehlende Motivation und Interesse
- Stark eingeschränkte Selbstwirksamkeitserwartung

Das entwickelte Experimentiersetting des schiefen Wurfs an einer Wasserbombenschleuder (Abb.1). soll Möglichkeiten bieten, den besonderen Bedürfnissen der Lernenden gerecht zu werden. Mehr zu dem Lernsetting der Wasserbombenschleuder und der Lerngruppe ist in [1] ausgeführt. In diesem Beitrag fokussieren wir auf die Beschreibung der Umsetzung des variablenkontrollierten Experimentierens mit Hilfe der Arbeitsmaterialien sowie der Ausgestaltung der Experimentierphase.

## 2. Wie gestaltet man Lernen für Schülerinnen und Schüler mit sonderpädagogischem Unterstützungsbedarf?

Aus der Praxisarbeit von Förderschulen gibt es einige grundlegende Handlungsempfehlungen [2]:

1. **Differenzierung** und **Reduktion** zur Verringerung der Komplexität der Unterrichtsinhalte, damit diese greifbarer und besser zu bewältigen sind.

2. Förderung der **Motivation** und Selbstwirksamkeitserwartung als wichtiger Faktor zur Mitarbeit und Erarbeitung der Inhalte.
3. **Handlungsorientierung** als Möglichkeit zur Erarbeitung von Inhalten und gerade in der Physik als Zugang zur Erkenntnis in Experimenten.
4. **Wiederholung** und **Strukturierung** für Sicherheit und Orientierung im Erwerb und unterrichtlichen Handeln.

**Abb.1:** Experimentieren an der Wasserbombenschleuder [1].

Diese Handlungsempfehlung bilden die Basis sowohl für die Ausgestaltung des gesamten Lernsettings als auch für die Entwicklung der Arbeitsmaterialien (Abb.2) und werden nachfolgend beschrieben.

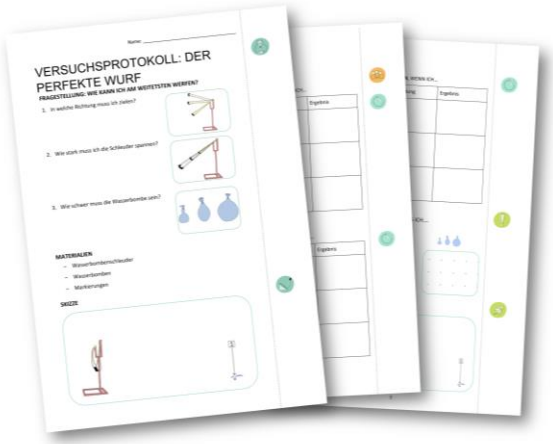



**Abb.2:** Strukturierung des Experimentierens durch speziell gestaltete Protokolle [3].

## 3. Umsetzung der Handlungsempfehlungen in den Arbeitsmaterialien und der Experimentierphase

Der „schiefe Wurf" gehört zu den schwierigeren Themen der Kinematik. Die Fragestellung nach den Einflussvariablen der maximalen Wurfweite ist den Lernenden aus Ihrer Lebenswelt von sportlichen Aktivitäten wie Basketball oder dem (Weit-)Wurf von Schneebällen und Wasserbomben bekannt. Der Einstieg in die Unterrichtssequenz gestaltet sich anhand der Erläuterung eines Wettbewerbs. Dessen Regeln besagen, dass der Teilnehmer mit dem weitesten Schuss bei nur einem Versuch an der Schleuder gewinnen wird. Das Interesse wird hierdurch geweckt und gleichzeitig eine Problemgenerierung („*Wie bekommt man den weitesten Wurf hin?*") ermöglicht.

Durch alle folgenden Arbeitsphasen zieht sich eine eigenständige, haptisch experimentelle Erarbeitung der Fragestellungen und Ergebnisse, welche die **Motivation** zur Mitarbeit positiv beeinflusst.

**Differenzierungsmöglichkeiten** sind ein weiterer Bestandteil der Handlungsempfehlungen, welche sich ebenfalls durch das gesamte Unterrichtskonzept ziehen: Auf den Arbeitsmaterialien wird ein zieldifferentes und variables Anspruchsniveau angeboten. Im Bereich der Hypothesen- und Ergebnissicherung wird dies Beispielsweise durch Anwendung einfacher Daumen-Sticker realisiert (Abb.3). So bieten die Aufkleber eine Differenzierungsmöglichkeit hinsichtlich motorischer Fähigkeiten, wenn Lernende z.B. nicht schreiben können. Weiterhin besteht die Möglichkeit, den alltagsnahen „Daumen hoch" als Kennzeichnung für die weiteste Wurfvariante zu nehmen. Verschieden gedrehte Daumen (hoch, mittel, runter) ermöglichen auch eine Rangfolge in der Bewertung festzulegen.

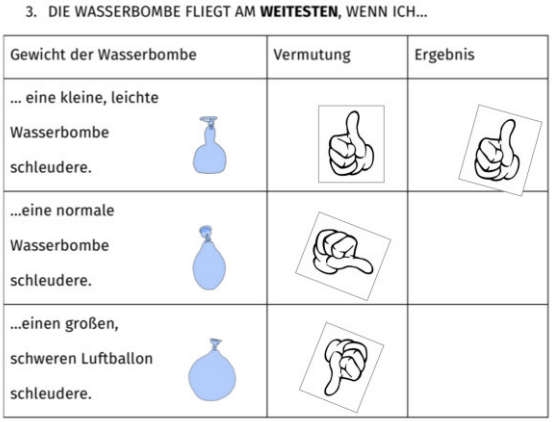



**Abb.3:** Hypothesen- und Ergebnissicherung mittels Daumen-Aufkleber [3].

Lernende mit eingeschränkten Lesefähigkeiten können ebenfalls entlastet werden, indem texthaltige Inhalte zusätzlich grafisch dargestellt werden. Neben den durch Piktogramme visualisierten Arbeitsaufträgen werden auch die einzelnen Wurfparameter grafisch dargestellt (Abb.4).

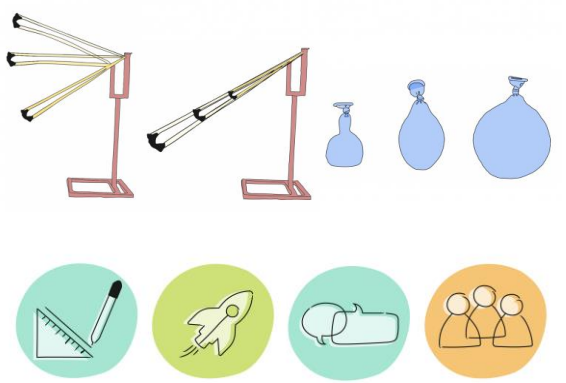


**Abb.4:** Piktogramme der Materialien (oben) oder z.B. der Aufgabenoperatoren und Sozialform (unten) können Lernenden mit eingeschränkten Lesefähigkeiten helfen [4] & [5].

Durch verschieden Arbeitsaufträge an die Lernenden ergeben sich auch Differenzierungsmöglichkeiten an dem konkreten Experiment an der großen Schleuder: Es gibt beispielsweise Aufgaben für Schülerinnen und Schüler, die die Wasserbomben passender Größe aussuchen und anreichen, weiterhin sind mehrere Schülerinnen und Schüler für die Bedienung der Wasserbombenschleuder zuständig. Außerdem gibt es Verantwortliche für die passende Einstellung des Winkels und Lernende, die mit entsprechenden Holzmarkierungen die Wurfweiten markieren.

Eine **Reduktion** kann innerhalb des Lernsettings auf verschiedenen Ebenen realisiert werden. Die Reduktion des Umfangs der zu betrachtenden Variablen ist möglich, indem wie in unserem Beispiel die Messvariable hier auf die Wurfweite eingeschränkt wird. Die zu untersuchenden Einflussgrößen sind dann lediglich die Spannenergie, die Masse und der Wurfwinkel. So muss eine Kontrollstrategie nur für diese drei Variablen genutzt werden.

Anknüpfend an den reduzierten Umfang der Variablen, finden sich auf Ebene des Fachinhaltes weitere Vereinfachungen: Starthöhe, Wind und Taumeln des Flugkörpers werden vernachlässigt. Weitere fachliche Reduktionen gehen mit sprachlichen Reduktionen einher. Die Einflussvariablen werden sprachlich (sowie fachlich) so vereinfacht, dass sie für die Lernenden leicht verständlich werden. Im Experiment wird somit den Fragen nachgegangen:

- Wie stark muss ich an der Wasserbombenschleuder ziehen? (= Spannenergie)
- In welche Richtung muss ich an der Wasserbombenschleuder zielen? (= Abschusswinkel)
- Wie schwer muss die Wasserbombe sein? (= Masse)

Die wiederholenden originaltreuen grafischen Elemente (Abb.4) in Kombination mit dem einfach gehaltenen Text sowie der Nachahmung einzelner Wurfmöglichkeiten an der Modellschleuder ermöglichen eine vielfältige Reduktion der Transferleistung.

Die Empfehlung für Schülerinnen und Schüler mit sonderpädagogischer Unterstützung **handlungsorientierten** Unterricht anzubieten wurde in allen Phasen des Experimentierens integriert. Die Erarbeitungsphase garantiert einen haptischen Zugang über eine kleinere Modellschleuder (Abb. 5). Die zu untersuchenden Variablen können daran handelnd expliziert und ausprobiert werden. Ein weiterer Vorteil der kleinen Modellschleuder liegt in der Kompensation fehlenden Wissens durch intuitives Handeln. Lernende können einfach ihrem Instinkt folgen und so (ohne Vorwissen) an der Hypothesengenerierung teilhaben.

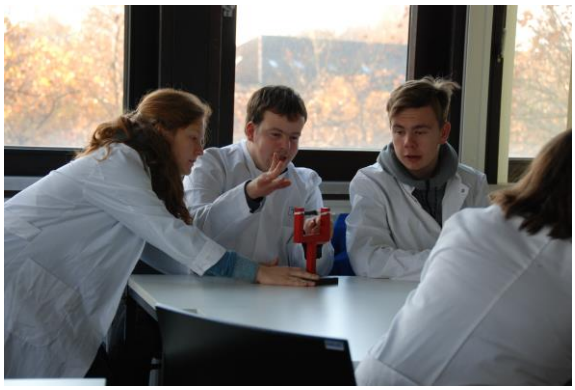


**Abb.5:** Die kleine Modellschleuder ermöglicht es den Schülerinnen und Schülern, die Variationsmöglichkeiten (Richtung, Spannenergie und Masse) handlungsorientiert zu erarbeiten und diese non-verbal durch Zeigen und Vormachen zu kommunizieren [1].

Die Durchführung der Experimente selber an der großen Schleuder ist per se handlungsorientiert. Durch die unterschiedlichen Aufgaben (s.o.) können alle Lernenden in dieser Phase eingebunden werden.

Die letzte Empfehlung umfasst das **Wiederholen und Ritualisieren**. Besonders die Arbeitsmaterialien kamen dieser Empfehlung zum Tragen. Auf allen Materialien fanden die Schülerinnen und Schüler wiederholende grafische Elemente wieder. Nicht nur die Abbildungen der großen Schleuder ist bewusst sehr nah am Original gehalten. Auch die kleine Modellschleuder wurde bewusst in derselben Optik der großen Schleuder nachgebaut. Grund dafür ist die Minimierung der Transferleistungen. Infolgedessen wurden diese grafischen Elemente (Modellschleuder, große Schleuder, Abbildung der Schleuder) häufig eingebracht und auf dem Arbeitsblatt wiederholt.

Die grafischen Elemente wurden auch in den Erarbeitungsphasen an der Tafel, während des Experiments draußen und in der Auswertungsphase immer wieder angeführt und besprochen.

## 4. Ausblick

Die entwickelte Lernumgebung wurde bislang mit einer Schülergruppe durchgeführt. Sie wird langfristig mit weiteren Lernenden anderer Förderschwerpunkte sowie auch inklusiven Lerngruppen untersucht. Bei der Weiterentwicklung des Lernsetting samt Arbeitsmaterialien bilden diese fünf Handlungsempfehlungen stets die Basis.

## 5. Literatur

[1] Führner, Larissa & Pusch, Alexander (2019): Wie fliegt eine Wasserbombe am weitesten? Handlungsorientiertes Experimentieren an einer Wasserbombenschleuder. In: Naturwissenschaft im Unterricht Physik, 170, S. 21-25.

[2] Löser, Rainer (2013): besondere Schüler – Was tun? Rund um den Förderschwerpunkt Lernen. Mühlheim an der Ruhr: Verlag an der Ruhr.

[3] Aktuelle Arbeitsmaterialien des Projekts: http://physikkommunizieren.de/inklusion/wasserbombenschleuder/ (Stand: 5/2019)

[4] Piktogramme: http://physikkommunizieren.de/unterrichtsmaterialien/vorlagen/ (Stand: 5/2019)

[5] Führner, Larissa & Pusch, Alexander (2019): Was macht ein Arbeitsblatt inklusionsspezifisch? Tipps und Hinweise zur Überarbeitung von Arbeitsblättern. In: Naturwissenschaften im Unterricht Physik, 170, S.40 – 43.

# Die Plattform „FLexKom“ zur Förderung experimenteller Kompetenzen – Konzept und Einsatzbeispiele –

**Simon Goertz*, Patrick Klein*, Josef Riese*, Heidrun Heinke***

*RWTH Aachen University
goertz@physik.rwth-aachen.de, patrick.klein1@rwth-aachen.de, riese@physik.rwth-aachen.de, heinke@physik.rwth-aachen.de

**Kurzfassung**

Durch die PISA-Studien hat sich in Deutschland eine Diskussion im Bildungssystem ergeben, die in den Bildungsstandards wie in den Kernlehrplänen zu einer Kompetenzorientierung geführt hat. Diese Neuorientierung hat speziell die prozessbezogenen Kompetenzen explizit hervorgehoben, sodass dem Experiment als Methode für naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung eine zentrale Bedeutung zugeschrieben wird. Um diese herausragende Rolle experimenteller Kompetenzen gezielt im Unterricht zu etablieren, wurde die Plattform FLexKom konzipiert, die Unterrichtsmaterialien zum Fördern und Lernen experimenteller Kompetenzen bereitstellt. Dabei werden einzelne Module angeboten, die individuell zusammengestellt und beispielsweise als Lernzirkel eingesetzt werden können. Die Module adressieren wichtige Aspekte experimenteller Kompetenzen wie die Hypothesenbildung, die Variablenkontrolle oder den Umgang mit Messunsicherheiten. Im Folgenden wird zum einen der Aufbau und das Konzept der Plattform vorgestellt. Zum anderen soll ein Einblick in die Module ermöglicht werden, indem zwei ausgewählte Module zum Umgang mit Messunsicherheiten näher erläutert werden.

## 1. Motivation

In Bildungsstandards sowie Kernlehrpläne sind mit der geforderten Kompetenzorientierung neben den fachlichen auch prozessbezogene Kompetenzen als Zielvorgaben für den Physikunterricht aufgenommen worden. Dabei haben Experimente eine zentrale Bedeutung für den Kompetenzerwerb im Hinblick auf die naturwissenschaftliche Erkenntnismethode und somit auch eine zentrale Stellung im Physikunterricht (vgl. MSW, 2008, S. 9; vgl. MSW, 2014, S. 12–15). Aufbauend auf diesen Forderungen rückt auch die Vermittlung experimenteller Kompetenzen zunehmend in den Fokus naturwissenschaftlichen Unterrichts. Diesen Prozess möchte die in diesem Artikel vorgestellte Plattform durch die Entwicklung entsprechender Konzepte und Unterrichtsmaterialien unterstützen. Dabei sind Erkenntnisse aus der Schülervorstellungsforschung zum Experimentieren in die Materialien eingeflossen, um eine adäquate Förderung experimenteller Kompetenzen bei Schülerinnen und Schülern[1] gewährleisten zu können. Das soll insbesondere durch flexibel einsetzbare Module erreicht werden.

## 2. Schülervorstellungen zum Experimentieren

Ein entscheidender Faktor für das Unterrichten sind das Vorwissen, die Vorstellungen und Denkmuster von SuS (vgl. Schecker et al. 2018, S. V). Daher werden nachfolgend einige dieser Vorstellungen zum Experimentieren vorgestellt, die bei der Entwicklung der Unterrichtsmaterialien berücksichtigt wurden.

Ganz allgemein gibt es eine Diskrepanz im Einsatz von Experimenten in der Forschung und in den Vorstellungen von SuS hierzu. In der Forschung wird das Experiment primär mit Blick auf eine Erkenntnisgewinnung genutzt, wohingegen SuS häufig Experimente durchführen, um Effekte zu produzieren (vgl. Ehmer, 2008, S. 19). Dies wird häufig mit dem Begriff „Ingenieursmodus“ (Hammann & Mayer, 2012, S. 284) assoziiert, da eine solche Methodik des Experimenteinsatzes eher dem Vorgehen von Ingenieuren zugeschrieben wird, die das Produzieren in den Vordergrund stellen. Zudem wird bei schulischen Experimenten das Vorwissen der SuS stark in die Auswertung und Bewertung von Messdaten mit einbezogen, wobei sich hier auch fachinhaltsbezogene Vorstellungen auswirken können. So kommt es häufig dazu, dass SuS stärker ihren Vorerfahrungen vertrauen als den gewonnenen experimentellen Daten (vgl. Ehmer, 2008, S. 20f.). Des Weiteren sind Auseinandersetzungen mit Fragestellungen, Hypothesen und relevanten Messgrößen erforderlich. Bei vielen Experimenten können Hypothesen nur dann sinnvoll überprüft werden, wenn bei der Messdatenaufnahme zentrale Strategien wie die Variablenkontrollstrategie genutzt und Kontroll- oder Vergleichsansätze herangezogen werden. Diese stellen die SuS jedoch häufig vor größere Probleme, da sie ihre „eigenen“ Strategien verfolgen.

Dabei werden in der Literatur gewöhnlich zwei verschiedene Vorstellungen unterschieden. Bei der ersten Vorstellung vernachlässigen die SuS einen Kon-

[1] Der Ausdruck „Schülerinnen und Schüler“ wird in diesem Artikel durch die Abkürzung „SuS“ ersetzt.

trollansatz und beachten damit nicht, dass zur Beschreibung eines kausalen Zusammenhangs zwischen Variablen mit dem Kontrollansatz und dem Experimentieransatz zwei Ansätze nötig sind (vgl. Ehmer, 2008, S. 26; Carey et al., 1989, S. 518). In einer zweiten Strategie verfolgen SuS eine unsystematische Variation der Variablen. Einige Autoren beschreiben, dass die SuS nicht die zu untersuchende unabhängige Variable manipulieren, sondern alle anderen im Experiment vorkommenden Variablen, oder dass die SuS mehrere unabhängige Variablen gleichzeitig manipulieren und somit konfundierte Versuchsbedingungen erzeugen (vgl. Ehmer, 2008, S. 26 – 27; Hammann et al., 2006, S. 293–294; Tschrigi, 1980, S. 1–8; Barzel et al., 2012, S. 114). Diesem Vorgehen liegt die Vorstellung von SuS zugrunde, so möglichst effizient zu experimentieren, da durch ein solches Vorgehen Schlussfolgerungen über mehrere Variablen möglich seien (vgl. Ehmer, 2008, S. 28).

Andere bekannte Schülervorstellungen zum Experimentieren betreffen den Umgang mit Messunsicherheiten. Messunsicherheiten nehmen eine bedeutende Rolle in Experimentierprozessen ein (vgl. Hellwig, 2012, S. 5ff.). Nur mit ihrem Einbezug lassen sich Messergebnisse sinnvoll interpretieren. Hellwig hat in ihrer Dissertation die Ergebnisse mehrerer Studien zu Vorstellungen von Lernenden zu Messunsicherheiten zusammengetragen (vgl. Hellwig, 2012). Dabei beschreibt sie, dass auch junge SuS prinzipiell dazu fähig seien, sich bei einem gegebenen Versuchsaufbau kritisch mit den Unsicherheitsquellen auseinanderzusetzen. Gleichzeitig haben diese SuS aber Schwierigkeiten, die herausgestellten Unsicherheiten auch im Ergebnis zu berücksichtigen (vgl. Hellwig, 2012, S. 15). Zudem beschreibt Hellwig, dass einige SuS auf der Suche nach einem „wahren“ Wert sind. Ist diese „Suche“ den SuS nicht möglich, so vermutet Hellwig, dass die SuS die Gründe beim Experimentator sehen (vgl. Hellwig, 2012, S. 15 – 16). Werden Messungen wiederholt, so vertrauen SuS oft dem ersten erhobenen Messwert am meisten. Wiederholungsmessungen sollen aus Sicht der SuS nur den ersten Wert der Messung bestätigen (vgl. Hellwig, 2012, S. 18). Dabei sind fast alle Studien zu Schülervorstellungen über Messunsicherheiten als qualitativ und explorativ zu beschreiben, so dass empirische Daten zu dem Themenfeld fehlen (vgl. Hellwig, 2012, S. 29).

Ausgehend von diesen Schülervorstellungen sind die im Abschnitt 5 exemplarisch beschriebenen Module der Lernplattform zum Experimentieren konzipiert und entwickelt worden.

## 3. Die Plattform FLexKom

Die Plattform FLexKom stellt eine Sammlung von verschiedenen Unterrichtsmaterialien dar, die das **F**ördern und **L**ernen **ex**perimenteller **Kom**petenzen in der Schulpraxis unterstützen sollen. Die Plattform setzt sich aus Modulen zusammen, bei deren Konzeption die oben beschriebenen Präkonzepte der Lernenden berücksichtigt wurden. Diese Module können in verschiedener Weise im Unterricht eingesetzt werden, wie weiter unten erläutert wird.

Die Module der Plattform adressieren verschiedene experimentelle Kompetenzen, die auf der Basis eines zugrundeliegenden theoretischen Modells (siehe Abschnitt 4) entwickelt wurden. Für die ersten Module wurde der physikalische Hintergrund so gewählt, dass der Einsatz ab der siebten Klasse problemlos möglich ist. Es ist geplant, zu jeder adressierten experimentellen Kompetenz mehrere Module anzubieten, sodass die Lehrkraft flexibel auf einen größeren Pool von Unterrichtsmaterialien zurückgreifen kann. Gleichzeitig wird das Modulangebot so ausgebaut, dass auch spezielle Module für die Oberstufe vorhanden sind.

Eine Besonderheit der entwickelten Module besteht darin, dass sie mehrheitlich flexibel zu Lernzirkeln kombiniert werden können. Dies wird dadurch erreicht, dass die entsprechenden Module unter Beachtung einheitlicher Rahmenbedingungen konzipiert wurden. Die einheitliche Rahmung betrifft vor allem die typischen Bearbeitungszeiten und die Gruppengröße der Nutzer und baut dabei auf umfangreiche Erfahrungen mit bereits an der RWTH Aachen entwickelten und erprobten Lernzirkeln zu verschiedenen physikalischen Themen auf (vgl. Salinga & Heinke, 2016).

Der Einsatz der FLexKom-Module in Lernzirkeln ist auch in verschiedenen Settings möglich, so dass z.B. mit verschiedenen Bearbeitungszeiten u.a. Differenzierungsaspekte integriert werden können. Ebenso können alle Module auch außerhalb von Lernzirkeln z.B. als singuläre Schülerexperimente oder als Demonstrationsexperimente eingesetzt werden.

Der Zugang zur Plattform FLexKom erfolgt webbasiert[2]. Dabei können Lehrende einerseits das Konzept der Plattform und das zugrundeliegende Modell kennenlernen. Andererseits können die verschiedenen Materialien kostenlos sowohl als pdf-Files als auch in einer editierbaren Version heruntergeladen werden. Über einen FLexKom-Konfigurator können die Module individuell zusammengestellt und so insbesondere auch Lernzirkel generiert werden. In einer Ausbauphase der Plattform mit einem hinreichend breiten Modulangebot sollen die Lehrkräfte diese Lernzirkel so zusammenstellen können, dass sie entweder auf die Förderung spezifischer experimenteller Kompetenzen fokussieren oder sich an gemeinsamen fachinhaltlichen Hintergründen orientieren. Es ist zudem vorgesehen, erprobte Beispiel-Lernzirkel auszuweisen.

Eine Vorstellung und Diskussion des Konzepts der Plattform FLexKom zur Unterstützung der expliziten

[2] http://www.sciphylab.de/flexkom

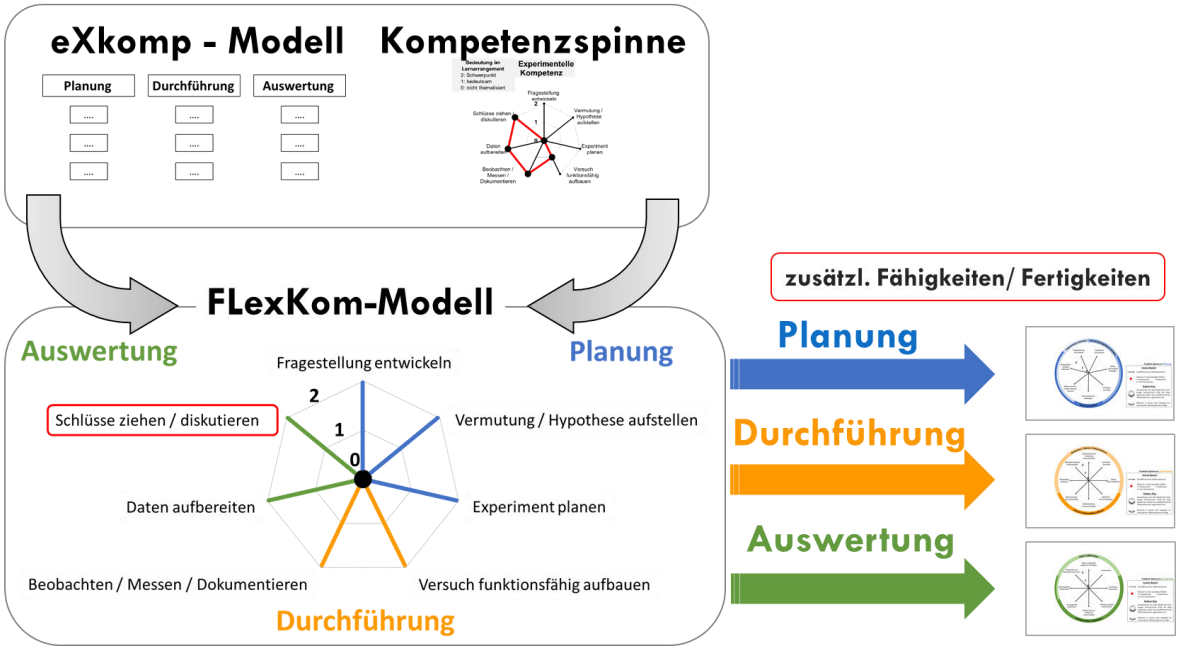



**Abb. 1:** Schematische Darstellung der Entwicklung des FLexKom-Modells. Aus den Merkmalen des eXkomp-Modells (vgl. Schreiber et al., 2009) sowie der visuellen Aufbereitung in einer Kompetenzspinne durch das IDN Bremen (vgl. Nawrath et al., 2011) wurden FLexKom-Kompetenzspinnen für die Phasen der Planung, Durchführung und Auswertung eines Experiments abgeleitet.

Vermittlung experimenteller Kompetenzen in der Schulpraxis vor 47 Referendaren und Lehrkräften ist auf positive Resonanz gestoßen.

## 4. Das FLexKom-Modell

Das der Plattform zugrundeliegende FLexKom-Modell beruht auf zwei etablierten Modellen aus der Fachdidaktik. Mit dem Ziel einer differenzierten Formulierung und Visualisierung der in einzelnen FLexKom-Modulen adressierten experimentellen Kompetenzen wird sowohl auf die Merkmale des eXkomp-Modells (vgl. Schreiber et al., 2009) als auch auf das Kompetenzspinnenmodell aus dem Hamburger Schulversuch (vgl. Nawrath et al., 2011) zurückgegriffen (vgl. Abb. 1). Aus beiden Modellen konnten inhaltliche und gestalterische Aspekte adaptiert und

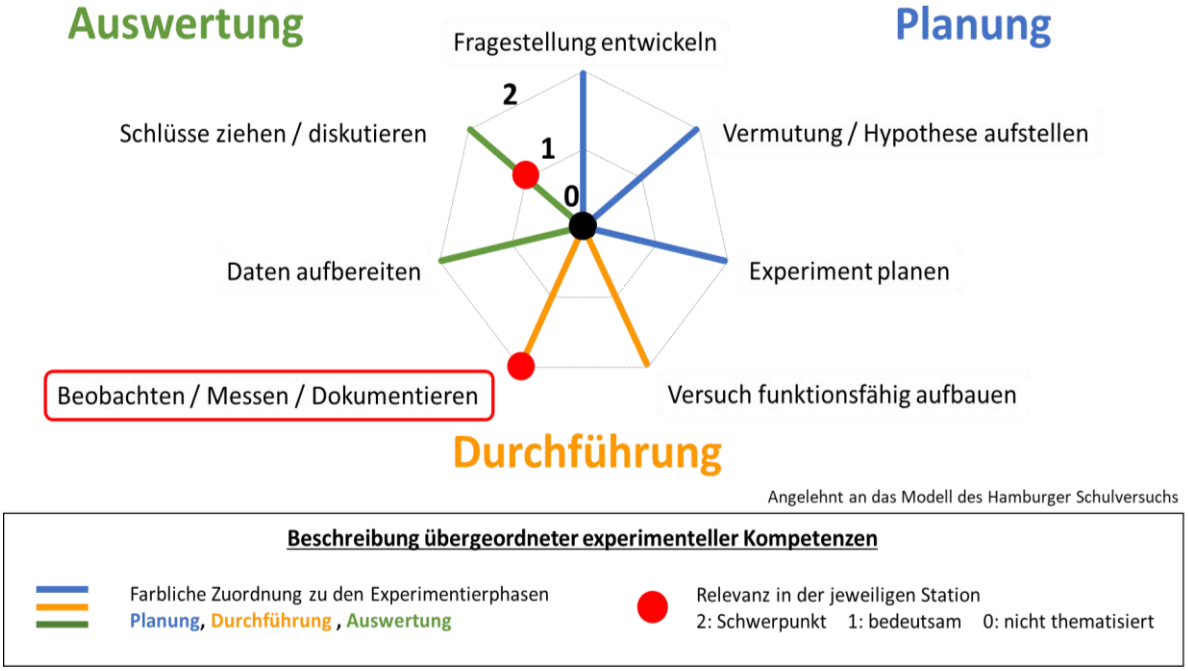



**Abb. 2:** Übergeordnete Kompetenzspinne des FLexKom-Modells für das Beispielmodul 1 zum Thema Messunsicherheiten, angelehnt an die Kompetenzspinne des Hamburger Schulversuchs. Die experimentellen Kompetenzen sind in der übergeordneten Ansicht den drei Experimentierphasen farblich zugeordnet.

genutzt werden. Speziell sind dies die im eXkomp-Modell vorgenommene, nicht zwingend eindeutige Zuordnung einzelner Merkmale des experimentellen Prozesses zu den drei Phasen Planung, Durchführung und Auswertung eines Experiments. Zudem wurde die Visualisierung der in einer Lehr-Lern-Situation relevanten Facetten experimenteller Kompetenz in Kompetenzspinnen adaptiert.

Das aus der Berücksichtigung wichtiger Aspekte der beiden etablierten Modelle resultierende FLexKom-Modell ist in den Abbildungen 2 und 3 zu sehen. Das zweigeteilte Modell ermöglicht eine Betrachtungsweise auf zwei Ebenen. In der übergeordneten Ansicht einer Kompetenzspinne werden gröber gefasste Kompetenzen zu den Experimentierphasen Planung, Durchführung und Auswertung farblich codiert (vgl. Abb. 2). In der zweiten Betrachtungsebene sind die einzelnen Kompetenzen weiter ausdifferenziert, um die konkrete Zuordnung einzelner Module mit ihren speziellen Lernzielen vornehmen zu können (vgl. Abb. 3). Zugleich können so weitere Teilkompetenzen grafisch erfasst und im Gesamtkontext der relevanten Experimentierphase betrachtet werden. Zusammen mit der übergeordneten Ansicht für den gesamten Experimentierprozess ermöglicht dies eine ganzheitliche Visualisierung der Komplexität experimenteller Prozesse.

Die farbliche Codierung aus der übergeordneten Kompetenzspinne spiegelt sich auch in den ausdifferenzierten Kompetenzspinnen wider. Hierbei ist für jede der drei Experimentierphasen Planung, Durchführung und Auswertung eine detaillierte Kompetenzspinne entwickelt worden, wobei in diesem Artikel die Kompetenzspinnen zur Durchführung eines Experiments abgebildet ist (vgl. Abb. 3). Die gewählte Darstellung erhebt keinen Anspruch auf eine vollständige Beschreibung experimenteller Kompetenzen und kann bei Bedarf erweitert werden.

Um die Stärke der Relevanz der einzelnen Module für die Förderung der dargestellten experimentellen Kompetenzen auszudrücken wurde die dreistufige Skala des Hamburger Schulversuchs in das FLexKom-Modell übernommen (vgl. Nawrath et al., 2011). In der übergeordneten Spinne des FLexKom-Modells (vgl. Abb. 2) wird dabei die Relevanz „Schwerpunkt“ (Stufe zwei) genau einmal vergeben. Damit ist auch eine Schwerpunktsetzung auf eine Experimentierphase verbunden. Die Schwerpunktkompetenz wird in der zweiten, ausdifferenzierten Kompetenzspinne detaillierter benannt. Damit kann konkreter die geförderte Teilkompetenz dargestellt werden, um eine gezielte Förderung verschiedener experimenteller Kompetenzen zu gewährleisten.

Die konkrete Anwendung des FLexKom-Modells für ein Modul wird nachfolgend für ein Beispielmodul zum Thema Messunsicherheiten demonstriert, das anschließend im Abschnitt 5 näher beschrieben wird. Für dieses Modul liegt in der übergeordneten Ansicht der Kompetenzspinne in Abb. 2 der Schwerpunkt auf dem Bereich „Beobachten/Messen/Dokumentieren“ in der Experimentierphase „Durchführung“, was durch den roten Punkt auf Stufe 2 angezeigt wird. Zudem wird die Kompetenz „Schlüsse ziehen/diskutieren“ in dem Modul angesprochen, jedoch nicht in den Vordergrund gestellt (roter Punkt, Stufe 1). Die Schwerpunktsetzung führt zur ausdifferenzierten Kompetenzspinne der „Durchführung“ in Abb. 3, die für den zweiten Schritt der Einordnung des Moduls

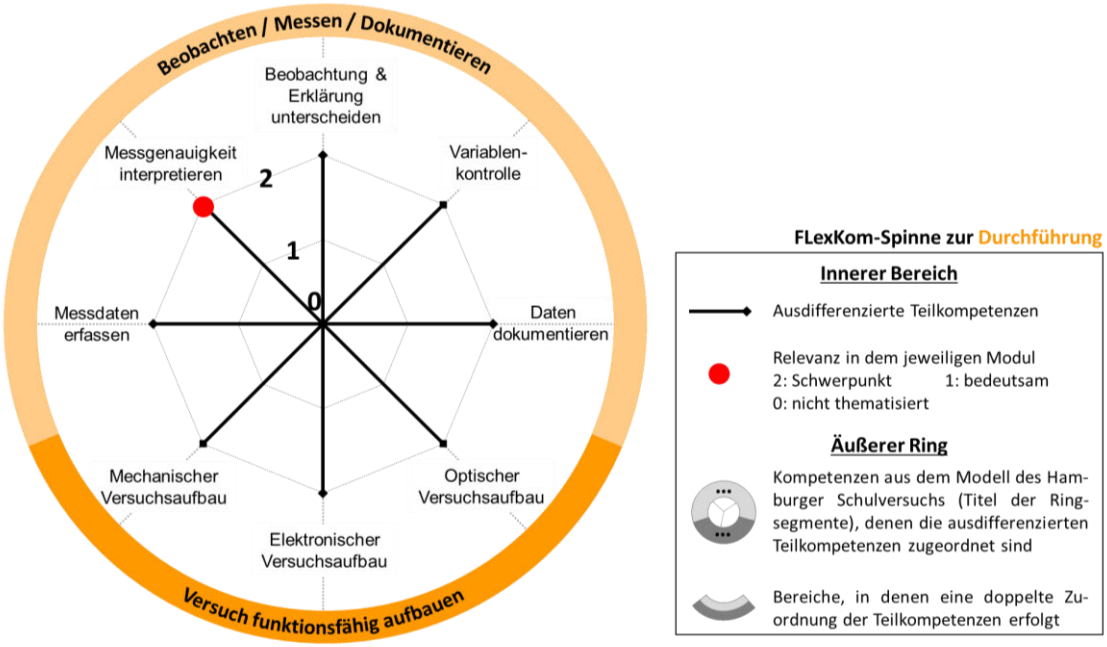



**Abb. 3:** Ausdifferenzierte FLexKom-Kompetenzspinne für die Phase der Durchführung eines Experiments für das Beispielmodul 1 zum Thema Messunsicherheiten. Die übergeordneten Kompetenzen aus dem Hamburger Schulversuch sind in den äußeren Ringsegmenten aufgeführt.

genutzt wird. In den ausdifferenzierten Kompetenzspinnen werden die übergeordneten Kompetenzen aus dem Hamburger Schulversuch in den äußeren Ringsegmenten aufgeführt. Die Ausdifferenzierung in zugeordnete spezifischere Teilkompetenzen erfolgt jeweils in den Kreissegmenten, die den Kompetenzen aus der übergeordneten Ansicht zugeordnet sind. Dabei ist es auch möglich, dass eine doppelte Zuordnung zu den Ringsegmenten erfolgt, wie es z.B. in der ausdifferenzierten Kompetenzspinne der „Auswertung“ geschehen ist.

Auch in der ausdifferenzierten Kompetenzspinne wird die für das Modul relevante Teilkompetenz analog zur ersten Ebene durch einen roten Punkt markiert. Konkret bedeutet das für das Beispielmodul in Abb. 3: Ausgehend von dem übergeordneten Kompetenzbereich „Beobachten/Messen/Dokumentieren“ soll mit diesem Modul die Teilkompetenz „Messgenauigkeit interpretieren“ mit höchster Priorität gefördert werden (roter Punkt, Stufe 2).

Für eine Betrachtung der Teilkompetenzen in den anderen beiden Experimentierphasen existieren analoge ausdifferenzierte Kompetenzspinnen.

## 5. Beispielmodul zum Teilkompetenzbereich „Messgenauigkeit interpretieren“

In diesem Abschnitt wird ein ausgewähltes Modul zum Thema Messunsicherheiten vorgestellt.

Das Beispielmodul beschäftigt sich mit den Quellen von Messunsicherheiten, wobei den SuS verschiedene solcher Quellen bewusst werden sollen. Die konkreten Lernziele dieses Moduls lauten:

Die Schülerinnen und Schüler...

- … beschreiben, dass ein Messwert mit einer Unsicherheit behaftet ist.
- … benennen Messgeräte und Experimentatoren als mögliche Quellen von Messunsicherheiten.

Eine Einordnung dieses Moduls in das FLexKom-Modell wurde in Abschnitt 4 beispielhaft dargestellt. Alle entwickelten Materialien zum Modul wie Arbeitsblatt und eine Lehrerhandreichung sind auf der Webseite von FLexKom kostenfrei abrufbar. Auf dem Arbeitsblatt der SuS wird dieses Modul mit dem Namen „Wie die Zeit vergeht“ betitelt (vgl. Anhang).

Damit die SuS für das Thema der Messunsicherheiten und deren Quellen sensibilisiert werden, bietet es sich an, solche Unsicherheiten an einem einfachen Beispiel zu verdeutlichen. Hierzu messen die SuS eine physikalische Größe gleichzeitig zunächst mit mehreren (mindestens zwei) identischen Messgeräten. Sie wiederholen diese Messung und benutzen später auch andere Messgeräte. Schließlich vergleichen sie die von ihnen gewonnenen Messwerte. Als physikalische Messgröße wurde in dem Modul ein Zeitintervall gewählt, dass die SuS einfach selbst z.B. durch zweimaliges Klopfen auf einen Tisch erzeugen können.

Zur Demonstration, dass Messgeräte selbst Quellen für Messunsicherheiten darstellen können, wird an dieser Station zunächst eine automatische Messwerterfassung durchgeführt. Hierzu werden zwei identische Messgeräte (in unserem Beispiel identische i-Pads mit der App *phyphox,* vgl. Staacks et al., 2018) verwendet. Die App (verfügbar für iOS und Android-Geräte) bietet verschiedene Stoppuhren an, die durch äußere Signale gesteuert werden können. Insbesondere die „Bewegungs-Stoppuhr“ kann für diese Zwecke didaktisch sinnvoll eingesetzt werden, die als äußeres Signal die Beschleunigung des Endgerätes nutzt. Dies ist dadurch begründet, dass der Beschleunigungssensor in den meisten Endgeräten einerseits sensibel genug ist, um selbst geringe Erschütterungen zu registrieren. Andererseits ist die Abtastrate in der Regel ausreichend gering, sodass bei einer gleichzeitigen Messung von zwei identischen Endgeräten mit einer hohen Wahrscheinlichkeit eine Abweichung der beiden angezeigten Messwerte erwartet wird. In dem Beispiel in Abb. 4 wurden zwei iPads der vierten Generation eingesetzt, die ungefähr alle 0,011 s einen Messwert des Beschleunigungssensors aufnehmen.

Die Messdatenaufnahme wird in dem Modul durch eine händische Messung der zu bestimmenden Zeitintervalle ergänzt, damit auch der Experimentator als Quelle von Messunsicherheiten erfahrbar wird. Hier erfolgt eine gleichzeitige Messung mit identischen Stoppuhren durch zwei Experimentatoren. Die zu erwartenden voneinander abweichenden Ergebnisse sollen auch hier den SuS die Unsicherheit der Messung aufzeigen. Die händische Messdatenaufnahme zeigt zudem beispielhaft, dass die zu Lernzirkeln kombinierbaren Module für Gruppen von drei SuS konzipiert sind (hier zwei Experimentatoren, ein Signalgeber).

## 6. Zusammenfassung und Ausblick

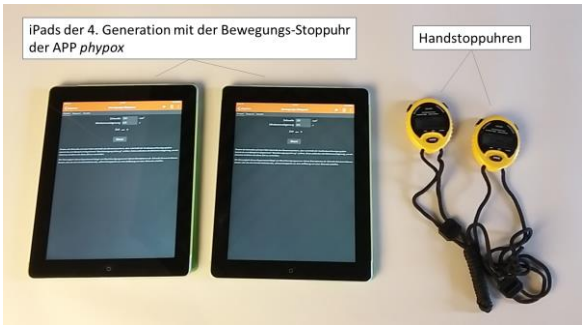



**Abb. 4:** Experimentiermaterial des Moduls 1 zum Thema Messunsicherheiten: Zwei iPads der vierten Generation mit der Bewegungs-Stoppuhr der App *phyphox* und zwei Handstoppuhren.

Die Plattform FLexKom soll als modulare Sammlung verschiedener Unterrichtsmaterialien das Fördern und Lernen experimenteller Kompetenzen in der Schulpraxis unterstützen. Die Module werden dabei unter Berücksichtigung von Schülervorstellungen zum Experimentieren und auf der Basis eines theoretischen Modells entwickelt, das zwei etablierte Modelle zur experimentellen Kompetenz zusammenführt

und für die Schulpraxis nutzbar macht. Das entwickelte FLexKom-Modell und seine Anwendung wurden für zwei Beispielmodule vorgestellt. In der Ausbauphase der Plattform sollen Lehrkräfte die FLexKom-Module entweder singulär in den Unterrichtsablauf einbetten oder flexibel zu Lernzirkeln kombinieren können. Das Konzept der Plattform zur Unterstützung der expliziten Vermittlung experimenteller Kompetenzen wurde von Lehrkräften und Referendaren positiv bewertet.

Im Rahmen einer Promotion wird das Angebot an Modulen systematisch erweitert, um mittelfristig Lehrkräften eine große Flexibilität bei der Förderung experimenteller Kompetenzen zu ermöglichen. Zudem wird die Lernwirksamkeit der entwickelten Unterrichtsmaterialien empirisch untersucht. Dies erfolgt exemplarisch für einige Module, die in einem Lernzirkel integriert sind, um Rückschlüsse auf den Lernzuwachs bei einer expliziten Thematisierung experimenteller Kompetenzen ziehen zu können.

## 7. Literaturverzeichnis


Barzel, B., Reinhoffer, B. und Schrenk, M. (2012). „Das Experimentieren im Unterricht“. In: Experimentieren im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht - Schüler lernen wissenschaftlich denken und arbeiten. Hrsg. von W. Rieß, M. A. Wirtz, B. Barzel und A. Schulz. Münster: Waxmann Verlag, S. 103–127.

Carey, S., Evans, R., Honda, M., Jay, E. und Unger, C. (1989). „An experiment is when you try it and see if it works’: A study of grade 7 students understanding of the construction of scientific knowledge“. In: International Journal of Science Education 11 (special issue), S. 514–529.

Ehmer, M. (Mai 2008). Förderung von kognitiven Fähigkeiten beim Experimentieren im Biologieunterricht der 6. Klasse: Eine Untersuchung zur Wirksamkeit von methodischem, epistemologischem und negativem Wissen. https://macau.uni-kiel.de/servlets/MCRFileNodeServlet/dissertation_derivate_00002469/diss_ehmer.pdf. Abgerufen: 10.04.2018.

Hammann, M. und Mayer, J. (2012). „Was lernen Schülerinnen und Schüler beim Experimentieren?“ In: Biologie in unserer Zeit 42.5, S. 284–285.

Hammann, M., T. T. H. Phan, M. Ehmer und H. Bayrhuber (2006). „Fehlerfrei Experimentieren.“ In: Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht (MNU) 59.5, S. 292–299.

Hellwig, J. (2012). „Messunsicherheiten verstehen. Entwicklung eines normativen Sachstrukturmodells am Beispiel des Unterrichtsfaches Physik“. Diss. Fakultät für Physik und Astronomie der Ruhr-Universität Bochum.

MSW; Ministerium für Schule und Weiterbildung (2008). Kernlehrplan für das Gymnasium - Sekundarstufe I in Nordrhein-Westfalen - Physik. https://www.schulentwicklung.nrw.de/lehrplaene/upload/lehrplaene_download/gymnasium_g8/gym8_physik.pdf. Abgerufen: 12.06.2018.

MSW; Ministerium für Schule und Weiterbildung (2014). Kernlehrplan für die Sekundarstufe II Gymnasium / Gesamtschule in Nordrhein-Westfalen - Physik. https://www.schulentwicklung.nrw.de/lehrplaene/upload/klp_SII/ph/KLP_GOSt_Physik.pdf Abgerufen: 12.06.2018.

Nawrath, D., Maiseyenka, V. und Schecker, H. (2011). Experimentelle Kompetenz – Ein Modell für die Unterrichtspraxis. Praxis der Naturwissenschaften Physik in der Schule, 60 (6), S. 42-48. München: Aulis Verlag.

Salinga, C. und Heinke, H. (2016). Symbiose von Forschung, Lehrerbildung und Schulpraxis - Lernzirkel to go. In: Authentizität und Lernen - das Fach in der Fachdidaktik. Tagungsband der GDCP-Jahrestagung 2015 in Berlin, Band 36. Hrsg. von C. Maurer. Universität Regensburg, S. 65-67.

Schecker, H., Wilhelm, Th., Hopf, M. und Duit, R. (2018): Schülervorstellungen und Physikunterricht. Berlin: Springer-Verlag.

Schreiber, N., Theyßen, H. und Schecker, H. (2009). „Experimentelle Kompetenz messen?!“ In: Physik und Didaktik in Schule und Hochschule (PhyDid) 8.3, S. 92–101.

Staacks, S., Hütz, S., Heinke, H. und Stampfer, C. (2018). Advanced tools for smartphone-based experiments: phyphox, Physics Education, Volume 53, Issue 4, pp. 045009, arXiv:1804.0623907/2018

Tschirgi, J. E. (1980). „Sensible reasoning: A hypothesis about hypotheses“. In: Child Development 51.1, S. 1–10.

**Anhang**

Datum:_____ **Station:**

Name:_____ **„Wie die Zeit vergeht“**

Messgeräte spielen bei vielen Experimenten eine wichtige Rolle. Die Person, die das Experiment durchführt, muss sie so bedienen, dass sie die gewünschten Daten aufnehmen.
An dieser Station wollen wir uns die Frage stellen, inwieweit wir den Messwerten von Messgeräten bedenkenlos glauben können.

**Material**

- 2 Stoppuhren
- 2 Tablets mit der App *phyphox*
- Taschenrechner

**Arbeitsauftrag 1:**

Bei dieser Aufgabe sollt ihr die Zeit messen, die zwischen zwei Schlägen vergeht. Dabei benutzt ihr Tablets (App *phyphox*) als automatisches Messgerät und die digitalen Stoppuhren als Messgerät, die ihr selbst bedient. Geht dabei wie folgt vor:

**Versuchsablauf:**

1. Öffnet die App *phyphox* auf den beiden Tablets und startet die „Bewegungs-Stoppuhr“ („Zeitmessung“ - ganz unten).
2. Schwelle auf $3\,m/s^2$, Mindestverzögerung auf $0.5\,s$ setzen.
3. Legt (nicht Stellen!) die Tablets nebeneinander auf den Tisch und startet die Messung mit dem Dreieck im oberen orangenen Feld.
4. Zwei Versuchspersonen nehmen sich eine Stoppuhr und machen die Augen zu.
5. Eine dritte Person schlägt mit der Hand auf den Tisch, wartet ein paar Sekunden und schlägt ein zweites Mal auf den Tisch. Die Personen mit den Stoppuhren messen die Zeit zwischen den beiden „Schlägen“ auf den Tisch.

Einstellungen in *phyphox*

*Hinweis: Falls ihr die Messung wiederholen wollt, benutzt den „Reset“-Button in phyphox und bei den Stoppuhren.*

Bitte wenden

Seite **1** von **2**

CC BY-SA

**Abb. 5:** Erste Seite des Arbeitsblatts zum Beispielmodul „Messgenauigkeit interpretieren“

**Arbeitsauftrag 2:**

a) Notiert in der Tabelle die verschiedenen Messzeiten.

| Stoppuhr 1 | Stoppuhr 2 | Tablet 1 | Tablet 2 |
|---|---|---|---|
| 0 : 0 ☐ ☐☐ sec 1/100 s | 0 : 0 ☐ ☐☐ sec 1/100 s | ☐,☐☐☐ s | ☐,☐☐☐ s |

b) Vergleicht die gemessenen Werte. Bestimmt dafür die Zeitunterschiede zwischen euren Messungen mit den Stoppuhren und die Zeitunterschiede zwischen den *automatischen Messungen mit den Tablets.*

| Zeitunterschied händische Messung (Stoppuhren) | Zeitunterschied automatische Messung (*phyphox*) |
|---|---|
| 0 : 0 ☐ ☐☐ sec 1/100 s | ☐,☐☐☐ s |

**Arbeitsauftrag 3:**

Diskutiert in der Gruppe Gründe, wie es zu den Zeitunterschieden in 2b) kommen konnte.

a) Nennt mind. 2 Gründe, wieso ihr mit den beiden Stoppuhren nicht den gleichen Wert gemessen habt.

_____

_____

_____

_____

b) Nennt mind. 2 Gründe, wieso die beiden Tablets mit der App *phyphox* nicht den gleichen Wert gemessen haben.

_____

_____

_____

_____

Seite 2 von 2

(cc) BY-SA

**Abb. 6:** Zweite Seite des Arbeitsblatts zum Beispielmodul „Messgenauigkeit interpretieren“

# Kleiner Aufwand, großer Nutzen?

## - Experimentiersets zur Unterstützung experimenteller Übungsaufgaben mit Smartphones -

**Simon Hütz*, Sebastian Staacks+, Christoph Stampfer+, Heidrun Heinke***

*I. Physikalisches Institut IA, RWTH Aachen, +II. Physikalisches Institut A, RWTH Aachen
huetz@physik.rwth-aachen.de, staacks@physik.rwth-aachen.de, stampfer@physik.rwth-aachen.de,
heinke@physik.rwth-aachen.de

**Kurzfassung**

Mit der an der RWTH Aachen entwickelten App *phyphox* werden die Gestaltungsmöglichkeiten für Vorlesungen und Übungen in der Experimentalphysik um aktive experimentelle Tätigkeiten auf Seiten der Studierenden auch jenseits der Praktika erweitert [1]. Eine der Möglichkeiten ist der Einsatz von experimentellen Übungsaufgaben. In mehreren Experimentalphysikveranstaltungen zeigte sich jedoch, dass die Akzeptanz solcher Übungsaufgaben auf Seiten der Studierenden scheinbar stark davon abhing, ob die Bearbeitung der Aufgaben verpflichtend war. Eine Befragung von Studierenden des Maschinenbaus (N=537) ergab, dass die Mehrheit dieser Studierenden freiwillige Übungsaufgaben häufig aus Zeitgründen nicht bearbeitet, wobei eine Bereitstellung der für die Übungsaufgaben benötigten Materialien aber eine erhöhte Bearbeitungsquote der experimentellen Übungsaufgaben erwarten ließ. Aus diesem Grund wurden vier Experimentiersets entwickelt, die im Beitrag vorgestellt werden. Das Set zum Fadenpendel wurde im Wintersemester 2018/19 in drei Experimentalphysikvorlesungen verschiedener Studiengänge eingesetzt, wozu erste Erfahrungen berichtet werden. Die entwickelten Experimentiersets sind auch für Smartphone-Experimente in Schulen geeignet.

### 1. Ausgangslage

Studien wie die HIS-Studie von 2011 zeigen, dass an deutschen Hochschulen eine hohe Quote von Studienabbrechern bzw. Studienfachwechslern vorhanden ist [3, S. 262]. Dieses Phänomen ist auch in den Naturwissenschaften zu beobachten [3, S.264]. In seiner Dissertation gibt P. Klein als mögliche Ursache einen Mangel an eigenständigen praktischen Tätigkeiten in der Studieneingangsphase an [4, S.20]. Mögliche Ansätze für eigene experimentelle Tätigkeiten der Studierenden bieten sich beispielweise in Experimentalphysikvorlesungen in Form von Experimenten unter Verwendung von Smartphones an [2]. Dies wird ermöglicht, da laut der aktuellen JIM-Studie der Anteil der 18- bis 19-jährigen Jugendlichen, die ein Smartphone besitzen, mittlerweile bei 99% liegt [5, S. 10]. Einem systematischen Einsatz von Smartphone-Experimenten in der Hochschullehre steht somit nichts entgegen. Eine geeignete App zur Umsetzung solcher Experimente ist die App *phyphox*, die ausführlich in Referenz [6] beschrieben wird.

Die ersten Realisierungen des praktischen Einsatzes von Smartphone-Experimenten in der Hochschullehre haben jedoch auch einige Probleme zutage gefördert. So zeigten sich drastische Unterschiede beim Einsatz einer experimentellen Übungsaufgabe in den Experimentalphysik-Vorlesungen verschiedener Studiengänge. Während in der Vorlesung Experimentalphysik I für Bachelor-Studierende der Physik und des Lehramts Physik im Wintersemester 2016/2017 etwa ein Drittel der Studierenden eine optionale experimentelle Übungsaufgabe bearbeiteten [2], war dies beim darauffolgenden Einsatz der gleichen Übungsaufgabe im Sommersemester 2017 in der Physik-Vorlesung für Studierende der Biologie und Biotechnologie nur einer von 230 Studierenden. Sehr niedrige Bearbeitungsquoten wurden auch im Wintersemester 2017/2018 in der Vorlesung Physik für Studierende des Maschinenbaus beobachtet, obwohl von einem motivierenden und aktivierenden Potential dieser Aufgabe bei diesen physikaffinen Studierenden ausgegangen worden war [2]. Deshalb wurden die Studierenden des Maschinenbaus zu den Gründen befragt, warum sie die experimentelle Übungsaufgabe nicht bearbeitet hatten. Die von den Studierenden genannten Gründe konnten den Kategorien Zeitgründe, motivationale Gründe und experimentelle Rahmenbedingungen zugeordnet werden [ebd.]. Die Modifikation der experimentellen Rahmenbedingungen wurde als eine Möglichkeit identifiziert, um die Bearbeitungsquote der experimentellen Übungsaufgaben zu erhöhen, da viele Studierende angaben, dass sie die für die Experimentdurchführung benötigten Materialien nicht zur Verfügung hatten.

| Versuch | Materialien |
|---|---|
| **Federpendel** | - zwei Federn mit unterschiedlicher Federkonstante<br>- Maßband<br>- Druckverschlussbeutel |
| **freier Fall** | - Luftballons (Anzahl variabel)<br>- Unterlegscheibe (als Masse)<br>- Druckverschlussbeutel |
| **realer Stoß** | - Tischtennisball<br>- Druckverschlussbeutel |
| **Fadenpendel** | - zwei Fäden á 1 m<br>- Druckverschlussbeutel<br>- *Maßband* |

**Tab. 1:** Übersicht über die vier bisher entwickelten Experimentiersets. Der Druckverschlussbeutel dient neben Verpackungszwecken in einigen Experimenten auch als Smartphone-Halterung. Jedes Experimentierset kostet weniger als 1 Euro. Das Maßband im Experimentierset Fadenpendel wurde nach der Studie aufgrund der Rückmeldung der Studierenden ergänzt.

## 2. Experimentiersets

Eine einfache und praktikable Möglichkeit um die Studierenden mit Experimentiermaterial zu versorgen sind Experimentiersets. In diesen sind kostengünstige Materialien enthalten, die es den Studierenden ermöglichen, die ihnen gestellten experimentellen Übungsaufgaben bei zusätzlicher Nutzung ihrer eigenen Smartphones durchzuführen. In Tabelle 1 sind vier bereits entwickelte Experimentiersets mit den in ihnen enthaltenen Materialien aufgeführt. Vorhanden sind Experimentiersets zu den Themen Federpendel, freier Fall, realer Stoß und Fadenpendel. Die Kosten für ein Set liegen beim teuersten Set bei etwa einem Euro, abhängig von der Anzahl der benötigten Federn gleicher Sorte. Die anderen Experimentiersets sind bereits für unter 50 Cent zusammenstellbar. Um die Verteilung der Sets zu erleichtern, sind die Materialien in einem Druckverschlussbeutel verpackt. In den Experimenten Federpendel und Fadenpendel dient der Druckverschlussbeutel zusätzlich als mögliche Smartphone-Halterung beim Experimentieren. Hierdurch soll sichergestellt werden, dass die Smartphones der Studierenden keinen Schaden nehmen, da diese bei diesen Experimenten im Versuchsaufbau mitbewegt werden.

**Abb. 1:** Darstellung des Experimentiersets zum Versuch Fadenpendel. Im Experimentierset sind ein Druckverschlussbeutel, der gleichzeitig auch als Smartphone-Halterung dient, zwei Fäden mit einer Länge von einem Meter und in der Weiterentwicklung nach der Befragung der Studierenden auch ein Maßband enthalten.

Im WS 2018/2019 wurde das Experimentierset zum Fadenpendel in drei verschiedenen Physik-Vorlesungen für Bachelorstudierende unterschiedlicher Studiengänge an der RWTH Aachen eingesetzt. Abweichend von der Darstellung des Experimentiersets in Abbildung 1 enthielt das in der Studie verwendete Set nur den bereits angesprochenen Druckverschlussbeutel und zwei Fäden mit einer Länge von einem Meter. Rückmeldungen von Studierenden legten nahe, dem Set zusätzlich ein Maßband hinzuzufügen (siehe unten). Durch das Set in Abb. 1 müssen die Studierenden lediglich noch eine Möglichkeit finden, um das gebaute Fadenpendel für die Versuchsdurchführung so zu befestigen, dass es frei schwingen kann.

Eingesetzt wurde dieses Experimentierset in der Vorlesung Physik für Studierende des Maschinenbaus, in der Vorlesung Physik I für Studierende der Elektrotechnik und in der Vorlesung Experimentalphysik I für Bachelorstudierende der Physik und des Lehramts Physik. Mit Hilfe einer Online-Umfrage, welche über den Sets beigelegte QR-Codes zugänglich war, wurden in zwei der drei Vorlesungen Rückmeldungen zu den Experimentiersets erfragt. Insbesondere sollte ermittelt werden, ob den Studierenden im praktischen Einsatz noch Materialien fehlten, die sie für die Bearbeitung der experimentellen Übungsaufgabe benötigt hätten. An der Umfrage haben 18 Studierende der Elektrotechnik, der Physik und des Lehramts Physik teilgenommen. Die Teilnehmer der Umfrage waren sich einig, dass das Set die Bearbeitung der Übungsaufgabe erleichtert hat. Jeder zweite Umfrageteilnehmer stimmte sowohl der Aussage, dass er ohne das Set nicht die benötigten Materialien gehabt hätte, als auch der Aussage, dass das beigelegte Material vollständig war, zu. Es wurde aber auch von einzelnen Studierenden gewünscht, dass dem Set zusätzlich zu den bereits enthaltenen Materialien noch ein Maßband beigelegt wird, wie es auch schon zum Experimentierset zum Federpendel gehörte.

| **Maschinenbau (B.Sc.)** | | **Elektrotechnik (B.Sc.)** | | **Physik & Lehramt Physik (B.Sc.)** | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Männlich:** | 80% | Männlich: | 80% | Männlich: | 78% |
| **Physik-LK:** | 30% | Physik-LK: | 18% | Physik-LK: | 54% |
| **Semester:** | 1. | Semester: | 1. | Semester: | 1. |
| **Veranstaltung:** | V2 | Veranstaltung: | V3Ü1 | Veranstaltung: | V4Ü2 |
| **Übungsorganisation:** | freiwillig | Übungsorganisation: | freiwillig | Übungsorganisation: | Pflicht |
| N | 315 | N | 211 | N | 186 |

**Tab. 2:** Charakterisierung der Studiengänge und der Rahmenbedingungen, unter denen das Experimentierset zum Fadenpendel eingesetzt wurde. „Physik-LK“ gibt den Anteil der Studierenden an, die in der Schule einen Leistungskurs Physik belegt haben. Bei „Veranstaltung“ ist die Anzahl der Semesterwochenstunden für Vorlesungen (V) und Übungen (Ü) angegeben. N ist die Zahl der Studierenden, die an der Umfrage teilgenommen haben.

## 3. Beschreibung der untersuchten Studiengänge

Wie bereits beschrieben, wurde das Experimentierset zum Fadenpendel in drei Vorlesungen in unterschiedlichen Studiengängen eingesetzt. Wichtige Charakteristika dieser drei Studiengänge und Rahmenbedingungen des Einsatzes der experimentellen Übungsaufgabe werden in Tabelle 2 gegenübergestellt. Zu erkennen ist, dass die Studierenden in den drei Studiengängen in ihren persönlichen Merkmalen relativ ähnlich sind. In allen drei Studiengängen sind etwa 80% der befragten Studierenden männlich und es handelt sich um Studierende des ersten Semesters. Kleinere Unterschiede zwischen den Studiengängen sind in der Wahl eines Physik-Leistungskurses durch die Studierenden in der Schule zu erkennen. Bei den Studierenden der Elektrotechnik gaben 18% der Studierenden an, dass sie in der Schule einen Leistungskurs in Physik belegt haben. Bei den Studierenden des Maschinenbaus beläuft sich dieser Anteil auf 30% und in den Bachelorstudiengängen Physik und Lehramt Physik auf 54% der Befragten.

In den beiden Studiengängen Maschinenbau und Elektrotechnik, in denen Physik ein Nebenfach ist, ist die Bearbeitung aller Übungsaufgaben freiwillig. In der Experimentalphysik I in den Bachelorstudiengängen Physik und Lehramt Physik ist eine ausreichende Bearbeitung der Übungsaufgaben Voraussetzung für die Klausurzulassung. Ein Unterschied zwischen den Studiengängen zeigt sich auch im Umfang der originären Physik-Lehrveranstaltungen. So wird im Maschinenbau lediglich eine Vorlesung mit zwei Semesterwochenstunden (SWS) angeboten. Für Studierende der Elektrotechnik umfassen die Physik-Lehrveranstaltungen hingegen eine Vorlesung mit drei SWS und eine Globalübung mit einer SWS, die dann im zweiten Semester im gleichen Umfang weitergeführt werden. In den Bachelor-Studiengängen Physik und Lehramt Physik beinhaltet die Veranstaltung vier SWS Vorlesungen und zwei SWS Kleingruppenübungen mit einer Gruppengröße von maximal 25 Studierenden und ist Teil eines viersemestrigen Zyklus zu Grundlagen der Experimentalphysik.

In allen drei Vorlesungen ist die Zahl der Rückmeldungen auf den eingesetzten Fragebogen hoch. Dabei unterscheiden sich allerdings die Quoten der Rückmeldungen gemessen an der Zahl der eingeschriebenen Studierenden und damit potentiellen Vorlesungsteilnehmer. So sind im Bachelorstudiengang Maschinenbau im ersten Semester ca. 1100 Studierende eingeschrieben gewesen, für Elektrotechnik ca. 400 und in den Bachelorstudiengängen Physik und Lehramt Physik ca. 350 Studierende.

## 4. Einsatz der Experimentiersets

Der Einsatz der Übungsaufgabe zum Fadenpendel kann prinzipiell auf verschiedene Weise erfolgen [1]. Eine Möglichkeit ist, dass den Studierenden die Übungsaufgabe gestellt wird und von diesen bearbeitet wird, bevor die Thematik des Fadenpendels in der Vorlesung besprochen wird [1]. Dies würde dem Ansatz des Inverted Classroom nach Fischer und Spannagel entsprechen [7]. Aus organisatorischen Gründen konnte dies allerdings nur in der Experimentalphysik I für die Bachelorstudiengänge Physik und Lehramt Physik umgesetzt werden. In der Physik für Studierende des Maschinenbaus wurde das Fadenpendel bereits in der zweiten Vorlesungswoche behandelt, in der auch die ersten freiwilligen Übungsaufgaben gestellt wurden. Deshalb wurde in dieser Vorlesung ebenso wie im Studiengang Elektrotechnik die Übungsaufgabe nach der Besprechung des Fadenpendels in der Vorlesung zur Vertiefung des Vorlesungsstoffs gestellt.

In allen drei Vorlesungen wurde das Experimentierset zum Fadenpendel an die Studierenden verteilt. Um herauszufinden, wie die Studierenden dieses Set eingesetzt haben, wurde jeweils in einer Vorlesung zwei bis fünf Wochen später eine Umfrage im Paper-Pencil-Format durchgeführt. Im Rahmen dieser Umfrage wurden die Studierenden befragt, ob sie das Set mitgenommen, die Aufgabe bearbeitet und das Set für die Bearbeitung der Aufgabe benutzt haben. Auf diese Weise sollte untersucht werden, wie das eingesetzte Experimentierset von den Studierenden genutzt wurde. Im Zuge dieser Umfrage wurden die Studierenden zusätzlich gefragt, ob sie generell freiwillige Übungsaufgaben bearbeiten oder nicht. Hierzu wurde eine vierstufige Skala mit den in Abb. 2 dargestellten Auswahlmöglichkeiten verwendet. Wichtige Ergebnisse der Umfrage sind in den Abbildungen 2 und 3 dargestellt.

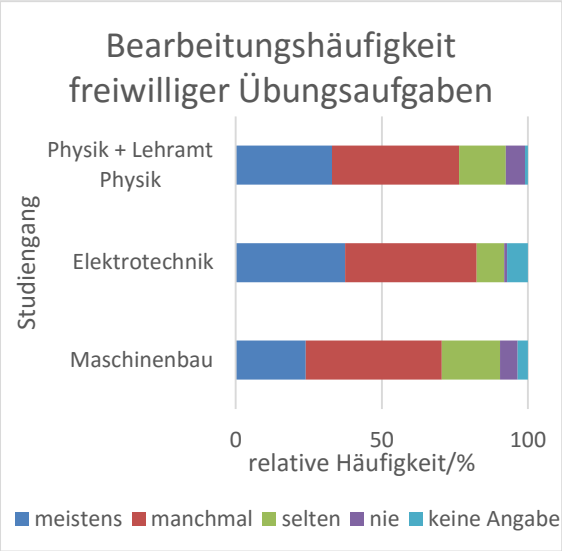



**Abb. 2:** Ergebnis der Befragung der Studierenden der unterschiedlichen Fachrichtungen nach ihrer Selbsteinschätzung zur Bearbeitungshäufigkeit freiwilliger Übungsaufgaben.

In Abbildung 2 ist zu sehen, dass die Studierenden auf die Frage, ob sie freiwillige Übungsaufgaben generell bearbeiten, in allen untersuchten Studiengängen ähnlich antworten. In allen betrachteten Studiengängen ähnlich antworten. In allen betrachteten Studiengängen geben über 40% der Studierenden an, dass sie generell freiwillige Übungsaufgaben manchmal bearbeiten. 24 bis 37% der Studierenden bearbeiten nach eigener Aussage freiwillige Übungsaufgaben meistens. Die Daten legen keinen prinzipiellen Unterschied zwischen den drei Studiengängen bezüglich der Selbsteinschätzung der Studierenden zur Bearbeitung freiwilliger Übungsaufgaben nahe.

Abb. 3 fasst die Ergebnisse zum Nutzungsverhalten der Experimentiersets und zur Bearbeitung der Übungsaufgabe durch die Studierenden zusammen. Hier lässt sich ein deutlich unterschiedliches Verhalten in den drei Lehrveranstaltungen erkennen. In Abb. 3a ist zu sehen, dass die Studierenden der Bachelorstudiengänge Physik und Lehramt Physik prozentual am häufigsten die Experimentiersets mitgenommen und benutzt haben. Ebenso haben sie laut Abb. 3b die experimentelle Übungsaufgabe mit Abstand am häufigsten vollständig bearbeitet.

Bei den Studierenden der Elektrotechnik fallen die Anteile in den drei genannten Kategorien der Mitnahme und Nutzung der Experimentiersets und der vollständigen Bearbeitung der Übungsaufgabe im Vergleich zu den Studierenden der Physik deutlich geringer aus. Sie sind aber angesichts der Tatsache, dass Physik hier nur einer von vielen Bestandteilen eines anspruchsvollen Studiums ist und die Übungsaufgaben freiwillig zu bearbeiten sind, dennoch bemerkenswert hoch.

Hingegen fällt bei den Studierenden des Maschinenbaus auf, dass mit knapp 55% der Studierenden ähnlich viele wie bei den anderen Lehrveranstaltungen das Experimentierset mitgenommen haben. Jedoch sind die Anteile der Studierenden, die das Experimentierset benutzen und die Übungsaufgabe vollständig oder teilweise bearbeiten, deutlich geringer als in den anderen Studiengängen. So bearbeiten unter 10% der Maschinenbau-Studierenden die Übungsaufgabe vollständig. Mit den Nennungen zur teilweisen Bearbeitung ergibt sich ein Gesamtanteil von etwa 20% der Studierenden, welche die Übungsaufgabe zumindest teilweise bearbeitet haben, jedoch liegen die Studierenden der Elektrotechnik hier bei knapp 50% und

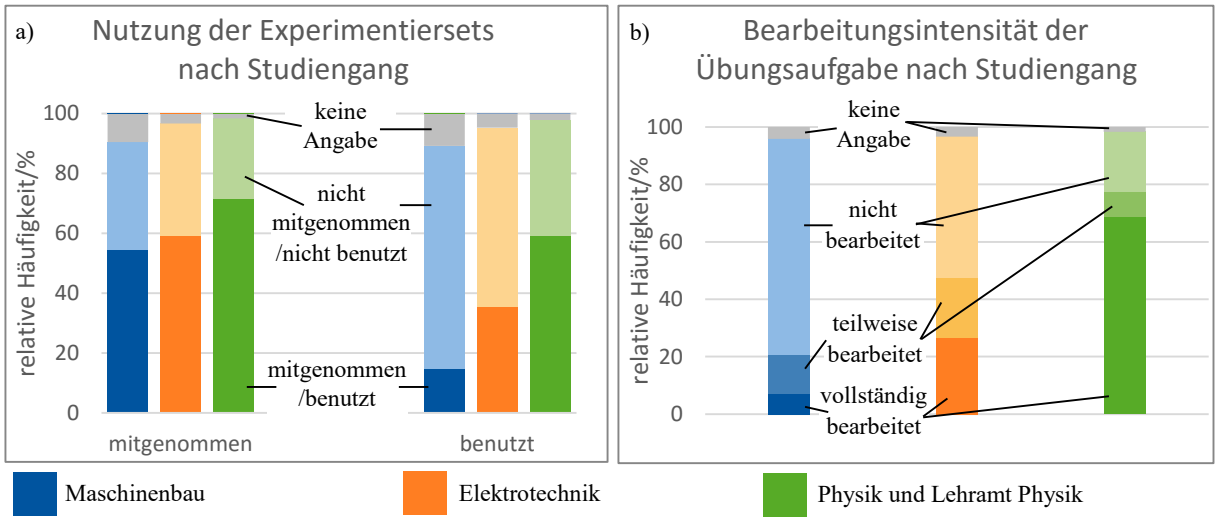



**Abb. 3:** Ergebnisse der Befragung von Bachelor-Studierenden zu den Fragen zum Nutzungsverhalten bezüglich des Experimentier-sets bzw. zur Bearbeitungsintensität der Übungsaufgabe zum Fadenpendel. Blau sind die Daten für den Studiengang Maschinenbau, orange für die Elektrotechnik und grün für die Physik und das Lehramt Physik dargestellt. **a)** Die linken drei Balken zeigen, dass in allen dargestellten Studiengängen das Experimentierset von über 50% der Studierenden mitgenommen wurde. Anhand der drei rechten Balken ist jedoch zu sehen, dass die Benutzung des Experimentiersets stark vom Studiengang abhängt. **b)** Zu erkennen ist, dass die Bearbeitungsintensität zwischen den Studiengängen sehr unterschiedlich ist. Während unter 10% der Maschinenbau-Studierenden die experimentelle Übungsaufgabe vollständig bearbeitet haben, liegt dieser Anteil unter den Studierenden der Physik und des Lehramts Physik bei fast 70%.

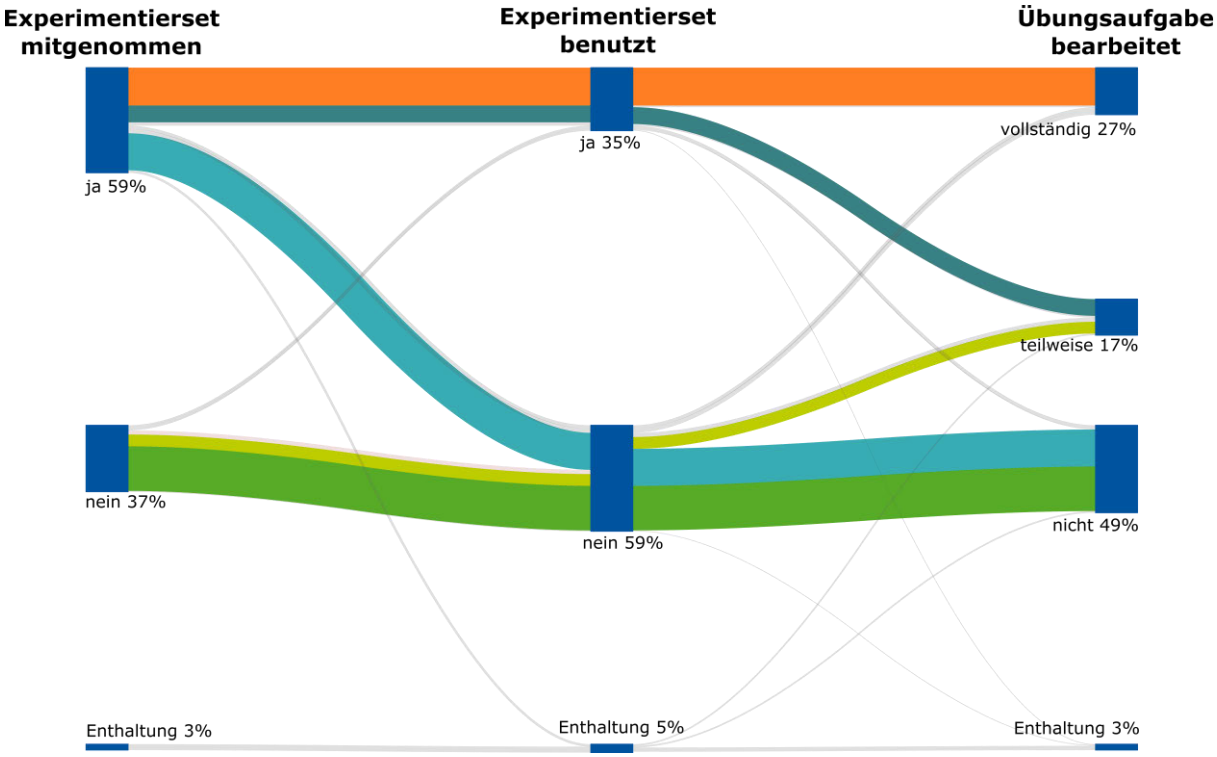



**Abb. 4:** Sankey-Diagramm für die Fragen nach der Mitnahme und der Benutzung des Experimentiersets sowie nach der Bearbeitungsintensität der Übungsaufgabe zum Fadenpendel. Im Diagramm sind neben Blöcken, die die relative Häufigkeit der Nennungen bei den drei Fragen widerspiegeln, auch die einzelnen Pfade zwischen den Items dargestellt. Die orange Linie gibt beispielsweise an, welcher Anteil der Studierenden das Experimentierset sowohl mitgenommen als auch benutzt und die Aufgabe vollständig bearbeitet hat.

die Studierenden der Physik bei knapp 80%. Ebenso deutliche Unterschiede ergeben sich bei der Nutzung des Experimentiersets durch die Studierenden des Maschinenbaus verglichen mit den anderen Studiengängen. Im Maschinenbau nutzten nur etwa 13% der befragten Studierenden das Experimentierset. Bei den Studierenden der Elektrotechnik liegen die entsprechenden relativen Häufigkeiten bei etwa 35% und bei den Studierenden der Physik bei knapp 60%.

Naheliegende Erklärungen für das beobachtete Studierendenverhalten bei der Nutzung der Experimentiersets und der Bearbeitung der Übungsaufgaben finden sich in der in Tabelle 2 dargestellten Übungsorganisation einerseits und dem Gewicht der Physikausbildung in den Studiengängen andererseits. So ist eine ausreichende Bearbeitung der Übungsaufgaben bei den Studierenden der Bachelorstudiengänge Physik und Lehramt Physik verpflichtend, um die Zulassung zur Klausur zu erhalten. Bei den beiden anderen Studiengängen erfolgt die Bearbeitung der Übungsaufgaben freiwillig. Dies wird dazu führen, dass die Studierenden der Physik die Übungsaufgabe mit einer höheren Wahrscheinlichkeit lösen, um keine Punkte für das Erreichen der Klausurzulassung zu versäumen. Die Diskrepanz zwischen dem Verhalten der Studierenden des Maschinenbaus und der Elektrotechnik kann dies jedoch nicht erklären. Hier kann vermutet werden, dass das insgesamt deutlich höhere Gewicht der Physikausbildung im Studiengang Elektrotechnik mit einer zweisemestrigen Veranstaltung im Format V3Ü1 zu einem größeren Engagement der Studierenden in diesem Studienbereich beiträgt. Inwiefern die unterschiedlichen Einsatztermine der Übungsaufgabe im Verlauf des ersten Semesters und damit teilweise unmittelbar nach Studienstart in den verschiedenen Lehrveranstaltungen ebenfalls zu Unterschieden in den Bearbeitungsquoten führen, kann hier nur vermutet werden.

Einen noch differenzierteren Einblick in das Verhalten der Studierenden bei der Nutzung der Experimentiersets und der Bearbeitung der Übungsaufgabe können sog. Sankey-Diagramme [8] vermitteln. Beispielhaft ist solch ein Diagramm für den Studiengang Elektrotechnik in Abbildung 4 dargestellt. Anhand des Diagramms ist zu erkennen, dass der Großteil der Studierenden, die die Übungsaufgabe vollständig bearbeitet haben, auch das Experimentierset mitgenommen und benutzt haben. Ebenso ist zu erkennen, dass etwa die Hälfte der Studierenden der Elektrotechnik, welche die Übungsaufgabe nicht bearbeitet haben, auch das Experimentierset nicht mitgenommen hatten. Erfreulicherweise ist dem Graphen auch zu entnehmen, dass sich die Gruppe der Studierenden, die die Übungsaufgabe teilweise bearbeitet haben, jeweils zur Hälfte aus Studierenden zusammensetzt, die das Experimentierset mitgenommen und benutzt haben, und aus Studierenden, die das Set nicht mitgenommen haben und somit auch nicht benutzen konnten. Analoge Sankey-Diagramme liegen auch für die

beiden anderen Veranstaltungen vor und erleichtern Schlussfolgerungen über die Effizienz des Einsatzes der Experimentiersets.

## 5. Fazit

Abschließend soll die Frage aus der Überschrift „Kleiner Aufwand, großer Nutzen?“ bezüglich des Einsatzes von Experimentiersets zur Unterstützung experimenteller Übungsaufgaben mit Smartphones beantwortet werden.

Die Ergebnisse einer Erhebung in der Physik-Vorlesung für Maschinenbaustudierende im Wintersemester 2017/18 ließen vermuten, dass der Einsatz von Experimentiersets zur Unterstützung experimenteller Übungsaufgaben dazu führen wird, dass mehr Studierende experimentelle Übungsaufgaben bearbeiten. Hintergrund war die Aussage der Maschinenbaustudierenden, dass ihnen häufig Material zur Bearbeitung der experimentellen Aufgabe gefehlt hatte. Speziell in der Lehrveranstaltung für Studierende des Maschinenbaus zeigte sich jedoch trotz des Einsatzes der Experimentiersets keine deutliche Erhöhung der Zahl der Studierenden, die die experimentelle Aufgabe bearbeitet haben. Der Aufwand der Erstellung und Verteilung von Hunderten von Experimentiersets erscheint damit hier durch den beobachteten Nutzen nicht gerechtfertigt.

Im Gegensatz dazu legen die erhobenen Daten im Studiengang Elektrotechnik einen Nutzen der Experimentiersets nahe. So haben hier 35% der Studierenden die experimentelle Übungsaufgabe mit Hilfe der 300 verteilten Experimentiersets zumindest teilweise bearbeitet. Noch positiver fällt die Bilanz in den Bachelorstudiengängen Physik und Lehramt Physik aus. In dieser Vorlesung wurden 150 Experimentiersets verteilt und knapp unter 60% der Studierenden haben das Experimentierset zur Bearbeitung der (verpflichtenden) Übungsaufgabe verwendet. Somit muss der Einsatz der Experimentiersets jeweils im Einzelfall angesichts der Rahmenbedingungen der Lehrveranstaltung abgewogen werden. Die Studie lässt keine Schlussfolgerungen zu, inwiefern auch der genaue Aufgabentext der gestellten Übungsaufgabe oder personelle Einflüsse des Dozenten die Akzeptanz von experimentellen Übungsaufgaben und damit den Nutzen des Einsatzes von Experimentiersets beeinflussen.

In jedem Fall liegt ein Vorteil der entwickelten Experimentiersets darin, dass die Sets nicht nur in Vorlesungen an Universitäten und Fachhochschulen eingesetzt werden können, sondern sich auch für den Einsatz an Schulen anbieten. Da die Experimentiersets günstig zusammengestellt werden können, eröffnen bzw. erleichtern sie auch die Möglichkeit neuartiger Schülerexperimente. Schüler können mit Hilfe ihres Smartphones und der Experimentiersets Versuche als Schülerexperiment durchführen, die bisher aufgrund von fehlenden Materialien maximal als Demonstrationsexperiment genutzt werden konnten. Die Experimentiersets ermöglichen ebenfalls die Gestaltung anspruchsvoller experimenteller Hausaufgaben.

## 6. Danksagung

An dieser Stelle möchten wir uns bei den Dozenten der drei Vorlesungen, in denen die Untersuchung durchgeführt wurde, für die Unterstützung bedanken: bei Herrn Prof. Dr. Stefan Schael und seinen Mitarbeitern Herrn Dr. Thorsten Siedenburg und Herrn Dr. Thomas Kirn; bei Herrn Prof. Dr. Gero von Plessen sowie bei Herrn Prof. Dr. Achim Stahl und dessen Mitarbeiter Herrn apl. Prof. Dr. Stefan Roth.

## 7. Literatur

[1] Hütz, S., Kuhlen, S., Stampfer, C., Heinke, H. (2017): Entwicklung und Evaluation modularer Vorlesungseinheiten mit Smartphone-Einsatz. In: PhyDidB, Didaktik der Physik, Beiträge zur Frühjahrstagung 1 (2017), Url: http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/795/940

[2] Hütz, S., Staacks, S., Stampfer, C., Heinke, H. (2018): Gelingensbedingungen von Innovationen in der Hochschullehre am Beispiel des Einsatzes der App phyphox. In PhyDidB, Didaktik der Physik, Beiträge zur Frühjahrstagung (2018), Url: http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/860/999

[3] Willich, J., Buck, D., Heine, C. und Sommer, D. (2011). Studienanfänger im Wintersemester 2009/10. HIS Hochschul-Informations-System GmbH. Verfügbar unter: http://www.dzhw.eu/pdf/pub_fh/fh-201106.pdf [16.03.2018]

[4] Klein, P. (2016). Konzeption und Untersuchung videobasierter Aufgaben im Rahmen vorlesungsbegleitender Übungen zur Experimentalphysik (Mechanik). Dissertation, Technische Universität Kaiserslautern.

[5] Feierabend, S., Rathgeb, T., Reutter, T. (2018): *JIM-Studie 2018. Jugend, Information, Medien. Basisstudie zum Medienumgang 12- bis 19-Jähriger*. Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest (mpfs). Verfügbar unter: https://www.mpfs.de/fileadmin/files/Studien/JIM/2018/Studie/JIM_2018_Gesamt.pdf [21.05.2019]

[6] Staacks, S., Hütz, S., Heinke, H. & Stampfer, C. (2018): Advanced tools for smartphone-based experiments: phyphox. In: Physics Education, 53 (2018)

[7] Fischer, M. & Spannagel, C., (2012): Lernen mit Vorlesungsvideos in der umgedrehten Mathematikvorlesung. In: Desel, J., Haake, J. M. & Spannagel, C. (Hrsg.), DeLFI 2012: Die 10. e-Learning Fachtagung Informatik der Gesellschaft für Informatik e.V.. Bonn: Gesellschaft für Informatik e.V.. (S. 225-236).

[8] Schmidt, M., (2006): Der Einsatz von Sankey-Diagrammen im Stoffstrommanagement. In:

Häfner, A., Jost, N., Rau, K.-H., R. Scherr, Wehner, C. & Maurer, R. (Hrsg.), Beiträge der Hochschule Pforzheim. Pforzheim

# Ein offenes IBE-Portal für den Physikunterricht zur digitalen Erweiterung experimenteller Lernumgebungen

**Jürgen Kirstein, Volkhard Nordmeier** Freie Universität Berlin,

Didaktik der Physik, Arnimallee 14, 14195 Berlin

**Kurzfassung**

Interaktive Bildschirmexperimente (IBE) lassen sich als „digitale Zwillinge“ realer Experimente zur digitalen Erweiterung von Lernumgebungen vielfach einsetzen. Viele der in den letzten Jahrzehnten produzierten IBE sind jedoch nicht für den Physikunterricht verfügbar. Ein neues IBE-Portal will den Bestand systematisch erschließen und für die Nutzung im Unterricht frei zugänglich machen. Dabei steht die unterrichtspraktische Gebrauchstauglichkeit im Vordergrund: Die konsequente Modularisierung der Angebote und die Trennung von IBE, Anleitungen und Lernaufgaben ermöglicht die weitgehend universelle didaktisch-methodische Adaptierbarkeit an die spezifischen Bedarfe des Unterrichts. Die vollständige Integration von IBE in die Lehr-Lern-Plattform tet.folio ermöglicht sowohl das mobile (online) Lernen mit IBE als auch die Offline-Nutzung, beispielweise über die inzwischen weit verbreiteten interaktiven Whiteboards.

## 1. Ziel des Vorhabens

Trotz der zunehmend moderneren Ausstattung von Fachräumen mit Komponenten digitaler Präsentationstechnik fehlt es häufig an digitalen Inhalten, die deren Potenziale für den Physikunterrichts bedarfsgerecht nutzen. Das betrifft nicht nur die Art bzw. Qualität dieser Inhalte, sondern auch Fragen von Akzeptanz, Verfügbarkeit und Aufwand für den Einsatz im Unterricht.

Ziel des Vorhabens ist die stufenweise unterrichtliche Implementierung von IBE sowie den darauf basierenden digitalen Lehr-Lernmaterialien nach dem SAMR-Modell [1]. In der ersten Stufe, dem *Enhancement*, sieht dieses Modell auf einer ersten Ebene die direkte Ersetzung („Substitution“) analoger Arbeitsmitteln im Unterricht sowie auf der zweiten Ebene eine funktionale Erweiterung („Augmentation“) der digitalen Medienelemente vor.

Gemäß dieses Enhancement-Ansatzes entwickeln wir derzeit in Kooperation mit dem nordrhein-westfälischen Qualitäts- und Unterstützungs-Agentur-Landesinstitut für Schule (QUA-LiS NRW) zu den im NRW-Kernlehrplan 2014 für das Physik in der gymnasialen Oberstufe verankerten „25 Schlüsselexperimenten im Grundkurs Physik“ [2] ergänzende IBE.

Im Projekt wird die Stufe des Enhancement umgesetzt durch die Einbettung von IBE in multiple, auch kompetenzorientierte Lernaufgaben, differenzierte Lernmaterialien und kontextualisierte Lernangebote. Die als Ergänzung zu den Schlüsselexperimenten konzipierten digitalen Lernmaterialien entwickelt ein praxiserfahrenes Autorenteam des QUA-LiS NRW. Die von uns entwickelte Web-Applikation „tet.folio“ kommt dafür sowohl als Autor*innenplattform, als auch zur Bereitstellung und individueller Nutzung der digitalen Inhalte zum Einsatz [3]. Es ist zunächst vorgesehen, tet.folio nur als Plattform für die Bereitstellung des digitalen Lernmaterials zu nutzen, nicht zur individuellen Modifikation durch die Nutzer*innen selbst.

In der Ebene der Substitution (Ersetzung) dienen IBE vorwiegend als Ersatz von Experimenten. Vor allem solcher, die aus praktischen Gründen im Unterricht real nicht durchführbar sind. Das ermöglicht nicht nur ein orts- und zeitunabhängiges (mobiles) Experimentieren, sondern eröffnet durch die instantane Verfügbarkeit der IBE auch neue didaktisch-methodische Gestaltungsmöglichkeiten für den Physikunterricht (Ebene der Augmentation / Erweiterung).

Während es bei der Stufe des Enhancement darum geht, die Akzeptanz durch einen unmittelbar erfahrbaren Nutzen der digitalen Angebote zu erreichen, zielt die Stufe der „Transformation“ („Umgestaltung“; vgl. [1]) auf die Erweiterung und Veränderung der Nutzungsmöglichkeiten digitaler Medien im Unterricht. Dazu sollen die Lehrpersonen in der Ebene der „Modification“ („Änderung“; vgl. ebd.) über Fortbildungsangebote in die Lage versetzt werden, die tet.folio-Umgebung als Autorensystem zur individuellen Anpassung der Angebote und später dann zur Integration von IBE in selbst bzw. neu gestaltete Lernmaterialien zu nutzen. Beispielsweise eröffnet diese Phase neue Möglichkeiten für eine effiziente Umsetzung differenzierter Lernangebote im Rahmen kooperativer, konstruktivistisch geprägter Lernarrangements. Dabei kommt der modularen Architektur von tet.folio hinsichtlich mehrfach ver-

wertbarer Inhaltebausteine („tet.box“) sowie universell einsetzbaren Werkzeugelementen („tet.tools“) eine besondere Bedeutung zu.

Schließlich geht es in der letzten Ebene („Redefinition“ / „Neubelegung“; vgl. [1]) um die Implementierung neuartiger digitaler Angebote, die mit analogen Mitteln alleine nicht mehr realisierbar wären. Einen möglichen Ansatz dafür konnten wir mit dem Konzept kompetenzorientierter Mixed-Reality-Lernumgebungen im Projekt „Erfahrungsbasiertes Lernen durch interaktives Experimentieren in erweiterten Realumgebungen (ELIXIER)“ ([4]) zeigen. Hierbei steht nun nicht mehr der Ersatz von realen Experimenten im Mittelpunkt, sondern das digital unterstützte, individualisierte Lernen im Experimentierzyklus des „Seamless Smart Lab (S2L)“: Orientieren – Vorbereiten – Durchführen – Nachbereiten (vgl. ebd.). Hierbei werden IBE nicht mehr vorproduziert, sondern während der Durchführung des realen Experiments vom S2L-System individuell erzeugt.

Parallel zu dem beschrieben Kooperationsvorhaben mit dem QUA-LiS NRW werden die hierbei entwickelten Verfahren und Werkzeuge auch verwendet, um auch den inzwischen umfangreichen Bestand der ‚Alt-IBE’ über ein offenes Portal [5] für den Unterricht verfügbar zu machen (Abb. 5).

## 2. Kooperative Entwicklung und Erprobung

Im Rahmen einer Anforderungsanalyse wurden für eine erste Erprobung gemeinsam mit den Autorenteam des QUA-LiS NRW zunächst Themenfelder für die Realisierung der IBE und des Lernmaterials anhand der Vorgaben des Handbuchs der 25 Schlüsselexperimente [2] ausgewählt. Für eine erste Pilotphase sind dies die Themen *Optische Spektroskopie*, *Röntgenstrahlung*, *Radioaktivität* und *Photoeffekt*. Davon ausgehend wurden ein Arbeitsplan und „Drehbücher“ für die Produktion der IBE entwickelt. Wesentliche Bestanteile des Arbeitsplans waren die Herstellung der IBE sowie die Weiterentwicklung

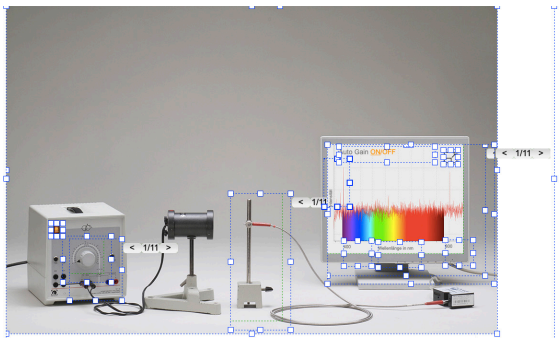


Abb. 1: Ein IBE in tet.folio besteht aus einem Hintergrundbild, den "Diashows" mit Bildserien und "Diashow-Controllern" für die Gestaltung der Interaktionsgesten. Im "Layout-Modus" werden diese Objekte sichtbar.

der Online-Applikation tet.folio. Beide Aufgaben wurden kooperativ in mehreren Entwicklungszyklen mit dem Autorenteam umgesetzt. Die bereits erwähnte modulare Architektur des tet.folio ermöglichte dieses Vorgehen sehr effizient.

tet.folio diente ebenfalls als Entwicklungsplattform für die IBE. Dazu wurden für das Projekt völlig neue objektorientierte Produktionskonzepte für IBE entwickelt. Die im Realexperiment erfassten Bildserien werden zum Beispiel nun in einen Mediencontainer („Diashow“) über eine Drag&Drop-Geste direkt importiert. Diese Diashow ist dann durch „Controller“ für die verschiedenen Interaktions-modi (Schieben, Drehen, …) steuerbar. Werden diese (unsichtbaren) Controller über die Diashow plaziert, entsteht das IBE mit seinen direkt manipulierbaren Bildobjekten (Abb. 1). Ein neu entwickeltes „tet.tool“, der „Logic Controller“, ermöglicht dann die Formulierung der logischen Abhängigkeiten der Objekte im IBE und ermöglicht die Integration von Messdaten aus dem Experiment.

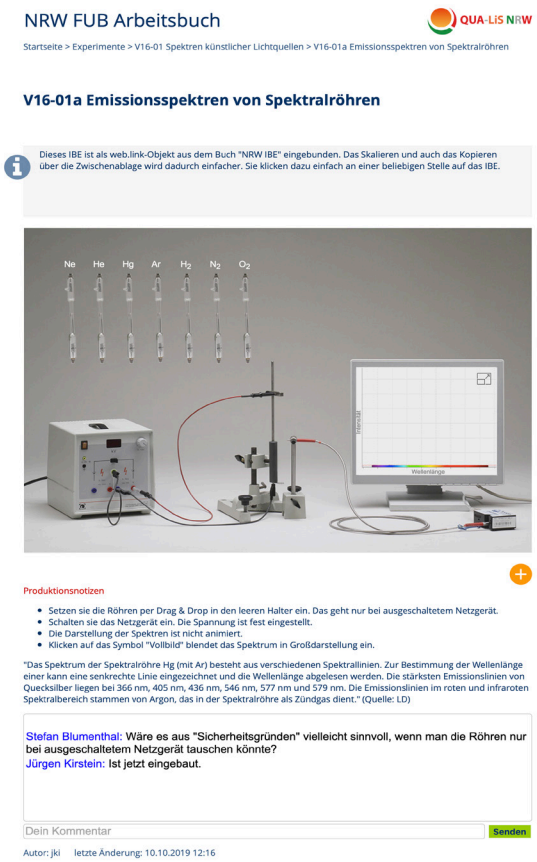



Abb. 2: Eine Seite aus dem gemeinsamen „Arbeitsbuch“ zur IBE-Entwicklung. Neben aktuellen Notizen zum Produktionsprozess enthält die Seite ein Kommunikationstool für das Feedback der Autor*innen.

Mehrere Workshops mit dem Autorenteam dienten dazu, tet.folio als Autoren- und Kooperationsplattform für das Projekt zu etablieren. Dazu wurde ein „Arbeitsbuch“ eingerichtet, das den Prozess der IBE-Entwicklung begleitete. Als eine erste Ergän-

zung der Plattform wurde ein „Chat“-Baustein für die Kommunikation mit dem Team realisiert (Abb. 2). Auf Basis des Feedbacks der Autor*nnen wurden dann kleinere, teilweise auch größere Modifikationen der IBE vorgenommen. Ziel dabei war die zielgerichtete Integration in das von den Autor*innen zu entwickelnde Lernmaterial.

Ein Beispiel für die in der Pilotphase (s. u.) von den Autor*innen entwickelten digitalen Lernmaterialien mit IBE ist ein interaktives Arbeitsblatt zur Untersuchung radioaktiver Strahlung (Abb. 3). Hier wurden lehrplankonforme Aufgaben entwickelt, in denen das IBE Handlungen und Beobachtungen ermöglicht, die dem realen Experiment weitestgehend entsprechen. So lässt sich der verwendete Digitalzähler entsprechend bedienen, wobei die für die Bearbeitung der Aufgaben nicht erforderlichen Funktionen des Gerätes nicht aktiv sind. Weiter bietet das Arbeitsblatt Hilfsmittel wie Taschenrechner und Stoppuhr sowie Möglichkeiten für die Protokollierung der Messwerte und die Formulierung

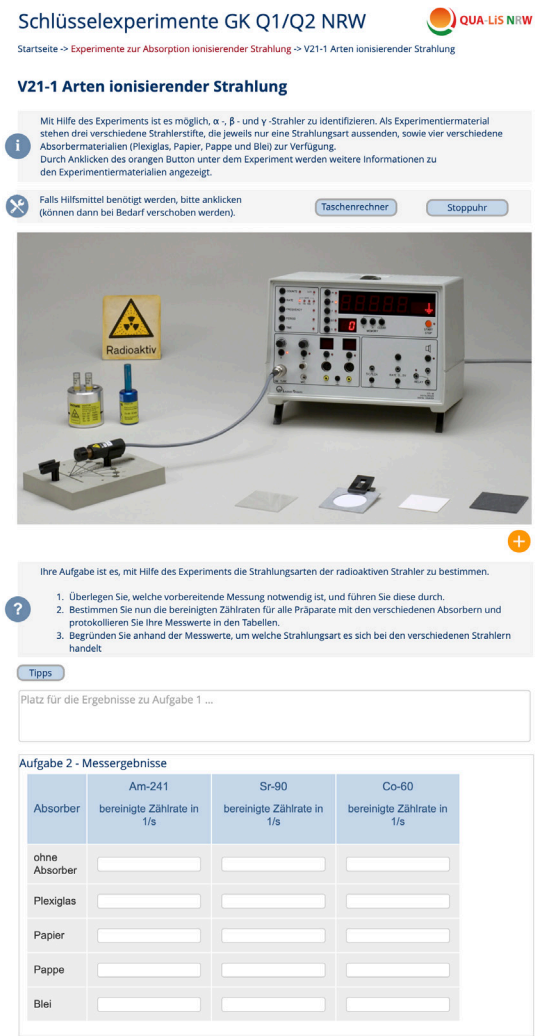



Abb. 3: Beispiel für ein interaktives Arbeitsblatt mit IBE für die unterrichtliche Erprobung in der Pilotphase.

von Ergebnissen.

Die Bereitstellung solcher Materialien erfolgt online über die Plattform tet.folio. Für die Nutzung ist daher nur ein HTML 5-fähiger Browser und ein Internetzugang erforderlich. Die Nutzung des digitalen Lernmaterials im Rahmen der ersten Ebene (Substitution) der Enhancement-Stufe wird einfach möglich durch eine einfache Änderung in der URL „…/web/…“ in „…/tet/…“. Damit werden alle Autorenfunktionen für die Nutzer*innen abgeschaltet, und es ist zunächst keine Registrierung auf der Plattform erforderlich. Allerdings werden alle Eingaben (Text, Messdaten) auf den interaktiven Arbeitsblatt dann nicht gespeichert. Das wird erst dann möglich, wenn die Nutzer*innen angemeldet sind und die „…/tet/…“ URL verwenden.

Die IBE sind natürlich immer auch unabhängig von den hier beispielhaft entwickelten Lernmaterialien einsetzbar. So besteht bereits für die Ebene der Substitution die Möglichkeit, das IBE etwa über ein interaktives Whiteboard zentral (Abb. 4) oder auch individuell mit Laptops oder Tablets in eine Lernumgebung vielfältig zu integrieren. Über die Exportfunktion in tet.folio wäre auch eine Offline-Nutzung der IBE möglich. Begleitende Arbeitsmaterialien könnten zunächst traditionell auf Papier bereitgestellt werden, in späteren Ebenen / Stufen dann auch digital.

Abb. 4: Beispiel für die Nutzung eines IBE am digitalen Whiteboard in einem modern ausgestatteten Fachraum. Das abgebildete Röntgengerät ist in Anlehnung an das reale Gerät bedienbar (Ebene der Substitution) und ermöglicht die Durchführung verschiedener Experimente mit Röntgenstrahlung (Röntgenbilder, Bragg-Reflexion, Bestimmen der planckschen Konstante, Einfluss des Anodenmaterials).

## 3. Zeitplan und Leitideen zur Nutzung

Der Zeitplan im Kooperationsprojekt mit dem QUA-LiS NRW sieht folgende Schritte der Implementation vor:

- 2018: Anforderungsanalyse, Auswahl der Themenfelder.
- 2019: Pilotphase – Entwicklung von IBE und der Lernmaterialien; parallel dazu wird das offene IBE-Portal [5] bereitgestellt, über Fortbildungsveranstaltungen verbreitet und fortlaufend erweitert.

- 2020: Einführung der digitalen Ergänzungen zu den 25 Schlüsselexperimenten und unterrichtliche Erprobung.
- 2021: Auswerten des Feedbacks der Pilotphase und Optimierung der Angebote
- 2022: Einführung in den Regelunterricht (NRW)

Das offene IBE-Portal (Abb. 5) dient in erster Linie der flexiblen Erweiterung und Individualisierung realen Experimentierens (Stufe des Enhancement mit den Ebenen Substitution und Augmentation; [2]). Es bietet später dann Bausteine für die Herstellung und Bereitstellung eigener (neuartiger) Lernmaterialien (Stufe der Transformation mit den Ebenen Modification und Redefinition; ebd.) über die Plattform tet.folio.

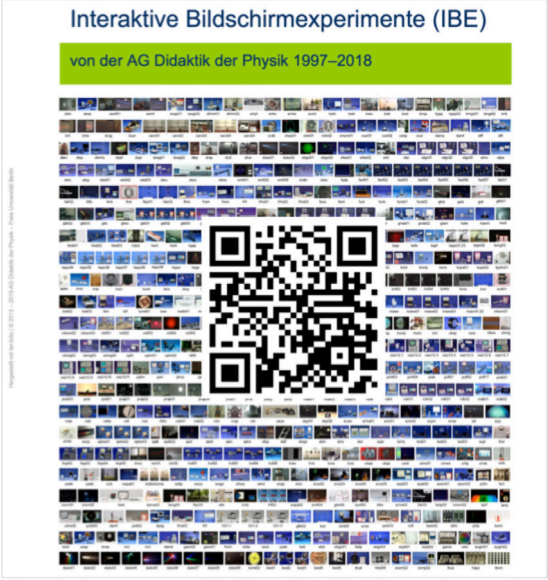



Abb. 5: Titelseite des offenen IBE-Portals über das neben den hier neu entwickelten IBE zu den Schlüsselexperimenten auch der Altbestand erschlossen werden wird.

Zudem bietet das Portal ein Archiv systematisch digitalisierter Realexperimente, das auch für fachdidaktische Forschungszwecke nutzbar ist.

Allgemeine Leitideen zur Nutzung derartiger Angebote mit IBE im Unterricht lieferte im Projekt ELIXIER ein Workshop zur Umsetzung von "Ethischen, sozialen und rechtlichen Fragen (ELSI)" in der Forschung zur Mensch-Technik-Interaktion (MTI):

- IBE sollten die Möglichkeit einbeziehen, dass die Lernenden Fehler machen können. Die Fehler beim Experimentieren mit IBE haben keine Folgen und können Lernanreize schaffen.
- tet.folio als flexibel nutzbare Online-Plattform für Herstellung, Bearbeitung, Integration und Verteilung von IBE ermöglicht das effektive Umsetzen binnendifferenzierender Maßnahmen.
- IBE unterstützen (moderat) konstruktivistische Lernarrangements mit Experimenten.
- Diskriminierungseffekte in heterogenen Lerngruppen werden vermieden.
- Experimentieren wird für besondere Gruppen von Lernenden ermöglicht (Inklusion).
- Ein deutlicher Vorteil wird durch die orts- und zeitunabhängige Wiederholbarkeit von Experimenten gesehen, die real durchgeführt wurden, aber für Lernzwecke nicht uneingeschränkt verfügbar sind.
- Insbesondere lässt sich damit der Experimentierzyklus virtuell ergänzen:
- *Orientieren*: Lebensweltliche Verankerung, Bedeutung für den individuellen Kompetenzzuwachs schaffen.
- *Vorbereiten*: virtuelle Planung vermeidet negativen Stress und schafft Zeit für Reflexionen.
- *Durchführen*: Erweiterte Erfahrungsräume durch Augmentierung, adaptive Lernunterstützung.
- *Nachbereiten*: Kompetenzzuwachs erfahrbar machen; IBE als Teil eines lebensbegleitenden digitalen Portfolios.

Das IBE-Portal kann im Zusammenwirken mit der webbasierten Plattform tet.folio einen für individualisierte Lehr-Lernarrangements wichtigen Beitrag leisten. Besonders deutlich wird das im Physikunterricht der Oberstufe. Während hier für Themenfelder wie Quantenphysik oder Röntgenstrahlung die frontale Demonstration von Experimenten dominiert, bietet der ergänzende Einsatz von IBE neue Möglichkeiten sowohl zur Individualisierung von Lernprozessen wie auch zum gemeinschaftlichen Arbeiten. Das IBE dient dabei als digitales Medium nicht der Präsentation von Informationen, sondern macht den Experimentierprozess durch eigenes Tun anschaulich. Damit können zum Beispiel Lehrpersonen die Lernenden beim individuellen Kompetenzerwerb mit Experimenten wirksam unterstützen und damit die Lernwirksamkeit deutlich erhöhen [6]. Beispielsweise auch dadurch, dass der Zugriff auf Experimente bedarfsgerecht – ohne Vorbereitungszeit – möglich wird. Die Einbettung der IBE in tet.folio ermöglicht webbasierte Aufgabenformen, die Werkzeuge für gemeinsames Lehren und Lernen integrieren und so Lernprozesse der Schülerinnen und Schüler mit Experimenten unterstützen können.

## 4. Literatur

[1] 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. (Für eine deutsche Übersetzung des SMAR-Modell siehe auch: http://homepages.uni-

paderborn.de/wilke/blog/2016/01/06/SAMR-Puentedura-deutsch/)
[2] QUA-LiS NRW (2019): Handbuch zu 25 Schlüsselexperimenten im Grundkurs Physik. https://www.schulentwicklung.nrw.de/lehrplaene/lehrplannavigator-s-ii/gymnasiale-oberstufe/physik/hinweise-und-beispiele/se2.html
[3] Kirstein, J., Nordmeier, V. (2014): tet.folio: Physik lehren und lernen mit einem digitalen Portfolio. In: Praxis der Naturwissenschaften PHYSIK in der Schule 63 (3 / 63), S. 19
[4] Ermel, D. et al. (2017). ELIXIER – Didaktische Konzeption einer kompetenzorientierten Mixed- Reality-Experimentierumgebung. Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung, Dresden 2017.
[5] https://tetfolio.fu-berlin.de/web/980625
[6] Holmes, W., Anastopoulou S., Schaumburg, H. & Mavrikis, M. (2018). Personalisiertes Lernen mit digitalen Medien. Ein roter Faden. Stuttgart: Robert Bosch Stiftung.

# MINTFIT Physik: Onlineangebot zur Vorbereitung auf ein MINT-Studium

**Ute Carina Müller*, Daniel Sitzmann***

*Universität Hamburg, Max-Brauer-Allee 60, 22767 Hamburg
ute.carina.mueller@uni-hamburg.de

**Kurzfassung**

Zur Vorbereitung auf ein MINT-Studium bietet MINTFIT Hamburg seit 2018 ein kostenlos nutzbares, webbasiertes E-Learning-Angebot in Physik für Schüler*innen und Studieninteressierte an. Als Ausgangspunkt liefert ein Orientierungstest zur Selbsteinschätzung des eigenen Kenntnisstandes individuelle Lernempfehlungen für die effektive Nutzung des zugehörigen Onlinekurses. Damit kann das Schulwissen orts- und zeitunabhängig aufgefrischt und gefestigt und damit mögliche Hürden bereits vor Beginn eines MINT-Studiums ausgeräumt werden.
Die Entwicklung des Selbsteinschätzungstests erfolgte in mehreren Iterationen und basiert auf der Item-Response-Analyse der einzelnen Fragen mit Hilfe echter Testergebnisse. Die Fragenzusammenstellung konnte dadurch hinsichtlich Fragenschwierigkeit und Trennschärfe optimiert werden. Die Inhalte für den Onlinekurs wurden im Rahmen der Online-Brückenkurs Physik-Kooperation entwickelt und an den MINTFIT Fragenkatalog angepasst. Erste Erfahrungen und Ergebnisse werden vorgestellt.

## 1. **Einleitung**

Studienabbruchquoten zwischen 40% und 50% sind typisch für viele MINT-Studiengänge an deutschen Universitäten und Hochschulen [5]. Zwischen 30% (an Universitäten) und 41% (an angewandten Hochschulen/Fachhochschulen) der Studienabbrecher geben an, dass fehlende Vorkenntnisse zu Beginn im Studium selbst nicht ausgeglichen werden konnten [4]. Um diesem Problem entgegen zu wirken, haben sich die staatlichen Hamburger Hochschulen (Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, HafenCity Universität Hamburg, Universität Hamburg, Technische Universität Hamburg und das Universitätsklinikum Eppendorf) gemeinsam mit der Behörde für Wissenschaft, Forschung und Gleichstellung 2014 im Projekt MINTFIT [6] zusammengeschlossen um kostenlose und frei verfügbare Onlineangebote für die mathematisch-naturwissenschaftlichen Grundlagenfächer zur Verfügung zu stellen. Hierdurch sollen die Voraussetzungen für ein erfolgreiches MINT-Studium verbessert werden. Für das Fach Mathematik steht das Angebot bereits seit 2014 zur Verfügung [1]. In 2018 kamen Inhalte für Physik hinzu. Bis Ende 2020 sollen die Fächer Chemie und Informatik folgen.

## 2. **Das Projekt MINTFIT Hamburg**

„Fit ins MINT-Studium“ ist seit Projektbeginn das Motto und Ziel des Projekts MINTFIT. Die Grundstruktur ist dabei Fächer unabhängig. Sie ist in Abb. 1 dargestellt: Startpunkt ist ein Online Selbsteinschätzungstest. Dieser dient der individuellen Analyse des Kenntnisstands des Testteilnehmers. Die anschließende Testauswertung umfasst drei Aspekte:

- Das Testergebnis gibt eine direkte Rückmeldung, wie viele Aufgaben richtig beantwortet wurden. Dies erfolgt sowohl in Form einer Prozentangabe als auch mit Hilfe einer 4-stufigen Sternchenklassifizierung, die sich an typischen Bewertungsdarstellungen im Internet orientiert.
- Detaillierte Musterlösungen zu jeder Aufgabe ermöglichen eine Selbstüberprüfung und Fehleranalyse für den Testteilnehmer. Dieser Aspekt ist für die Selbstreflexion und Sensibilisierung des Testteilnehmers wichtig und wird von diesen als sehr hilfreich bewertet.
- Die Schnittstelle zu den angeschlossenen Onlinekursen stellt den dritten Teil der Testauswertung dar: Individuelle Lernempfehlungen listen diejenigen Kapitel in den zugehörigen E-Learning-Kursen auf, die die Testteilnehmer zum vertiefenden Lernen vordringlich bearbeiten sollten, um die gefundenen Wissenslücken zu schließen.

Für den Onlinekurs stehen in Mathematik mit OMB+ [8] und viaMINT [9] zwei externe Kurse zur Verfügung.

Für Physik wird ein auf der eigenen Plattform integrierter Kurs entwickelt. Die Inhalte dieses Kurses stammen im Wesentlichen aus der Entwicklung des Online Brückenkurs Physik (OBKP) [7] innerhalb eines nationalen Konsortiums. Partner von MINTFIT sind hierbei das Karlsruher Institut für Technologie (KIT), die RWTH Aachen und andere.

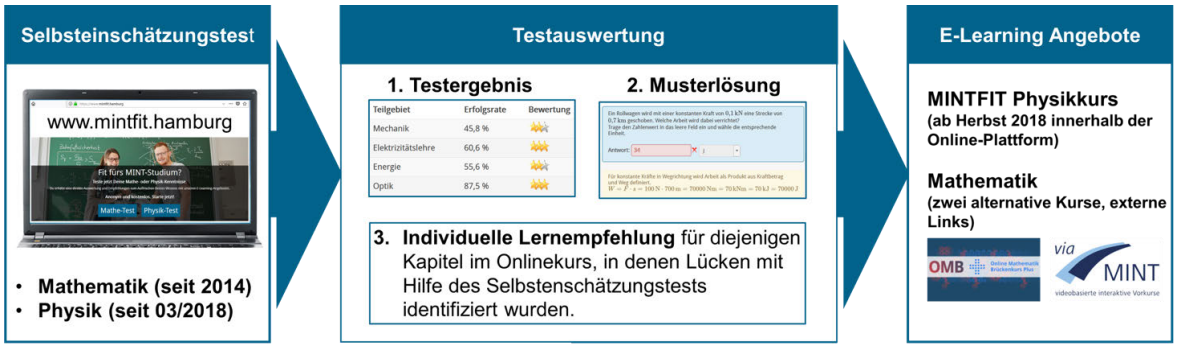



**Abb.1:** Grundkonzept des MINTFIT Onlineangebots bestehend aus Selbsteinschätzungstest, 3-teiliger Testauswertung und Onlinekursen

Die Struktur der Inhalte wurde für den MINTFIT Physikkurs an die Themenaufteilung im Selbsteinschätzungstest angepasst. Die Inhalte aus dem OBKP-Konsortium wurden dafür reorganisiert und ergänzt.

## 3. Physikinhalte

Die Auswahl der Themen für Physik stützt sich auf die Hamburger Bildungspläne für die Sekundarstufe I am Gymnasium [10] bzw. für die Jahrgangsstufen 7-11 an Stadtteilschulen [11] und wurde mit den Ergebnissen der DPG-Studie „Physik in der Schule“ [2] abgeglichen. Die gewählten Themenfelder sind Mechanik, Elektrizitätslehre, Energie und Optik. Der Fokus liegt dadurch auf denjenigen Inhalten, die jeder Schulabgänger mit einer allgemeinen Hochschulzugangsberechtigung in Hamburg erworben haben sollte. Für Optik bedeutet das z. B., dass der Schwerpunkt auf der geometrischen Optik liegt und die Welleneigenschaften des Lichts nur gestreift werden. Die Darstellung sowie die Methoden, insbesondere die mathematischen Methoden (z.B. Vektordarstellung oder Integralrechnung), gehen über das Niveau der Mittelstufe hinaus und bereiten dadurch ein MINT-Studium gezielt vor.

## 4. Entwicklung des Physiktests

Um eine gewünschte Testdauer von ca. 60 Minuten einhalten zu können, mussten von den ursprünglich ca. 200 entwickelten Fragen 40 Fragen ausgewählt werden. Hierzu wurden im Wintersemester 17/18 in einer Pilotstudie alle Fragen einem Pretest mit ca. 350 Erstsemester-Studierenden an der TU Hamburg und der Universität Hamburg unterzogen. Die Fragen wurden hierfür auf 8 Tests (Testhefte) aufgeteilt, wobei 12 sog. Ankerfragen (3 Fragen aus jedem Themengebiet) in allen Tests vertreten waren. Im Anschluss erfolgte eine psychometrische Analyse aller Fragen (Items) in einer IRT-Analyse auf Basis des Raschmodells [12, 13]. Hierbei wurde die Diskrimination oder Trennschärfe (d.h. die Steigung der logistischen Lösungsfunktion) für alle Fragen fixiert, so dass ausschließlich die Schwierigkeit jeder Frage (Fragenschwierigkeit) bestimmt werden konnte. Als Maß für die sog. Personenfähigkeit eines Testteilnehmers wird dessen Gesamttestergebnis, d.h. der Anteil an richtig beantworteten Fragen verwendet.

Die Fragenschwierigkeit einer einzelnen Frage ergibt sich als die Lösungswahrscheinlichkeit für einen typischen Testteilnehmer mit dem Gesamttestergebnis von 50 % richtig beantworteten Fragen. Wichtige Kriterien für eine erste Fragenauswahl (Itemauswahl) waren einerseits der Itemfit, d.h. die empirische Passung zum Raschmodell, andererseits die angemessene Verteilung der Fragenschwierigkeiten entlang des Spektrums der Personenfähigkeit der Testteilnehmer.

Der so zusammengestellte Test (1. Testversion) setzt sich aus 12 Fragen aus dem Bereich der Mechanik, 11 Fragen zur Elektrizitätslehre, 9 Fragen zur Energie und 8 Optikfragen zusammen. Die Gewichtung der Themengebiete im Test war im Vorfeld anhand des Themenkatalogs festgelegt worden.

## 5. Ergebnisse der 1. Testphase

In den ersten 7 Monaten nach der Veröffentlichung des Selbsteinschätzungstests von März bis September 2018 haben etwa 850 Nutzer den Test besucht, von denen ca. 250 den Test tatsächlich bearbeitet haben. Das mittlere Testergebnis liegt bei 50% und entspricht auf den ersten Blick dem gewünschten Resultat. Dies spiegelt auch die Einschätzung der ca. 20 Testteilnehmer wieder, die sich an der zugehörigen Evaluation beteiligt haben. Diese ordnen dem Test einen mittleren Schwierigkeitsgrad zu. Außerdem werden die Musterlösungen als hilfreich bewertet. Die Passgenauigkeit der Lernempfehlungen kann noch nicht untersucht werden, da der Onlinekurs noch nicht zur Verfügung steht.

Bei genauerer Untersuchung der Testresultate zeigt sich, dass, obwohl die Gesamtdauer für den Test bei nur ca. 60 Minuten liegt, einige Testteilnehmer nur einen Teil der Fragen bzw. nicht alle Themengebiete bearbeitet haben. Führt man daher das Kriterium „ernsthafte Bearbeitung“ ein, indem eine Bearbeitungsdauer von mindestens 10 Minuten gefordert wird, so verschiebt sich das mittlere Testergebnis auf ca. 75% richtige Antworten bei etwa 180 Testergebnissen. Obwohl einige Fragen absichtlich sehr einfach gewählt wurden, um die Hemmschwelle zur Bearbeitung möglichst niedrig zu halten, ist eine Testüberarbeitung nötig, um eine möglichst gute Diagnosegenauigkeit zu erreichen. Um zu identifizieren, welche Fragen ausgetauscht werden sollten, wurde eine

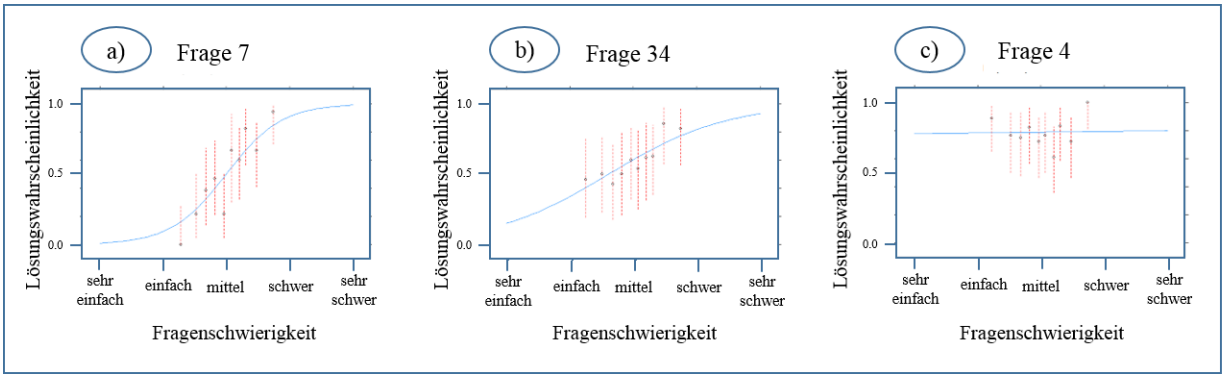



**Abb.2:** Ergebnis des IRT-Fit für drei beispielhafte Aufgaben a) „gute“ Frage, b) Frage mit reduzierter Trennschärfe, c) „schlechte“ Frage ohne Diskriminierungskraft

weitere IRT-Analyse durchgeführt. In der Pilotstudie hat die Aufteilung der Fragen (des sog. Itempools) auf acht sich überschneidende Testhefte dazu geführt, dass die Stichprobengröße bzgl. der einzelnen Testaufgaben verhältnismäßig klein war, weshalb das parametersparsame Rasch-Modell eingesetzt wurde. Bei Ausschluss der Testteilnehmenden mit kurzer Bearbeitungszeit ist die Stichprobengröße der Onlineerhebung immer noch groß genug, so dass hier die Passung zum 2PL-Modell empirisch überprüft werden kann. Somit kann für jede einzelne Aufgabe neben der Fragenschwierigkeit auch ihre Diskrimination geschätzt werden kann [3]. Dies ermöglicht eine verbesserte Beurteilung der Fragenqualität, so dass die Auswahl der Fragen entsprechend verändert werden kann. In Abb. 2 ist das IRT-Fitresultat exemplarisch für 3 Fragenqualitäten gezeigt. Ziel ist es im Test Fragen mit guter Trennschärfe, wie in a) dargestellt, zu verwenden. Daher wurden für die 2. Testversion 13 der 40 Fragen durch Fragen aus dem Fragenpool ersetzt.

## 6. Ergebnisse der 2. Testphase

Diese 2. Testversion wurde im Wintersemester 18/19 mit Studierenden im 1. Semester an der TU Hamburg im Rahmen der Übungen zu einer Vorlesung der technischen Mechanik einem neuerlichen Testlauf unterzogen. Von den ca. 250 Testresultaten, die das Kriterium „ernsthafte“ Bearbeitung erfüllt haben, wurden

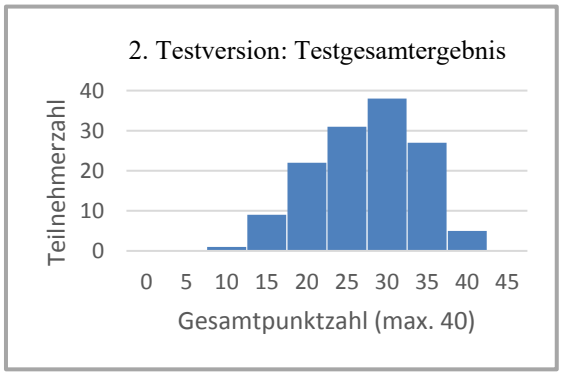



**Abb.3:** Testgesamtergebnis des Testprobelaufs im Wintersemester 18/19 für die 2. Testversion mit Erstsemesterstudierenden an der TUHH

von ca. der Hälfte der Studierenden tatsächlich alle Themengebiete bearbeitet. Der Mittelwert des Gesamttestergebnisses liegt nun bei etwa 60% (siehe Abb. 3) und damit im angestrebten Bereich.

Die Testteilnahme sowie die Lösungswahrscheinlichkeit für die einzelnen Themengebiete ist in Abb. 4 dargestellt.

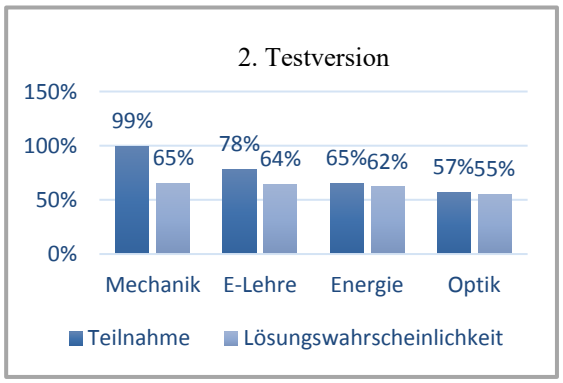



**Abb.4:** Testteilnahme und Lösungswahrscheinlichkeit nach Themengebieten des Testprobelaufs im Wintersemester 18/19 für die 2. Testversion mit Erstsemesterstudierenden an der TUHH

Die mittlere Lösungswahrscheinlichkeit liegt für die vier Themengebiete zwischen 55% (Optik) und 65% (Mechanik). Die Testteilnahme sinkt kontinuierlich über die Themengebiete von 99% (Mechanik) zu 57% (Optik). Dieser Verlauf stimmt mit der Reihenfolge im Test überein und ist ein Hinweis darauf, dass viele Testteilnehmende ihren Test nicht vollständig durchführen, sondern bereits vor der letzten Frage beenden. Eine Aufklärung in wie fern die Zusammensetzung der Testteilnehmergruppe (Erstsemesterstudierende aus einer Vorlesung zur technischen Mechanik) einen Einfluss auf diese Ergebnisse hat, kann erst in Zukunft erfolgen. Hierfür wird eine vergleichbare Anzahl an Testresultaten von Teilnehmenden der Hauptzielgruppe (Studieninteressierte aller MINT-Studiengänge) benötigt.

Auch für diese 2. Testversion wurde eine IRT-Analyse durchgeführt. Die Qualität des Itemfits sowie die Ergebnisse hinsichtlich der Fragenschwierigkeit

für die einzelnen Fragen sind zufriedenstellend, so dass keine weitere Testanpassung erfolgt ist.

## 7. Ausblick

Neben der Rückmeldung an den Testteilnehmenden sollen die zukünftig gewonnen Testresultate einen tieferen Einblick in das Physikverständnis der angehenden Studierenden liefern. Hierzu zählt z.B. eine Untersuchung zur Korrelation der Personenfähigkeit zwischen den Themengebieten und die Identifikation typischer Falschantworten.

Außerdem sind methodische Entwicklungen für den Selbsteinschätzungstest vorgesehen. Besonders interessant scheint hierbei ein adaptiver Ansatz, der für jeden Testteilnehmer die Auswahl und die Reihenfolge der Fragen anhand der zuletzt geschätzten Personenfähigkeit bestimmt. Die Entscheidung, welche Frage als nächstes bearbeitet werden soll, fällt, je nachdem, ob die vorherige Frage richtig oder falsch beantwortet wurde, unterschiedlich aus. Ziel ist eine kürzere Testbearbeitungsdauer bei gleichzeitig steigender Diagnosegenauigkeit [14]. Dies könnte der abnehmenden Testbeteiligung im Verlauf des Tests (siehe Abb. 4) entgegenwirken.

Zudem ist die Ausweitung des Blended-Learning-Ansatzes auf das Fach Physik geplant. Hierbei sollen Präsenzveranstaltungen realisiert werden, die analog zu den bei MINTFIT Mathematik bestehenden Mathe-Trainings und Mathe-Camps gestaltet sind. Hierbei wird das Online-Material zur Vorbereitung und in den Übungsphasen verwendet.

## 8. Literatur


[1] Barbas, H. & Schramm, T. (2018): The Hamburg Online Math Test MINTFIT for Prospective Students of STEM Degree Programs. MSOR Connections, Vol 16 (3), S. 43-51.

[2] Eine Studie der Deutschen Physikalischen Gesellschaft e.V. (2016), Physik in der Schule (Anhänge)
Url: https://www.dpg-physik.de/veroeffentlichungen/publikationen/studien-der-dpg/pix-studien/studien/schulstudie-2016/schulstudie-anhaenge.pdf (Stand 5/2019)

[3] Embretson, S. & Reise, S. (2000): Item response theory for psychologists. Mahwah, NJ: Erlbaum.

[4] Heublein, U., Ebert, J., Hutzsch, C., Isleib, S., König, R., Richter, J., Woisch, A. (2017). Zwischen Studienerwartungen und Studienwirklichkeit, Ursachen des Studienabbruchs, beruflicher Verbleib der Studienabbrecherinnen und Studienabbrecher und Entwicklung der Studienabbruchquote an deutschen Hochschulen. (Forum Hochschule 1|2017). Hannover: DZHW.

[5] Heublein, U., Schmelzer, R. (2018). Die Entwicklung der Studien-abbruchquoten an den deutschenHochschulenBerechnungen auf Basis des Absolventenjahrgangs 2016. DZHW Projektbericht.
Url: https://www.dzhw.eu/pdf/21/studienabbruchquoten_absolventen_2016.pdf (Stand 5/2019)

[6] Homepage von MINTFIT: www.mintfit.hamburg (Stand 5/2019)

[7] Homepage von OBKP: https://lx3.mint-kolleg.kit.edu/onlinekursphysik/html/sectionx3.1.0.html (Stand 5/2019)

[8] Homepage von OMB+: www.ombplus.de (Stand 5/2019)

[9] Homepage von viaMINT: https://viamint.haw-hamburg.de/ (Stand 5/2019)

[10] LI Hamburg, Bildungsplan, Sekundarstufe I, Gymnasium, Url: https://www.hamburg.de/contentblob/2373266/8c3d4d03adf8ddad189172bef45ab665/data/physik-gym-seki.pdf (Stand 5/2019)

[11] LI Hamburg, Bildungsplan, Stadtteilschule, Jahrgangsstufen 7-11, Url: https://www.hamburg.de/contentblob/4327802/aa65dc06546753a7fa47ad938a3b0192/data/physik-sts.pdf (Stand 5/2019)

[12] Rasch, G. (1960). Probabilistic models for some intelligence and attainment tests. Danish Institute for Educational Research, Copenhagen 1960, expanded edition with foreword and afterword by B.D. Wright. The University of Chicago Press, Chicago 1980.

[13] Rost, J. (2004): Lehrbuch Testtheorie – Testkonstruktion. Bern: Huber.

[14] Thompson, N. A. & Weiss, D. J. (2011). A Framework for the development of computerized adaptive tests, Practical Assessment, Research & Evaluation, 16 (1).

# Radioaktivität – eine didaktische Rekonstruktion

**Axel-Thilo Prokop, Ronny Nawrodt**

Universität Stuttgart
5. Physikalisches Institut - Abt. Physik und ihre Didaktik
Pfaffenwaldring 57, 70569 Stuttgart
a.prokop@physik.uni-stuttgart.de

**Kurzfassung**

Von Los Alamos bis Fukushima: Radioaktivität ist ein wichtiger, wenn gleich für Laien auch mysteriöser und unheilvoller Begriff der Physik. Welche Vorstellungen verbinden Schülerinnen und Schüler mit dem Begriff der Radioaktivität? Die Erhebung bzw. die Replikation von Vorstellungen zur Radioaktivität sind in Bezug auf die Bewertung der Anwendung radioaktiver Stoffe notwendig. Die theoretische Basis für eine Einordnung der Vorstellungen im Begriff des „conceptual change" soll gelegt werden. Authentische Versuche sind für Schulen häufig nicht mehr möglich. Ziel ist dabei letztendlich eine zeitgemäße didaktische Rekonstruktion des Themenbereichs Radioaktivität für die Sekundarstufe I und die Etablierung eines Angebotes im Lehr-Lern-Labor der Universität Stuttgart. Die Schaffung eines solchen Angebotes bzw. die didaktische Rekonstruktion des Themas erscheinen bereits allein wegen des Fehlens authentischer Versuche in der Schule notwendig.

## 1. Einleitung: Vorstellungen zur Radioaktivität

Radioaktivität ist ein wichtiger Begriff der Physik, mit dem auch Laien häufig in Kontakt kommen. Welche Vorstellungen verbinden Schülerinnen und Schüler (SuS). mit dem Begriff der Radioaktivität?

Die Vorstellungen, die die Radioaktivität berühren, sollen hier anhand von Kernaussagen charakterisiert werden. In Abschnitt 3. Theoretische Rahmung sollen diese Kernaussagen dann in Anlehnung an Heinicke bzw. diSessa [1–3] als sogenannte „p-prims" aufgefasst werden.

Vorstellungen zur Radioaktivität sind bereits seit mehreren Jahrzehnten Untersuchungsgegenstand der Physikdidaktik. Beginnend mit Arbeiten Rieschs und Westphals [4] erstreckt sich die Bearbeitung dieses Themas mit den Arbeiten Neumanns [5] vor und nach den Ereignissen in Fukushima auch bis in das aktuelle Jahrzehnt. Alle Veröffentlichungen halten in Bezug auf die Radioaktivität fest, dass SuS die Begriffe Radioaktivität, (ionisierende) Strahlung und radioaktive Materie unzureichend voneinander trennen können [4, 6, 7]. Ionisierende Strahlung führe so beispielsweise zwingend dazu, dass ein bestrahlter Stoff selbst radioaktiv werde [6]. SuS können in Folge auch Kontamination als Stofftransport und Bestrahlung als Strahlungsprozess unzureichend differenzieren [6, 7]. SuS sprechen der Radioaktivität zudem ihre Natürlichkeit ab [8]. Vergleichbare Ergebnisse finden sich auch bei außerschulischen Laien [9]. In Bezug auf Bewertung der Anwendung radioaktiver Substanzen konnten Cooper et al. feststellen, dass SuS an präkonzeptuellen Vorstellungen, insbesondere im Bereich der Bewertung von Gefahren nach dem Unterricht festhalten [10].

In Nachbarschaft zum Begriff der „radioaktiven Strahlung" bzw. der ionisierenden Strahlung des Atomkernes hat Plotz den Begriff der Strahlung im Allgemeinen untersucht; auch hier finden sich starke Querbezüge zum Thema Radioaktivität [11]. Der Begriff „Strahlung" wird von SuS häufig mit Radioaktivität assoziiert [5, 11–13]. Die Unterscheidung von natürlichen und künstlichen Strahlenquellen sei zudem auch eine Entscheidung für ungefährliche bzw. gefährliche Strahlung [12]. In Anbetracht an den bereits vorhandenen Fundus an Beschreibungen zu Vorstellungen im Bereich der Radioaktivität scheint es möglicherweise so, als ob hier kein nennenswerter Forschungsbedarf mehr bestünde. Bisherige Arbeiten haben die Vorstellungen zur ionisierenden Strahlung bzw. Radioaktivität zwar bereits untersucht [1], hier soll die theoretische Rahmung deutlich erweitert werden. Eine mögliche Übertragung neuerworbenen Wissens auf die Bewertung der Anwendung kerntechnischer Anlagen bzw. Erzeugnisse ist bisher kaum untersucht; die Diskussion beschränkt sich im Wesentlichen auf die Nutzung als Energiequelle und den damit verbundenen Gefahren. SuS halten dabei nach dem Unterricht an vorunterrichtlichen Vorstellungen fest und nutzen neuerworbenes Wissen kaum zur fachgerechten Bewertung [10].

Auf den ersten Blick scheint, zumindest für die Nutzung der „Atomenergie" in Deutschland, dieses Thema abgeschlossen zu sein. Denkt man jedoch an die aktuellen Ereignisse rund um die Kernanlage Tihange oder die ungelöste Endlagerfrage, ist erkennbar, dass auch bis in die ferne Zukunft die zugehörigen Fragen nicht verschwinden werden. Man kann von einem klassischen epochaltypischen Schlüsselproblem sprechen. Neben dieser Problematik werden jedoch andere Anwendungen radioaktiver Materia-

lien und deren enorme Bedeutung (z.B. in der medizinischen Anwendung) möglicherweise vernachlässigt. Eine didaktische Rekonstruktion des Themas erscheint daher unter dem Gesichtspunkt der veränderten Verhältnisse sinnvoll.

Viele Schulen sind zudem nicht mehr in der Lage, Experimente zum Thema durchzuführen, ein Angebot für Schulen bietet daher die Möglichkeit, Materialien im Lehr-Lern-Labor zu testen. Pädagogischer Ausgangspunkt dafür soll die Bewertung der Anwendung radioaktiver Stoffe und insbesondere deren Gefährdungspotential sein. Anwendungen radioaktiver Stoffe setzen hinsichtlich des Gefährdungspotentials bzw. dessen Einschätzung Sachkenntnisse voraus. Dies erzwingt die Notwendigkeit, solche Sachkenntnisse in angemessener Form zu rekonstruieren.

## 2. Theoretische Rahmung

Die didaktische Rekonstruktion stellt eines der großen Forschungsparadigmen der Physikdidaktik dar und wird durch das sogenannte „fachdidaktische Triplett“ und dessen Teilaufgaben (Fachliche Klärung, Erfassen von Schülerperspektiven und didaktische Strukturierung) gebildet bzw. beschrieben. Ziel der didaktischen Rekonstruktion ist dabei, Fachinhalte für die Lernenden zugänglich zu gestalten. Die Erfassung der Perspektiven der Lernenden wird dabei durch die empirische Erfassung der Vorstellungen geleistet [14].

Vorstellungen und deren Strukturierung sowie deren Änderung werden durch Modelle des Konzeptwandels („conceptual change“) beschrieben. Die Begriffswahl des Wandels verdeutlich dabei das, in Anlehnung an den wissenschaftstheoretischen Begriff Kuhns, evolutive Verständnis des „conceptual change“.

Die Beschreibung von Alltagsvorstellungen im Rahmen dieser Arbeit soll durch die fragmentarische Perspektive diSessas erfolgen. Zentral für diese Idee ist die Existenz bestimmter Bausteine, die in Form einfacher Aussagen zusammengefasst werden können. Diese bilden dann situationsabhängig typische Vorstellungen ab [2]. Hiermit grenzt sich der fragmentarische Punkt von „naïve physics“ Vosniadous ab [15]. Für die Beschreibung des Forschungsvorhaben ist es jedoch vollständig ausreichend, ausgehend von einem pragmatischen Standpunkt zu argumentieren, dass Aussagen bzw. Fragmente leichter identifizierbar und damit auch untersuchbar werden. Im Rahmen der Darstellung des Forschungsstands zum Thema Radioaktivität konnte man bereits sehen, dass sich solche Fragmente leicht identifizieren lassen.

Eine weitere Form des Konzeptwandels wird von Chi durch die Idee beschrieben, dass neuerworbenes Wissen falsch kategorisiert werden könnte. Resistente Vorstellungen werden dabei durch ontologisch falsche Kategorisierungen erzeugt. Zentral sind dabei für Chi die Unterscheidung von emergenten bzw. direkten Prozessen und die Unterscheidung von Prozessen und Entitäten im Allgemeinen.

Die zugehörige didaktische Forderung Chis für diese Art von Fehlvorstellungen besteht darin, dass relevante ontologische Kategorien zunächst entstehen müssten, um nachhaltigen Lernerfolg möglicAxel-Thilo Prokop;Ronny Nawrodth zu machen [16, 17]. Die Fehlkategorisierung als Ursprung d.h. „misconceived knowledge“ als alleiniger Ursprung von (Fehl-)Vorstellungen ist jedoch umstritten und kann hinsichtlich eines Alleinvertretungsanspruches sicherlich als widerlegt betrachtet werden [18, 19].

Die Problematik unterschiedlicher Kategorisierungen und deren Bedeutung wurde bereits 1979 von Walter Jung beschrieben. Jung lenkt dabei das Augenmerk auf die der Sprache im Allgemeinen zugrundeliegenden Kategorisierungen und arbeitet deren zum Teil ambivalente Zuordnungsmöglichkeiten heraus. Die Unterscheidung von Prozessen und Gegenständen ist hier auch wichtig. Die Bildung oder Nutzung von Kategorien fordert dabei von Lehrenden einen Planungsprozess, der die fachlichen Inhalte kategorisiert und zugänglich macht. Die bloße „Schöpfung“ neuer Kategorien führe noch nicht zu diesem Ziel [20].

Im Rahmen dieses kurzen Abrisses ist klar geworden, dass die Anzahl der theoretischen Zugänge groß ist. Es erscheint dabei in Anlehnung an das konstruktivistische Prinzip der Viabilität wichtig, innerhalb der theoretischen Rahmung Freiheiten zuzulassen; der Konzeptwandel ist auch dann nicht beliebig, sondern muss vom Fach ausgehend von Lehrenden auf Basis der kategorialen Identität der Physik geplant und interindividuell durch die SuS ausgedacht werden. Die didaktische Rekonstruktion bildet hierfür einen sicheren Ausgangspunkt.

## 3. Forschungsfragen

Die Bewertung der Anwendung radioaktiver Substanzen ist vor dem Unterricht vermutlich stark durch präkonzeptuelle Motive geprägt Daher ist es, um eine didaktische Rekonstruktion überhaupt zu ermöglichen, notwendig, die vorunterrichtlichen Vorstellungen der SuS zunächst zu untersuchen. Die didaktische Strukturierung des Angebotes im Lehr-Lern-Labor ist dabei, im Sinne der didaktischen Rekonstruktion, auf diese Erhebung angewiesen. Es ist also ein Anliegen der didaktischen Rekonstruktion die Vorstellungen vor dem Unterricht zu erfassen:

Welche Vorstellungen verbinden SuS mit dem Thema Radioaktivität vor dem Unterricht mit diesem Thema?

Die dabei erfassten Vorstellungen werden dann auch auf ihre innere Struktur hin untersucht:

Wie strukturieren sich die so erhobenen Vorstellungen in Bezug auf die ontologischen Grundkategorien

Chis, das Kategorienproblem Jungs und die „p-prims“ diSessas?

## 4. Entwicklungsaufgabe

Die didaktische Rekonstruktion des Themas geht auch einher mit der Entwicklung neuer Materialien bzw. der didaktischen Strukturierung des Themas [14].

In Bezug auf das Thema Radioaktivität sind viele Schulen nicht mehr in der Lage, authentische Experimente vorzustellen. Die Schaffung eines Angebotes des Lehr-Lern-Labors, welches auch in „exotischen“ Teilen der Physik Experimente anbieten kann, ist unter anderem aufgrund dieser Exklusivität sinnvoll. Die Schaffung eines experimentellen Angebotes soll bei SuS sowie den betreuenden Studierenden des LA Physik dazu führen, irrationale Ängste abzubauen und gleichzeitig eine kritische Auseinandersetzung zu fördern.

Die Materialien sollen in Bezug auf die Lernpläne bzw. Bildungspläne Deutschlands anschlussfähig sein. Exemplarisch wird hier von den Bildungsplänen des Landes Baden-Württemberg für die Sekundarstufe I ausgegangen. Die SuS sollen dabei anhand fachspezifischer Begriffe (z.B. Atomhülle und Atomkern) den Aufbau des Atoms bzw. die Struktur der Materie beschreiben können. Sie sollen ionisierende Strahlung bzw. Radioaktivität, deren biologische Wirkung und technische Anwendung beschreiben bzw. nennen können. Die Risiken bei der Nutzung sollen durch die SuS abgewogen werden; SuS beschreiben Maßnahmen des Strahlenschutzes [21]. Gesetzliche Anforderung (z.B. Strahlenschutzverordnung) beim Umgang mit ionisierender Strahlung werden selbstredend eingehalten und die SuS auch über die Gefährdung aufgeklärt.

Neben den offensichtlichen (Bildungsplan-)Inhalten, ist jedoch auch eine erneute fachliche Klärung jenseits des Lehrplaninhaltes sinnvoll. Die Anbindung an den Bildungsplan ist jedoch für Lehrerinnen und Lehrer wichtig, da deren Bereitschaft zu einem Besuch des Lehr-Lern-Labors dann größer ist. Wissenschaftshistorisch ist die „Entdeckung“ des Atomkerns durch das sogenannte „Rutherford“-Experiment wichtig gewesen, bestimmte Eigenschaften des Atomkerns wurden hier erstmalig entdeckt und beschrieben. Aus wissenschaftshistorischer Perspektive scheint hier eine didaktische Rekonstruktion des sogenannten „Rutherford-Experiments“ vielversprechend. Die Aufarbeitung dieser Themen scheint aus wissenschaftstheoretischer Sicht in Bezug auf die physikalische Modellbildung ansprechend.

Pädagogisch wird sich das Material am Konzept des „inquiry-based learning“ orientieren. Der Unterricht orientiert sich dabei an einer „Forschungsfrage“. Ziel des Unterrichtes ist dann eine propädeutische Bearbeitung des mit der Forschungsfrage verbundenen Problems [22]. Ausgangspunkt der Unterrichtssequenz wird dabei die Frage, die inhaltlich auch mit vielen bereits bekannten Vorstellungen zusammenhängt, welche Gefährdung von radioaktiven Materialien ausgeht („Wann wird Radioaktivität gefährlich?“). Ausgehend von einem Klassengespräch und einer informellen Abfrage, welche Gefahren mit der Radioaktivität verbunden sind, kann man über die Einführung des Geiger-Müller-Zählrohres als Messinstrument ionisierender Strahlung und des Nulleffekts diese Frage triggern. Die Beantwortung dieser Frage im Sinne des gegenwärtigen Wissenstands zur biologischen Wirkung ionisierender Strahlung ist einfach; jedes Photon trägt in diesem Sinne zu der stochastischen Strahlungsgefährdung bei [23]. Gleichzeitig gibt es aber eine Vielzahl von Anwendungen, die ionisierende Strahlung beim derzeitigen technischen Stand nutzen. Eine Diskussion der Bedeutung der Gefährdung durch ionisierende Strahlung und der Bedeutung des Risikobegriffes werden Teil des Materials.

Die Materialien bzw. die didaktische Strukturierung werden sich dabei an den Vorstellungen der SuS orientieren. Hier ist beispielsweise die klare Trennung von radioaktiver Materie und ionisierender Strahlung wichtig; auch die Klärung des Begriffes „radioaktive Strahlung“ ist erstrebenswert. Ausgehend vom „piece-like view“ diSessas wird dabei davon ausgegangen, dass durch das Erlernen neuer „p-prims“ oder deren veränderte Aktivierungsabfolge „umgelernt“ werden kann. Zudem soll der Wert unterschiedlicher Kategorisierungen betont werden; beispielsweise soll hier zwischen Strahlung als emergenter Prozess und der radioaktiven Materie als Entität bzw. Eigenschaftsträger im Sinne Chis bzw. Jungs unterschieden werden.

## 5. Methodik

Die Vorstellungen der SuS sollen durch eine qualitative Inhaltsanalyse von Interviews erhoben werden. Die Befragung soll bei SuS der Klassenstufe 9 (präinstruktiv) bzw. 10 (postinstruktiv) des näheren Stuttgarter Umfelds erfolgen. Die Instruktion soll dabei durch das bereits beschriebene Angebot im Lehr-Lern-Labor der Universität Stuttgart stattfinden.

Derzeitig werden die Lernmaterialien für das Lehr-Lern-Labor entwickelt. Eine Präpilotierung mit SuS der Klassenstufe 10 ist für Juni 2019 geplant; eine Pilotierung sich der Präpilotierung anschließen. Eine Überarbeitung des Angebotes schließt sich, in Tradition an die rekursive Arbeitsweise der didaktischen Rekonstruktion, an diese Schritte an. Die eigentliche Erhebung der Vorstellungen bzw. der Bewertung ist

dann für 2020 vorgesehen. Ein möglicher Verlauf dieser Untersuchungen ist in Abbildung 1 dargestellt.

**Abb. 1:** Erfassung der Schülerperspektive für die didaktische Rekonstruktion

## 6. Zusammenfassung & Ausblick

Der Themenbereich Radioaktivität ist, trotz der zahlreichen Publikationen zu diesem Thema, überarbeitungs- bzw. rekonstruktionswürdig. Die Replikation und theoretische Einordnung bereits erhobener Vorstellungen ist für die didaktische Rekonstruktion der Radioaktivität relevant. Es konnte skizzenhaft dargestellt werden, dass die Frage der Anwendung radioaktiver Materialien jenseits der Anwendung in Kernenergieanlagen Beobachtung verlangt. Desiderat ist hierbei die Anwendung physikalischer Konzepte im Rahmen der Bewertung vor dem Unterricht im Thema „Radioaktivität“ und in Konsequenz die Rekonstruktion des Themas auch in Hinblick auf die veränderten Sichtweisen auf Nutzungsformen radioaktiver Stoffe.

Im weiteren Verlauf sollen die „inquiry-based“ Lernmaterialien vervollständigt und mithilfe der erhobenen Präkonzepte zur Etablierung eines Programms im Lehr-Lern-Labor führen. Die Erhebung der Prä-Post-Vorstellungen ist dann für 2020 vorgesehen. Mögliche Evaluationen des dann erstellten Materials mit Blick auf die Bewertungskompetenz schließen sich an.

## 7. Literatur

[1] HEINICKE, Susanne ; MEYER, Svenja ; KORFF, Sebastian: *"Radioaktivität entsteht, wenn man Strom herstellt" Alltagsvorstellungen zu Radioaktivität und Kernzerfall bei Schülerinnen und Schülern*. In: *Naturwissenschaften im Unterricht. Physik* 25 (2014), 141/142, S. 9–13

[2] DISESSA, Andrea A.: A Bird’s-Eye View of the “Pieces” vs. “Coherence” Controversy (from the “Pieces” side of the Fence). In: VOSNIADOU, Stella (Hrsg.): *International handbook of research on conceptual change*. 2. ed. New York : Routledge, 2013 (Educational psychology handbook series).

[3] DISESSA, Andrea A.: *Toward an Epistemology of Physics*. In: *Cognition and Instruction* 10 (1993), 2-3, S. 105–225

[4] RIESCH, Werner ; WESTPHAL, Walter: *Modellhafte Schülervorstellungen zur Ausbreitung radioaktiver Strahlung*. In: *Der Physikunterricht* 1975/4 (1975), S. 75–85

[5] NEUMANN, Susanne ; HOPF, Martin: *Was verbinden Schülerinnen und Schüler mit dem Begriff "Strahlung"? : Paralleltitel: What do students associate with the German Term "Strahlung" (=radiation)?* In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 17 (2011), 157-176

[6] EIJKELHOF, Hendrikus Maria Carolus: *Radiation and risk in physics education : Straling en risico's in het natuurkundeonderwijs*. Zugl.: Utrecht, Univ., Diss. : 1990. Utrecht : CD-Beta Press, 1990 (The CD-/beta] series on research in education 2)

[7] MILLAR, Robin ; KLAASSEN, Kees ; EIJKELHOF, Harrie: *Teaching about radioactivity and ionising radiation : An alternative approach*. In: *Physics Education* 25 (1990), Nr. 6, S. 338–342

[8] HENRIKSEN, Ellen K. ; JORDE, Doris: *High school students' understanding of radiation and the environment: Can museums play a role?* In: *Science Education* 85 (2001), Nr. 2, S. 189–206

[9] HENRIKSEN, E. K.: *Laypeople's Understanding of Radioactivity and Radiation*. In: *Radiation Protection Dosimetry* 68 (1996), Nr. 3, S. 191–196

[10] COOPER, Sarina ; YEO, Shelley ; ZADNIK, Marjan: *Australian students' views on nuclear issues: Does teaching alter prior beliefs?* In: *Physics Education* 38 (2003), Nr. 2, S. 123–129

[11] PLOTZ, Thomas: *Lernprozesse zu nicht-sichtbarer Strahlung*. Logos Verlag Berlin GmbH. Dissertation. 2017

[12] NEUMANN, Susanne ; HOPF, Martin: *Students’ Conceptions About ‘Radiation’: Results from an Explorative Interview Study of 9th Grade*

*Students*. In: *Journal of Science Education and Technology* 21 (2012), Nr. 6, S. 826–834

[13] NEUMANN, Susanne ; HOPF, Martin: *Students' Ideas About Nuclear Radiation – Before and After Fukushima*. In: *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education* 9 (2013)

[14] KATTMANN, Ulrich ; DUIT, Reinders ; GROPENGIEßER, Harald ; KOMOREK, Michael: *Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion - Ein Rahmen für naturwissenschaftsdidaktische Forschung und Entwicklung*. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 3 (1997), Nr. 3, S. 3–18

[15] VOSNIADOU, Stella (Hrsg.): *International handbook of research on conceptual change*. 2. ed. New York : Routledge, 2013 (Educational psychology handbook series)

[16] CHI, Michelene T. H.: *Commonsense Conceptions of Emergent Processes: Why Some Misconceptions Are Robust*. In: *Journal of the Learning Sciences* 14 (2005), Nr. 2, S. 161–199

[17] CHI, Michelene T. H.: Two Kinds and Four Sub-Types of Misconceived Knowledge, Ways to Change it, and the Learning Outcomes. In: VOSNIADOU, Stella (Hrsg.): *International handbook of research on conceptual change*. 2. ed. New York : Routledge, 2013 (Educational psychology handbook series).

[18] GUPTA, Ayush ; HAMMER, David ; REDISH, Edward F.: *The Case for Dynamic Models of Learners' Ontologies in Physics*. In: *Journal of the Learning Sciences* 19 (2010), Nr. 3, S. 285–321

[19] HAMMER, David ; GUPTA, Ayush ; REDISH, Edward F.: *On Static and Dynamic Intuitive Ontologies*. In: *Journal of the Learning Sciences* 20 (2011), Nr. 1, S. 163–168

[20] JUNG, Walter: *Aufsätze zur Didaktik der Physik und Wissenschaftstheorie*. Frankfurt am Main : Diesterweg, 1979 (Beiträge zur Methodik und Didaktik der Physik)

[21] MINISTERIUMS FÜR KULTUS, JUGEND UND SPORT: *Bildungsplan Physik 2016 Gemeinsamer Bildungsplan für die Sekundarstufe I* (in Kraft getr. am 2016) (2016). Url http://bildungsplaene-bw.de/site/bildungsplan/get/documents/lsbw/export-pdf/depot-pdf/ALLG/BP2016BW_ALLG_SEK1_PH.pdf (Stand 5/2018)

[22] DIANOVSKY, Michael ; CHINN, Clark ; DUNCAN, Ravit ; RINEHART, Ronald: Promoting Conceptual Change Through Inquiry. In: , 2013, S. 539–559

[23] GRUPEN, Claus; STROH, Tilo (Mitarb.); WERTHENBACH, Ulrich (Mitarb.) : *Grundkurs Strahlenschutz* : *Praxiswissen für den Umgang mit radioaktiven Stoffen*. 4. Auflage. Berlin, Heidelberg : Springer Spektrum, 2014

# Digitale Messwerterfassung im Kontext digitaler Bildung

- Einstellungen von Physiklehrkräften -

**Christopher Kurth*, Daniel Walpert*, Rita Wodzinski***

*Universität Kassel, Didaktik der Physik, Heinrich-Plett-Straße 40, 34109 Kassel,
kurth@physik.uni-kassel.de

**Kurzfassung**

Gemäß des Strategiepapiers der KMK „Bildung in der digitalen Welt" (KMK, 2016) ist die Vermittlung digitaler Kompetenzen integrativer Bestandteil der Unterrichtsfächer. Der Physikunterricht kann dazu in besonderem Maße durch den Einsatz von digitalen Messwerterfassungssystemen (DMES) beitragen. Lehrkräfte stehen den DMES teilweise kritisch gegenüber, so dass Möglichkeiten der Verknüpfung mit digitalem Lernen ungenutzt bleiben. Um einen genauen Einblick in die Argumente von Lehrkräften für und gegen den Einsatz von DMES zu erhalten, wurden die Einstellungen von neun Physiklehrkräften in Interviews erhoben, welche mittels qualitativer Inhaltsanalyse ausgewertet wurden. Zentrale Ergebnisse dieser Untersuchung werden im Beitrag dargestellt.
Mit dem Einsatz von Arduinos für die Messwerterfassung kann die Förderung von digitalen Kompetenzen im Physikunterricht in einer Weise umgesetzt werden, die auch den Einstellungen und Erwartungen der Lehrkräfte zu DMES gerecht wird. Konkrete Umsetzungsideen wurden sowohl für den Physikunterricht als auch die universitäre Lehramtsausbildung entwickelt. Diese werden ebenfalls im Beitrag vorgestellt.

## 1. **Ausgangslage**

In den letzten Jahren hat die Bedeutung der Digitalisierung in zahlreichen Bereichen wie beispielsweise dem sozialen Austausch, den öffentlichen Medien oder der Industrie stark zugenommen. Sie spielt somit nicht nur im gegenwärtigen Alltag der Schülerinnen und Schüler, sondern auch in ihrem späteren Arbeitsleben eine bedeutende Rolle. Damit sich Schülerinnen und Schüler in dieser digitalen Welt zurechtfinden, diese kritisch hinterfragen und mitgestalten können, benötigen sie digitale Kompetenzen. Bereits im Jahr 2016 hat die Kultusministerkonferenz ein Strategiepapier zur „Bildung in der digitalen Welt" (KMK, 2016) verfasst, in dem Ziele der digitalen Bildung formuliert werden und deren Bedeutung durch den 2018 geschlossenen Digitalpakt nochmals untermauert wird. Eine zentrale Idee ist die Verankerung digitaler Bildung als integrativer Bestandteil in allen Fächern.

Im Hinblick auf den naturwissenschaftlichen Unterricht können die Kompetenzen insbesondere im Rahmen von technischem Problemlösen, dem bedarfsgerechtem Einsatz von digitalen Werkzeugen und dem Erkennen und Verstehen von grundlegenden Prinzipien der digitalen Welt gefördert werden (KMK, 2016). Ein Beispiel dafür ist die vertiefte Auseinandersetzung mit der digitalen Messwerterfassung.

Untersuchungen zeigen jedoch, dass die digitale Erfassung von Messwerten noch kein fester Bestandteil des Physikunterrichts ist und eine Ausnahme bei der Unterrichtsgestaltung darstellt. Ein wöchentlicher Einsatz von DMES im Unterricht findet nur durch einen geringen Anteil der befragten Lehrkräfte statt, während am häufigsten angegeben wurde, dass diese Art der Datenerfassung einmal in mehreren Monaten verwendet wird. Von etwa einem Fünftel aller befragten Lehrkräfte wurden noch nie Messwerte digital erfasst (Wenzel & Wilhelm, 2015).

Weiterhin wird auch deutlich, dass der Computereinsatz und die damit verbundene Messwerterfassung oft in Form von Demonstrationsexperimenten durch die Lehrkräfte stattfindet. Schülerinnen und Schüler haben hingegen nur selten die Möglichkeit, sich mit der digitalem Messwerterfassung im Physikunterricht auseinanderzusetzen (Wilhelm & Trefzger, 2010). Die DMES wird von Lehrkräften oft als „Werkzeug" verstanden, welches zur Anwendung kommt, aber nicht als eigener Unterrichtsgegenstand betrachtet wird. Inwieweit der Erwerb digitaler Kompetenzen durch die beschriebene Einsatzweise wirklich bei den Schülerinnen und Schülern gefördert wird, ist fraglich.

Neben der Einsatzhäufigkeit hat vermutlich auch die Zielsetzung, mit der digitale Messwerterfassungen durch Lehrkräfte eingesetzt werden, einen Einfluss auf die Entwicklung der digitalen Kompetenzen der Schülerinnen und Schüler. Ursachen und Beweggründe, die aus Sicht der Lehrkräfte für bzw. gegen den Einsatz von digitalen Messwerterfassungen sprechen, wurden in einer Studie erhoben, welche im Folgenden vorgestellt wird.

## 2. Forschungsfragen und Untersuchungsdesign

Im Rahmen einer unveröffentlichten Abschlussarbeit (Walpert, 2018) wurden neun leitfadengestützte Experteninterviews mit Physiklehrkräften durchgeführt. Das Ziel dieser Untersuchung bestand darin, die Einstellungen von Lehrkräften zum Einsatz digitaler (und manueller) Messwerterfassung im Physikunterricht zu erheben und, anknüpfend an die gewonnenen Ergebnisse, Explikationen für die schulische und universitäre Lehre abzuleiten.

Die zentralen Forschungsfragen, die im Mittelpunkt der Untersuchung standen, lauten:

F1: Welche Gründe sprechen aus Perspektive der Physiklehrkräfte für und gegen den Einsatz von digitaler Messwerterfassung im Unterricht?

F2: In welchen Aspekten sehen Lehrkräfte den Mehrwert bei der Verwendung von digitalen Messwerterfassungssystemen?

F3: Auf welcher Ebene (Rahmenbedingungs-, Schüler- oder Lehrerebene) argumentieren die Lehrkräfte?

Auf Grundlage vorangegangener Forschungsergebnisse (Cerajewski, Zöpfl & Tewes, 2018) und den genannten Forschungsfragen wurde ein dreigliedriger Interviewleitfaden entwickelt. Im ersten Interviewabschnitt sollten allgemeine Gründe für und gegen den Einsatz von DMES gesammelt und erläutert werden. Nachfolgend bewerteten die Lehrkräfte fiktive Stellungnahmen zur manuellen und digitalen Messwerterfassung (ausbalanciert, in alternierender Reihenfolge). Im dritten Interviewabschnitt wurden die Lehrkräfte zu eigenen Erfahrungen mit DMES im Unterricht befragt, wobei der Schwerpunkt auf aufgetretenen Schwierigkeiten und den gewonnenen Vorteilen lag, die sich durch den Einsatz der DMES im Unterricht ergaben. Außerdem wurden Einsatzmöglichkeiten und Themengebiete erfragt, bei denen DMES eingesetzt wurden.

Die transkribierten Interviews wurden induktiv mit Hilfe der qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring (Mayring, 2010) ausgewertet und die Aussagen der Lehrkräfte zu Subkategorien zusammengefasst. Durch eine deskriptive Datenauswertung der Kategorienhäufigkeiten unter Berücksichtigung der Argumentationsebenen konnte ein Ranking der von den Lehrkräften genannten Argumente erstellt werden. Aus einer Gegenüberstellung und einem quantitativen Vergleich der Kategorienhäufigkeiten wurden die nachfolgend beschriebenen Ergebnisse abgeleitet.

## 3. Ergebnisse der Untersuchung

Zunächst werden drei Argumentationsebenen vorgestellt, auf denen die Lehrkräfte ihre Einstellungen begründen. Im Anschluss wird ausgeführt, auf welcher Ebene die Lehrkräfte Gründe für und gegen den Einsatz der digitalen Messwerterfassung sehen, und es wird ein detaillierter Einblick in die am häufigsten genannten Argumente gegeben.

Die Aussagen der Lehrkräfte lassen sich in drei Argumentationsebenen einteilen. Zum einen führen die Lehrkräfte Argumente an, in denen sie den Fokus auf den Kompetenzerwerb oder mögliche Schwierigkeiten der Schülerinnen und Schüler bei der Messung legen. Diese Argumente wurden der „*Ebene der Schülerinnen und Schüler*“ zugeordnet. Etwa gleich viele Aussagen beziehen sich auf die unmittelbare Arbeit der Lehrkräfte mit der digitalen Messwerterfassung. Diese Argumente wurden der „*Ebene der Lehrerinnen und Lehrer*“ zugeordnet.

In einem Teil der Argumente führen die Lehrkräfte für sie nicht oder nur begrenzt beeinflussbare unterrichtliche oder schulische Rahmenbedingungen an, welche für oder gegen den Einsatz von digitaler Messwerterfassung sprechen. Diese Argumente wurden der „*Ebene der Rahmenbedingungen*“ zugeordnet.

Auf der Ebene der Lehrerinnen und Lehrer bewerten die befragten Lehrkräfte die digitale Messwerterfassung fast ausschließlich positiv. Auf dieser Ebene werden 10 unterschiedliche Gründe genannt, die für die digitale Messwerterfassung sprechen. Alle neun Lehrkräfte geben an, dass die einfache Darstellung ein Vorteil der digitalen Messwerterfassung ist. Jeweils acht Lehrkräfte heben positiv hervor, dass eine große Anzahl an Messwerten erfasst werden kann und dafür wenig Zeit im Unterricht benötigt wird. Des Weiteren werden die hohe Genauigkeit und die einfachen Auswertungsmöglichkeiten von jeweils sieben Lehrkräften positiv gewertet. Demgegenüber benennen sieben Lehrkräfte den hohen Zeitbedarf in der Vorbereitung und sechs Lehrkräfte die komplexe Bedienung als negative Aspekte der digitalen Messwerterfassung.

Im Hinblick auf den Kompetenzerwerb der Schülerinnen und Schüler bewerten die befragten Lehrkräfte die digitale Messwerterfassung eher negativ. Insbesondere benennen jeweils mindestens sechs Lehrkräfte die Intransparenz der Messung (Black-Box-Charakter), die komplexe Bedienung, die Vernachlässigung händischer Arbeitsweisen und die komplexe Versuchsanordnung als negative Aspekte. Positiv werden lediglich der einfache Umgang mit den Messgeräten und die starke Fokussierung auf den fachlichen Inhalt durch Ausblenden des Messprozesses gesehen. Als letztes Argument wurde von zwei Lehrkräften der Kompetenzerwerb mit digitalen Medien genannt.

Im Hinblick auf die Rahmenbedingungen äußern die Lehrkräfte fast ausschließlich Argumente, die gegen den Einsatz von digitaler Messwerterfassung sprechen. Lediglich drei Lehrkräfte geben an, dass ihnen ausreichend Geräte zur digitalen Messwerterfassung zur Verfügung stehen und sie diese gerne einsetzen. Demgegenüber sehen sechs Personen die ungenügende Anzahl an Geräten als Nachteil an.

Weiterhin bemängeln acht Lehrkräfte die hohen Anschaffungskosten. Jeweils sechs Lehrkräfte führen

technische Schwierigkeiten und die fehlende IT-Infrastruktur als Grund für die Vermeidung des Einsatzes von DMES an.

## 4. Arduino zur Messwerterfassung

Neben den Messwerterfassungssystemen der Lehrmittelhersteller bieten einige in den letzten Jahren entwickelte Ansätze die Möglichkeit, Messwerte im Physikunterricht digital zu erfassen.

Viele dieser Ansätze legen einen besonderen Fokus auf geringe Anschaffungskosten. Beispielsweise können Schülerinnen und Schüler durch die große Verbreitung von Smartphones mittels Apps, welche die Sensoren des Smartphones auslesen, Messwerte ohne Kostenaufwand aufnehmen. Ein bekanntes Beispiel ist die App „Phyphox“, die explizit auf den Einsatz des Smartphones in physikalischen Experimenten hin entwickelt bzw. optimiert wurde (Staacks, 2018).

Andere Ansätze basieren überwiegend auf dem Raspberry Pi (Fösel, 2017) oder dem Arduino, für welche auf Grund ihrer großen Verbreitung zahlreiche Dokumentationen, Beispiele und Anleitungen sowohl in verschiedenen Onlinequellen als auch in Zeitschriften wie beispielsweise dem „Make: Magazin“ zu finden sind. Im Gegensatz zum Smartphone entstehen hierbei zwar höhere Anschaffungskosten, diese liegen jedoch deutlich unterhalb der Kosten der Komponenten der Lehrmittelhersteller.

Auch wenn die hohen Kosten und die damit verbundene geringe Anzahl an verfügbaren Geräten ein Nachteil der digitalen Messwerterfassung mittels der Systeme der Lehrmittelhersteller ist, den auch viele Lehrkräfte benennen, greift eine ausschließliche Fokussierung auf geringe Kosten zu kurz. Insbesondere auf der Ebene der Schülerinnen und Schüler benennen die Lehrkräfte Nachteile, wie die komplexe Versuchsanordnung, die komplexe Bedienung oder die Intransparenz, welche die digitale Messwerterfassung aus ihrer Sicht mit sich bringt. Diese Aspekte sollten bei der Entwicklung von alternativen Ansätzen ebenfalls berücksichtigt werden. Gleichzeitig sollten die Vorteile wie die hohe Genauigkeit, die hohe Anzahl an Messwerten und die einfache Darstellung der Messwerte nicht verloren gehen.

Im Hinblick auf die Förderung der digitalen Kompetenz kommen weitere zu berücksichtigende Merkmale hinzu. Die Förderung von Kompetenzen, „die für eine aktive, selbstbestimmte Teilhabe in einer digitalen Welt erforderlich sind“ (KMK, 2016, S. 12) soll „integrativer Teil der Fachcurricula aller Fächer“ (KMK, 2016, S. 12) sein. Ein Kompetenzbereich, der gerade im Rahmen der digitalen Messwerterfassung im Physikunterricht adressiert werden kann, ist das „Problemlösen und Handeln“. Darunter fallen unter anderem die Fähigkeiten, „Funktionsweisen und grundlegende Prinzipien der digitalen Welt [zu] kennen und [zu] verstehen“, „algorithmische Strukturen in genutzten digitalen Tools [zu] erkennen und [zu] formulieren“ und „eine strukturierte, algorithmische Sequenz zur Lösung eines Problems [zu] planen und [zu] verwenden“ (KMK, 2016, S. 18). Bezogen auf die Lehrkräfte erfordert dies die Integration von Aktivitäten in den Physikunterricht, „in denen Lernende technische Probleme identifizieren und lösen oder technisches Wissen kreativ auf neue Situationen übertragen“ (Redecker, 2017a, 2017b). Unter diesem Gesichtspunkt besitzen die Ansätze auf Grundlage des Raspberry Pi oder des Arduino Vorteile gegenüber den Systemen der Lehrmittelhersteller oder Smartphone-Apps auf, da Nachvollziehen und Modifizieren der algorithmischen Strukturen überhaupt erst möglich bzw. mit einem deutlich geringeren Aufwand verbunden sind.

Unserer Ansicht nach ist der Arduino am ehesten dazu geeignet, die genannten Anforderungen zu erfüllen. Ein mit der Arduino-Plattform kompatibles Board ist für unter 10 € zu erhalten. Typische für den Unterricht ausreichende Sensoren und zusätzliche Komponenten wie ein SD-Karten-Modul oder ein Bluetooth-Modul kosten jeweils weniger als 5 €. Beispielsweise ist eine „Messbox“ mit zwei Temperatursensoren, Bluetooth-Modul und SD-Karten-Modul für etwa 25 € zu realisieren.

Im Gegensatz zu den Messystemen der Lehrmittelhersteller oder Smartphone-Apps besteht die Möglichkeit, die Messalgorithmen zumindest in Teilen zu analysieren oder zu modifizieren und somit einen Einblick in die „Black-Box“ zu erhalten.

Eine Möglichkeit, den von den Lehrkräften genannten Nachteilen des hohen Zeitbedarfs in der Vorbereitung und der komplexen Bedienung zu begegnen, ist die Bereitstellung von Begleitmaterial, in dem alle Schritte zum Aufbau und zur Bedienung erläutert werden. Die Lehrkräfte müssen sich also nicht mit Anleitungen auseinandersetzen, in denen allgemeine Grundlagen des Arduinos beschrieben werden, sondern können sich direkt mit dem Arduinoeinsatz im Physikunterricht befassen.

Im Rahmen des Projekts Phyduino (*Phy*sik mit dem Ar*duino*) werden an der Universität Kassel zum einen Versuche und multimediale Anleitungen für die universitäre Lehre entworfen, in denen sich Lehramtsstudierende je nach Vorwissen in unterschiedlicher Tiefe mit dem Arduinoeinsatz im Physikunterricht auseinandersetzen können. Zum anderen werden Messexperimente aus dem Physikunterricht mit dem Arduino umgesetzt und Begleitmaterial zur Anleitung der Lehrkräfte erstellt. Beide Bereiche werden im Folgenden kurz vorgestellt.

### 4.1. Arduino in der Lehramtsausbildung

Alle Physik-Lehramtsstudierende besuchen im Verlauf ihres Studiums an der Universität Kassel vier didaktische Experimentierpraktika zu den Themengebieten Mechanik, E-Lehre, Wärme & Energie und Optik, in denen sie unter anderem Erfahrungen mit Messwerterfassungssystemen sammeln können. Die Erfahrung zeigt, dass einige Studierenden diesen Systemen skeptisch gegenüberstehen. Dabei decken sich

die genannten Argumente inhaltlich zu einem großen Teil mit den zuvor genannten Argumenten der Lehrkräfte.

Im Rahmen einer kleinen Evaluationsstudie (Kurth & Wodzinski, 2018) wird untersucht, inwieweit die Auseinandersetzung mit dem Arduino dazu beiträgt, die Einstellungen der Studierenden gegenüber dem Einsatz von digitaler Messwerterfassung zu verändern. Die ursprüngliche Planung sah vor, dass die Studierenden in Abhängigkeit von ihrem Vorwissen zum Arduino zwischen zwei Versuchsversionen wählen können und den Versuch auf Grundlage einer kurzen schriftlichen Anleitung durchführen. Zusätzlich sollten sie sich selbstständig Hintergrundwissen zum Arduino, den verwendeten Sensoren und einige elementare Grundlagen der verwendeten Programmiersprache aneignen.

Im ersten Durchgang stellte sich heraus, dass auf Grund der relativ kurzen Zeit, die für den Versuch und die Vorbereitung zur Verfügung steht, keine vertiefte Auseinandersetzung mit dem Arduino stattfand. Insbesondere die selbstständige Recherche von Informationen zum Arduino und den verwendeten Sensoren gestaltete sich trotz oder gerade wegen der zahlreichen online verfügbaren Tutorials schwierig, da diese den Umgang mit dem Arduino zunächst an für die Studierenden irrelevanten Projekten, wie beispielsweise dem Blinken einer LED oder dem Ansteuern eines Motors, verdeutlichen, bevor die Aufnahme von Messwerten mit Sensoren wie beispielsweise dem Ultraschallsensor thematisiert wird. Ein Überspringen der ersten Teile des Tutorials ist dabei oft nicht möglich, da das Wissen im Verlauf des Tutorials kumulativ aufgebaut wird.

Um sowohl dem Problem der sehr begrenzten Zeit als auch den für die Versuche unpassenden Tutorials zu begegnen, wurde im Wintersemester 2018/2019 damit begonnen, zu den Versuchen passende multimediale Tutorials zu erstellen, in welche die Studierenden schnell einen Überblick über den Arduino und dessen Programmierung erhalten können. Die Besonderheit dieser Tutorials liegt dabei darin, dass der Fokus direkt zu Beginn auf der Aufnahme von Messwerten liegt. Da die Studierenden unterschiedliches Vorwissen bzw. Interessen mitbringen, gliedert sich jeder Versuch in einen Grundversuch, den jede Gruppe bearbeitet, und drei Vertiefungsversuche mit unterschiedlicher Gewichtung. Die Studierenden können zwischen einem Vertiefungsversuch, in dem der Fokus auf der fachlichen Vertiefung liegt und der Arduino nicht modifiziert werden muss, einem Versuch, in dem der Arduino geringfügig umprogrammiert werden muss und einem Versuch, in dem weitreichende Änderungen an der Programmierung des Arduino vorgenommen werden müssen, wählen.

Wie ursprünglich angedacht (Kurth & Wodzinski, 2018) wird weiterhin untersucht, inwieweit die Auseinandersetzung mit dem Arduino dazu beiträgt, die Einstellungen der Studierenden gegenüber dem Einsatz von digitaler Messwerterfassung zu verändern.

### 4.2. **Arduino im Physikunterricht**

Unserer Erfahrung nach verursacht die Entwicklung eines Aufbaus zur Aufnahme von Messwerten mit dem Arduino einigen Aufwand. Dies reicht von der Auswahl geeigneter Sensoren, über die Konstruktion von geeigneten Haltevorrichtungen bis hin zur Optimierung des Messaufbaus. Die dafür benötigte Zeit steht sicherlich nicht vielen Lehrkräften zur Verfügung. Um den Zeitbedarf der Vorbereitung zu reduzieren und die Komplexität für die Lehrkräfte zu reduzieren, werden an der Universität Kassel Experimente entwickelt und so dokumentiert, dass sie nach einer kurzen allgemeinen Einführung zum Umgang mit dem Arduino nachgebaut werden können. Dabei wird darauf geachtet, dass nur kostengünstige und käuflich erwerbbare Materialien verwendet werden und keine zeitaufwändigen Modifikationen an dem Material vorgenommen werden müssen. Für kostengünstige, individuelle und trotzdem einfach zu realisierende Bauteile hat sich der zunehmend auch an Schulen vorhandene 3D-Drucker als gewinnbringend erwiesen. Falls für einen Aufbau Teile benötigt werden, die entweder nicht oder nur teuer erworben werden können, werden Druckvorlagen bereitgestellt. Um die Auswertung des Versuchs zu erleichtern, werden zudem ggf. Excel-Vorlagen erstellt.

Anhand eines Experiments zur Aufnahme des Interferenzbildes eines Doppelspaltes wird im Folgenden ein Einblick in das Potenzial des Arduino zur Messwertaufnahme gegeben (die vollständige Anleitung steht unter www.phyduino.de zur Verfügung).

Im Kern besteht der Aufbau aus einem Lichtsensor, der mittels einer gedruckten Halterung auf einem Messwagen befestigt wird (Abbildung 1). Der Messwagen wird während der Datenaufnahme mittels Schrittmotor bewegt (Abbildung 2). Sowohl der Lichtsensor als auch der Schrittmotor werden mit dem Arduino verbunden.

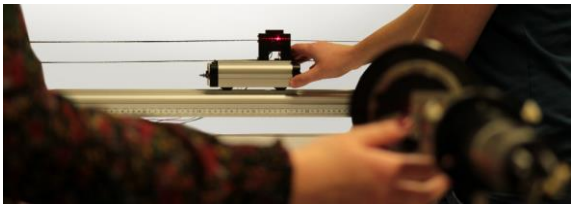


Abb. 1: Messwagen mit montiertem Helligkeitssensor.

Zum Nachbau stehen vollständige Materiallisten und Vorlagen für alle zu druckenden Teile zur Verfügung.

Für die eigentliche Versuchsdurchführung wird der Arduino mit einem Notebook verbunden und der vorbereitete Sketch (so nennt sich ein „Programm“ für den Arduino) auf den Arduino geladen.

Im Anschluss kann der Messwagen durch Eingaben in der Arduino-Programmierumgebung vorwärts und rückwärts bewegt werden, um den Wagen optimal zu

positionieren. Außerdem kann die Messung gestartet werden.

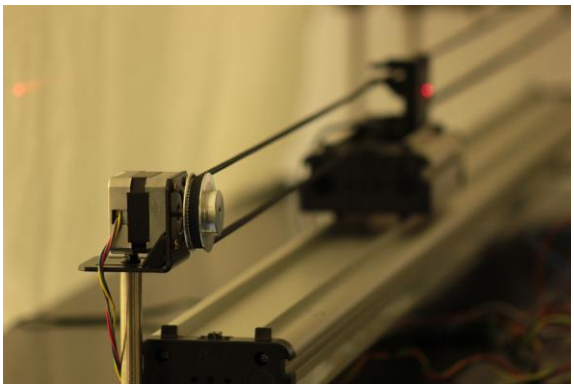


Abb. 2: Schrittmotor mit Zahnriemen zur Steuerung des Messwagens.

Die Messwerte werden über den seriellen Monitor in Textform ausgegeben (Abbildung 3). Diese können im Anschluss in eine Excel-Vorlagendatei kopiert werden. In dieser Datei können auch alle Werte zur Bestimmung des theoretischen Intensitätsverlaufs eingetragen werden. Das Ergebnis einer Messung (0,1 mm Spaltbreite; 0,25 mm Spaltabstand) ist in Abbildung 4 dargestellt.

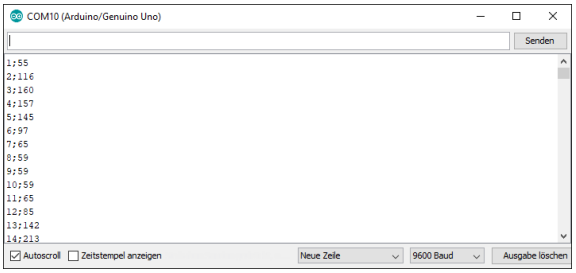



Abb. 3: Ausgabe des seriellen Monitors in der Arduino-IDE.

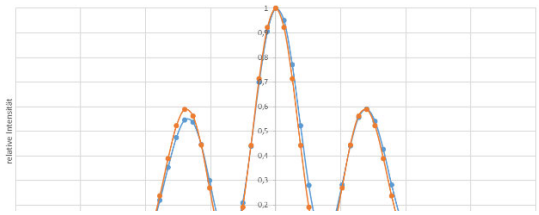



Abb. 4: Vergleich der aufgenommenen Intensitäten (blau) mit den theoretisch ermittelten Intensitäten (orange).

Wie zu erkennen ist, weichen die gemessenen Werte nur unwesentlich von den theoretischen Werten ab. Die größte Ursache für Ungenauigkeiten liegt in der Breite des Lichtsensors (etwa 1,5 mm). Für schulische Zwecke ist die Genauigkeit völlig ausreichend.

Der Sketch zur Ansteuerung des Schrittmotors und zum Auslesen des Lichtsensors ist bewusst einfach gehalten, so dass interessierte Schülerinnen und Schüler diesen Sketch als Ausgangspunkt für kleine Modifikationen oder eigene Projekte nutzen und in diesem Rahmen ihre digitale Kompetenz erweitern können.

## 5. Ausblick

Aktuell werden weitere Aufbauten entwickelt und dokumentiert. Um dem von den Lehrkräften geäußerten Wunsch der einfachen Bedienung nachzukommen, werden zudem „Messboxen“ entwickelt und dokumentiert, welche nach dem Zusammenbau möglichst unkompliziert im Physikunterricht eingesetzt werden können (siehe Abbildung 5). Die Ansteuerung der Messboxen wird mittels einer von uns entworfenen App vorgenommen. Die Kommunikation zwischen Smartphone und Arduino findet über einen Bluetooth-Adapter statt. Aufgenommene Messwerte werden zum einen auf einer SD-Karte in der Messbox gespeichert, zum anderen direkt in der App ausgegeben.

Vorerst ist neben der Temperaturmessbox eine Mechanikmessbox zur Aufnahme von Abständen, Beschleunigungen und Drücken geplant.

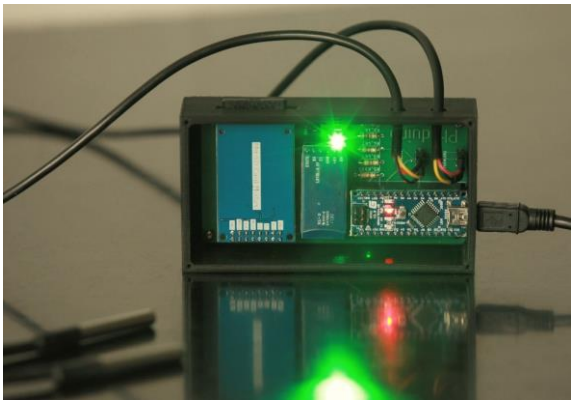


Abb. 5: Messbox mit angeschlossenen Temperatursensoren.

Im Schuljahr 2019/2020 werden in zwei Schulklassen Erfahrungen mit dem Zusammenbau der Messboxen durch Schülerinnen und Schüler und dem Einsatz der Boxen im Unterricht gesammelt. Die Ergebnisse zum Einsatz der Arduinos in der Lehramtsausbildung werden voraussichtlich Ende 2019 vorliegen.

## 6. Literatur

Cerajewski, R., Zöpfl, C. & Tewes, M. (2018). Computerunterstützte Datenerfassung im Physikunterricht. Eine Umfrage der Fachgruppe Physik des T³- Lehrerfortbildungsnetzwerks. In B. Barzel & G. Heckmann (Hrsg.), *Experimentieren im naturwissenschaftlichen Unterricht im Zeitalter der Digitalisierung* (S. 80–109).

Fösel, A. (2017). Low Cost - High Fun. Messwerterfassung mit dem Raspberry Pi. *PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*, *0.* Zugriff am 21.05.2019. Verfügbar unter http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/788/932

KMK. (2016). *Bildung in der digitalen Welt. Strategie der Kultusministerkonferenz.* Zugriff am 21.05.2019. Verfügbar unter https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2018/Strategie_Bildung_in_der_digitalen_Welt_idF._vom_07.12.2017.pdf

Kurth, C. & Wodzinski, R. (2018). Messwerterfassung mit dem Arduino in der Lehramtsausbildung. *PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*, *0.* Zugriff am 21.05.2019. Verfügbar unter http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/842/982

Mayring, P. (2010). *Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken. 11., aktualisierte und überarb. Aufl*. Weinheim: Beltz.

Redecker, C. (2017a). *Digitale Kompetenz Lehrender,* European Union. Zugriff am 21.05.2019. Verfügbar unter https://ec.europa.eu/jrc/sites/jrcsh/files/digcompedu_leaflet_de-2018-09-21pdf.pdf

Redecker, C. (2017b). *European Framework for the Digital Competence of Educators: DigCompEdu.* Luxembourg: Publications Office of the European Union. https://doi.org/10.2760/159770

Staacks, S. (2018). Smartphone-Experimente mit der App "phyphox". *Plus Lucis*, (3), 40–42.

Walpert, D. (2018). *Einstellungen von Physiklehrkräften zum Einsatz von digitalen Messwerterfasungssystemen im Unterricht*. unv. Examensarbeit. Universität Kassel, Kassel.

Wenzel, M. & Wilhelm, T. (2015). Erhebung zum Einsatz Neuer Medien bei Physik-Gymnasiallehrern. *PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*, *0*. Verfügbar unter http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/601/737

Wilhelm, T. & Trefzger, T. (2010). Erhebung zum Computereinsatz bei Physik-Gymnasiallehrern. *PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*, *0*. Verfügbar unter http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/109

# Welche App taugt was?
# Aufbau einer Online-Datenbank für Physiklehrende

**William Lindlahr*, Marcus Kizina[+], Klaus Wendt*, Thomas Wilhelm[+]**

*Institut für Physik, Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Staudingerweg 7, 55128 Mainz,
[+]Institut für Didaktik der Physik, Goethe-Universität Frankfurt, Max-von-Laue-Str. 1, 60438 Frankfurt/Main
wlindlahr@uni-mainz.de, marcus.kizina@gmail.com,
klaus.wendt@uni-mainz.de, wilhelm@physik.uni-frankfurt.de

**Kurzfassung**

Smartphones und Tablets sind in Schülerhänden inzwischen selbstverständlich. Für viele Themengebiete des Physikunterrichts gibt es eine Reihe von App-Angeboten. So können mit dem Smartphone Messwerte erfasst oder Versuche simuliert werden. Für interessierte Lehrkräfte ist das App-Angebot aber unüberschaubar. Die App-Stores der verschiedenen Betriebssysteme erlauben insbesondere keine Recherche nach fachlichen Kategorien. Deshalb wurde in einer Kooperation der Johannes Gutenberg-Universität Mainz mit der Goethe-Universität Frankfurt am Main eine Online-Datenbank entwickelt, die Lehrkräften zur Verfügung steht. Bisher sind 74 physikalische Apps eingetragen. Diese kann der Nutzer nach verschiedenen Kriterien filtern lassen – wie Themengebiet, verwendete Sensoren, Betriebssystem, Sprache oder Kosten. Interessierte können sich registrieren und dann selbst Daten eingeben, so dass die Datenbank weiter wachsen kann. Im Rahmen der Konzeption der Datenbank wurde ein schlankes Bewertungssystem für den Einsatz von Apps im Physikunterricht entwickelt.

## 1. Einsatz von Apps im Physikunterricht

### 1.1. Motivation

Der Einsatz von Apps ist im Physikunterricht inzwischen weit verbreitet. Es gibt kaum ein Teilgebiet des schulischen Physik-Lehrplans, für das keine Apps für verschiedene Geräte und Betriebssysteme zur Verfügung stehen. Ebenso wie im privaten Bereich sind die kleinen Softwareapplikationen auch im Unterricht dazu geeignet, verschiedene Aufgaben zu erleichtern und damit einen Mehrwert zu generieren, z. B. indem sie teure einzelne Experimentiergeräte oder ganze Klassensätze ersetzen oder Abläufe vereinfachen.

Mit ihrer Vielzahl von Anwendungsmöglichkeiten ist der Einsatz von Apps somit auch geeignet, einen Beitrag zur Weiterentwicklung des Unterrichts mit digitalen Medien zu leisten, wie es von der Kultusministerkonferenz als ein Ziel ihrer Strategie zur Bildung in der digitalen Welt festgelegt wurde [1, S. 11].

### 1.2. Kategorisierung von Apps für den Physikunterricht

Die für den Physikunterricht relevanten Apps lassen sich entsprechend der Kategorisierung nach [2] einordnen in die zentralen Einsatzgebiete Messwerterfassung, Wissensspeicher, Cognitive Tools und Sonstiges, wie z.B. Simulationen. Mit den überwiegend über App-Stores bereitgestellten Programmen lassen sich z. B. im Themengebiet „Mechanik“ Messwerte des Beschleunigungssensors des Endgerätes aufzeichnen und damit der Verlauf der Beschleunigungskurve während einer Fahrstuhlfahrt oder einer Autofahrt analysieren. Mit einer Videoanalyse-App kann mit Hilfe der Kamera z. B. die Flugkurve eines Gegenstandes als Video aufgenommen und anschließend ausgewertet werden. Im Bereich der Wärmelehre können mit Hilfe der Kamera thermografische Bilder gemacht werden. In der Akustik stehen sowohl Apps als Tongeneratoren als auch mit der Funktion eines Oszillographen zur Verfügung und sind damit in der Lage, mit Hilfe des Smartphones zwei zentrale Experimentiergeräte kostengünstig zu substituieren sowie diese Schülerinnen und Schülern zugänglicher zu machen. Diese beispielhaft genannten Apps stellen nur eine sehr kleine Auswahl der Einsatzmöglichkeiten dar.

### 1.3. Problemstellung

Tatsächlich ist die Zahl der Apps für den Physikunterricht inzwischen unüberschaubar groß geworden und macht damit die Auswahl für den Einsatz im Physikunterricht zur Herausforderung für die Lehrkraft. Eine gute Hilfestellung bietet hier bereits seit 2013 die Reihe „Smarte Physik“ der Zeitschrift „Physik in unserer Zeit“ [2], in der inzwischen 36 Apps unter physikdidaktischen Gesichtspunkten getestet und deren Einsatzmöglichkeiten beschrieben wurden.

Die qualitativ sehr hochwertigen Tests und Beschreibungen von Apps in Zeitschriften finden ihre Einschränkung jedoch typischerweise in der Schnelllebigkeit der „App-Welt“. Hier besteht zumindest die Gefahr, dass Apps in neueren Versionen Einbußen in

der Qualität zu verzeichnen haben, die der einmal geschriebene Test in einer Zeitschrift naturgemäß nicht nachverfolgen kann. Dabei ist nicht unbedingt nur nach physikalischen oder physikdidaktischen Maßstäben mit einer unerwünschten Weiterentwicklung einer App zu rechnen, sondern auch bei anderen Parametern, wie z. B. der Einblendung von Werbung oder der erforderlichen Zugriffsrechte der App auf dem mobilen Endgerät. Im Extremfall kann unter demselben App-Namen in einer neuen Version sogar eine völlig andere Software zur Verfügung stehen.

Neben Zeitschriftenartikeln und -tests bieten die App-Stores der Hersteller eine weitere Herangehensweise zur Recherche von Apps für den Unterricht. Diese ist jedoch nicht physikspezifisch, sondern richtet sich an beliebige Nutzerinnen und Nutzer. Dementsprechend ist es im Wesentlichen auch nur möglich, eine App über den idealerweise sinnhaften Namen der App, über die Bewertungen anderer, „normaler“ Nutzerinnen und Nutzer sowie über die Funktion „ähnliche Apps“ zu suchen. Eine Suche im App-Store findet dann regelmäßig eine große Anzahl von Apps, die aber nicht unbedingt den erwarteten Ansprüchen für den Physikunterricht genügen.

Als dritte Recherchemöglichkeit bieten sich Online-Sammlungen als Webseiten an, die eine mehr oder weniger spezifische Liste von Apps für den Einsatz in der Schule oder sogar im Physikunterricht bereitstellen. Auch diese Sammlungen sind natürlich von der Aktualität der eingestellten Einträge abhängig. Außerdem basieren sie oft auf dem Engagement eines einzelnen Webseitenbetreibers und bergen deshalb die Gefahr einer gewissen Einseitigkeit der Bewertung.

Große qualitative Unterschiede zwischen den Apps bestehen typischerweise in der fachlichen Korrektheit der Darstellung, in der Bedienbarkeit („Usability“) des Programms, in der Ausprägung der Interaktivität, also z. B. welche Parameter verändert werden können, in der Sprache der Software und schließlich in den Kosten für die Lizenz, die sich von der kostenfreien Nutzung bis hin zu mehreren Euro bewegen können. Hinzu kommen die schon erwähnten Aspekte der Zugriffsrechte und der Werbung. Die Vielzahl der verfügbaren Apps zu demselben Einsatzzweck macht die Auswahl darüber hinaus schwierig.

## 2. Konzeption und Implementation der App-Datenbank

### 2.1. Rahmenbedingungen der App-Datenbank

Aufgrund der skizzierten Herausforderungen für Physiklehrende bei der Auswahl von Apps für den Unterricht wurde in einem gemeinsamen Projekt der Johannes Gutenberg-Universität Mainz und der Goethe-Universität Frankfurt am Main eine App-Datenbank für den Physikunterricht konzipiert und aufgebaut [3]. Diese Datenbank verfolgt einen kriteriengeleiteten und Community-basierten Ansatz. Das entwickelte Angebot knüpft an etablierte bestehende Konzepte und Angebote an, indem es die Kategorisierung nach [2], die Erfahrungen im Testen von Apps aus der Reihe „Smarte Physik“ sowie die Ergebnisse vorangegangener Abschlussarbeiten [4] aufgreift. Die App-Datenbank ist zur Recherche für beliebige Nutzerinnen und Nutzer ohne Anmeldung unter der URL https://physik-apps.uni-mainz.de verfügbar. Als Bestandteil der Staatsexamensarbeit wurden die Bewertungen von rund 80 Physik-Apps teilweise neu erstellt und teilweise aus bestehenden Vorarbeiten zusammengetragen. Durch das „responsive design“ der Webseite ist diese auf beliebigen Endgeräten, wie Smartphones, Tablets und PCs, verwendbar. Die Startseite der Datenbank mit den wichtigsten Menüpunkten, nämlich Zugriff auf die Datenbank, Eintragen neuer Apps, Filtern sowie Unterrichtsbeispiele, zeigt die Abbildung 1.

**Abb.1:** Startseite der App-Datenbank auf dem PC.

### 2.2. Kriterien für die Auswahl von Apps für den Physikunterricht

Im Unterschied zu den Bewertungen der App-Stores soll die Bewertung in der App-Datenbank nach fachspezifischen und unterrichtsrelevanten Kriterien erfolgen, die aber auch auf andere Fächer übertragbar sind. Als Basis für die Bewertung der Apps wurden vier zentrale Kriterien ausgewählt, die mit Schulnoten von sehr gut bis mangelhaft differenziert bewertet werden können. Hinzu kommen weitere Parameter, die für den Einsatz relevant sind, sich aber nicht in der Bewertung niederschlagen können, da es nicht sinnvoll wäre, sie in Noten auszudrücken. Hierzu zählen z. B. die Kosten der App oder das physikalische Themengebiet.

Die Bewertungskriterien sind die folgenden vier Aspekte [3, S. 57]:

a) Physikalischer Inhalt: Dieses Kriterium erfasst die Darstellung der Inhalte und deren Bedeutung für das Fach Physik bis hin zur fachlichen Korrektheit der Darstellung der physikalischen Sachverhalte in der App.

b) Didaktische Aspekte: Mit dieser Dimension wird erfasst, inwieweit die Intention der App auf den Einsatz im Unterricht oder mit Schülerinnen und

Schülern abzielt, z. B. mit integrierten Aufgabenstellungen.

c) Interaktivität: Sie bewertet, inwieweit Parameter innerhalb der Software durch die Nutzerinnen und Nutzer angepasst werden können – angefangen mit einer Animation, die bloß gestartet und gestoppt werden kann, bis hin zu Simulationen, in denen komplexe Parameter verändert werden können.

d) Benutzerfreundlichkeit: Sie erfasst die Bedienbarkeit („usability“) der Software.

Diese Bewertungskriterien werden jeweils gleichstark gewichtet und ergeben so eine Gesamtbewertung, die mit dem bekannten Sternesystem von einem bis fünf Sternen dargestellt wird. Die Darstellung im Sternesystem ermöglicht einen schnellen Überblick über die Qualität der Apps, z. B. mit einem Blick auf das Suchergebnis der Datenbank.

Neben diesen vier Qualitätskriterien werden zu jeder App weitere Parameter in der Datenbank registriert, nämlich das physikalische Themengebiet, wie z. B. „Kern- und Teilchenphysik“, das konkretere Thema, wie z. B. die „Ablenkung von Teilchen in Feldern“, eine Beschreibung der App, ihre Funktionsweise, didaktische Hinweise, wie z. B. eine Auswahl von damit möglichen Experimenten, die Sprache der Software, die Kosten einer einzelnen Lizenz sowie der Tester und das Testdatum. Weiterhin ist zu jeder App als zusätzliches Auswahlkriterium für den Physikunterricht erfasst, welche Sensoren des Smartphones sie nutzt.

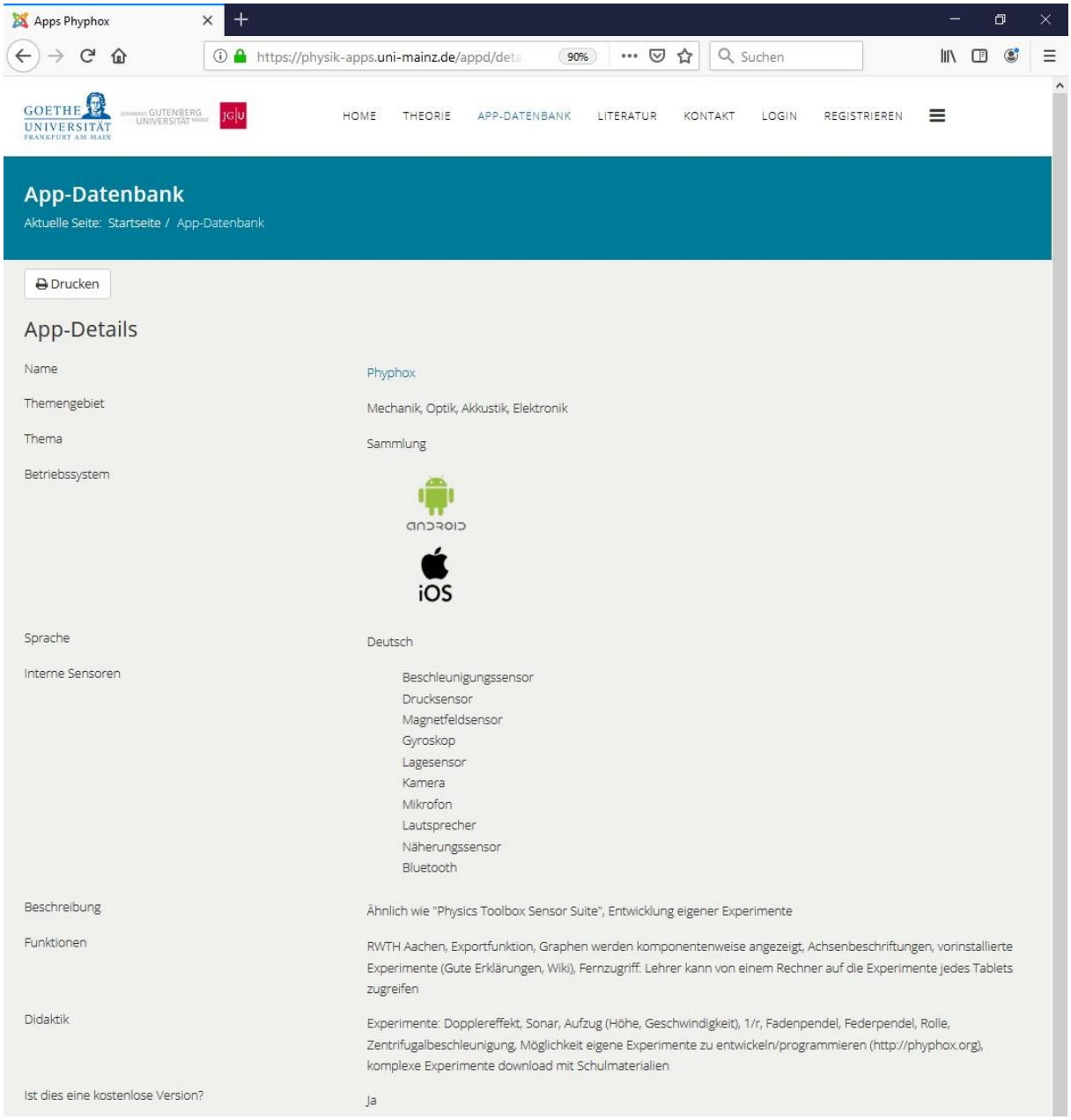



**Abb.2:** Darstellung der App „Phyphox“ der RWTH Aachen in der App-Datenbank.

Darüber hinaus ist zu jeder App eingetragen, für welche Betriebssysteme sie verfügbar ist. Dabei gibt es sowohl Apps, die nur auf einzelnen Systemen genutzt werden können, bis hin zu Apps, die für alle Betriebssysteme (Android, Apple iOS, Windows) verfügbar sind. Hinter dem Logo des jeweiligen Betriebssystems ist ein direkter Link zum Eintrag der jeweiligen App im App-Store hinterlegt, über den die Software heruntergeladen werden kann. Die Abbildung 2 zeigt beispielhaft einige der erfassten Parameter zur App „Phyphox“ der RWTH Aachen.

### 2.3. Funktionalität der App-Datenbank

Mit Hilfe einer Such- bzw. Filterfunktion lassen sich Apps nach vielen Kombinationen der Bewertungskriterien sowie weiterer Parameter filtern und so eine geeignete App für ein konkretes Einsatzszenario finden. In der App-Datenbank ist es z. B. möglich, alle eingetragenen Apps zu einem Thema des Physikunterrichts, die für Android-Geräte in deutscher Sprache kostenlos verfügbar sind, anzeigen zu lassen, diese nach der Gesamtbewertung zu sortieren und so die laut Testergebnis beste App auszuwählen. Die Abbildung 3 zeigt die Suchergebnisse aus der Datenbank mit kostenlosen, deutschsprachigen Apps zum Themengebiet Elektronik, nach Gesamtbewertung sortiert.

Das Verzeichnis der in der Datenbank getesteten Apps soll von einer Community von Physik-Lehrenden stetig ausgebaut und aktuell gehalten werden. Hierzu müssen sich die Nutzerinnen und Nutzer registrieren und einmalig freischalten lassen, um Missbrauch zu vermeiden. Dies ermöglicht es, der Datenbank neue Apps hinzuzufügen und mit anderen Benutzerinnen und Benutzern in Kontakt zu treten. Der Name der Testerin bzw. des Testers und das Testdatum werden bei jedem App-Eintrag gespeichert. Bei der Konzeption der Datenbank wurde festgelegt, dass die Bewertungen der Apps von anderen Benutzerinnen und Benutzern nicht überschrieben, sondern lediglich kommentiert werden können.

### 2.4. Einsatz und Evaluation der App-Datenbank

Die App-Datenbank wurde an der Universität Mainz in der Lehrveranstaltung Lehr-Lern-Labor im Bachelor of Education [5] eingesetzt und von den Studierenden getestet. Ihr Auftrag im Rahmen der Lehrveranstaltung bestand darin, eine Unterrichtssequenz zu einem selbst gewählten Thema in einem vorgegebenen Themengebiet des Physikunterrichts zu gestalten und dabei mit den Schülerinnen und Schülern digitale Medien einzusetzen. Die hier dargestellte App-Datenbank ermöglichte es den Studierenden dabei, schnell und zuverlässig eine gut geeignete App zu identifizieren.

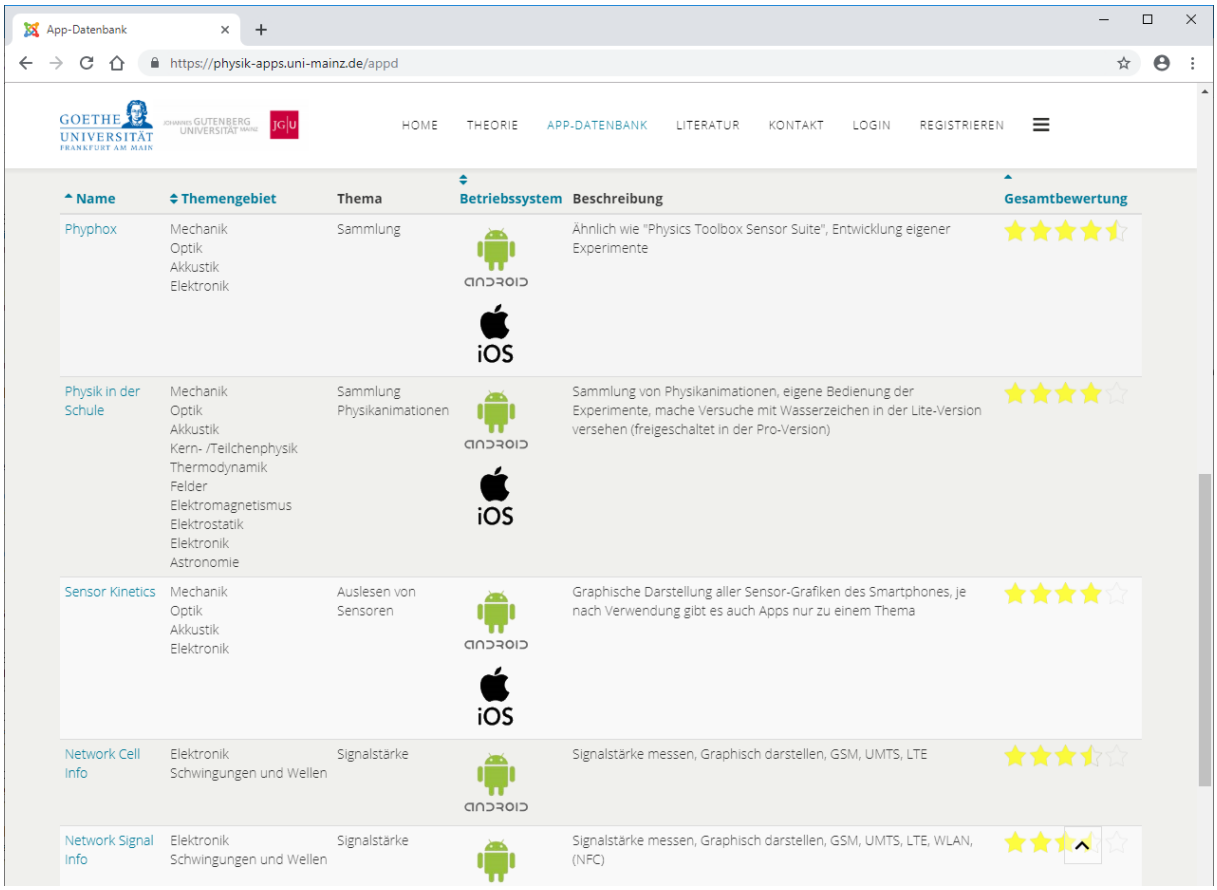



**Abb.3:** Suchergebnisse aus der Datenbank mit kostenlosen, deutschsprachigen Apps zum Themengebiet Elektronik, nach Gesamtbewertung sortiert.

## 3. Ausblick

Die App-Datenbank wird an der Universität Mainz weiter betrieben, administrativ betreut und in der Lehre eingesetzt. Mit Hilfe des Community-basierten Ansatzes soll die Anzahl der getesteten Apps stetig ausgeweitet und aktuell gehalten werden.

Die Zahl der erfassten Bewertungskriterien und weiteren Parameter für den Einsatz im Unterricht wurde für das Unterrichtsfach Physik bereits sehr weit gefasst. Aus aktuellen Entwicklungen der Rahmenbedingungen heraus erscheint jedoch die Ausweitung der Parameter auf einige wenige weitere Aspekte sinnvoll, die für den Einsatz von Apps im Schulunterricht relevant sein können, wie z. B. die Konformität der App mit der Datenschutz-Grundverordnung der Europäischen Union.

Darüber hinaus ist die Erweiterung der Datenbank auf andere Unterrichtsfächer angelegt und mit vergleichsweise wenig Aufwand möglich. Hier erscheint es eher so, dass mit dem Unterrichtsfach Physik dasjenige Fach gewählt wurde, das naturgemäß besonders hohe Anforderungen an die Zahl der Auswahl-Parameter stellt, nämlich z. B. die von der App eingesetzten Sensoren, die für Apps in manchen anderen Unterrichtsfächern weniger relevant sein dürften. Insofern ist in der Datenbank nach vorsichtiger erster Abschätzung bereits ein Großteil der relevanten Felder angelegt.

## 4. Literatur

[1] Kultusministerkonferenz (Hrsg.): Bildung in der digitalen Welt. Strategie der Kultusministerkonferenz. Berlin, 2016.

[2] Kuhn, Jochen; Wilhelm, Thomas; Lück, Stephan: Smarte Physik. Physik mit Smartphone und Tablet-PC. In: Physik in unserer Zeit 44, Nr. 1, 2013, S. 44-45.

[3] Kizina, Marcus: Entwicklung und Aufbau einer Datenbank mit Smartphone-Apps für kognitiv aktivierenden Physikunterricht. Staatsexamensarbeit, Frankfurt 2019.

[4] Herdtle, Anika Ulrike: Von der Schiefertafel zum Tablet. Der Einsatz von Apps im Physikunterricht. Staatsexamensarbeit, Mainz 2013

[5] Fiedler, Frank; Lindlahr, William; Speyer, Miriam; Wendt, Klaus: Lehr-Lern-Labor im Physik-Lehramtsstudium. In: Gutenberg Lehrkolleg, Moritz, Marie-Theres (Hrsg.): Employability als Ziel universitärer Lehre. Innovative Lehrprojekte an der JGU. Bielefeld, 2015.

# Digitale Kompetenzen von MINT-Lehrkräften

- Eine Studie unter angehenden Physik- und Chemielehrkräften -

**Lydia Schulze Heuling*, Steffen Wild[+]**

*Europa-Universität Flensburg, [+]Duale Hochschule Baden-Württemberg
Korrespondenz lydia.schulzeheuling@uni-flensburg.de

**Kurzfassung**

Es existiert kaum ein Bereich in der modernen Gesellschaft, der nicht von digitalen Informations- und Kommunikationsmedien durchdrungen ist. Digitale Kompetenzen befähigen Menschen dazu, solche Medien selbstbestimmt, informiert, kritisch und kreativ zu nutzen und nicht nur Konsument*Innen, sondern auch Gestalter*Innen in der Medienwelt zu sein. In der Lehrerbildung werden digitale Kompetenzen bisweilen zu den professionellen Kernkompetenzen gezählt. Dieser Beitrag präsentiert erste Überblicksergebnisse einer Erhebung zu den digitalen Kompetenzen angehender Physik- und Chemielehrkräfte.

## 1. Hintergrund

Digitale Informations- und Kommunikationsmedien haben die Lebenswelt ubiquitär durchdrungen. Digitale Kompetenzen sind unter anderem essentiell für das Lernen, die Arbeit und um aktiv an der Gesellschaft teilnehmen zu können. Akteurinnen und Akteure im Bildungssystem ist es wichtig zu verstehen, was digitale Kompetenzen sind. Dieses Wissen ist wichtiges Fundament, um damit die eigenen digitalen Kompetenzen und die der Schülerinnen und Schüler besser und gezielter fördern zu können.

## 2. Modelle digitaler Kompetenz

Digitale Kompetenz, Medienkompetenz, digital literacy, 21st century skills – Modelle digitaler Kompetenz haben viele Namen. Ein genauerer Blick in die Forschungsliteratur offenbart jedoch eine ziemlich große Schnittmenge zwischen den Modellen. Es lassen sich vier Domänen als kleinste Schnittmenge identifizieren: Das Sammeln von und Arbeiten mit Daten bzw. Informationen, die Herstellung von Daten und Informationen, die Notwendigkeit ethischer Standards sowie Kommunikation. Andererseits wird kritisiert, dass viele Modelle zur digitalen Kompetenz sehr allgemein gehalten sind und infolgedessen nur eingeschränkt operationalisierbar [1]. Vor diesem Hintergrund entwickelte das Joint Research Centre Institute for Prospective Technological Studies (JRC-IPTS) den Europäischen Referenzrahmen Digitale Kompetenz, DIGCOMP, welcher Aspekte digitaler Kompetenz ausschärft und in einem Modell von fünf Kompetenzbereichen zusammenfasst [2]. Das DIGCOMP Modell ist ein klassisches Stufenmodell. Es ist in fünf Kompetenzbereiche unterteilt, die jeweils zwischen drei und sechs Einzelkompetenzen umfassen, die wiederum in acht Kompetenzstufen differenziert sind.

Die Kompetenzbereiche lauten im Detail:

a) Umgang mit Informationen und Daten
b) Kommunikation und Zusammenarbeit
c) Erzeugen digitaler Inhalte
d) Sicherheit
e) Problemlösen

## 3. Der Digitalindex D21

Der Digitalindex D21 ist eine seit 2013 erhobene Gesellschaftsstudie der Initiative D21 [3]. Der Fragebogen des D21-Index orientiert sich am DIGCOMP-Modell und erhebt die fünf Bereiche (vgl. Abbildung 1):

a) Informationsverarbeitung
b) Kommunikation
c) Erstellen von Inhalten
d) Schutz und Sicherheit
e) Problemlösung

Die Ergebnisse der Kompetenzbereiche bzw. der Einzelkompetenzen des Digitalindex D21 der Jahre 2017/2018 werden nachfolgend kurz zusammengefasst [3]. Es handelt sich immer um Selbstauskünfte (vgl. Abbildung 2). Im Bereich Informationsverarbeitung sind die Kompetenzen „Internetrecherche“, „Datenübertragung zwischen Geräten“ und die „Nutzung mehrerer Quellen“ am stärksten ausgeprägt. „Online-Überweisungen“ tätigen und das „Erkennen von Fake News“ ist nach Angabe der Befragten im Bereich Kommunikation besonders ausgebildet. Weitere Einzelkompetenzen, die in den Selbsteinschätzungen hoch oben rangieren sind der Umgang mit Textprogrammen im Bereich „Erstellen von Inhalten“, das „Bewusstsein, dass Apps Daten weitergeben“ im Bereich „Schutz und Sicherheit“ sowie die „Installation von Geräten“ im Bereich „Problemlösung“ [3].

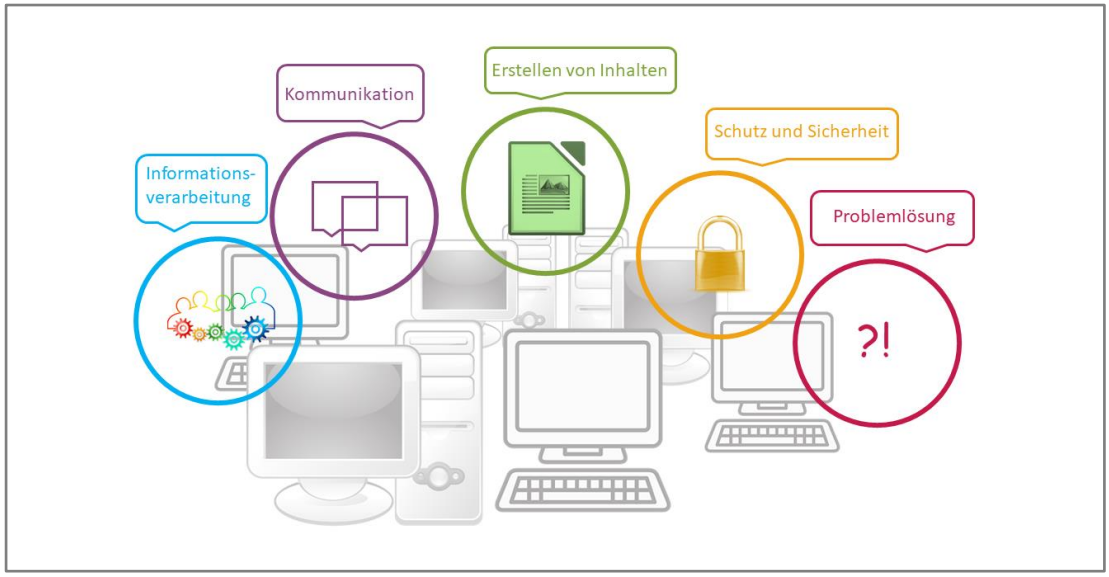



**Abb.1:** Die fünf Kompetenzbereiche des D21-Digitalindex [Grafik in Anlehnung an 3].

## 4. Ergebnisse der Studie unter Lehrkräften

Ein aktuelles Bild von den digitalen Kompetenzen angehender Physik- und Chemielehrkräfte möchten wir mit dieser Studie nachzeichnen. Befragt wurden 105 Studierende in diesen Fächern an der Europa-Universität Flensburg. Im Kompetenzbereich „Informationsverarbeitung“ (vgl. Abbildung 3) vergleichen wir die Kompetenzen „Internetrecherche“, „Datenübertragung zwischen Geräten“ und die „Nutzung mehrerer Quellen“ mit dem Bundesdurchschnitt. Der Bundesdurchschnitt der Kompetenz „Internetrecherchen durchführen“ liegt bei 70%. Von den Studierenden gaben 95% an, dass sie diese durchführen können. „Datenübertragung von Geräten“ ist mit einer Zustimmung von 62% im Bundesdurchschnitt die zweitausgeprägte Kompetenz. Bei den Studierenden liegen noch davor die Kompetenzen „Erkennen von Werbeanzeigen“ und „Nutzen mehrerer Quellen“. Die „Datenübertragung von Geräten“ erhält 81% Zustimmung und liegt damit auch vor dem Bundesdurchschnitt. „Online-Überweisungen“ tätigen und das „Erkennen von Fake News“ – dies zu können bzw. zu erkennen trauen sich im Bundesdurchschnitt 56% bzw. 49% zu (Kompetenzbereich Kommunikation, vgl. Abbildung 4). Mit 74% bzw. 65% liegen auch in diesem Kompetenzbereich die Selbsteinschätzungen der Studierenden über dem Bundesdurchschnitt (vgl. Abbildung 4). Der Umgang mit Textprogrammen wird als Einzelkompetenz dem Kompetenzbereich „Erstellen von Inhalten“ zugeordnet. Hier sagen 86% der Studierenden, dass sie dies tun. Der Bundesdurchschnitt liegt bei 65%. Das „Bewusstsein, dass Apps Daten weitergeben“ im Bereich „Schutz und Sicherheit“ erzielt im Bundesdurchschnitt eine Zustimmung von 65%. Die Studierenden erreichen einen Wert von 86%. 73% der Studierenden sagen, sie sind fit in der „Installation von Geräten“. Diese Kompetenz im Bereich „Problemlösung“ erzielt im Bundesdurchschnitt 58% Zustimmung.

## 5. Ausblick

Dieser kurze Einblick in unsere Studienergebnisse legt nahe, dass die Studierenden der Fächer Physik und Chemie an der Europa-Universität Flensburg über digitale Kompetenzen verfügen, die über dem Bundesdurchschnitt liegen. Dies ist zunächst wenig überraschend, da die bundesweite Umfrage den bundesweiten Bevölkerungsquerschnitt wiederspiegelt. Allerdings ist zu bedenken, dass unsere Studie nicht bundesweit repräsentativ ist aufgrund der begrenzten Stichprobe. Wir werden an anderer Stelle umfangreicher über unsere Studienergebnisse berichten [4][5].

## 6. Literatur

[1] Wild, Steffen; Schulze Heuling, Lydia: Re-evaluation of the D21-Digital-Index assessment instrument for measuring higher-level digital competences. Manuskript in Begutachtung.

[2] DIGCOMP: https://digcomp.enterra.de/de/ (Stand 05/2019)

[3] D21 Digital Index: https://initiative21.de/app/uploads/2018/01/d2_1-digital-index_2017_2018.pdf (Stand 05/2019)

[4] Schulze Heuling, Lydia; Wild, Steffen: Re-Evaluation des D21-Digital-Indexes anhand des Birnbaum-Modells. Postervortrag an der 10. Tagung der Sektion Empirische Bildungsforschung in der DGfE (AEPF/KBBB 2019 an der WWU Münster). Münster 2019

[5] Schulze Heuling, Lydia; Wild, Steffen: Students’ Digital Competences in cooperative study programmes and vocational training. Paper presented at the 2nd BIBB Conference, The Economics of Vocational Education and Training, Siegburg, 2019

**Anhang**

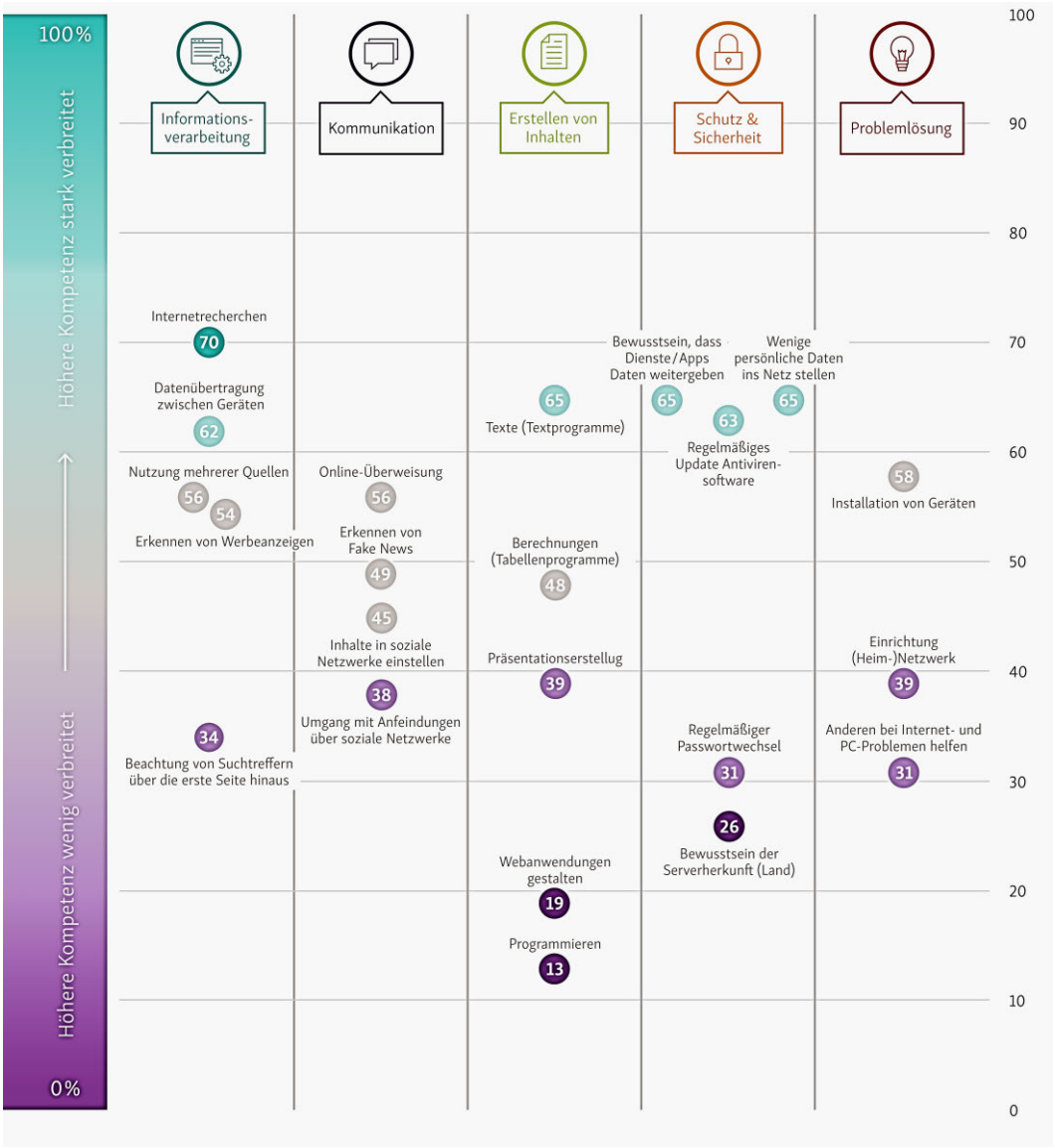



**Abb.2:** Die fünf Kompetenzbereiche des D21 Digitalindex [aus 3, Seite 45]

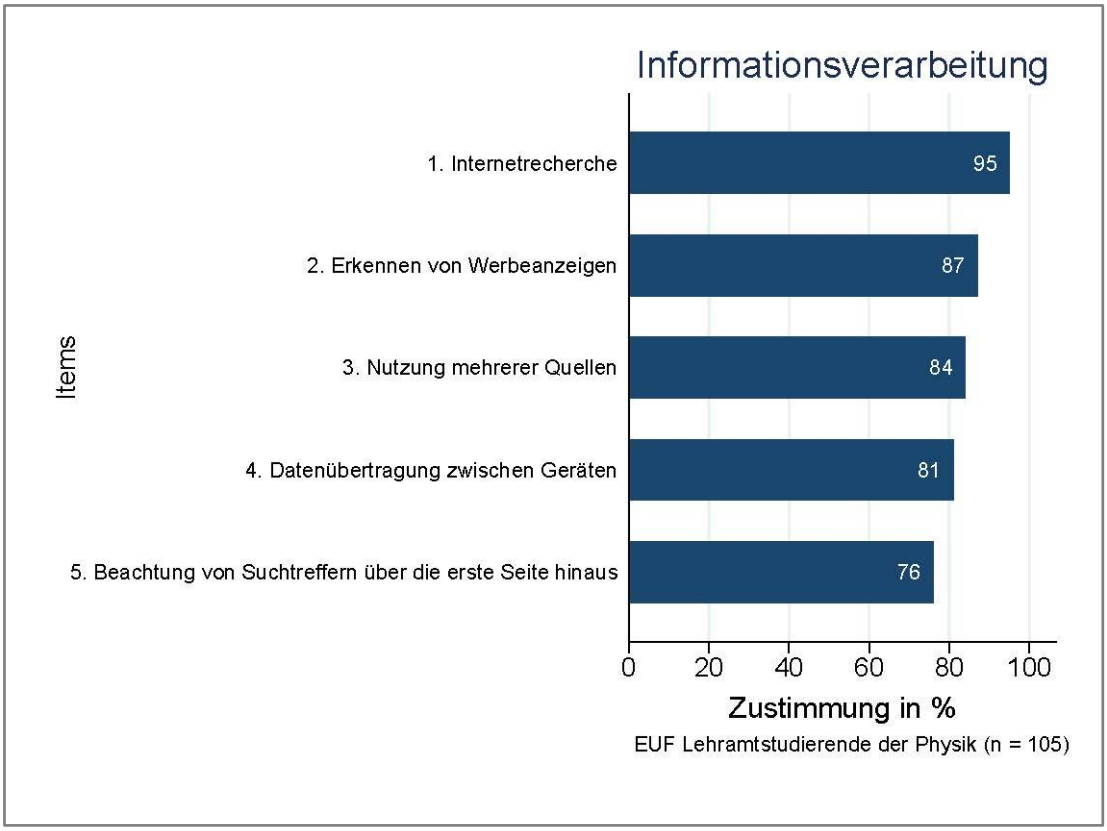



**Abb.3:** Ausprägung des Kompetenzbereichs „Informationsverarbeitung“ unter Studierenden der Fächer Lehramt Physik bzw. Lehramt Chemie an der Europa-Universität Flensburg

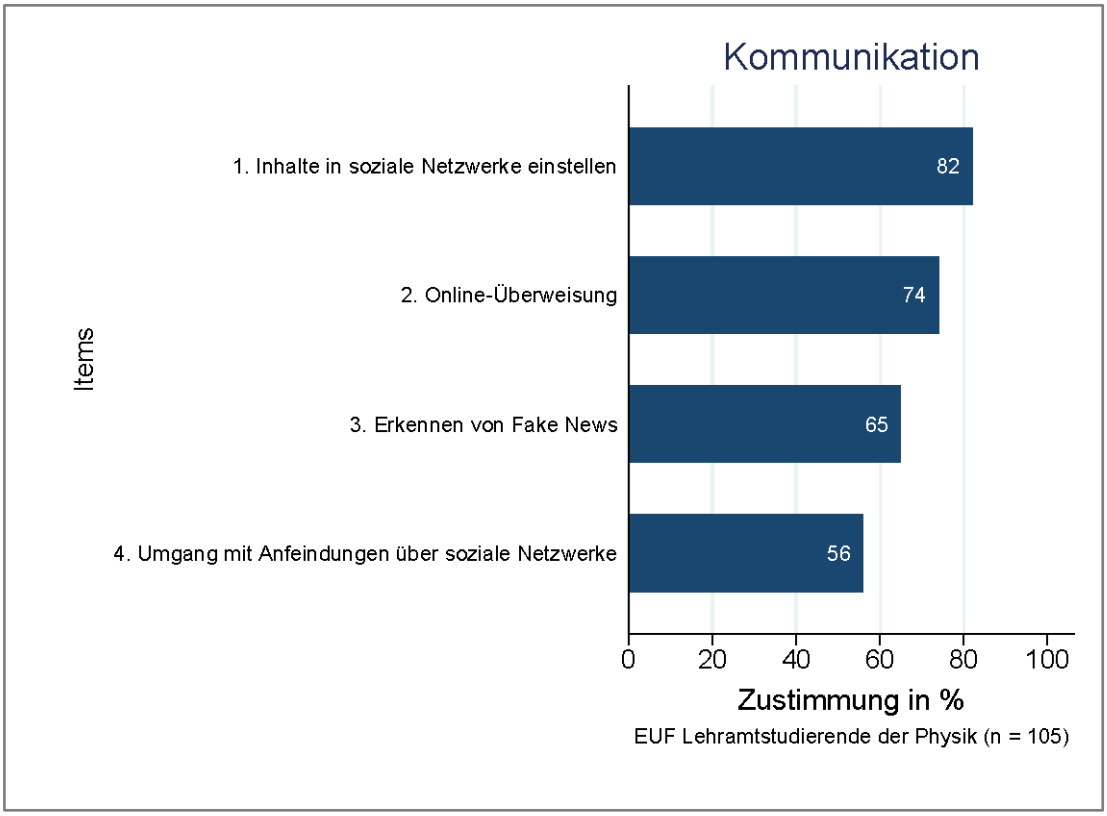



**Abb.4:** Ausprägung des Kompetenzbereichs „Kommunikation“ unter Studierenden der Fächer Lehramt Physik bzw. Lehramt Chemie an der Europa-Universität Flensburg

# Erklärvideos im Physikunterricht

- Überlegungen zum Einsatz von Erklärvideos beim Experimentieren im Physikunterricht -

**Fabian Sterzing*, Agnes Szabone Varnai*, Peter Reinhold***

Universität Paderborn, Didaktik der Physik, 33098 Paderborn
fabian.sterzing@upb.de

**Kurzfassung**

Erklärvideos bilden ein neues informelles Bildungsangebot, welches im großen Maße von Schülerinnen und Schüler angenommen wird. Diese Videos haben bereits Einzug in den Physikunterricht erhalten und sie werden auch in verschiedenen Forschungsprojekten verwendet. Da sie auf die Vermittlung von Handlungen oder abstrakten Inhalten zielen, eignen sie sich z. B zur Unterstützung des Experimentierens oder zur Vertiefung von physikalischen Konzepten. Bisher gibt es keine systematische Untersuchung ihrer fachdidaktischen Qualität und der Wirkung unterrichtlicher Nutzungsformen. Die fachdidaktische Qualität betrifft einerseits die Angemessenheit der Erklärung und andererseits das gewählte Videodesign.
Der Beitrag gibt einen Überblick über die diskutierten theoretischen Ansätze und empirischen Befunde zur Wirksamkeit von Erklärvideos. Die Diskussion mündet in Hypothesen und die Begründung eines Untersuchungsdesigns zu ihrer Überprüfung. Der Fokus liegt auf dem Einsatz von Erklärvideos beim Experimentieren. Variiert werden die Erklärqualität, die multimediale Qualität und die Nutzungsform; untersucht wird ihr Einfluss auf das deklarative Handlungs- und Konzeptwissen als abhängige Variablen.

## 1 Einleitung

Erklärvideos nehmen einen immer größeren Bereich des Alltags ein. Schülerinnen und Schüler[1] nutzen diese nicht nur als Tutorials für Kochen, Schminken und (Computer-)Spiele, sondern auch für die Vorbereitung auf Klausuren und die Nachbereitung des Unterrichtes. Anhand von Kommentaren unter Erklärvideos lässt sich außerdem belegen, dass diese im Physikunterricht von den Lehrerinnen und Lehrern genutzt werden (Kulgemeyer & Peters, 2016). Einschlägige Lehrerzeitschriften schlagen Einbindungsformen für Erklärvideos vor und stellen Unterrichtsabläufe rund um das Erklärvideo als Beispiel zur Verfügung. Eine genaue Beschreibung Wie und Was für einen wirksamen Unterricht mit Erklärvideos benötigt wird, findet sich dahingehend nicht. Daher sollen im Folgenden erste theoretischen Überlegungen angestellt werden, was ein Erklärvideo genau ist und wie die Qualität eines Erklärvideos gemessen, wie es möglicherweise in den Unterricht eingebunden werden kann und welche Wirksamkeit diesen Videos insbesondere beim Experimentieren unterstellt wird. Darauf aufbauend werden Hypothesen für ein Projekt zur Untersuchung von Erklärvideos im Physikunterricht formuliert und ein Design präsentiert, um diese Hypothesen zu überprüfen. Den Abschluss bildet ein Ausblick auf die nächsten Arbeitsschritte und bisher noch offene Fragestellungen zu Design und Methodik.

## 2 Theoretischer Hintergrund

### 2.1 Definition von Erklärvideos

Um Qualität und Nutzung von Erklärvideos genauer zu untersuchen, soll dieses Genre eingeordnet und genauer charakterisiert werden.
Seit der Idee des Filmes wird über Möglichkeiten nachgedacht, diese Medienform zu Bildungszwecken zu nutzen. Dies führt zu einer Vielzahl von Filmkategorien, die einen Bildungsprozess anregen wollen (Wolf, 2015b). In formellen Bildungssituationen wird häufig das Format des Lehrfilmes genutzt. Diese Lehrfilme sind professionell gestaltet und werden kommerziell vertrieben. Dabei können die Filme sowohl als Hardware Kopie verkauft als auch für *Massiv Online Open Courses* (MOOCs) genutzt werden. MOOCs sind online Plattformen, auf denen die Lehrfilme oder *Instructural Videos* zusammen mit Aufgaben und Texten zu einem Lernpfad zusammengefasst sind. (Kesim & Altınpulluk, 2015). Meist handelt es sich bei diesen Videos um Aufzeichnungen von Präsenzveranstaltungen (Wolf, 2015b). Dieser Kommerzialisierung stehen Erklärvideos gegenüber. Eine mögliche Definition von Erklärvideos lautet:

*„Erklärvideos sind eigenproduzierte Filme, in denen erläutert wird, wie man etwas macht oder wie etwas funktioniert bzw. in denen abstrakte Konzepte erklärt werden" (Wolf, 2015b, S. 123)*

Erklärvideos zeigen im Gegensatz zu Perfomanzvideos also nicht nur, wie eine Handlung durchgeführt und nachgeahmt werden kann, sondern wollen auch die Hintergründe einer Idee verdeutlichen. Dadurch

[1] Für eine bessere Lesbarkeit wird im Folgenden die maskulinische Form „Schüler" gewählt. Dadurch sind explizit auch weibliche und diverse Schülerinnen und Schüler angesprochen.

ist bereits ein erster Hinweis zur Nutzungsmöglichkeit von Erklärvideos im Physikunterricht gegeben.
Erklärvideos sind dabei nicht länger als 25 Minuten (Saurabh & Gautam, 2019) und zeigen folgende weitere Merkmale (Wolf, 2015a):
Erklärvideos werden zu jedem Thema gestaltet, da oft eine nicht kommerzielle Idee verfolgt wird und daher nicht nur die relevantesten Themen eines Faches abgedeckt werden, mit denen der Produzent Geld verdienen kann (Wolf, 2015a).
Da es keine Kontrolle der Produzenten gibt, weisen Erklärvideos eine hohe Varianz an fachlicher, didaktischer und medialer Qualität auf. Dies hängt auch damit zusammen, dass sowohl fachliche, methodische und mediale Laien als auch Profis Erklärvideos für Plattformen wie z.B. YouTube gestalten (Wolf, 2015a).
Die Kommunikation mit den Zuschauern erfolgt typischerweise in einem informellen Stil. So duzen sich YouTube User untereinander und sie werden auch in Erklärvideos geduzt. Was Wirkungsannahmen betrifft, so wird unterstellt, dass, unabhängig von den Lernvoraussetzungen des Rezipienten, eine hinreichend umfangreiche Beschäftigung mit dem Inhalt anhand des Videos zu einem Verständnis führt. Wichtig sei dafür, dass eine positive Lernatmosphäre in den Videos entsteht (Wolf, 2015a).

### 2.2 **Nutzungsverhalten bei Erklärvideos**

Der medienpädagogische Forschungsverbund Südwest führt jährlich eine repräsentative Umfrage zur Mediennutzung von Kindern und Jugendlichen (12 – 19 Jahre, N= 1200) durch (Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest, 2018). Im Jahr 2018 haben demnach 20 % der Schüler Erklärvideos für schulische Themen genutzt. Dabei nutzen Schülerinnen (22 %) geringfügig häufiger Erklärvideos als Schüler (19 %), die Nutzung von Tutorials und Erklärvideos nimmt mit dem Alter ab (Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest, 2018). Vergleicht man die Werte der Erklärvideos mit den JIM-Studien aus den vorherigen Jahren, kann man eine Entwicklung feststellen. Im Jahr 2017 haben noch 13 % (Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest, 2017) der Jugendlichen und 2016 10 % (Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest, 2016) Erklärvideos für die Schule genutzt. Innerhalb von 2 Jahren kann somit eine Verdopplung der Nutzerzahlen festgestellt werden. Eine nicht repräsentative Befragung hat festgestellt, dass an Bremer Gymnasien bis zu 60 % der Schüler Erklärvideos zur Vorbereitung auf Klausuren nutzen (Rummler & Wolf, 2012).

#### 2.2.1 **Analyse des Betrachtungsverhaltens**

Um das Betrachtungsverhalten bei Erklärvideos zu beobachten, bietet YouTube die Möglichkeit die Aufrufe und das Nutzungsverhalten von Videos zu analysieren. Ein großer, asiatischer Erklärvideo Betreiber mit mehreren tausend Abonnenten und Millionen Views hat seine Daten wissenschaftlich analysiert (Saurabh & Gautam, 2019): Dieser Kanal stellt Erklärvideos zu IT-Themen online. Die Kanalbetreiber beobachten, dass die beliebtesten Videos zwischen 7 und 20 Minuten lang sind, die meisten Viewer sehen jedoch oft nicht das komplette Video, sondern betrachten nur die ersten Minuten. Eine weitere Beobachtung ist, dass die Views per Day periodisch ausschlagen (Saurabh & Gautam, 2019). Im Frühjahr und im Herbst steigen die Views jeweils extrem. Dies korreliert mit den üblichen Prüfungszeiten an Schulen und besonders Universitäten. Es kann somit vermutet werden, dass in dieser Zeit eine große Anzahl der Views durch Klausurvorbereitungen erzeugt wird. Der Kanal wird in Englisch betrieben (Saurabh & Gautam, 2019). Die meisten Zugriffe erfährt er aus Europa und dem englischsprachigen Ausland. Der Zugriff auf die Videos findet zu 91 % direkt über die YouTube Seite statt. Häufig wird ein Windows PC zur Betrachtung genutzt (68 %) (Saurabh & Gautam, 2019). Aufgrund des sehr spezifischen Themenfeldes „Programmieren“ kann nicht davon ausgegangen werden, dass sich dieses Präferieren des PCs auf Schüler übertragen lässt. Dort ist die Verbreitung von Smartphones deutlich höher und Jugendliche zwischen 12- und 19-Jahren nutzen diese Smartphones häufiger als Laptops (Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest, 2018).
Hinter den erwähnten hohen Abbruchquoten der YouTube Videos können verschiedene Betrachtungsstile vermutet werden. Eine genauere Untersuchung zeigt, dass einer Person nicht ein bestimmter Stil zugeordnet werden kann, sondern dass die Betrachtungsweise von individuellen Zielen und Umständen abhängig ist (Boer, Kommers & Brock, 2011). Diese Betrachtungsstile setzen sich aus folgenden Grundstilen zusammen (Boer, Kommers & Brock, 2011):

a) *Linear:*
Ein Schüler schaut sich ein Video einmal, in einem Durchgang an.

b) *Elaboration:*
Ein Schüler schaut sich ein Video mehrfach, in einem Durchgang an.

c) *Maintenance rehearsal:*
Ein Schüler schaut sich die für ihn relevante Stellen des Videos wiederholt an.

d) *Zapping:*
Ein Schüler springt durch ein Video und schaut sich die von ihm ausgewählten Stellen nur kurz an.

Es scheint also, dass die Nutzung von Erklärvideos durch personenbezogene Merkmale geprägt wird.

### 2.3 **Fachdidaktische Qualität von Erklärvideos**

Es wird angenommen, dass eine hohe fachdidaktische, methodische und mediale Qualität eines Erklärvideos zu einer positiven Wirkung (Verstehen, Interesse, Motivation, auch sachgerecht Handeln) führt (Kulgemeyer, 2018). Die Frage ist, welche Merkmale diese Qualität ausmachen, beziehungsweise wodurch sie diese Wirkung beeinflussen. Um

sich diesen Fragen zu nähern, wird auf Modelle zur Erklärqualität (Kulgemeyer & Schecker, 2009, 2013), Theorien zum multimedialen Lernen (Mayer, 2009) und den Ansatz *Cognitive Apprenticeship,* der häufig als für den Einsatz digitaler Medien vorgeschlagen wird (Girwidz, 2014), zurückgegriffen. Diese Ansätze werden im Folgenden kurz dargestellt:

a) Erklärqualität

Eine *gute* Erklärung erhöht die Wahrscheinlichkeit, dass der Zuhörer den zu erklärenden Inhalt versteht, garantieret es aber nicht (Kulgemeyer & Schecker, 2009). Dazu gehört der Einsatz von Beispielen, die Auswahl einer geeigneten mathematischen Reduzierung, eine angemessene Sprache und die Nutzung verschiedener Repräsentationsformate. Kulgemeyer & Schecker (2013) betonen darüber hinaus, dass die Wahl der genannten Merkmale einer guten Erklärung im Unterricht aufgrund der Interaktion ein adaptiver Vorgang ist. Während die strukturellen Merkmale einer guten Erklärung auch für Erklärvideos zutreffen sollten, ist dies für die Adaptivität nur sehr begrenzt der Fall. Eine Möglichkeit ein Video an die Lerner anzupassen, ist die Adressierung typischer Alltagsvorstellungen der Schüler (Kulgemeyer, 2018). Hierzu sind verschiedene Strategien möglich, um wie bei einer klassischen Erklärung die Schülervorstellungen aufzugreifen oder in einem Konflikt anzugreifen (Wilhelm & Schecker, 2018).

b) Theorien des multimedialen Lernens

Nach Mayer (2009) muss bei der Erstellung von multimedialen Lernumgebungen auf 12 Gestaltungsaspekte geachtet werden. Diese Aspekte umfassen vor allem gestalterische Prinzipien (Schanze & Girwidz, 2018). Für Erklärvideos können, da diese Videos Zusammenhänge erklären, aufgrund ihrer Eigenschaft als Video folgende Kategorien als besonders wichtig angesehen werden:

(1) Signalisierungsprinzip
Für die Erklärung relevante Momente des Videos werden durch Einblendungen hervorgehoben.

(2) Kontiguitätsprinzip
Zusammenstehende Informationen werden zusammen dargestellt und zeitlich und räumlich nicht voneinander getrennt.

(3) Modalitätsprinzip
Informationen im Erklärvideo sollten nicht als Text angeboten werden, sondern durch gesprochene Texte und geeignete Darstellungen.

(4) Multimediaprinzip
Es sollen stets verschiedene Darstellungsformen angeboten werden.

Es ist unklar, ob die Berücksichtigung dieser Gestaltungsmerkmal die Wirksamkeit von Lernvideos beeinflusst.

c) *Cognitive Apprenticeship*

Erklärvideos sollen Schüler dazu befähigen abstrakte Konzepte zu verstehen oder eine Handlung durchzuführen und die grundlegenden Aspekte der Handlung zu abstrahieren. Um dies zu erreichen, eignet sich das Prinzip des *Cognitive Apprenticeship*. *Cognitive Apprenticeship* macht sich als Lehr-Lernmethode das sehr alte Prinzip des Vormachen - Nachmachen - Selbermachen zunutze. Dem Schüler wird eine Handlung gezeigt, die er nachahmt und dadurch erlernt. Gelungen ist dieser Prozess, wenn der Schüler die Handlung ohne Anweisung selbst durchführen kann. Gelungene *Cognitive Apprenticeship* Umgebungen gestalten die Wechsel zwischen den Perspektiven Schritt für Schritt und geben dem Schüler die Chance sich in der neuen Struktur zurechtzufinden (Duit, 2014). Diese Schritte bestehen aus *Coaching*, *Scaffolding* und *Fading*. *Coaching* besagt, dass der Schüler konkrete Anweisungen bekommt, wie eine Handlung durchzuführen ist. *Scaffolding* bedeutet im Kontext des *Cognitive Apprenticeship*, dass Schülern der Einstieg in eine Handlung durch ein „Gerüst“ (Duit, 2014, S. 670) an Hilfestellungen unterstützt wird. Schließlich werden die Hilfestellungen im Prozess des *Fading* abgebaut und der Schüler findet sich in der neuen Handlung selbst zurecht (Duit, 2014).

### 2.3.1 **Erklärvideos im Unterricht**

Die Wirkung von Erklärvideos im Unterricht hängt auch von ihrer Einbettung in den Unterricht ab. Als Empfehlung für den praktischen Einsatz von Erklärvideos werden drei verschiedene Ansätze vorgeschlagen bzw. bisher untersucht. Diese Ansätze sind *Blended Learning*, *Flipped Classroom*, und *Peer-to-Peer Tutorials* (Kulgemeyer & Wolf, 2016). Das *Peer-to-Peer Tutorial* lässt sich nicht mit den beiden anderen Ansätzen vergleichen, da hierbei Erklärvideos von den Schülern selbst produziert werden. Die anderen beiden Ansätze werden in Grundzügen erläutert:

a) Blended Learning

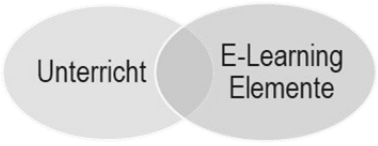



**Abb. 1:** Konzept des Blended Learning nach Reinmann & Vohle (2003)

*Blended Learning* oder übersetzt: Integriertes Lernen verbindet klassischen Unterricht mit Elementen des *E-Learnings*, einer Form des multimedialen Lernens.

Der Unterricht wird somit eine Mischung aus bekannten Unterrichtsformen, Methoden und Medien und Elementen des *E-Learnings* (Reinmann & Vohle, 2003). Erklärvideos können solche *E-Learning* Elemente darstellen. Sie können, wie Hilfekarten, beispielsweise beim Experimentieren eine zusätzliche Unterstützung darstellen (Szabone Varnai & Reinhold, 2018). Die *E-Learning* Elemente werden dann wie klassische Medien genutzt.

b) Flipped Classroom

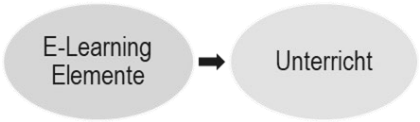



**Abb. 2:** Konzept des Flipped Classroom nach Abeysekera & Dawson (2015)

Im klassischen Unterricht werden in den Präsenzzeiten Konzepte erläutert und Vorbereitungen getroffen. Darauffolgend werden entweder Hausaufgaben gegeben oder weiterer Unterricht mit Anwendungen, z.B. Experimenten durchgeführt. Im *Flipped Classroom* wird dieses Prinzip umgekehrt (Abeysekera & Dawson, 2015). Der *Flipped*, oder gedrehte Ansatz besagt, dass Vorbereitung und Erarbeitung eines Themas (Theorie, Konzepte, Grundlagen) außerhalb des Unterrichts stattfinden soll. Die Präsenzzeit kann für unterstütztes Anwenden und Üben oder „Selbermachen" genutzt werden. Die vermuteten Vorteile dieses Ansatzes sind, dass die Schüler weniger inaktive Zeiten des Inputs und mehr aktive Lernzeit unter Begleitung eines Lehrers erhalten, was zu einem größeren Lernzuwachs führen sollte (Abeysekera & Dawson, 2015). Weiterhin ist es durch den *Flipped Classroom* Ansatz möglich, dass die Schüler die Konzepte in ihrem Tempo aufbauen. Es gibt zwar die Festlegung, dass das jeweilige Thema bis zur Präsenzzeit beherrscht werden muss, jedoch wird nicht festgelegt, wann genau der Lernvorgang stattfinden muss (Abeysekera & Dawson, 2015). Empirisch wurde in verschiedenen Studien die Wirksamkeit von *Flipped Classrooms* Designs erforscht. Dabei zeigt sich in einer Meta-Studie, dass reine *Flipped Classroom* Ansätze durchschnittlich eine Effektstärke von d= 0,3 gegenüber traditionellem Unterricht besitzen (Lo, Hew & Chen, 2017).
Aufgrund der technischen Ausstattung der Schüler eignen sich grade Erklärvideos für einen *Flipped Classroom* Ansatz. Fast jeder Schüler ist in der Lage zu Hause Erklärvideos abzurufen und abzuspielen (Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest, 2018).
Im Bereich der Erklärvideos sollte bedacht werden, dass diese nicht ohne eine didaktische Einbettung als *Flipped Classroom* Element eingesetzt werden (Kulgemeyer & Wolf, 2016), um die genaue Betrachtung oder bspw. die Durchführung der vorgestellten Experimente zu gewährleisten.

## 2.4 Wirksamkeit von Erklärvideos

Ein erster Schritt, Erklärvideos wirksam einzusetzen ist eine geeignete Auswahl von Videos zu treffen. Eine einfache Annahme wäre, dass die besten Videos, die mit den meisten Views und Likes sind. Nach (Kulgemeyer & Peters, 2016) trifft dies nicht zu. Sie legten ihre die Kategorien des guten Erklärens (Kulgemeyer & Peters, 2016) über verschiedene Videos und konnten keine Korrelation der Erklärqualität mit Views und Likes feststellen. Einzig inhaltlich relevante Kommentare unter Erklärvideos weisen eine mittlere, signifikante Korrelation mit der Qualität der Erklärung auf (Kulgemeyer & Peters, 2016).
Um Erklärvideos im Physikunterricht zu rechtfertigen, müssen diese außerdem eine gewisse positive Wirkung auf den Lernzuwachs besitzen. Laut Hattie (2018) finden Studien für Lernvideos im Unterricht an sich eine Effektstärke von d = 0,52 vor. Dieser allgemeine Befund muss allerdings in Bezug auf unterschiedliche Adressaten, Fächer und Settings differenziert werden.
Erste Studien in einem universitären Umfeld bestätigen die positive Wirksamkeit für den Einsatz von Erklärvideos in Experimentierphasen des Physikunterrichtes. Die Erklärvideos wurden dabei in einem *Blended Learning* Format eingesetzt (Szabone Varnai & Reinhold, 2018). Dabei wurden in einem Vergleich von Gruppen mit und ohne Erklärvideos Effektstärken zwischen d = 0,90 ($p < 0,01$) und d = 0,79 ($p < 0,01$) erreicht (Szabone Varnai & Reinhold, 2018). Im universitären Umfeld wurde ebenfalls der *Flipped Classroom* Ansatz getestet. In einem *Flipped Classroom* Design mit Erklärvideos und intelligentem Tutoring System zeigt sich, dass Studenten der Mathematik einen größeren Fachwissenszuwachs und eine Verbesserung der Problemlösefähigkeit erreichen (Mohamed & Lamia, 2018).
Auf schulischer Ebene zeigt sich im Informatikunterricht, dass Schüler durch ein *Flipped Classroom* mit Erklärvideos signifikant besser ein bestimmtes Programm erlernen konnten als Vergleichsgruppen ohne Erklärvideo (van der Meij, 2017). Ein negativer Aspekt des *Flipped Classroom* kann eine fehlende Motivation während der Präsenzzeiten sein (Awidi & Paynter, 2019).
Ein generelles Problem von Erklärvideos besteht in einer *Lean Back* Mentalität, das heißt, dass die Videos nicht kognitiv aktivierend sind, da die Lösung den Schülern immer mitgeliefert wird (Wolf, 2015a).
In einer früheren Metastudie wurde kritisiert, dass in den zugrunde gelegten Studien die methodischen Prinzipien nicht genug kontrolliert und erläutert wurden (Kay, 2012). Dies betraf die Beschreibung des genutzten Videos an sich, die Auswahl des Samples und Kriterien der Reliabilität und Validität (Kay, 2012).

## 3 Entwicklung von Hypothesen

Aufgrund der theoretischen Überlegungen lassen sich verschiedene Hypothesen formulieren, die im Projekt „Erklärvideos im Physikunterricht" bearbeitet werden sollen. Diese zielen einerseits auf die Gestaltung

und Einbettung der Erklärvideos an sich ab, andererseits wird der Adressat der Erklärvideos in den Fokus genommen:

**H1** Eine Veränderung der fachdidaktischen Qualität von Erklärvideos führt zu einer Veränderung der Wirksamkeit im Unterricht.

Ein fachdidaktisch gutes Erklärvideo im Sinne von Erklärqualität sollte wirksamer sein, als Videos, die diese Kategorien nicht beachten.

**H2** Ein Veränderung der multimedialen Aspekte des Erklärvideos führt zu einer Veränderung der Wirksamkeit im Unterricht.

Durch eine starke Ausprägung multimedialer Gestaltungsaspekte wird ein größerer Lernzuwachs erwartet.

**H3** Personenmerkmale verändern die Wirksamkeit von Erklärvideos.

Wie im Kapitel 2.3 aufgeführt ist das Gelingen einer Erklärung abhängig von der Adressatenpassung. Dies ist ein moderierender Faktor, der alle Settings betrifft. Es kann vermutet werden, dass gegenüber dem Medium aufgeschlossene und an der Physik interessierte Personen von Erklärvideos profitieren. Weiterhin werden die Selbstwirksamkeitserwartung und die kognitiven Fähigkeiten einen Einfluss auf den Lernzuwachs durch Erklärvideos haben, da diese auch im klassischen Physikunterricht den Lernzuwachs moderieren.

**H4** Eine geeignete Einbettung von Erklärvideos führt zu einer größeren Wirksamkeit.

Wie alle Medien müssen auch Erklärvideos in den Lernprozess eingebunden werden. Ein ohne Einbindung angebotenes Erklärvideo wird weniger wirksam sein, als ein gut eingebundenes. Im Bereich der Erklärvideos bei schulischen Experimenten kann vermutet werden, dass sich *Flipped Classroom* und *Blended Learning* Ansätze in der Wirkung unterscheiden, da der temporale Bezug des Videos zum Experiment ein anderer ist.

## 4 Methodik und Studiendesign

Die aus der Theorie entwickelten Hypothesen sollen empirisch bearbeitet werden. Da die Variablenkontrolle komplex und die Ausgangslage diffus ist, wird eine Laborstudie angestrebt, die den Einsatz von Erklärvideos bei experimentellen Aufgaben evaluieren soll. Die Schüler bearbeiten die Aufgaben in Einzelarbeit, um konfundierende Effekte durch kooperatives Lernen zu vermeiden. Dabei werden ein Prä- und Posttest eingesetzt. Die abhängigen Variablen sind dabei das deklarative Handlungswissen sowie Konzeptwissen. Aus den Forschungsfragen ergibt sich ein drei-faktorielles Studiendesign: Einerseits variiert die Einsatzformen, andererseits sollen fachdidaktische Merkmale und multimediale Aspekte verändert werden. Dabei liegt ein besonderes Augenmerk darauf, dass die Videos weiterhin vergleichbar in Länge und gegeben Informationen bleiben.
Es ergibt sich folgendes Studiendesign:

**Tbl. 1:** Vorläufiges Studiendesign

| | | | ***Einsatzform*** | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Blended Learning | Flipped Classroom |
| ***Fachdidaktische Merkmale*** | Erklärqualität hoch | Multimediale Aspekte hoch | G1 | G2 |
| | | Multimediale Aspekte gering | G3 | G5 |
| | Erklärqualität gering | Multimediale Aspekte hoch | G5 | G6 |
| | | Multimediale Aspekte gering | G7 | G8 |

Für die Laborstudie ist folgender Ablauf geplant:

1.) Um Personenmerkmale beschreiben zu können, wird zu Beginn ein kognitiver Fähigkeiten Test, ein Selbstwirksamkeitserwartung Test und ein Prä-Test zum deklarativen Handlungswissen und Konzeptwissen durchgeführt.
a) Nachfolgend findet das Treatment statt. Das für diese Studie genutzte Modell des *Blended Learnings* sieht eine simultane Nutzung digitaler und klassischer, analoger Medien vor. Dabei ist die Bearbeitungszeit begrenzt. Während sie ein Experiment bearbeiten, können sie ein Erklärvideo beliebig oft anschauen.
b) Im *Flipped Classroom* Design erhalten die Schüler eine gewisse Zeit, um einzeln ein Erklärvideo zu betrachten und dazu Fragen zu beantworten, da das Video nicht ohne Einbindung geguckt werden soll (Kulgemeyer & Wolf, 2016). Danach erhalten die Schüler Zeit, um die experimentelle Aufgabe zu bearbeiten. Damit die *Time-on-Task* gleich bleibt, haben die Schüler im *Flipped Classroom* für Video und Experiment zusammengenommen die gleiche Zeit wie die Schüler im *Blended Learning* insgesamt.

2.) Erneuter Test zum deklarativen Handlungswissen und Konzeptwissen. Zusätzlich soll die Nutzung von Erklärvideos erhoben werden. Hierzu wurde ein Fragebogen entwickelt, der auf dem Fragebogen zur Computernutzung von Senkbeil, (2004) und der Theorie des integrierten Handlungsmodelles

nach Rost (1997) basiert. Ausgehend von Gruppeninterviews mit Studierenden, die Erklärvideos in Veranstaltungen nutzen, wurden Items zur Nutzung von Erklärvideos und zur multimediale Gestaltung der Erklärvideos nach Mayer (2009) ergänzt.

Es ist geplant die Nutzung der Erklärvideos während der Studie durch eine Aufzeichnung des Bildschirminhalts zu begleitet, um Aussagen über die konkrete Nutzung und Time-On-Task treffen zu können und die Interpretation des Nutzungstestes abzusichern sowie Unterschiede im Lernzuwachs interpretieren zu können.
Um Studiendesign und Einsatzzeitpunkt genauer festzulegen, ist das Themenfeld des Videos genau zu definieren. Erste Überlegungen zeigen, dass das Thema „Elektrizitätslehre – Bestimmung des Widerstands“ geeignet sein kann. Dieses Thema ist fast allen Kernlehrplänen vorhanden, insbesondere ist das Thema im Kernlehrplan des Landes NRW vertreten, wo die Teilnehmer rekrutiert werden sollen. (Kernlehrplan für das Gymnasium - Sekundarstufe I in Nordrhein-Westfalen - Physik, 2008). Dieses Thema wird somit in jedem Gymnasium unterrichtet. Dies erhöht die Wahrscheinlichkeit, eine für eine quantitative Studie genügend große Stichprobe zu gewinnen. Weiterhin bildet dieses Themenfeld genug Anknüpfungspunkte, um sowohl konzeptuelles Wissen zu testen als auch deklaratives Handlungswissen zum Versuch abzufragen. Dabei kann für den Test des konzeptuellen Wissens auf bestehende Arbeiten zurückgegriffen werden (Urban-Woldorn & Hopf, 2012).

## 5 Zusammenfassung und Ausblick

Wie Befragungen zeigen, sind Erklärvideos ein relevantes Thema im Unterricht. Bisherige Studien befassten sich jedoch häufig mit dem Einsatz in der Universität oder sind methodisch nicht ausgereift. Aus bisherigen empirischen Studien lässt sich jedoch die Vermutung ableiten, dass Erklärvideos eine gewisse positive Wirkung auf den Lernzuwachs und die Motivation der Schüler haben können. Um diese positiven Effekte jedoch genauer beurteilen zu können und Hilfestellungen für den praktischen Einsatz zu formulieren, ist es notwendig, den Einfluss der fachdidaktischen und der medialen Qualität sowie der Nutzungsformen auf den Lernzuwachs und die Motivation zu untersuchen. Auf diese Weise soll das Projekt „Erklärvideos im Physikunterricht“ Hinweise für eine wirksame Unterrichtsgestaltung liefern.
Erste Ergebnisse werden nach Abschluss der Hauptstudie, deren Durchführung 2020 geplant ist, erwartet.

## 6 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Vorläufiges Studiendesign ..... 5

## 7 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Konzept des Blended Learning nach Reinmann & Vohle (2003) ..... 3
Abbildung 2 Konzept des Flipped Classroom nach Abeysekera & Dawson (2015) ..... 4

## 8 Literaturverzeichnis

Abeysekera, L.; Dawson, P. (2015): Motivation and cognitive load in the flipped classroom: definition, rationale and a call for research. In: *Higher Education Research & Development* 34 (1), S. 1–14. DOI: 10.1080/07294360.2014.934336.

Awidi, I. T.; Paynter, M. (2019): The impact of a flipped classroom approach on student learning experience. In: *Computers & Education* 128, S. 269–283. DOI: 10.1016/j.compedu.2018.09.013.

Boer, J. de; Kommers, P. A.M.; Brock, B. de (2011): Using learning styles and viewing styles in streaming video. In: *Computers & Education* 56 (3), S. 727–735. DOI: 10.1016/j.compedu.2010.10.015.

Duit, R. (2014): Alltagsvorstellungen und Physik lernen. In: Kircher, E., Girwidz, R. und Häußler, P. (Hg.): Physikdidaktik. Theorie und Praxis. 3. Aufl. Berlin: Springer Spektrum (Springer-Lehrbuch), S. 657–680.

Girwidz, R. (2014): Neue Medien und Multimedia. In: Kircher, E., Girwidz, R. und Häußler, P. (Hg.): Physikdidaktik. Theorie und Praxis. 3. Aufl. Berlin: Springer Spektrum (Springer-Lehrbuch), S. 401–427.

Hattie, J. (2018): Lernen sichtbar machen für Lehrpersonen. 4., unveränderte Auflage. Hg. v. Wolfgang Beywl und Klaus Zierer. Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren GmbH.

Kay, R. H. (2012): Exploring the use of video podcasts in education: A comprehensive review of the literature. In: *Computers in Human Behavior* 28 (3), S. 820–831. DOI: 10.1016/j.chb.2012.01.011.

Kernlehrplan für das Gymnasium - Sekundarstufe I in Nordrhein-Westfalen - Physik (2008). Frechen: Ritterbach (Schriftenreihe "Schule in NRW", 3411).

Kesim, M.; Altınpulluk, H. (2015): A Theoretical Analysis of Moocs Types from a Perspective of Learning Theories. In: *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 186, S. 15–19. DOI: 10.1016/j.sbspro.2015.04.056.

Kulgemeyer, C. (2018): A Framework of Effective Science Explanation Videos Informed by Criteria for Instructional Explanations. In: *Res Sci Educ* 26 (1), S. 435. DOI: 10.1007/s11165-018-9787-7.

Kulgemeyer, C.; Peters, C. H. (2016): Exploring the explaining quality of physics online explanatory videos. In: *European Journal of Physics* 37 (6), S. 65705. Online verfügbar unter http://stacks.iop.org/0143-0807/37/i=6/a=065705.

Kulgemeyer, C.; Schecker, H. (2009): Kommunikationskompetenz in der Physik: Zur Entwicklung eines domänenspezifischen Kompetenzbegriffs. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 15, S. 131–153.

Kulgemeyer, C.; Schecker, H. (2013): Students Explaining Science—Assessment of Science Communication Competence. In: *Res Sci Educ* 43 (6), S. 2235–2256. DOI: 10.1007/s11165-013-9354-1.

Kulgemeyer, C.; Wolf, K. D. (2016): Lernen mit Videos? Erklärvideos im Physikunterricht. In: *Naturwissenschaften im Unterricht. Physik* 27 (152), S. 36–41.

Lo, C. K.; Hew, K. F.; Chen, G. (2017): Toward a set of design principles for mathematics flipped classrooms: A synthesis of research in mathematics education. In: *Educational Research Review* 22, S. 50–73. DOI: 10.1016/j.edurev.2017.08.002.

Mayer, R. E. (2009): Multimedia Learning. Cambridge: Cambridge University Press.

Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest (2016): JIM-Studie 2016. Jugend, Information, (Multi-) Media. Basisuntersuchung zum Thema Medienumgang 12- bis 19-Jähriger. Stuttgart: MPFS. Online verfügbar unter https://www.mpfs.de/fileadmin/files/Studien/JIM/2016/JIM_Studie_2016.pdf, zuletzt geprüft am 19.02.2019.

Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest (2017): JIM 2017. Jugend, Information, (Multi-) Media. Basisstudie zum Medienumgang 12- bis 19-Jähriger. Stuttgart: MPFS. Online verfügbar unter https://www.mpfs.de/fileadmin/files/Studien/JIM/2017/JIM_2017.pdf, zuletzt geprüft am 15.02.2019.

Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest (2018): JIM-Studie 2018. Jugend, Information, Medien. Basisuntersuchung zum Medienumgang 12- bis 19-jähriger. Stuttgart: MPFS. Online verfügbar unter https://www.mpfs.de/fileadmin/files/Studien/JIM/2018/Studie/JIM_2018_Gesamt.pdf, zuletzt geprüft am 18.02.2019.

Mohamed, H.; Lamia, M. (2018): Implementing flipped classroom that used an intelligent tutoring system into learning process. In: *Computers & Education* 124, S. 62–76. DOI: 10.1016/j.compedu.2018.05.011.

Reinmann, G.; Vohle, F. (2003): Didaktische Innovation durch Blended Learning. Leitlinien anhand eines Beispiels aus der Hochschule. 1. Aufl. Bern: Huber (Huber Psychologie Praxis Lernen mit neuen Medien). Online verfügbar unter http://www.semivirtuell.de.

Rost, J. (1997): Theorien menschlichen Umwelthandelns. In: Michelsen, G., Wohlers, L., Adomßent, M./M., Schwarz, M./M. und Mandl, D./M. (E.) (Hg.): Umweltberatung. Grundlagen und Praxis. Bonn: Economica Verlag, S. 55–62.

Rummler, K.; Wolf, K. D. (2012): Lernen mit geteilten Videos: aktuelle Ergebnisse zur Nutzung, Produktion und Publikation von Onlinevideos durch Jugendliche. In: Sützl, W., Stalder, F., Maier, R. und Hug, T. (Hg.): Media, Knowledge And Education: Cultures and Ethics of Sharing. s.l.: innsbruck university press, S. 253–266. Online verfügbar unter http://www.oapen.org/download?type=document&docid=503824#page=254, zuletzt geprüft am 22.10.2018.

Saurabh, S.; Gautam, S. (2019): Modelling and statistical analysis of YouTube's educational videos: A channel Owner's perspective. In: *Computers & Education* 128, S. 145–158. DOI: 10.1016/j.compedu.2018.09.003.

Schanze, S.; Girwidz, R. (2018): Lernen mit digitalen Medien. In: Krüger, D., Parchmann, I. und Schecker, H. (Hg.): Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung, Bd. 255. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 177–192.

Senkbeil, M. (2004): Typen der Computernutzung. Identifizierung einer Schülertypologie und ihre Bedeutung für das Lernen. Zugl.: Kiel, Univ., Diss., 2003 u.d.T.: Senkbeil, Martin: Die Bedeutung interindividueller Unterschiede in der Computernutzung für die computervermittelten Wissenserwerb. Innsbruck: StudienVerl. (Forschungen zur Fachdidaktik, Bd. 5).

Szabone Varnai, A.; Reinhold, P. (2018): Experimentelle Praktika mit Erklärvideos optimieren. In: Qualitätsvoller Chemie- und Physikunterricht - normative und empirische Dimensionen. Jahrestagung in Regensburg 2017. Unter Mitarbeit von Christian Maurer. Regensburg: Universität Regensburg (38), S. 360–363.

Urban-Woldorn, H.; Hopf, M. (2012): Entwicklung eines Testinstruments zum Verständnis in der Elektrizitätslehre. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 18, S. 201–227. Online verfügbar unter http://archiv.ipn.uni-kiel.de/zfdn/pdf/18_Urbahn.pdf, zuletzt geprüft am 01.05.2019.

van der Meij, H. (2017): Reviews in instructional video. In: *Computers & Education* 114, S. 164–174. DOI: 10.1016/j.compedu.2017.07.002.

Wilhelm, T.; Schecker, H. (2018): Strategien für den Umgang mit Schülervorstellungen. In: Schecker, H., Wilhelm, T., Hopf, M. und Duit, R. (Hg.): Schülervorstellungen und Physikunterricht, Bd. 65. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 39–61.

Wolf, K. D. (2015a): Bildungspotenziale von Erklärvideos und Tutorials auf YouTube. audiovisuelle Enzyklopädie, adressatengerechtes Bildungsfernsehen, Lehr-Lern-Strategien oder partizipative Peer Education. In: *Merz - Medien + Erziehung* 59, 2015 (1), S. 30–36.

Wolf, K. D. (2015b): Video-Tutorials und Erklärvideos als Gegenstand, Methode und Ziel der Medien- und Filmbildung. In: Hartung-Griemberg, A., Ballhausen, T., Trültzsch-Wijnen, C., Barberi, A. und Kaiser-Müller, K. (Hg.): Filmbildung im Wandel. Wien: new academic press (Mediale Impulse, 2), S. 121–131.

# Mathematische Modellbildung in einer vergleichenden Untersuchung

**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**

Aufgrund der bekannten Schwierigkeiten von Schülerinnen und Schülern in der Mechanik der gymnasialen Oberstufe wird eine Intervention zur Dynamik mithilfe von mathematischer Modellbildung vorgestellt. Ziel ist es dabei, Schülervorstellungen zu den ersten beiden Newton'schen Gesetzen zu korrigieren. Dazu wird die gleichungsbasierte Modellbildungssoftware „Newton-II" eingesetzt, welche es den Lernenden ermöglicht, Bewegungen durch Eingabe von Kräften, der Masse und den Anfangsbedingungen eigenständig zu modellieren und mit realen Messdaten zu vergleichen.
Ältere Forschungen zu graphischen Modellbildungssystemen haben bereits gezeigt, dass mit mathematischer Modellbildung die Argumentationslogik der Newton`schen Mechanik vermittelt werden kann und dass der Unterricht mit der Software für die Lernenden interessanter gestaltet werden kann, da es möglich ist, auf reale Probleme aus dem Alltag der Lernenden zurückzugreifen. Der Effekt des Einsatzes der graphischen Modellbildungssoftware war allerdings geringer als erwartet, was teilweise mit der schlechten Bedienbarkeit der damals verfügbaren Programme erklärt wurde.
Hier soll untersucht werden, ob der Einsatz von aktueller gleichungsbasierter Modellbildungssoftware, welche einfacher zu bedienen ist, im Unterricht eine Verbesserung des Verständnisses der Newton'schen Mechanik herbeiführen kann. Dies wird durch eine Intervention an der Goethe-Universität Frankfurt im Prä-Post-Test-Design mit Treatment- und Vergleichsgruppe untersucht. Die Intervention und das Studiendesign werden hier vorgestellt.

## 1. Einleitung

In der gymnasialen Oberstufe wird ein großer Teil der Unterrichtszeit in Physik mit dem Erlernen der Kinematik und Dynamik verbracht. Nachdem jedoch in der Einführungsphase in die gymnasiale Oberstufe (E-Phase) ein ganzes Schuljahr die Grundsätze der Mechanik gelehrt werden, ist das Verständnis der Lernenden für die Newton'sche Mechanik trotzdem nicht gut ausgeprägt, obwohl – oder gerade weil – sie in der Lebenswelt der Lernenden verortet ist. Schüler(fehl)vorstellungen sind in diesem Teilgebiet der Physik besonders gut erforscht und es hat sich gezeigt, dass es Schülerinnen und Schülern schwerfällt, sich in die in ihrer Komplexität reduzierten und damit idealisierten Laborsituationen aus dem Schulunterricht hineinzudenken [1], da diese scheinbar nicht mit der Realität vereinbar sind. Die Aufgabe der Mechanik besteht für sie vielmehr darin, reale Abläufe zu beschreiben [2]). Es entsteht eine gefühlte Kluft zwischen Realität und Physikunterricht [3].

Studien, die das grundsätzliche Kraftverständnis von Schülerinnen und Schülern mit Hilfe des FCI-Tests untersucht haben, kamen zu unbefriedigenden Ergebnissen. Besonders schlecht fielen dabei die Subskalen „zweites Newton'sches Gesetz" und „Superposition" aus [4]. Die Probleme beim zweiten Newton'schen Gesetz sind dabei vielfältig[1]. So wird die Gleichung $F = m \cdot a$ als eine von vielen Kraftformeln verstanden und nicht als grundlegender Zusammenhang zwischen Kraft, Masse und Beschleunigung. Für Lernende gibt es also häufig keinen qualitativen Unterschied zwischen $F = m \cdot a$ und $F = m \cdot g$ oder $F = D \cdot x$. Auch wird die aus der Gleichung folgende Proportionalität zwischen Kraft und Beschleunigung selten akzeptiert und eher von einer Proportionalität zwischen Kraft und Geschwindigkeit ausgegangen. Oftmals sind Lernende auch nicht in der Lage, mit mehreren Kräften umzugehen. Für sie wird die Bedeutung von Begriffen wie „Resultierende", „Gesamtkraft" oder auch „Summe aller Kräfte" nicht deutlich. Interessante Anwendungen, bei denen deren Notwendigkeit zu Tage treten würde, sind aufgrund ihrer mathematischen Komplexität oft kein Inhalt des Schulunterrichts.

Das erste Newton'sche Gesetz wird häufig so verstanden, dass es nur gilt, wenn gar keine Kraft auf einen Körper wirkt. Dies ist für Schülerinnen und Schüler irrelevant, da es in ihrer Lebenswelt nicht vorkommt. Lediglich durch die Konstruktion von Ebenen, welche senkrecht auf dem Vektor der Gravitationskraft stehen, ist es möglich, in dieser Ebene Kräftefreiheit zu erzeugen. Diese Kräftefreiheit ist aber auch nur bei ruhenden Körper wirklich korrekt, da Reibungskräfte vorhanden sind, sobald sich ein Körper bewegt. Es

[1] Die nachfolgenden Ausführungen sind an [2] angelehnt.

fehlt die Behandlung von mehreren Kräften, deren Resultierende Null ist, so dass dann das erste Newton'sche Gesetz Anwendung findet und auch eine große Bedeutung für den Alltag hat. Auch diese Fälle sind für den Unterricht mathematisch aber oft zu komplex und werden deshalb nicht thematisiert. Im von Blum [5] postulierten Modellierungskreislauf (Abb. 1), welcher ursprünglich aus der Mathematikdidaktik stammt, entsteht die Schwierigkeit in der Unterrichtspraxis im Physikunterricht also häufig im mathematischen arbeiten. Dieses mathematische Problem im Physikunterricht lässt sich durch den Einsatz von geeigneter Software verringern.

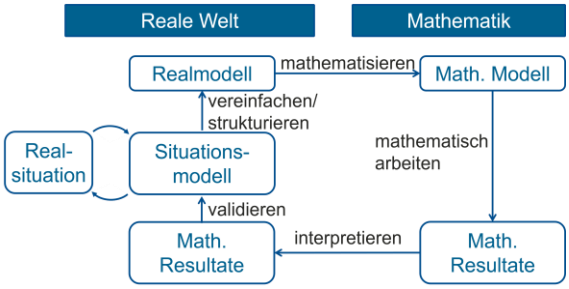



**Abb. 1**: Modellierungskreislauf angelehnt an [5]

Die Alltagserfahrungen der Schülerinnen und Schüler führen auch dazu, dass sie davon ausgehen, dass jeder Körper natürlicherweise (also ohne Krafteinwirkung) irgendwann zur Ruhe kommt und andererseits eine Kraft nötig ist, um eine Bewegung aufrecht zu erhalten. Hier ist darauf hinzuweisen, dass der Begriff „Trägheit" diese Fehlvorstellung verstärken kann.

Die oben beschriebenen Herausforderungen sind nicht neu und mittlerweile gut erforscht. Vor allem in den 1990er-Jahren wurde als Lösung der genannten Probleme der Einsatz von mathematischer Modellbildung (v. a. graphischer Modellbildungssysteme) postuliert und evaluiert. Die Gründe für den Einsatz der Software und die damit verbundenen Forschungsergebnisse sollen hier dargestellt werden.

## 2. Mathematische Modellbildung

Mathematische Modellbildung bezeichnet die „Konstruktion eines Netzwerks physikalischer Begriffe und Beziehungen, mit denen das Verhalten eines physikalischen Systems beschrieben und vorhergesagt werden kann" [6]. Als Modellbildungssysteme werden im Allgemeinen Computerprogramme bezeichnet, mit denen dieses Netzwerk physikalischer Begriffe erstellt und mathematisiert werden kann, sodass der Nutzer eine Lösung (bspw. der Newton'schen Bewegungsgleichung) erhält. Dieses Vorgehen, welches je nach gesetztem Schwerpunkt auch Systemdynamik oder „Methode der kleinen Schritte" genannt wird, ist in verschiedenen Teilgebieten der Physik einsetzbar, wobei sich die folgenden Ausführungen ausschließlich auf die Mechanik beziehen sollen. Hier ist es möglich, aus den wirkenden Kräften, der Masse des Objekts und den Anfangsbedingungen numerisch eine Lösung der Bewegungsgleichung zu erhalten (Abb. 2), also den Ort in Abhängigkeit der Zeit zu berechnen. Dabei nimmt die Software dem Nutzer einerseits die Mathematik zur Lösung der Differentialgleichungen ab, bietet aber auch die Möglichkeit der vertiefenden Beschäftigung mit der physikalischen Grundstruktur eines Bewegungsproblems.

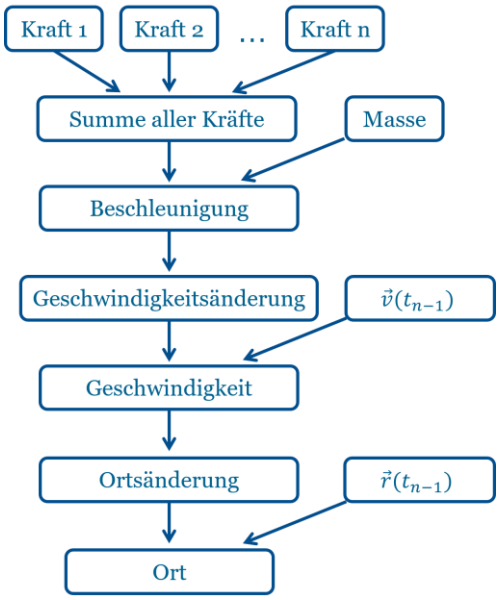



**Abb. 2**: Struktur der "Newton-Maschine"

Aus den zu einem Zeitpunkt wirkenden Kräften und der Masse kann direkt die Beschleunigung des Objekts bestimmt werden. Über diese Beschleunigung wird eine Geschwindigkeitsänderung im betrachteten Intervall $\Delta t$ ermittelt, mit der man bei Kenntnis der vorherigen Geschwindigkeit eine neue Geschwindigkeit ermitteln kann. Diese Geschwindigkeit ergibt nun eine Ortsänderung im Intervall $\Delta t$, mit der man bei Kenntnis des vorherigen Orts auf den neuen Ort schließen kann. Bei der graphischen Modellbildung muss diese sogenannte Newton-Maschine selbst implementiert werden, was durch die Nutzung verschiedener Variablen (Vorgabegrößen, Zustandsgrößen, Zwischengrößen [7]) möglich ist (Abb. 3).

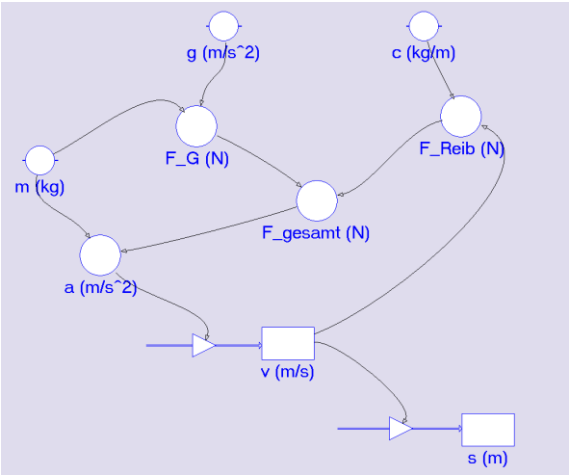



**Abb. 3**: Fallbewegung in graphischem Modellbildungssystem (hier Coach 6 Studio MV)

Bei dem gleichungsbasierten Modellbildungsprogramm „Newton-II“, das direkt für den Einsatz in der Mechanik konzipiert ist, ist die Newton-Maschine bereits implementiert und der Nutzer modelliert lediglich die Kräfte, Masse und Anfangsbedingungen, um ein Resultat zu erhalten (Abb. 4). Das Erstellen der kinematischen Zusammenhänge gehört also nicht mehr zu den Aufgaben des Nutzers. Damit dies nicht dazu führt, dass ziellos gespielt wird, muss die Vorgehensweise des Programms mit der Lerngruppe thematisiert werden und die zugrundeliegenden Zusammenhänge anhand der thematisierten Versuche immer wieder aufgegriffen werden.

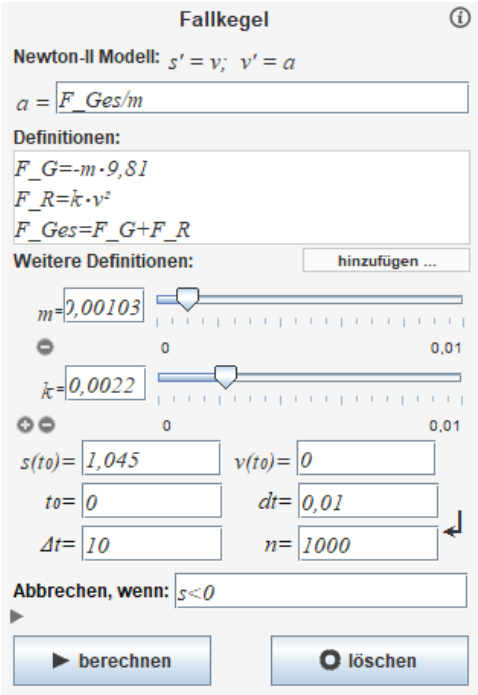



**Abb. 4**: Bedienfenster in „Newton-II“ als Beispiel für eine gleichungsbasierte Modellbildungssoftware.

Mathematische Modellbildung erscheint vielversprechend, da die Mathematik in den Hintergrund rückt, was die Betonung von physikalischen Strukturzusammenhängen erlaubt [8]. Durch die Struktur der Modellierung wird deutlich, dass zur Beschreibung einer Bewegung alle wirkenden Kräfte relevant sind und auch mehrere wirkende Kräfte zu einer konstanten Geschwindigkeit führen können. Demensprechend ist die Summe aller Kräfte entscheidend für die Beschleunigung.

Die Gleichung $F = m \cdot a$ wird als

$$\vec{a} = \frac{\sum \vec{F}_n}{m} = \frac{\vec{F}_{ges}}{m} \quad \{1\}$$

zum grundlegenden Zusammenhang einer Bewegung. Spezielle Bewegungsfunktionen wie

$$x = \frac{1}{2} a t^2 \quad \{2\},$$

die nur in gewissen Situation (hier: eindimensionale Bewegung, konstante Beschleunigung, $v_0 = 0$ und $x_0 = 0$) von Relevanz sind, werden dagegen bewusst nicht thematisiert.

Schülerinnen und Schüler, die mit der Modellbildungssoftware arbeiten, erhalten unmittelbare diagrammbasierte Rückmeldungen auf ihre modellierten Kräfte, wobei sich hier auch ein Vergleich mit Realdaten anbietet. Damit sind mehr Bewegungsphänomene im Unterricht behandelbar [8] und es können auch alltagsnahe und authentische Bewegungen beschrieben werden. Durch den Vergleich mit Realdaten wird der Bezug zum Experiment hergestellt und die wechselseitige Beziehung zwischen Modell und Experiment kann diskutiert werden.

Das Vorgehen kann beispielsweise aussehen wie in Abb. 5 dargestellt. Das Modell wird so lange evaluiert und angepasst, bis es ein zufriedenstellendes Resultat ergibt. Der Nutzer kann den Idealisierungs- und Abstraktionsgrad selbst wählen. Durch Veränderung des Realexperiments kann die Tragfähigkeit des erstellten Modells weiter auf die Probe gestellt werden.

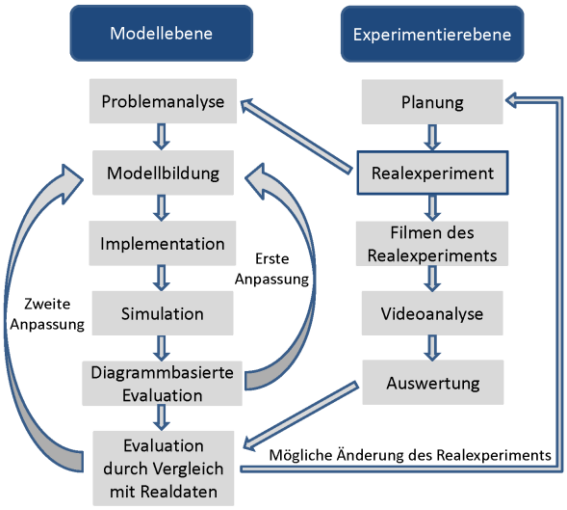



**Abb. 5**: Verknüpfung von Modellebene und Experimentierebene, erweitert nach [9]

In der hier vorgestellten Studie wird die Videoanalyse des Experiments nicht von den Lernenden durchgeführt. Es werden ihnen aber die Daten zur Verfügung gestellt, die sie als Vergleich zu ihrer Modellierung heranziehen können, um diese daraufhin anzupassen.

## 3. Aktueller Forschungsstand

Der Effekt mathematischer Modellbildung auf den Lernprozess von Schülerinnen und Schülern und Studierenden in der Mechanik wurde bereits mehrfach untersucht. Dabei konnte herausgearbeitet werden, dass computergestützte Modellbildung generell zur Ausbildung höherer Kompetenz im Bereich Kräfte und Bewegungen führen kann [10]. Es wurde auch festgestellt, dass die grundlegenden, durch die mathematische Modellbildung erlernten Argumentationsmuster auch in anderen Kontexten innerhalb der Mechanik ohne Modellbildung eingesetzt werden konnten [11]. Im systemischen Denken konnte der Einsatz von mathematischer Modellbildungssoftware nicht so überzeugen wie erhofft [11]. Deshalb wird von den

Autoren postuliert: „Modellbildungssysteme bewähren sich im gewählten Unterrichtskonzept als Methoden im engeren Bereich der Förderung physikalischen Verständnisses, nicht jedoch als Mittel zur Förderung übergreifender Kompetenzen“ [11].

Die verstärkte Auseinandersetzung mit den begrifflichen Grundlagen konnte in einer Studie mit Studienanfängern gezeigt werden [12, 13]. Der erhoffte Wechsel zwischen Experimentier- und Modellebene, der durch die Kombination von mathematischer Modellbildung und Realexperiment erreicht werden sollte, konnte nicht beobachtet werden [12, 13]. Ein Erklärungsansatz des Autors ist hier, dass die Lernenden beim Vergleich der Daten auf zwei verschiedene Bildschirme angewiesen waren, was zu einem oberflächlichen Vergleich führte. Auch konnte gezeigt werden, dass das strukturelle Wissen der Schülerinnen und Schüler durch mathematische Modellbildung zunehmen kann und dass sie nach der Nutzung einer mathematischen Modellbildungssoftware eher der Meinung sind, Physik habe etwas mit der Realität zu tun [3].

Die genannten Studien liegen bereits einige Jahre zurück, in denen sich einiges an der verfügbaren Software verändert hat [14]. Die aktuelle Software ist einfacher zu bedienen, was es den Schülerinnen und Schülern ermöglicht, selbstständig statt im Plenum mit der Software zu arbeiten. Zudem gibt es mittlerweile die Möglichkeit, Messdaten in einem Diagramm unmittelbar mit den berechneten Daten zu vergleichen. Die genannten Forschungen bezogen sich zudem auf graphische Modellbildungssoftware, weswegen es lohnend ist zu untersuchen, inwiefern gleichungsbasierte Modellbildungsprogramme wie „Newton-II“ zu einem besseren Verständnis der Newton’schen Mechanik beitragen können.

## 4. Forschungsfragen

Aus den bisherigen Forschungen und den postulierten Vorteilen der mathematischen Modellbildung leitet sich zunächst eine erste Forschungsfrage ab:

- Kann der Einsatz einer aktuellen Modellbildungssoftware zu einem besseren Verständnis der Newton’schen Mechanik führen?

Dabei soll herausgefunden werden, ob die typischen Fehlvorstellungen zu den ersten beiden Newton’schen Gesetzen durch den Einsatz von Modellbildungssoftware reduziert werden können. Dazu werden Experimente ausgewählt und untersucht, die zu einer kritischen Auseinandersetzung mit den oben beschriebenen Alltagsvorstellungen führen sollen. Zudem steht weiterhin die Frage im Raum, ob es der Einsatz mathematischer Modellbildungssoftware ermöglicht, eine stärkere Kopplung von Theorie (Modell) und Realität (Experiment) zu schaffen. Von Interesse sind die damit einhergehenden Vorstellungen zum Erkenntnisgewinnungsprozess in der Physik. Weiterhin ist zu untersuchen, ob Schülerinnen und Schüler die Aufgabe der Mechanik, reale Abläufe zu beschreiben, durch den Einsatz mathematischer Modellbildungssoftware eher erfüllt sehen und ob damit auch ein anderes Interesse einhergeht. Daraus ergibt sich die Forschungsfrage:

- Führt der Einsatz von mathematischer Modellbildungssoftware zu einem anderen Wissenschaftsverständnis oder Interesse an der Physik?

Zuletzt ist es wichtig, ob die Software auch aus Schülersicht benutzerfreundlich und einfach zu bedienen ist, sodass die Einarbeitungszeit in die Software die ohnehin knappe Unterrichtszeit nicht zu sehr verringert:

- Welche Schwierigkeiten treten bei der eigenständigen Nutzung der Programme auf?

Die Einarbeitung in eine neue Software ist immer mit einem gewissen Aufwand verbunden. Dieser Aufwand muss aber in einem angemessenen Verhältnis zum Erfolg der Software stehen. Nur wenn dies der Fall ist, ist es zweckmäßig, die Software im Schulunterricht einzusetzen. Um diesen Fragen nachzugehen wurde eine Studie entwickelt, in der Schülerinnen und Schüler mathematische Modellbildung mit der Software „Newton-II“ durchführen.

## 5. Forschungsdesign

Aufgrund der vielversprechenden Eigenschaften der mathematischen Modellbildung und einem Mangel an aktuellen Forschungsergebnissen wird eine Interventionsstudie durchgeführt, die den Einfluss der mathematischen Modellbildung auf den Lernerfolg der Newton‘schen Mechanik untersuchen soll. Dazu wurde eine Intervention entwickelt, die Lernende aus der E-Phase (11. Klasse nach G9 bzw. 10. Klasse nach G8) aus hessischen Gymnasien im Schülerlabor der Goethe-Universität in Frankfurt durchführen. Die Schülerinnen und Schüler haben im Schulunterricht zuvor bereits die Newton‘schen Gesetze kennen gelernt. Es geht also nicht um eine Einführung, sondern um eine Vertiefung dieser und eine gezielte Verbesserung der Schülervorstellungen.

Vor der Intervention wird ein Vortest in der Schule durchgeführt, um den Leistungsstand der Lernenden zu erfassen, und die Klasse dann geschlossen und randomisiert zur Treatment- oder Kontrollgruppe zugeordnet. Nach der Intervention wird unmittelbar im Anschluss der Nachtest durchgeführt, sodass der Leistungszuwachs im Vortest in beiden Gruppen erfasst wird, um diesen miteinander vergleichen zu können (Abb. 6).

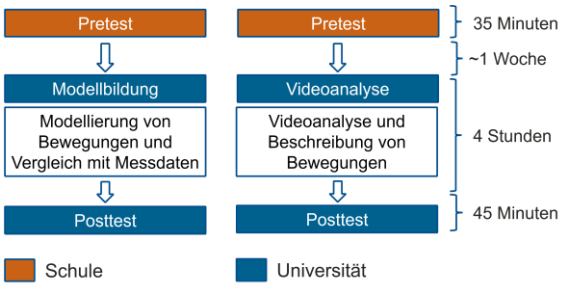



**Abb. 6**: Ablauf der Interventionsstudie

In der Intervention werden dann vier verschiedene Versuche durchgeführt und die Abläufe mit der Software Newton-II modelliert. Als Vergleich zur Treatmentgruppe dient eine Gruppe, die dieselben Versuche mit der Videoanalyse untersucht. Dabei werden alle weiteren Variablen für beide Gruppen möglichst identisch gehalten. Die Videoanalyse steht dabei repräsentativ für ein messendes Verfahren, bei dem die Argumentationslogik andersherum ist als bei der Modellbildung (Abb. 7): Vom gemessenen Ort wird auf die Kräfte geschlossen.

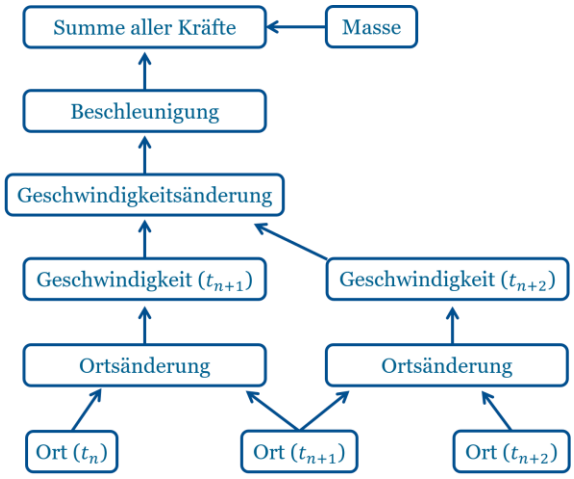



**Abb. 7**: Struktur der Videoanalyse als messendes Vorgehen

Bei der mathematischen Modellbildung wird also ausgehend von Kräften argumentiert, durch die dann schrittweise der Ort des sich bewegenden Objekts erschlossen wird, während bei der Videoanalyse der Ort gemessen und auf die Kräfte zurückgeschlossen wird. Zudem ist die Videoanalyse und die dazu verwendete Software für die Schülerinnen und Schüler ebenso neu, sodass Motivationseffekte durch den Einsatz von Computern und neuartiger Software gleichermaßen auftreten. Der Lernerfolg soll im Prä-Post-Design gemessen und zwischen beiden Gruppen verglichen werden. Dabei werden Items zum Fachwissen, Interesse, Cognitive Load und Wissenschaftsverständnis erhoben.

Das Programm „Newton-II“ wurde ausgewählt, da es leicht und intuitiv zu bedienen ist. Dies ist wichtig, da die Lernenden das Programm selbstständig bedienen sollen, ohne dass eine lange Einarbeitungszeit nötig ist. Als „One-Window-Application“ [15] ist es übersichtlich gehalten und alle wichtigen Funktionen sind direkt in einem Fenster sichtbar. Dabei kann auf der linken Seite die Modellierung der Kräfte, der Anfangs- und Abbruchbedingungen, der Masse etc. erfolgen, während im rechten Teil des Fensters die Ergebnisse der Modellierung graphisch dargestellt werden. Dabei wird sowohl der Forderung nach räumlicher als auch zeitlicher Kontiguität nachgekommen.

Der Auswahl der Versuche erfolgte so, dass diese mit beiden Methoden gleichermaßen zugänglich sind und zudem die Aussagen der ersten beiden Newton‘schen Gesetze dabei in besonderem Maße betonen. Dazu gehören eine Fallbewegung mit Luftreibung, bei der die Summe aller Kräfte gegen Null konvergiert. Die Beschleunigung ist in Abb. 8 dargestellt. Dabei sind die roten Punkte die modellierten Werte und die grünen Punkte die gemessenen Werte.

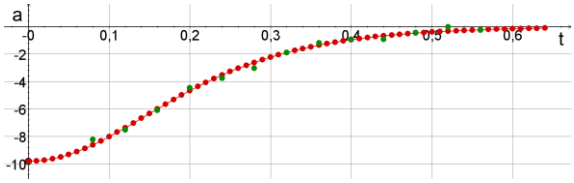



**Abb. 8**: Gemessene und modellierte Beschleunigung (hier negativ, da positive Koordinatenrichtung nach oben gewählt) bei der Fallbewegung, Modell in rot, Messdaten in grün.

Ein abschnittsweise beschleunigter Wagen, bei dem die Zugkraft nach einer gewissen Zeit durch das Aufkommen des Zuggewichts auf dem Boden auf null zurückgeht, betont die Notwendigkeit einer Kraft für die Geschwindigkeitsänderung eines Objekts (Abb. 9). Es wird dabei über die Güte einer Modellierung und die Notwendigkeit der Beachtung von Reibungseinflüssen diskutiert.

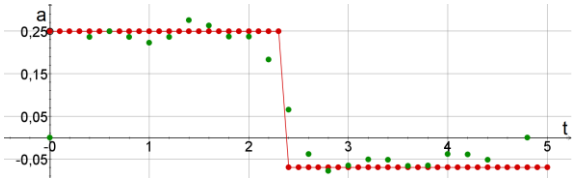



**Abb. 9**: Gemessene und modellierte Beschleunigung beim abschnittsweise beschleunigten Wagen, Modell in rot, Messdaten in grün.

Ein schiefer Wurf thematisiert in erster Linie die Fehlvorstellung, dass eine Kraft in Bewegungsrichtung nötig sei, um eine Bewegung aufrecht zu erhalten. Zudem wird der Richtungscharakter von Kräften und Beschleunigungen thematisiert. Eine Stahlkugel wird in x-Richtung dabei nicht erkennbar beschleunigt (Abb. 10), eine Kugel aus Styropor hingegen schon (Abb. 11).

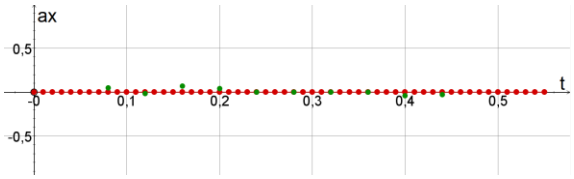



**Abb. 10**: Gemessene und modellierte Beschleunigung in horizontale Richtung beim schiefen Wurf einer Stahlkugel, Modell in rot, Messdaten in grün.

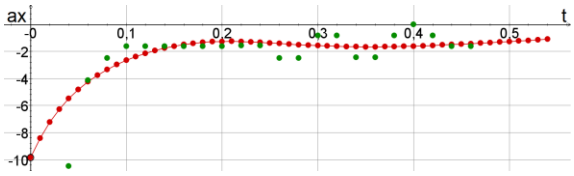



**Abb. 11**: Gemessene und modellierte Beschleunigung (negativ) in horizontale Richtung beim schiefen Wurf einer Styroporkugel, Modell in rot, Messdaten in grün.

Den Abschluss bildet eine Kreisbewegung, bei der zunächst thematisiert wird, dass eine Kraft nach innen zeigt, was auch zu einer nach innen gerichteten Beschleunigung führt. Der Elektromagnet, der die Zentripetalkraft in diesem Beispiel ausübt, wird im Laufe der Bewegung ausgeschaltet, so dass in der Tischebene nur noch Reibungskräfte auf die Kugel wirken (Abb. 12)

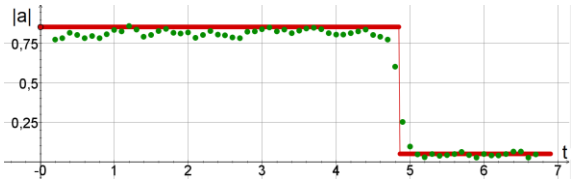



**Abb. 12**: Gemessener und modellierter Betrag der Beschleunigung bei der Kreisbewegung mit Abschalten des Elektromagneten, Modell in rot, Messdaten in grün.

Die Intervention stellt also eine vertiefte Auseinandersetzung mit den ersten beiden Newton'schen Gesetzen dar, wobei bei beiden Gruppen der Zusammenhang {1} im Zentrum steht und sich die Intervention in der Art der Software unterscheidet, was zu unterschiedlichen Gesprächen und Denkprozessen führt. Es soll damit ermittelt werden, ob durch die Modellierung von den vorgestellten Bewegungen eine intensivere Auseinandersetzung mit den wirkenden Kräften und damit der Logik der Newton`schen Mechanik zu erreichen ist, welche dann ein besseres Verständnis dieser ermöglicht, oder ob die Videoanalyse als messendes Verfahren mit mehr Möglichkeiten an visuellen Repräsentationen zu einem besseren Verständnis der Newton'schen Mechanik führt.

## 6. (Prä-)Pilotierung

Sowohl die Intervention als auch das dazugehörige Testinstrument wurden zunächst separat präpilotiert. Bei der Intervention wurde darauf geachtet, dass das Niveau der Aufgaben und die Klarheit der Fragestellungen passend zur Zielgruppe sind. Dazu wurde diese mehrfach mit Klassen durchgeführt und die erhaltenen Rückmeldungen berücksichtigt und eingearbeitet.

Um den Effekt der Intervention in den beiden Gruppen messen zu können, wurde ebenfalls ein für beide Gruppen faires Testinstrument aus bestehenden Tests entwickelt und durch eigene Items ergänzt. Dieses Testinstrument wird ebenfalls mit Studierenden und Schülerinnen und Schülern präpilotiert. Dadurch soll die Reliabilität einzelner Subskalen und des gesamten Tests sichergestellt werden. Nach Abschluss der jeweiligen Präpilotierung wird die Intervention in Kombination mit dem Einsatz des Testinstruments vorher und nachher pilotiert.

## 7. Ausblick

Nach der Pilotierung der Intervention im ersten Halbjahr 2019 werden auf Basis der erhaltenen Ergebnisse letzte Änderungen an der Intervention und dem Testinstrument vorgenommen. Daraufhin wird die Erhebung der Daten beginnen, sobald im nächsten Schuljahr 2019/20 die ersten Klassen die Newton'schen Gesetze thematisiert haben, was erfahrungsgemäß ab Ende des ersten Schulhalbjahres der Fall ist.

## 8. Literatur

[1] Schecker, H. (1985). Das Schülervorverständnis zur Mechanik. Eine Untersuchung in der Sekundarstufe II unter Einbeziehung historischer und wissenschaftstheoretischer Aspekte, Dissertation. Universität Bremen.

[2] 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.

[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, Logos-Verlag, Berlin.

[4] Wilhelm, T. (2005). Verständnis der newtonschen Mechanik bei bayerischen Elftklässlern – Ergebnisse beim Test „Force Concept Inventory" in herkömmlichen Klassen und im Würzburger Kinematik-/Dynamikunterricht. In: Physik und Didaktik in Schule und Hochschule. PhyDid 2/4 (2005) S. 47-56.

[5] Blum, W. (2010). Modellierungsaufgaben im Mathematikunterricht. Herausforderung für Schüler und Lehrer. Praxis der Mathematik, 34(52).

[6] Schecker, H. (1998). Physik-Modellieren. Grafikorientierte Modellbildungssysteme im Physikunterricht, Klett-Verlag, Stuttgart.

[7] Bossel, H. (1992): Modellbildung und Simulation. Konzepte, Verfahren und Modelle zum

Verhalten dynamischer Systeme, Vieweg-Verlag, Braunschweig, Wiesbaden.

[8] Bethge, T. & Schecker, H. (1990). Software-Werkzeuge zur Modellbildung im Physikunterricht, Konzepte und Erfahrungen. Institut für Didaktik der Physik, Bremen.

[9] Berger, V. (2006). Mit dem Computer unterrichten. In: Mikelskis, F. Physikdidaktik – Praxishandbuch für die Sekundarstufe I und II. Cornelsen-Verlag, Berlin, S. 142.

[10] Schecker, H., Bethge, T. & Niedderer, H. (1992). Ergebnisse der wissenschaftlichen Begleitung des Modellversuchs CPU – Abschlußbericht Band IV, Institut für Didaktik der Physik, Bremen.

[11] Schecker, H., Klieme, E., Niedderer, H., Ebach, J., Gerdes, J. (1999). Physiklernen mit Modellbildungssystemen. Förderung physikalischer Kompetenz und systemischen Denkens durch computergestützte Modellbildungssysteme, Abschlussbericht zum DFG-Projekt, Institut für Didaktik der Physik an der Universität Bremen und Max-Planck-Institut für Bildungsforschung Berlin.

[12] Sander, F. (2000). Verbindung von Theorie und Experiment im physikalischen Praktikum. Eine empirische Untersuchung zum handlungsbezogenen Vorverständnis und dem Einsatz grafikorientierter Modellbildung im Praktikum. Logos-Verlag (Studien zum Physiklernen, Band 13), Berlin.

[13] Sander, F., Schecker, H. & Niedderer, H. (2001). Wirkungen des Einsatzes grafikorientierter Modellbildung im physikalischen Praktikum – In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften 7.

[14] Lück, S. & Wilhelm, T. (2011). Modellierung physikalischer Vorgänge am Computer. Modellbildungssysteme als Unterstützung zum Verständnis physikalischer Strukturen. In: Unterricht Physik 22, Heft 122, 2011, S. 26 – 31.

[15] Wilhelm, T. (2018). Zur Geschichte der mathematischen Modellbildung im Physikunterricht. In: Plus Lucis 04/2018, S. 4 – 10.

# Forum Studienreform

**Stefan Brackertz*, Christos Christou*, Niklas Donocik[†], Amr El Miniawy[¶], Timo Gaßen*, Jan Geisel-Brinck[+], Johannes Hampp[%], Daniela Kern-Michler[#], Sven Kristkeitz*, Manuel Längle[‡], Martina Malz[$], Martin Scheuch[~], Andreas Schulz[°], Arian Stefanic*, Hannah Weck[∞]**

*Universität zu Köln, Fachschaft Physik, Zülpicher Straße 77, 50937 Köln
[†]TU Braunschweig, Fachschaft EITP, Katharinenstraße 1, 38106 Braunschweig
[¶]Humboldt-Universität zu Berlin, Fachschaftsinitiative Physik, Newtonstraße 15, 12489 Berlin
[+]Universität Hamburg, Fachschaftsrat Physik, Jungiusstraße 9, 20355 Hamburg
[%]Justus-Liebig-Universität Gießen (JLU), Fachschaft Physik, Zusammenkunft aller deutschsprachigen Physik-Fachschaften (ZaPF), Heinrich-Buff-Ring 14, 35392 Gießen
[#]Universität Frankfurt, Fachschaft Physik & Biophysik (ehem.), Max-von-Laue-Straße 1, 60438 Frankfurt / Main
[‡]Universität Wien, Studierendenvertretung Physik, Strudlhofgasse 4, 1090 Wien
[$]Universität Wien, Physik, Strudlhofgasse 4, 1090 Wien
[~]Freie Universität Berlin, Fachschaftsinitiative Physik (ehem.), Ringstr. 104, 12203 Berlin
[°]Universität zu Köln, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät, Sudetenstraße 18, 53119 Bonn
[∞]Universität zu Köln, Institut für Physikdidaktik, Gronewaldstraße 2, 50931 Köln
sbracker@smail.uni-koeln.de, christoschristou@ymail.com, n.donocik@tu-bs.de, elminiaa@physik.hu-berlin.de, tgassen@smail.uni-koeln.de, jgeisel-@physnet.uni-hamburg.de, johannes.hampp@zeu.uni-giessen.de, daniela@fachschaft.physik.uni-frankfurt.de, phoenix@hahnshof.de, manuel.laengle@univie.ac.at, martina.malz@nawi.at, mscheuch@posteo.de, Andreas.Schulz@uni-koeln.de, arianunikoeln@aol.de, hannah.weck@uni-koeln.de

**Kurzfassung**

Das Studienreform-Forum ist eine Initiative von Physik-Studierenden aus verschiedenen Teilen des deutschsprachigen Raumes, das erstmalig im Rahmen der DPG-Frühjahrstagung 2019 des Fachverbandes Didaktiken in Aachen stattfand und hier dokumentiert wird.

## 1. Das Forum Studienreform

### 1.1. Zur Zielsetzung

Obwohl die Weiterentwicklung von Physik-Studiengängen eine Daueraufgabe ist, nimmt die hochschuldidaktische Forschung bislang vor allem einzelne Veranstaltungen, nicht aber ganze Studiengänge in den Blick. Angesichts von mindestens 50 Jahren Reform von Physikstudiengängen ist die hochschuldidaktische Praxis deshalb der wissenschaftlichen Debatte weit voraus. Die Weiterentwicklung der Studiengänge geschieht an den meisten Hochschulen sehr sorgfältig und mit teils Jahrzehnte langem Engagement einzelner Personen; dennoch sind die Erfahrungen bisher kaum hochschulübergreifend zugänglich.

Angesichts dessen verfolgt das Forum, das erstmalig im Rahmen der diesjährigen DPG-Frühjahrstagung stattfand, drei Ziele:

Erstens sollen die Überlegungen und Erfahrungen aus der Praxis samt der dahinter stehenden Debatten für die systematische wissenschaftliche Debatte erschlossen und zugleich ein Austausch unter den Praktiker*innen der Studiengangsentwicklung gefördert werden. Zweitens sollen die Grundkontroversen der Studiengangsentwicklung systematisiert und pointiert diskutiert werden. Drittens sollen mittelfristig hochschuldidaktische Forschungsprojekte im Bereich der Konzeption von Studiengängen angestoßen werden.

### 1.2. Zur diesjährigen Fragestellung

Sind Studierende nicht vollkommen überfordert, wenn sie ohne Grundlagenkenntnisse einer Frage nachgehen, sodass sie sich verzetteln, verzweifeln und letztlich das Studium abbrechen? Ist das nicht ein sehr paternalistischer Ansatz? Ist es utopisch, auf intrinsische Motivation zu setzen, wenn vor allem auf Vorrat gelernt wird? Inwiefern können Studierende in die Auswahl von Studieninhalten einbezogen werden? Beginnt das Bachelor-Studium mit einem Intensiv-Kurs *Mathe für Physiker*innen I – X* oder wird die Mathematik Stück für Stück in die Physik-Vorlesungen eingeflochten? Was sind die Konsequenzen für Spezialisierung und Verschulung? Die Frage „*Auf Vorrat lernen oder Fragen nachgehen?*“ stellt sich bei der Weiterentwicklung von Studiengängen auf verschiedenen Ebenen immer wieder neu und wird in verschiedenen Studiengängen sehr unterschiedlich beantwortet. Da alle damit konfrontiert sind, sie vielerorts unter den Nägeln brennt und sie gleichermaßen praktisch wie philosophisch ist, haben wir sie als Leitfrage für das Studienreform-Forum gewählt.

### 1.3. **Beiträge, Verlauf, Dokumentation**

Schon vor der Tagung haben wir dazu aufgerufen, Essays und Poster einzusenden. Uns haben daraufhin viele Anfragen erreicht von Kolleg*innen und Kommiliton*innen, die gerne beitragen wollten, aber nur in Zusammenarbeit mit den Initiator*innen des Studienreform-Forums. Wir sind diesem Wunsch nachgekommen und haben uns daran beteiligt, die Überlegungen in Form zu bringen, sodass die Initiator*innen des Forums bei vielen Beiträgen als Ko-Autor*innen in Erscheinung treten. Insgesamt sind so sieben Essays entstanden, die sich auf verschiedenste Weise mit der Leitfrage des Studienreform-Forums auseinander setzen, von beißender Satire der Bologna-Reform und kurzen persönlichen Statements über einen konkreten Fahrplan für die nächste Reakkreditierung bis zu Anregungen für die Konzeption bestimmter Veranstaltungen. Außerdem wurden vier Poster mit Dokumentationen abgeschlossener, laufender oder angedachter konkreter Studienreform-Vorhaben eingereicht. Sämtliche Poster und Essays wurden auf der Tagung präsentiert. Zudem fand dort eine Podiumsdiskussion statt mit dem Ziel, die grundsätzlichen Überlegungen in den Essays mit den praktischen Vorschlägen und Erfahrungen auf den Postern zu konfrontieren sowie Konsense und Dissense herauszuarbeiten.

Im Folgenden dokumentieren wir entlang der eingereichten Essays zu den Themenfeldern „Studium zwischen Persönlichkeitsentwicklung und gesellschaftlichen Anforderungen“, „Zur Krise der Studienreform“ und „Hands on: Studienreform“ die Ergebnisse des Forums und enden mit einer Dokumentation der Podiumsdiskussion. Auch wenn die Beiträge unabhängig voneinander entstanden sind, gibt es unter ihnen zahlreiche Bezüge, die wir für diese Dokumentation in Fußnoten gekennzeichnet haben. Alle Essays in Originalformatierung sowie weiteres Material zu einigen der Essays finden sich als einzelne Dateien im Supplementary Material.

Darüber hinaus finden sich im Supplementary Material die eingereichten Poster:

- *7 Semester ohne Klausurversuchsbeschränkungen – 7 Semester entwicklungs- statt absicherungsorientiert studieren*

  An vielen Hochschulen sind Prüfungen „endgültig nicht bestanden“ mit weitreichenden Folgen, wenn Studierende sie typischerweise dreimal nicht bestanden haben. Die Forderung nach Abschaffung dieser Restriktion trifft oftmals auf Bedenken, dass dies unerwünschte Nebenwirkungen haben könnte, obwohl zahlreiche Hochschulen solch eine Regelung nie hatten. Nach langer Debatte wurde solch eine Restriktion an der Uni Köln abgeschafft und es liegen inzwischen Erfahrungen damit vor, die erstmals ansatzweise einen vorher-nachher-Vergleich ermöglichen. Das Poster dokumentiert die Debatte und die Auswirkungen der Änderung.
- *Was Besseres als Klausurzulassungen*

  Geboren aus einer Kontroverse um Sinn und Unsinn von Klausurzulassungen entstand der Anspruch, den Übungsbetrieb schrittweise so weiter zu entwickeln, dass Studierende sich auch ohne Zwangsmaßnahmen daran beteiligen. In diesem Zusammenhang wurden u.a. die typischen hochschuldidaktischen Knackpunkte des Übungsbetriebs analysiert, zahlreiche Verbesserungsideen, die seit den 1980er Jahren entstanden und erprobt wurden gesammelt und systematisch festgehalten sowie zahlreiche Weiterentwicklungsmöglichkeiten entwickelt und erprobt. Ein Zwischenstandsbericht.
- *Mathematische Methoden und Theoretische Physik fürs Lehramt – nur fürs Lehramt?*

  „Abgespeckte-“ und „Methoden-“Vorlesungen sind spätestens seit der Bologna-Reform weit verbreitet, obwohl sie prinzipiell hochschuldidaktisch problematisch sind, wie auch mehreren Essays des Forums herausarbeiten. Umso erstaunlicher, dass es fürs Lehramt reduzierte Veranstaltungen gibt, die offenbar besser funktionieren als die „großen“ Veranstaltungen. Das Poster arbeitet heraus, was diese Veranstaltungen ausmacht und welche Schlussfolgerungen sich daraus über diese konkreten Veranstaltungen hinaus ziehen lassen.
- *Übungsaufgaben versus Essays*

  Ein Hauptziel der Bearbeitung von Übungsaufgaben ist das Erarbeiten eines begründeten Verständnisses grundsätzlicher Zusammenhänge der Physik. Inwiefern die verbreiteten Rechenaufgaben dazu tatsächlich beitragen oder ob sie nicht vor allem Rechenfertigkeiten trainieren und zu rein assoziativem Formeln-puzzlen erziehen, wird immer wieder kontrovers diskutiert. In Großbritannien spielt im Gegensatz zu Deutschland die Form des Essays eine große Rolle im Physikstudium, die die Kompetenz, begründete Zusammenhänge zu erarbeiten und darzustellen explizit adressiert. Das Poster vergleicht beide Aufgabenformen.

## 2. **Studium zwischen Persönlichkeitsentwicklung und gesellschaftlichen Anforderungen**

Womit ist die Debatte über Studienreform zu beginnen? Zwei der eingereichten Beiträge fordern heraus, sich nicht von Anfang an mit Sachzwängen und bestenfalls fachlichen Systematiken zu befassen, sondern sich zunächst über den Bildungsgehalt der Physik und eines Studiums insgesamt Rechenschaft abzulegen.

Wir beginnen mit einem biographischen Beitrag. Darauf folgt – unabhängig entstanden, aber durchaus als Schlussfolgerung lesbar – ein Plädoyer dafür, den persönlichen und gesellschaftlichen Wert eines Studiums nicht (nur) am Studienabschluss zu bemes-

sen – eine kleine Liebeserklärung an die Studierenden, die mehr oder weniger planvoll und bewusst, aber jedenfalls radikal mit der Logik der Credit Points und Abschlüsse brechen, indem sie ernsthaft Physik studieren und dann die Uni ohne Abschluss verlasen.

### 2.1. **Sind Fragen besser als Wissen**

*Ein Beitrag von Johannes Hempp*

Wir fragen uns ständig laut: Was können wir tun, um das Studium besser zu machen? Weniger verschult! Weniger Bologna! Mobiler! Internationaler!

Natürlich gibt es auf diese Frage nur eine richtige Lösung: Wir müssen das Diplom wieder einführen, den Studierenden Scheuklappen aufsetzen, um sie vor Ablenkungen wie „soft skills“, „überfachlichen Kompetenzen“ und „programmieren lernen“ zu schützen, damit sie in stillen Kleinstarbeitsgruppen binnen-differenziert entlang von polymorphen Lernplänen mittels Coaching zur Selbstständigkeit finden, ausgebildet mit dem Wissen um die neusten Methoden der Physik und in den Details der letzten 2000 Jahre Physik-Geschichte.

Denn nicht weniger als das ganze Wissen der Physik gepaart mit den Anforderungen der heutigen (Wissenschafts-) Gesellschaft vollendet das Studium zum Physiker. Und das in nur 3 bis 5 Jahren, je nachdem was früher kommt: „burn out“, „fed up“ oder „empty pocket“.

#### 2.1.1. **Wir Physiker**

Wir wissen alles besser.

Wir, die schon das Studium abgeschlossen haben. Damals, als wir noch jung waren. Letztes Jahr also – das ist lange her.

Natürlich vergessen wir bei diesem Diskurs nichts, gar nichts und niemanden, denn wir sind ja Physiker. Wir können uns alles beibringen und sind universell. Wenn wir wollen, können wir natürlich auch Sozialwissenschaften. Wollen wir aber nicht.

Wir könnten mal die Studierenden fragen: Was ist eigentlich für euch wichtig? Was würdet ihr ändern? Was möchtet ihr denn lernen?

Aber weshalb sollten die es besser wissen? Und selbst wenn wir das tun, wer hört denn schon zu? Die Antworten verschwinden in Dateien in Ordner-Strukturen. Ist ja auch nicht nötig, dass allzu ernst zu nehmen. Das Qualitätsmanagementsystem der systemakkreditierten Hochschule erzeugt mittels der Magie der Bürokratie ja ein akzeptables Studium.

#### 2.1.2. **Wir fragen uns selbst**

Also fragen wir uns doch einfach selbst. Wir, die Studierenden. Wir hören uns selbst einmal zu.

##### 2.1.2.1. **Wir sind vorbereitet**

Wir kommen aus der Schule.

Wir sind vorbereitet mit allen Werkzeugen, um ein, nein sogar jedes Studium zu meistern. Denn wir haben ja ein allgemeinbildendes Abitur in Deutschland. Meistens. Und sowohl Lehrpläne als auch Qualität unterscheiden sich kaum in den Bundesländern. Und trotz dieser idealen Bedingungen vermasseln es die Lehrer in der Schule, uns richtig vorzubereiten:

Wir mussten langsam tun, wegen der anderen Schülern; es sollten ja möglichst viele bestehen. Außerdem haben Lehrer manchmal auch keine Lust. Oder keine Faszination an der Mathematik oder den Naturwissenschaften. Einige unserer Kommilitonen hatten aber Glück, denn ihre Lehrer waren faszinierend, motivierend und haben in speziellen Kursen zusätzlichen Unterricht für Interessierte gegeben.

Und jetzt sitzen wir aber alle hier, Reihe um Reihe, in der ersten Physikvorlesung des Studiums. Hier sind wir alle gleich. Unvorbereitet auf die Anforderungen des anderen Systems, die neue Sprache und Art, Physik zu betrachten und zu behandeln. Wir werden ins kalte Wasser geworfen, denn die Schule konnte uns nicht klarmachen, wie es hier laufen wird. Ein paar hatten Glück, die haben von dem „freiwilligen Vorbereitungskurs“ in der vorlesungsfreien Zeit des vorigen Semesters erfahren. Da sollte eigentlich jeder hin, nur weiß das nicht jeder. Trotzdem wird es vorausgesetzt in der Vorlesung. Schon ein wenig doof.

Wir fragen uns zum ersten Mal, was wir alles jetzt bereits wissen sollten und noch nicht wissen.

##### 2.1.2.2. **Wir lernen den Anfang kennen**

Nach unseren ersten Vorlesungen haben wir die Ehre erlangt, in die Fußstapfen der ganz Großen (und Erhabenen) zu treten.

Die Türe öffnet sich. Ein Lichtstrahl trifft uns hell in die Augen. Der Praktikumsbetreuer tritt ein. Wie schon Galileo Galilei setzen wir uns vor den Computer und zählen mit zusätzlicher Stoppuhr und einem Papier die Anzahl und Dauer mehrerer hundert Pendelschwingungen ab und erfahren daraus etwas über die Schwerkraft und das Fadenpendel. Noch schnell einige weitere Dutzend vorbereitete Entdeckungen gemacht und auf Papier gebracht. Ein wenig korrigiert um die Anmerkungen, die die Praktikumsbetreuung zu geben weiß über unseren wissenschaftlichen Arbeitsstil und die Dokumentation als Protokoll. Und schon sind wir fertig mit den ersten Praktika. Es war realitätsnah, wie bei den Großen.

Wir hatten eigentlich gehofft, selbst einen Versuch planen zu dürfen, aber so funktioniert wohl die Physik heute. Versuchsaufbauten sind immer da und Experimente stehen bereits fest. Wir machen uns dazu eine gedankliche Notiz.

Jetzt wissen wir schon viel mehr. Außer, warum wir das wissen wollen und alle sagen, dass wir das auch wissen sollten – das wissen wir noch nicht. Und warum schwärmen uns alle eigentlich immer von der Wichtigkeit des harmonischen Oszillators vor?

2.1.2.3. **Wir folgen dem Weg**

Jetzt sind wir schon ein wenig hier.

Wir wissen uns durch den Dschungel zu navigieren. Den Studienverlaufsplan, dem wir gewissenhaft die ersten 5 Semester gefolgt sind, haben wir neben uns gelegt. Wir wissen mittlerweile, dass der ja mehr ein „netter Vorschlag“ ist. War ja nett gemeint, dieser Plan. Nur leider haben sich die Lehrenden da nicht so richtig daran gehalten. „Das macht ihr dann in der nächsten Veranstaltung…“ löst bei uns längst keine Euphorie mehr nach in Aussicht gestelltem Wissen aus. Längst sind wir auf kalten Angstschweiß konditioniert, denn wir wissen ja, dass der Satz ausschließlich mit „…wie ihr das in der letzten Veranstaltung gemacht habt“ endet. Wenn sich die Lehrenden doch nur etwas mehr absprechen würden. Oder einfach der gleiche Dozent aufeinander aufbauende Veranstaltungen halten würde.

Aber wir sind erfahrene Studierende, wir wissen uns zu helfen. Mittels der Standard-Werke von W. und Y. holen wir schnell die Lücken auf. Die sind echt gut. Warum kann das der Dozent nicht mal so erklären wie auf Wikipedia oder Youtube?

Doch uns steht bereits der nächste Graus in Aussicht: Eine Pflichtvorlesung. Und ein Lehrender, der zum Lehren in der Veranstaltung verpflichtet wurde. Die Folien werden an die Tafel geworfen, das Whiteboard gleichzeitig von unten nach oben beschriftet. Dann bekommen wir das Skript der vorangegangenen Vorlesungen. Na toll.

„Ihr studiert ja freiwillig“, haben sie gesagt. Von „freiem Willen“ spüren wir bei dem Enthusiasmus und der didaktischen Unfähigkeit des Dozierenden, mit unserem 50-köpfigen ungaren Halbwissen im Auditorium umzugehen, reichlich wenig. Das haben wir uns anders vorgestellt.

Aber wir wissen ja von davor, wie wir diese prekäre Situation umgehen können: Wir erfahren in unserer Lerngruppe von einer anderen Universität, die die gleiche Vorlesung mit guter Video- und Tonqualität zum Selbststudium aufgearbeitet frei online verfügbar macht. Ein Kommilitone erzählt uns währenddessen, dass er von den höheren Semestern gehört hat, dass unser Dozent eigentlich ganz toll und begeisternd ist, wenn er von seinem Thema erzählen darf.

Wir heben den wenig beachteten Schatz der Video-Vorlesung und fragen uns dabei, warum die Dozierenden die Vorlesung überhaupt halten müssen, wenn es das Ganze in besser bereits vielfach gibt. Sollen sie doch besser ihre eigenen Themen vorstellen dürfen. Und warum macht denn eigentlich die Universität nicht Werbung für das fremde Video, das unsere Studienqualität verbessert? Wir notieren uns noch kurz, dass wir unbedingt eine Spezialvorlesung dann im Master bei dem Dozenten hören möchten.

Dann fragen wir uns, wie viele Kombinationen aus verschiedenen Fächern wir eigentlich hören können während unseres Studiums. Das wüssten wir echt gerne, aber Wissen zur Kombinatorik ist nicht Teil unseres Studiums.

2.1.2.4. **Wir sind kurz vor dem Ziel**

Wir sind am Ende des Studiums.

Nun betreuen einige von uns selbst die Praktika, die wir einst nicht verstanden. Dort bringen wir anderen bei, was wir bisher nicht verstanden haben. Und lernen es dadurch selbst zu verstehen. Wir bekommen dafür kaum oder wenig Schulung. Ein paar Hinweise vielleicht von den vorangegangenen Betreuern. Den Rest dichten wir uns selbst zusammen. Wir wissen ja: Was für uns funktioniert hat, wird auch für die Neuen gut genug sein.

Nach dem Praktikum setzen sich einige von uns ins Labor und grübeln an Versuchsaufbauten rum. Zum ersten Mal im Studium. Hatte danach nie jemand gefragt? Aber es gibt ja auch die, die wissen, dass sie keine Experimente machen möchten. Die werden dann Theoretiker. Wir wissen, dass das wiederum nichts für uns wäre und so sind wir Experimentalphysiker. Und so bleiben wir alle auf den Komfortzonen unserer tiefen Teller, denn über den Rand müssen wir nicht schauen und daher tun wir es auch nicht.

Wir schreiben noch schnell unsere Abschlussarbeit. Wir schreiben die nach unserem besten Können, Wissen und Gewissen. Dabei lernen wir wissenschaftlich zu arbeiten. Zu dem einen Blockkurs damals konnten wir nicht, da war ja gleichzeitig Praktikum. Und überhaupt standen da ja nur 50 Plätze für die ganze Universität zur Verfügung. „Learning by working“ nennen wir das, denn nur manche von uns haben Glück und bekommen explizite Hinweise ihrer Betreuer oder finden im Vorlesungsverzeichnis eine vergrabene Anleitung über gutes wissenschaftliches Arbeiten.

Nervös, unsicher und unerfahren stehen wir dann am Tag unserer Abschlusspräsentation da. Wir präsentieren unsere Arbeit. Wir wissen, wir sollten uns stolz darauf fühlen. Unsere erste eigene wissenschaftliche Arbeit. Doch viele spüren etwas anderes, bei ihrer ersten eigenen Präsentation.

Wir haben viel gelernt. Wir wissen, wie sehr uns die eigenständige Abschlussarbeit prägt und fragen uns: Warum davon nicht mehr? Warum das nicht schon früher?

2.1.2.5. **Wir schießen über das Ziel hinaus**

Wir promovieren.

Unsere Motive sind sehr verschieden, wir erhoffen uns Spaß, mehr Wissen, bessere Kontakte, Faszination oder endlich ein besseres Verständnis über die Physik. Ein paar von uns bleiben auch einfach, weil Veränderung schwer ist und eine Stelle sich gerade anbot. Manche finden Stellen an die Abschlussarbeit

anschließend. Manche finden Stellen über Beziehungen. Wenige von uns versuchen andere Stellen zu finden, um in neue Bereiche zu wechseln, die sie sich wünschen zu ergründen. Das ist aber schwer, weil viele dieser Stellen nicht öffentlich ausgeschrieben sind.

Wir fragen uns, ob die Industrie nicht vielleicht besser für uns wäre? Ein paar von uns mussten ein Industriepraktikum machen. Andere wiederum sind froh, dass sie das nicht machen mussten: Denn das ist Aufwand, unbequem und, wie wir wissen, werden dort nur Vorurteile bestätigt. Und so ist für die allermeisten von uns die Universität die einzige Welt, von der wir wissen, wie sie aussieht. Aber eigentlich wissen wir nicht, dass wir nichts wissen: Denn das Hochschulsystem ist komplex und sehr chaotisch.

Wir erinnern uns an die Fragen aus unserem Studium. Und wir versuchen es besser zu machen. Wir sprechen uns mit anderen Lehrenden ab. Wir geben Tipps an die Tutoren, die wir nun betreuen. Und gleichzeitig wissen wir, dass das nicht permanent sein wird: Das, was wir tun, wird nur selten Teil des Systems.

Wir verstehen langsam, was wir in unserem Studium gelernt haben. Und wir wissen langsam, was wir alles bereits wieder nicht mehr wissen. Wir fragen uns, warum nur noch so wenig übrig ist.

Wir fragen uns aber nicht zu lange, jetzt ist nicht viel Zeit für Selbstreflexion und Blick über den Tellerrand. Denn wir promovieren.

#### 2.1.3. **Wir packen zusammen**

Unsere Tage an der Hochschule sind gezählt.

Wir drehen uns um und verabschieden uns von unseren Freundschaften, unseren Lerngruppen, unseren Diskussionsgruppen, die unser Studium begleitet haben.

Wir fragen uns, ob unsere Rückmeldungen in den Evaluationen etwas bewirken werden. Wir fragen uns, was wir gelernt haben. Wir fragen uns, was wir verpasst haben. Wir wissen darauf keine Antwort. Dann fragen wir uns, ob wir alle das Gleiche gelernt haben. Und ob wir dafür eigentlich das Studium gemacht haben?

Denn wir hatten das Studium nicht nur begonnen um des reinen Wissens willen. Denn dann hätten wir Medizin studiert. Aber das wollten wir nicht. Nein. Wir wollten durch das Studium wissen, was die richtigen Fragen sind. Wollten wissen, wie man Fragen richtig stellt. Wollten Fragen erkunden. Genug Wissen bekommen, um den Weg zu Antworten zu finden. Ob wir die Antworten bei uns selbst oder bei anderen finden, ist dabei nicht so wichtig, solange wir den Weg finden können, die Flamme der Wissbegier und Neugier in unserem Inneren am Brennen zu halten.

Mit einem Lächeln drehen wir uns um und verlassen den Campus. Eine letzte Frage geht uns durch den Kopf: „War es das wert?“ Und wir wissen die Antwort.

### 2.2. **Warum Studienabbrecher toll sind**

*Ein Beitrag von Martin Scheuch*

Am Beginn einer Überlegung zu Studienverlauf und Studieninhalten steht die Frage nach dem Sinn: Warum studieren? Ist es das gesellschaftliche Ziel, durch ein Studium den Menschen möglichst schnell einen Abschluss zukommen zu lassen und sie dem wirtschaftlichen Verwertungsprozess zuzuführen? Oder steht eine persönliche Entwicklung im Vordergrund, die die Fähigkeit zur Selbstreflexion hervorbringt und dabei Umwege und Sackgassen zulässt und ermöglicht, sodass am Ende auch die Entscheidung stehen kann, dass ein Studium vielleicht nicht der richtige persönliche Weg ist?

Hier kommt die Unterscheidung zwischen berufsqualifizierend und berufsbefähigend ins Spiel. Die meisten Hochschulabsolvent*innen werden letztendlich nicht in ihrem Studienfach arbeiten (ausgenommen sind natürlich Fälle wie Lehramt, Jura, Medizin u.ä.), sondern sich andere Fähigkeiten zu Nutze machen, die auch im Studium erworben wurden. Als Physiker*in ist da oft die Fähigkeit zur strukturierten Problemlösung, das Keine-Angst-Haben vor Gleichungen und großen Datenmengen und der gewissenhafte Umgang mit Statistik ausschlaggebend. Aber auch die Fähigkeit zur Selbstorganisation, Selbstreflexion und Frustrationsresistenz sind wichtig. Insofern ist eine Berufsqualifizierung des Studiums irreführend, da mit konkreten Inhalten eines Physikstudiums die wenigsten nach dem Studium noch zu tun haben. Eine Berufsbefähigung aufgrund der oben genannten erworbenen Fähigkeiten trifft es schon eher.

Einhergehend damit ist, dass die neben der eigentlichen Physik erworbenen Fähigkeiten mit fachspezifischen Unterschieden auch in anderen wissenschaftlichen Studiengängen erworben werden, mithin also die Fächerwahl den persönlichen Neigungen und der Neugier entsprechen soll, da das gesellschaftliche Ziel nicht die fachlichen Inhalte sind. Und wenn man dann irgendwann feststellt, dass Physik nun doch nicht das Richtige war und man lieber Islamwissenschaft studieren, Geigenbau oder Krankenpflege machen möchte, dann ist das nicht nur kein Scheitern, sondern völlig in Ordnung und sogar wünschenswert, da dieser Umorientierung ein persönlicher Reifeprozess zugrunde liegt. Die Gesellschaft voran bringen Menschen, die sich mit sich und ihrer Umwelt eingehend kritisch beschäftigt haben und sich über ihre Wünsche und Ziele im Klaren sind und damit gesellschaftliche Prozesse kritisch begleiten können. (Und mal im Ernst, wer von uns wusste, worauf er sich bei einem Physikstudium wirklich einlässt?)

Mit diesen Überlegungen sollte aber auch die Orientierung eines Studiums wieder weg führen von einem permanenten Druck, vorgegebenem Verlauf, dazu benötigter Semesterzahl und dem Abfragen von Wissen, hin zu Freiheit bei der Organisation des Studiums und Wahl der Inhalte und Formate – und der Zeit für die persönliche Entwicklung.

## 3. Zur Krise der Studienreform

Laut Gramsci besteht eine Krise „in der Tatsache, dass das Alte stirbt und das Neue nicht zur Welt kommen kann: in diesem Interregnum kommt es zu den unterschiedlichsten Krankheitserscheinungen.“[1]

Die Debatte über die Entwicklung der Hochschulen war seit Mitte der 1990er Jahre vom Leitbild der „Unternehmerischen Hochschule“ geprägt, das – so Torsten Bultmann – inzwischen „ideologisch erschöpft“ ist, ohne dass ein neues Leitparadigma entwickelt wäre.

Die Absurdität des dennoch verbreiteten „weiter so“ treibt Martina Malz von der fiktiven Lobbyorganisation „Students United for Future“ mit einem paper zur Effizienzsteigerung des Bildungssystems durch Vereinheitlichung der Notation für Vektoren auf die Spitze. Einen Grund dafür, dass „das Neue nicht zur Welt kommen kann“, karikiert der fiktive Monolog von Professor Namenlos.

### 3.1. Redesigning Education: A Gaze Beyond the Horizon of Bologna

*By Martina Malz (Students United for Future), for German version see supplementary material*

Twenty years ago, the ministers for education of 29 European countries signed the declaration of Bologna, a bold step to harmonize the standards and quality of higher education in the European Higher Education Area (EHEA). Yet today, students still struggle to cash in their ECTS at different institutions. Furthermore, the tangled web of opaque curricula confuses HR-departments all over the economic union.

#### 3.1.1. Introduction

"Higher education, research and innovation play a crucial role in supporting social cohesion, economic growth and global competitiveness. Given the desire for European societies to become increasingly knowledge-based, higher education is an essential component of socio-economic and cultural development. At the same time, an increasing demand for skills and competences requires higher education to respond in new ways." – excerpt from [2], p.6, $1.

Progress in automation, largely driven by the innovations made at universities intensify the pressure on the job market. While the use of low qualified human capital is in decline, the markets' demand in highly qualified resources cannot be met. The Bologna Process set out to mitigate the immanent crisis and, although not having achieved perfection, has made a landmark dent into the staggering training costs. Throughout the last century, the economic stakeholders in industry and service had taken it upon themselves to offer apprenticeships to ready the masses for production. This cost-intensive process has been successfully outsourced to publicly funded institutes like universities, colleges and even schools thanks to the Bologna homogenisation process. Furthermore, industrialists' associations throughout the union managed to shape and sharpen the profile of education, be it through public-private-partnerships (PPP) or by directly influencing the political decision making process. In return for their invaluable contribution, the stakeholders have been rewarded with tax deductions and promotion opportunities (lecture halls, faculties, institutes and even whole campuses have been named after their Maecenas). On the other side, society pays its tribute in the form of dedicated research, that often results in privately owned patents and pay-to-read publications.

#### 3.1.2. Case Study: Physics and Mathematics

Mathematics and physics offer a highly promising field of action to further the technological advances for a competitive economic union, provided that the law making bodies set steps to streamline the cost-benefit equation. The influx of applicants heightens the demand for distinct key performance indicators to assist the decision-making entities' steering with success in mind. While progress has been made to limit costs and fostering competition by restricting student admission to the fields, there is room for improvement regarding the profile of the student population, student progression and the assessment of the student life cycle (SLC). The current curricula have been adapted gradually towards interoperability and interchangeability, dramatically improved by the common ECTS currency. However, the individuality of lecture content hinders assessment of capabilities by non-academic bodies and throttles employability, stifling economic growth and threatening the competitiveness of the stakeholders on the global market. In the following, the authors identify key issues in the education chain with focus on physics.

#### 3.1.3. Proposal

##### 3.1.3.1. Identifying the Challenges

Studies and questionnaires have shown that one of the main obstacles for aspiring physicists is the change of mathematical notation between lectures, exemplary shown here on the case of vector notation. While schools tend to omit the introduction of the notion of a vector altogether, the introductory courses at the universities tend to agree on the tuple notation $(x_1, x_2, \dots x_n)$. However, lacking the agreement on the roundness of brackets, $[x_1, x_2, \dots x_n]$ or even $|x_1, x_2, \dots x_n\rangle$ are commonly

found on blackboards throughout the union. This confusion is only furthered by various orientations, *e.g.* $\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \dots \\ x_n \end{pmatrix}$. In order to avoid unnecessary cluttering, following the *kaizen* doctrine, we propose the development of an unambiguous mathematical notation framework, the European Unified Language for Education and Research (EULER) inspired by agile and lean development found in the information technology sector. Analysis of business presentations by top entrepreneurs established the best suited notation for a set of numbers to be a cloud.

#### 3.1.3.2. **Next Steps**

Due to the limited scope of the underlying evaluation, the authors suggest the constitution of an European task force, supported by renowned consulting entities charged with the prognosis of future demands for every sector and the identification of interdisciplinary clusters. They should further develop the skills needed by applicants to meet those demands. Using blockchain technology, they then should establish a canonical way of identifying the suited candidates from a pool of new-borns, deriving a result-based admission program, loan-based financing scheme and economically viable life long learning approach with efficiency and sustainability in mind. Hereby it is imperative to keep costs at a minimum and avoid to burden private stakeholders.

#### 3.1.3.3. **Expected Return on Investment**

Given proper implementation, we expect the average time span needed to mature a top performing unit from conception to production in less than 15 years, compared to the wasteful 25+ years production cycles that constitute the state of the art. This leads to an expected reduction in costs of 39.1% over the course of the next 35 years. Reducing unnecessary drop-outs by the use of AI-based predictive teaching, another 67.52% in costs currently sunk in unfit material can be avoided. Suitable infrastructure, such as conveyor-belt blackboards and text-block generated presentation slides are expected not only to bring down costs further by 23.583%, but boost the emerging hockey-stick education economy, netting a staggering 10 MEUR by 2025. Provided that the forming student loan bubble is considered too big to fail and securities are saved by the public partner, one has yet to come up with a way to tax ECTS. This is left as an exercise to the reader.

### 3.2. **Professor Namenlos und die liebevolle Strenge**

*Ein Beitrag von Timo Gaßen und Stefan Brackertz*

Wer ist Professor Namenlos? Er ist ein Professor an einer normalen deutschen Hochschule und mit der Lehre im Fach Physik beauftragt. Das, was ihn jedoch zum Kern der Diskussion macht, ist nicht sein Fachgebiet, die Physik, auch nicht seine Vorlesung. Es stellt sich die Frage, wie er über Studierende denkt. Wobei, ihn zu kritisieren, auf keinen Fall Ziel dieses Textes ist.

Professor Namenlos ist nicht nur namenlos, weil seine Identität zu schützen der Anstand gebührt. Professor Namenlos ist namenlos, weil es ihn an vielen Hochschulen gibt. Nicht seine Person, sondern seinen Geist: Professor Namenlos ist fest davon überzeugt, seine Studierenden zu verstehen, zu wissen, was das beste für sie ist, unabhängig von ihrem Semester oder den Veranstaltungen, die sie gerade belegen. Schließlich ist er nicht ohne Grund Physik-Professor geworden. Er kann abstrahieren, aufs Eigentliche gehen, Wichtiges von Unwichtigem unterscheiden, das Prinzip von den irrelevanten Ausnahmen, ohne die besonders spannenden entarteten Fälle zu übersehen. Wobei, Erstsemester mag er doch am liebsten. Denen muss man ja noch zeigen, was eigentlich gut für sie ist. Schließlich weiß er, dass sie noch formbar sind und jeden Vorschlag zur Arbeitshaltung dankbar annehmen. Vor allem, wenn man ihnen erzählt, dass es das Beste für sie sei. Wobei, zu hinterfragen, was nun dieses Beste ist, auf keinen Fall Ziel dieses Textes ist.

„En d'r Kayjass Nummero Null[1]
steit en steinahl Schull
Un do hammer dren studiert.
Unsere Lehrer, dä heess Welsch[2],
sproch e unverfälschtes Kölsch
Un do hammer bei jeliehrt.
Joh un mer han off hin un her üvverlaat
un han för dä Lehrer jesaat:

Nä, nä, dat wesse mer nit mih, janz bestemp nit mih,
Un dat hammer nit studiert.
Denn mer woren beim Lehrer Welsch en d'r Klass
Do hammer sujet nit jeliehrt.
Dreimol Null es Null es Null
Denn mer woren en d'r Kayjass en d'r Schull
Dreimol Null es Null es Null
Denn mer woren en d'r Kayjass en d'r Schull“[3][3]

1 An der Ecke Kaygasse 1 / Großer Griechenmarkt 87 befand sich die erste Kölner Sonderschule für „geistig nicht normal entwickelte Kinder“.

2 Heinrich Welsch gründete die erste Hilfsschule im Rechtsrheinischen Arbeiter- und Industrie-Gebiet Köln-Kalk. Er kümmerte sich vor allem um die soziale Lage seiner Schüler*innen und kämpfte für die gesellschaftliche Reintegration junger unverheirateter Mütter. Er hat nie an der Schule in der Kaygass unterrichtet.

3 Der Song „En d’r Kayjass Nummer Null“ wurde 1938/1939 anlässlich des Todes von Heinrich Welsch von den Drei Laachduve für die Karnevalssession 1939 geschrieben. Zum Evergreen wurde er nach dem Zweiten Weltkrieg durch die Cover-Versionen von De Vier Botze und den Bläck Fööss

*„Mit Paternalismus (...) wird eine Herrschaftsordnung beschrieben, die ihre Autorität und Herrschaftslegitimierung auf eine vormundschaftliche Beziehung zwischen herrschenden und beherrschten Personen begründet. (...) Als paternalistisch wird (...) eine Handlung bezeichnet, die gegen den Willen, aber auf das vermeintliche Wohl eines anderen ausgerichtet ist.“[4]*

*„Foucault beschreibt die Gesellschaft als ein Gebilde, das von kleinsten Machtlinien durchsetzt ist und in der alle Individuen ständig von Machtmechanismen besetzt werden. Macht soll dabei als etwas Vielgestaltiges, Vielschichtiges, Ungreifbares verstanden werden, das Menschen nicht besitzen, sondern höchstens in begrenztem Maße von strategischen Positionen aus steuern können.“[5]*

*„Nachdem diese Machttechniken im 16. und 17. Jahrhundert erst langsam entwickelt wurden und sich im 18. und 19. Jahrhundert in Reinform durchsetzten, ist seitdem eine weitere Optimierung der Disziplinartechniken zu beobachten. Zwar sind die Einflüsse der machtausübenden Institutionen selbst geschwunden (in der Schule durch Pädagogik, in der Firma durch Gewerkschaften und die Lehre vom Angestellten), dafür wurden aber immer mehr und immer subtilere Zwischeninstitutionen geschaffen, die erstens das Individuum durch kontrollierte Zugeständnisse gefügig hielten (Pädagogik, Rechte von Gefangenen, Schülern, Soldaten usw.) und zweitens sich immer breiter in der Gesellschaft verteilten (Schule wird über Zeugnisse und Leistungen mit Firma verbunden, Schule und Jugendamt und Mitbürger kooperieren bei der Überwachung von Familien etc.).“[5]*

„Neulich krät uns en d'r Jass
die Frau Kääzmanns beim Fraass,
sät: Wo lauft ihr sechs blos hin?
Uns Marieche sitz zo Hus,
weiss nit en un weiss nit us,
einer muss d'r Vatter sin.
Joh un do ald hammer widder hin un her üvverlaat
un han för die Kääzmanns jesaat:

(Leev Frau Kääzmann)

Nä, nä, dat wesse mer nit mih, janz bestemp nit mih,
Un dat hammer nit studiert.
Denn mer woren beim Lehrer Welsch en d'r Klass
Do hammer sujet nit jeliehrt.
Dreimol Null es Null es Null
Denn mer woren en d'r Kayjass en d'r Schull
Dreimol Null es Null es Null
Denn mer woren en d'r Kayjass en d'r Schull“

Da kommt die Frage auf, ob denn die Studierenden mit Professor Namenlos einer Meinung sind. Ja, ist die Antwort von Professor Namenlos, ein überzeugtes ja. Immerhin habe sich dies, also das Beste für sie, die Studierenden, über die Jahre bewährt. Er habe doch immer am Semesterende ein so gutes Feedback bekommen und niemand scheint seiner Ansicht zu widersprechen. Wenn also der gesamte, am Semesterende verbliebene Hörsaal seine Ansicht teilt, dann kann diese ja kaum unzutreffend sein. Zu Recht: Er habe sich ja auch große Mühe gegeben, seine Vorlesungen immer gut vorbereitet, sich Gedanken über die sogenannte Didaktik gemacht und Fragen der Studierenden immer ausführlich und sorgfältig beantwortet. So ist Professor Namenlos nun einmal, zufrieden mit einem weiteren Semester und dem guten Feedback, das er bekommen hat.

Manchmal fragt er sich dann aber doch – zufrieden und bereit, das nächste Semester zu beginnen –, wie viele eigentlich nicht mehr am letzten Tag, dem Tag des Feedbacks, anwesend waren. Für die war es aber sicherlich besser so. Er kann das gut beurteilen, denn er ist ja nah dran an seinen Studierenden. Besonders in den mündlichen Prüfungen, da fällt angesichts der Anspannung die Maske, die Studierenden sprechen ehrlich über das, was sie bewegt. Heute war wieder eine, jemand – wie hieß er noch gleich – jemand hatte eine mündliche Prüfung statt Klausur beantragt, weil es sein letzter Versuch gewesen war. Aber es hatte nicht gereicht, ein Studium war halt nichts für ihn. Das hätte er ihm auch vorher sagen können, aber na ja, das sind die Regeln. In 10 Jahren, so viel war sicher, würde er ihm aber dankbar sein. Dankbar dafür, dass er, Professor Namenlos, Härte nicht gescheut und eine Wende im Leben dieses verzweifelten Studenten getriggert hatte. Das war ein guter Tag gewesen.

Wobei, zu hinterfragen, ob dieser Student die Ansichten von Professor Namenlos teilt, auf keinen Fall Ziel dieses Textes ist.

„Deutsch-Unterricht, dat wor nix för mich
denn ming Sprooch die jof et do nit
‚sprech ödentlich‘ hät de Mam jesaht
Di Zeuchniss dat weed keene Hit
Ich sprech doch nur ming eijene Sproch
wuss nit, wat se vun mir will
ejhal wat ich saachen dät,
et wor verkeht“[6]

*1992 brachte Francis Fukuyama mit seinem Buch „The End of History and the Last Man“[7] das Mindset einer ganzen Generation philosophisch pointiert auf den Punkt: Mit Methoden des Marxismus‘ begründete er dessen Untergang und schloss mit der These, dass von nun an der Kapitalismus allewiglich wäre und Menschen nur noch bliebe, sich darin möglichst vorteilhaft einzurichten.*

*Darin gedieh das Regime des „Forderns und Förderns“, das mit KMK-Beschluss von 2006[8] von*

*der Arbeitsmarkt- auf die Bildungspolitik übertragen wurde. So hieß es im sog. Schröder-Blair-Papier[9] zur Neuausrichtung der europäischen Sozialdemokratie von 1999:*

*„Neue Konzepte für veränderte Realitäten:" „Allzu oft wurden Rechte höher bewertet als Pflichten. Aber die Verantwortung des einzelnen in Familie, Nachbarschaft und Gesellschaft kann nicht an den Staat delegiert werden. Geht der Gedanke der gegenseitigen Verantwortung verloren, so führt dies zum Verfall des Gemeinsinns, zu mangelnder Verantwortung gegenüber Nachbarn, zu steigender Kriminalität und Vandalismus und einer Überlastung des Rechtssystems. (...) Die Schwächen der Märkte wurden über-, ihre Stärken unterschätzt." „Wenn die neue Politik gelingen soll, muß sie eine Aufbruchstimmung und einen neuen Unternehmergeist auf allen Ebenen der Gesellschaft fördern. Dies erfordert: kompetente und gut ausgebildete Arbeitnehmer, die willens und bereit sind, neue Verantwortung zu übernehmen."*

Denn ich ben nur ne Kölsche Jung
un mie Hätz, dat litt mer op d'r Zung
Op d'r Stross han ich ming Sprooch jeliehrt und jedes Wort wie tättowiert
op minger Zung
ich ben ne Kölsche Jung"

Und die Studierenden? Wie beantworten sie selbst die Frage, ob Professor Namenlos weiß, was für sie das Beste ist? Auch unter Studierenden teilen „übertrieben viele", dass das ja schon gut für sie sei. Kritik, dass es auch anders, mit volleren Hörsälen am Ende des Semesters gehen müsse, weisen sie zurück. Immerhin ist Professor Namenlos ja Professor und sie haben im Semester viel gelernt bei ihm. Vielleicht sind die nicht Anwesenden ja einfach ungeeignet und vielleicht ist es ja so besser für sie. Sie selbst haben den Rat von Professor Namenlos befolgt und waren erfolgreich. Nun wissen sie, was das Beste für ihre Kommilitonen ist: Tun, wovon Professor Namenlos weiß, dass es das Beste für die Studierende ist.

„Un, dos, tres – wollte ich gerade sagen: (...)
Heutzutage ist zu empfehlen,
die eigene Meinung nicht zu verhehlen.
Meinungsaustausch zahlt sich aus,
Du gehst mit Deiner Meinung rein
und kommst mit meiner Meinung raus!"[10]

*In der Folge von „Fördern und Fordern" wurde viel bürokratische Sozialtechnologie (siehe Hartz-Reformen) aufgewendet, damit Menschen „lernen zu wollen, was sie sollen"[4]. Aber wollen die Menschen das (noch immer)? Bereits 2014 analysierte Torsten Bultmann: „Die Unternehmerische Hochschule ist ideologisch erschöpft." Aber: „Risk management used to be a business practice," schreibt Harris, „now it's our dominant child-rearing strategy."[11]*

*Warum? Mit dem Ende der Geschichte wurde der Deal zum Standard-Bezug zwischen Menschen erklärt. Damit es dabei zur win-win-Situation kommt und man nicht in einer Doppel-win-lose-Situation über den Tisch gezogen wird, ist risk-management unerlässlich. Und das Sicherste im Rechtsstaat ist immer noch eine Studienordnung, die sich wie ein juristisch wasserdichter Versicherungsvertrag liest! Schon lange sind die Markt-Modernisierer*innen nicht mehr Avantgarde; das Verharren in Absicherung angesichts dessen ganz schön anachronistisch. Avantgarde wäre: Auf die Mitmenschen als Mitstreiter*innen zu setzen, anstatt sich ihnen gegenüber abzusichern.*

„Und das absolute Plus,
wenn es längst passiert ist, hat er's vorher schon gewusst.
Ständig schaut er nur in die Runde,
sucht verzweifelt die Gunst der Stunde.
Weil er meinungs-flexibel ist.
Erst wenn alle anderen klatschen, dann auch der Opportunist."

Und vielleicht auch Professor Namenlos.

## 4. Hands on: Studienreform

Passend zu dieser Analyse fordert der folgende Beitrag als nächsten Schritt zur Weiterentwicklung von Physik-Studiengängen statt eines „weiter so" eine systematische Revision aller Restriktionen und Detailvorschriften in den aktuellen Studiengängen mit dem Ziel, möglichst viele davon abzubauen. Allerdings – so der zweite Beitrag dieses Abschnittes mit konkreten Reformvorschlägen – seien nicht alle Restriktionen und Detailregelungen reine Schikane, sondern oft eine restriktive Antworten auf ein hochschuldidaktisches Problem. Einige in Physik-Studiengängen weit verbreitete Probleme werden benannt und Lösungsansätze vorgeschlagen.

Insgesamt lässt sich dieser Abschnitt auch als To-Do-Liste für die Überarbeitung der eigenen Studiengänge im Rahmen der nächsten Reakkreditierung lesen.

### 4.1. Was hat die denn damals bloß geritten? Ein Blick auf die Entstehungsgeschichte von Restriktion zur Vorbereitung ihrer Abschaffung

*Ein Beitrag von Jan Geisel-Brinck und Stefan Brackertz*

Anwesenheitspflichten, Klausurversuchsrestritktionen, Zugangsbeschränkungen, Voraussetzungsketten, „endgültiges Nichtbestehen"… Restriktionen solcher Art stehen seit Jahrzehnten in der Kritik.

4 Morus Markard

## Plädoyer für eine auf Interdisziplinarität ausgerichtete Einführung in die Statistische Physik

*Ein Beitrag von Christos Christou*

Eine Vorlesung „Statistische Physik“ ist an den meisten Universitäten im Bachelor-Studiengang etabliert. Diese Tatsache trägt nicht nur der wichtigen Rolle der Thermodynamik in der Entwicklung der modernen Physik Rechnung, sondern auch der Relevanz der Methoden der statistischen Physik für die Entwicklung von künftigen interdisziplinären Forschungsgebieten. Diese Interdisziplinarität ist hochgradig erstrebenswert für die Entwicklung der Wissenschaft in den kommenden Jahren und stellt eine große Herausforderung an die Gestaltung des Studienfachs „Statistische Physik“ im Bachelorstudiengang dar.

Meistens findet im Rahmen des Studiengangs „Bachelor Physik“ eine historische Einführung in die statistische Physik statt. Diese Herangehensweise hat natürlich einen didaktischen Mehrwert, ist aber ungeeignet, wenn man den Nutzen der Methoden der Statistischen Physik für andere Fachbereiche aufzeigen und erklären möchte. So wird zum Beispiel aus einer historischen Betrachtung nicht ersichtlich, wieso ein kanonischer Ensemble-Formalismus nicht nur für die Beschreibung von zwei Systemen, die Energie miteinander austauschen können, sondern auch bei der Beschreibung von ökonomischen Modellen relevant wäre. Eine Erklärung dafür findet sich in den Erkenntnissen, die Mitte des 20. Jahrhunderts gewonnen wurden und zur Entstehung der Informationstheorie führten. Zugegeben, dieser Zusammenhang wird nicht verschwiegen, aber größtenteils erst in den Master-Vorlesungen aufgegriffen. Diese verspätete Einführung des Informationsbegriffes stellt aber ein großes Hindernis für ein zeitgemäßes Verständnis von statistischer Physik für Bachelor-Studierende dar.

Viele Lehrende haben dieses Problem erkannt und beantworten es inzwischen durch eine Erweiterung des Lehrstoffes der Bachelor-Vorlesungen: So beginnen sie mit einer kurzen historischen Einführung in die Thermodynamik, entwickeln entscheidende Begriffe wie die Entropie anschließend aber an Hand der Wahrscheinlichkeits- und Informationstheorie. Dieser Lösungsansatz ist im Prinzip sehr richtig, führt aber zu einer erheblichen Erweiterung des Lehrstoffes. Dadurch entsteht für Lehrende wie für Studierende ein erheblicher Zeitdruck.

Um den Zeitdruck aus diesem erweiterten Curriculum zu nehmen, ist eine zusätzliche Einführungsveranstaltung zu statischer Physik nötig. Diese würde Studierenden die Möglichkeit geben, sich wirklich mit den Begrifflichkeiten der statistischen Physik auseinander zu setzen und einen Sinn für deren Nutzen zu entwickeln. Sie würde zudem den Raum geben, weitere essenzielle Fragen zu thematisieren, die auch in den erweiterten Curricula zu kurz kommen. Dies sind vor allem die Theorie der Markov-Prozesse und die der Indikatorfunktionen. Bei alledem sollte man sich nicht auf rein mathematische Einführungen beschränken, sondern auch philosophische Diskussionen führen, die beim Verlassen einer deterministischer Sichtweise entstehen.

Gerade wegen der Bedeutung solcher philosophischer Diskussionen ist zu erwägen, die Einführungsveranstaltung nicht als Vorlesung, sondern als Seminar zu gestalten.

Und diese Kritik ist nicht nur berechtigt, sondern auch qualifiziert. Dennoch prägen sie nach wie vor den Hochschulalltag. Warum?

Klar, auch an Hochschulen gibt es Menschen mit sadistischen Zügen, mit autoritären Neurosen, aber das trifft glücklicherweise auf die wenigsten zu. Die wenigsten feiern Restriktionen, viele sympathisieren nicht nur mit deren Kritiker*innen, sondern auch mit deren Kritik. Aber das reicht offenbar nicht. Das reicht offenbar deshalb nicht, weil aus verschiedenen Gründen immer noch der Mut fehlt, auf Restriktionen zu verzichten.

Warum dieser Mut fehlt, ist nicht nur eine komplizierte Frage, sondern vor allem eine, hinter der zahlreiche Menschenbildfragen und (bildungs-)politische Konflikte stehen. Dieser Frage soll an dieser Stelle nicht nachgegangen werden (wohl aber an anderer). Vielmehr soll hier – im Bewusstsein, dass sich die Konflikte natürlich nicht übergehen lassen – ein Plädoyer dafür gehalten werden, in jedem konkreten Fall mit allen Beteiligten die Geschichte der zur Debatte stehenden Restriktion zu rekonstruieren.

*Blick zurück nach vorn!*

Restriktionen sind immer Hindernis für das, worum es im Physikstudium eigentlich geht: Menschwerdung und Physik lernen – nicht Bravheit und Studienordnungen. Zudem behindern restriktive Reglements die Dynamik, die notwendig ist, um eine Einheit von Lehre und Forschung zu realisieren, denn Forschung bedeutet ja gerade, ständig Neues zu entwickeln. Sie stehen damit im grundsätzlichen Konflikt zum Wesen einer Universität, selbst wenn man sich auf konservative Standpunkte einlässt.

Deshalb ist es höchst unwahrscheinlich, dass Restriktionen ohne Kontroversen, aus denen man lernen könnte, Einzug in Studienordnungen gefunden haben. Und falls doch, ist es umso naheliegender, sie wieder abzuschaffen.

Betreibt man Studienordnungs-Archäologie, lassen sich Restriktionen angesichts ihrer Entstehungsgeschichte in vier Kategorien einordnen:

#### 4.1.1. **Formalismus und Gedankenlosigkeit**

Als wir z.B. in Köln der Frage nachgegangen sind, warum es in den Ba/Ma-Studiengängen der ersten Generation nur drei Klausurversuche gab, war die Antwort verblüffend: Niemand konnte sich an eine Debatte erinnern, das Nebeneinanderlegen von Diplom- und Bachelor-Prüfungsordnung gab aber schnell eine Antwort: Die Abschnitte, die „Prüfungsleistungen" regelten, waren fast wortgleich, offensichtlich copy&paste mit minimalen redaktionellen Korrekturen. Aber: Im Diplom waren die Klausuren am Ende des Semesters keine Prüfungsleitungen, sondern nur „Scheine". Besagte Passage, deren Ursprung wir nicht weiter nachgegangen sind und die auch zu Diplomzeiten wahrscheinlich nicht besonders sinnvoll war, fand im Diplom bei nur ganz wenigen Prüfungen, den mündlichen Abschlussprüfungen, Anwendung, bei denen sie zudem keine Rolle spielte, weil dabei (im Gegensatz zu Klausuren) eh so gut wie nie jemand durchfiel und es eher um 1,0 versus 2+ ging. Durch formalistisch gedankenlose und zugleich nicht sachgerechte Übertragung vorhandener Regularien ohne Diskussion hatte eine schwerwiegende Restriktion Einzug in den Studiengang gehalten, die in einem 2-jährigen Prozess aufwändig wieder weg gekämpft werden musste.[5]

#### 4.1.2. **Prävention**

Wann immer große Neuerungen Einzug halten, kommt der Reflex auf, dass man, mangels Erfahrungen, für alle Fälle gewappnet sein müsse, alles im Griff haben und festlegen müsste, damit es nicht zu bösen Überraschungen komme. Ein typisches Beispiel dafür sind abgefahrene und oft bedenklich elitäre, konkurrenzhafte und willkürliche Zugangsregelungen bei der Einführung neuer interdisziplinärer Master-Studiengänge. Das Beispiel schlechthin war die Einführung des Ba/Ma-Systems, das quasi eine ganze Generation präventiv-restriktiver Studiengänge mit sich brachte.

Abgesehen davon, dass ein bisschen Mühe in eine sorgfältige Risiko-Abschätzung gesteckt vieles davon überflüssig gemacht hätte, abgesehen davon, dass man auch erstmal das Risiko, dass nicht alles glatt läuft eingehen und dann nachkorrigieren könnte, darf es auf keinen Fall bei solchen Restriktionen bleiben: Fällt einem nichts Besseres zur Befriedigung allgemeiner Paranoia ein als präventive Restriktionen, muss man zumindest ein Verfahren mit beschließen, das festlegt, wie man deren tatsächliche Notwendigkeit im Nachlauf evaluiert und möglichst viele davon möglichst bald wieder abschafft. Und: Wurde das versäumt, ist es höchste Zeit, dies jetzt sofort nachzuholen!

#### 4.1.3. **Notlösungen für reale Probleme**

Typisches Beispiel: Die Dozierenden des Studienganges XY sind frustriert, dass niemand zum Seminar kommt und die Debatte unter den wenigen, die dann doch kommen, mangels Vorbereitung zu wünschen übrig lässt. Die übliche Notlösung: Anwesenheitspflicht und eventuell sogar Abfrage der Hausaufgaben mit der Konsequenz, dass Studierende, die sie häufiger nicht gemacht haben, die Klausur am Ende des Semesters nicht mitschreiben dürfen. Offensichtlich maximal schlecht und sozial ignorant. Scheinbar niedrigere Durchfallquoten gehen dann auf Kosten derjenigen, die schon im Semester auf der Strecke bleiben. Allen wird zudem ein fester Arbeitsrhythmus aufgezwungen. Selbstständiges Lernen entwickelt sich so nicht. Bessere Alternative: „Ich habe von Kollegin AB aus Studiengang FG gehört, dass die auch ohne solche Restriktionen gut klar kommen. Lasst uns doch mal mit denen zusammen setzen und heraus finden, warum das bei denen klappt und bei uns nicht!"

#### 4.1.4. **Historische Relikte**

Gar nicht so selten werden Restriktionen als Notlösung für Probleme eingeführt, die dann aber doch besser gelöst werden oder sich auf Grund anderer Änderungen erübrigen. Hat niemand auf dem Schirm, was der ursprüngliche Sinn der Restriktion war und dass man sie nun auch abschaffen kann, bleibt sie einfach. So sammelt sich über die Jahre oft ein ganzer Zoo anachronistischer Restriktionen an, der nicht nur unübersichtlich und steif ist, sondern auch dazu führt, dass alle nur noch damit beschäftigt sind, zu Recht als Schikane empfundene Regelungen unter einen Hut zu bringen, anstatt sich mit Physik zu beschäftigen. Einfache Lösung: Keine Restriktion ohne Begründung – und zwar nicht in irgendeinem Kommissionsprotokoll, sondern genau und überall da, wo auch die Restriktion selbst steht.

Und: Die entscheidende Frage sollte niemals sein: „Ist es OK, ist es zumutbar?", sondern immer: „Wie geht es noch besser?"!

### 4.2. **Entschulung ist mehr als das Aufheben von Restriktionen**

*Ein Thesenpapier von Andreas Schulz und Stefan Brackertz*

Die zu Recht viel kritisierte Verschulung der Studiengänge, die vielerorts mit der Umstellung auf das Ba/Ma-System Einzug gehalten hat, war auch eine Antwort darauf, dass Studierende in den alten Studiengängen zwar zu Selbständigkeit herausgefordert, aber auch oft bei der Entwicklung dieser Selbstän-

5 Anm. der Redaktion: Vergleiche Poster „7 Semester ohne Klausurversuchsbeschränkungen – 7 Semester entwicklungs- statt absicherungsorientiert studieren"

digkeit allein gelassen wurden. Im Rückblick deutet allerdings alles darauf hin, dass den Studierenden, die zuvor überfordert waren, damit nicht geholfen wurde: Frust und Studienabbrüche konnten nicht merklich reduziert werden; wie Untersuchungen der Krankenkassen belegen, sind Stress und psychische Erkrankungen unter Studierenden im Gegenteil deutlich weiter verbreitet als zuvor.[6] Vor allem aber wird den Studierenden, die im alten System eine bemerkenswerte Selbständigkeit entwickelt haben, die nicht nur konsumiert haben, was ihnen vorgesetzt wurde, sondern selbst zu gestalten gelernt haben, diese Entwicklungsmöglichkeit nun durch die Verschulung von Anfang an verwehrt oder zumindest sehr erschwert. Dementsprechend mehren sich zu Recht die Rufe nach einer systematischen Entschulung des Studiums.

Zwar bietet das Ba/Ma-System erheblich mehr Gestaltungsfreiheiten als gemeinhin angenommen wird; so ist es ohne Weiteres möglich, Ba/Ma-Studiengänge zu konstruieren, die weitgehend den ehemaligen Diplomstudiengängen entsprechen; bloß scheint das eine allzu einfache Forderung zu sein, zumal es auch zu Diplomzeiten heftige Debatten um die Gestaltung der Studiengänge gab und sich dementsprechend auch die Physik-Diplom-Studiengänge stark unterschieden – sowohl im Vergleich zwischen den einzelnen Universitäten als auch im Vergleich etwa zwischen den 1980er und den 2000er Jahren. Hier ist also jetzt eine gezielte Hochschuldidaktik gefragt.

Was also tun?

Klar, es gilt zu untersuchen, was tatsächlich „unabdingbare Grundlagen“ sind und wie einheitlich sie sein müssen, um auszuloten, wo mehr Wahlfreiheiten gelassen werden können. Auch stellt sich offensichtlich die Frage, welche Lern- und Übungsformen optimal sind und wie die Flut an Übungsaufgaben reduziert werden kann. Auch die Frage, welche Prüfungen notwendig sind und ob wirklich alles kontrolliert und „im Griff behalten“ werden muss, ist in jedem spezifischen Fall gründlich zu durchdenken. (Braucht man z.B. wirklich eine Praktikums-Abschlussprüfung, wenn alle Endtestate erreicht wurden?)

Aber: Entschulung bedeutet nicht nur den Verzicht auf Vorschriften und Klausuren, sondern erfordert auch eine systematische Weiterentwicklung von Lehre und Studieninformation, sollen Studierende, die damit beginnen, sich selbständig und souverän durch ihren Studiengang zu bewegen, nicht dauernd vor die Wand fahren und frustriert aufgeben oder aus Überforderung wieder nach mehr Verschulung rufen. Vielmehr sollte von Anfang an in den Blick genommen werden, wie die Entwicklung von Selbständigkeit durch die Gestaltung der Studiengänge nicht nur eingefordert, sondern auch herausgefordert werden kann, wie systematische Motivationskiller vermieden und Aspekte des Studiums, die erfahrungsgemäß sehr motivierend sind, ausgebaut werden können.

Aus der Erfahrung von vielen Jahren Lehre und Studiengangsentwicklung an der Grenze zwischen Fachwissenschaft und Fachdidaktik im Folgenden ein paar Thesen dazu, was bei dieser Weiterentwicklung zumindest mit in den Blick genommen werden muss:

#### 4.2.1. **Kritik *des* Studienverlaufsplans**

Sinnbild fast aller Dinge, die man dabei falsch machen kann, ist der starre Studienverlaufsplan – egal wie er konkret aussieht, es reicht seine pure Existenz:

a) Er fordert nicht heraus, sich mit dem Aufbau des eigenen Studiums zu befassen, sondern suggeriert eine vermeintlich einfache und richtige Lösung, die man stur herunterlernen könne und solle.

b) Er baut erheblichen Druck auf, einem vorgegebenen Ablauf zu folgen. Das häufige Ergebnis ist, dass Studierende sich zu viel vornehmen, eventuell sogar versuchen „aufzuholen“, wenn sie „sitzen geblieben“ sind, daran scheitern und evtl. frustriert das Studium abbrechen.

c) Er ist keinerlei Hilfe, wie das Studium sinnvoll weiter gestaltet werden kann, sobald man einmal „raus“ ist.

d) Er unterscheidet nicht zwischen dem, was tatsächlich eine relativ universelle Grundlage vieler weiterer Veranstaltungen ist, und dem, was eine Vertiefung unter einem neuen Aspekt, ein in der Fachsystematik nicht unbedingt so grundlegendes Thema ist, das aber dennoch sehr relevant ist, um den Anschluss an die Forschung vor Ort zu gewährleisten etc.

Alternativen, die hilfreicher sind, als der simple Verzicht auf die verbreiteten Pläne, sind naheliegend:

a) Von Learning Progressions inspirierte „Explosionszeichnungen“ von Studienverlaufsplänen, die die einzelnen Teile des Studiums nicht mehr fest bestimmten Semestern zuordnen, sondern die inhaltlichen Abhängigkeiten (die faktischen, nicht die in der Studienordnung reglementierten) aufzeigen. Ein Beispiel dafür findet sich in Schaubild 1.

b) Statt „des Studienverlaufsplans“ verschiedene Studienwege gleichberechtigt beschreiben, die sich nicht nur in Details unterscheiden und alle sinnvoll sind. So sind Studierende herausgefordert, sich mit den verschiedenen Möglichkeiten zu befassen, können sich anfangs für eine davon

6 vergleiche https://www.tu-chemnitz.de/tu/pressestelle/aktuell/4151 oder https://www.tk.de/presse/themen/praevention/studium-stress-studie-depression-2045954 (abgerufen 16.7.2019)

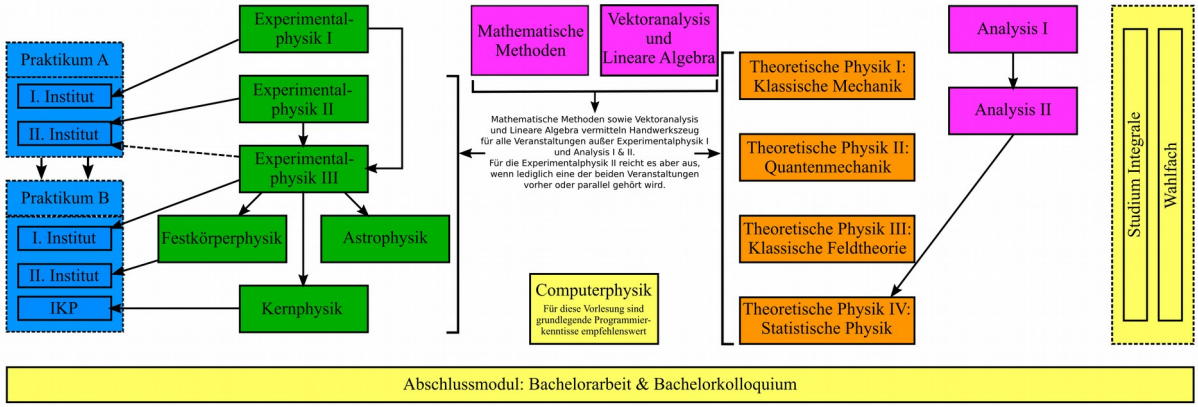



Schaubild 1: Beispiel für eine „Explosionszeichnung“ eines Studienverlaufsplanes (Bachelor of Science Physik an der Universität zu Köln). Die Pfeile stellen Empfehlungen für die Gestaltung eines individuellen Studienverlaufsplans auf Grund der inhaltlichen Abhängigkeiten zwischen den verschiedenen Veranstaltungen dar: Sinnvoll sind alle Studienverläufe, bei denen nicht gegen Pfeilrichtung studiert wird.
Quelle: http://fs-physik.uni-koeln.de/studium-2/das-physik-bachelorof-science-studium-in-koeln/ abgerufen 16.7.2019

entscheiden, sodass sie nicht mit einem absehbar zum Scheitern verurteilten Plan beginnen, und später ihren eigenen Weg aus den verschiedenen Beispielen synthetisieren. Hilfreich ist auch, wenn reale Varianten dabei sind, samt durchgefallener Klausuren, Irrwegen und Reparaturen dieser Irrwege, am besten ergänzt um „Erlebnisberichte“ realer Studierender, die diese Wege gegangen sind und kurz erläutern, wann sie sich warum wie entschieden haben.[7]

### 4.2.2. **Spiral- statt Linearcurriculum**

Zeichnet man einmal eine „Explosionszeichnung“ der inhaltlichen Abhängigkeiten eines Physik-Studiengangs (siehe oben) auf, stellt man in der Regel erschreckt fest, wie verwoben die einzelnen Teile sind und wie wenig sie selbst bei fehlenden Restriktionen faktisch eine freie Gestaltung des Studiums ermöglichen. Legt man reale Studienverläufe daneben, ist schnell klar, wo zumindest ein Teil der Probleme herkommt. In der Regel besteht der praktische Umgang mit diesem Problem darin, dass entweder die Dozierenden ständig Exkurse einschieben, um die „Grundlagen, die eigentlich vorhanden sein müssten“ aufzuarbeiten. Oder – eher häufiger – die Studierenden werden damit allein gelassen, sich die faktischen Voraussetzungen der Veranstaltung parallel selber anzueignen – oft eine Überforderung.

Alternativvorschlag: Warum nicht gleich – in Anlehnung an die in der Schulpraxis bewährten Spiralcurricula – die Exkurse zu den „Grundlagen, die eigentlich vorhanden sein müssten“ fest in die Veranstaltungen einbauen. So könnte das Gewirr von Abhängigkeiten stark reduziert werden, sodass etwa 3–4 zueinander komplementäre aber unabhängig voneinander studierbare Veranstaltungsstränge übrig bleiben, z.B. Experimentalphysik 1–X, Theoretische Physik 1–Y und Praktikum 1–Z.

### 4.2.3. **Auf die Begründung kommt es an**

Hinter den meisten Regelungen in Studienordnungen, Studienverlaufsplänen etc. stehen (oft gute) Begründungen. In der Regel sind diese aber nicht so aufgeschrieben, dass Studierende sie zu Beginn ihres Studiums verstehen können, wenn sie denn überhaupt dokumentiert und öffentlich zugänglich sind. Dies ist aus mehreren Gründen fatal:

a) Studierende überblicken gerade zu Beginn ihres Studiums das Fach in der Regel noch nicht so, dass sie sich selbst ohne weiteres einen sinnvollen Studienverlauf basteln könnten. Klarerweise können und müssen hier die Studienberatungen und die Diskussion mit den Kommiliton*innen und Dozierenden helfen. Das wird auch immer so bleiben. Aber: Warum kann man so etwas nicht auch einfach mal an zentraler Stelle aufschreiben? Z.B. als Kern der Studienordnung? Der ganze „juristische“ Rest sollte dann in Fußnoten verbannt werden und nicht umgekehrt.

b) Wenn Regelungen nicht gut begründet sind, gibt es für Studierende im Wesentlichen zwei Möglichkeiten, damit umzugehen: Sie als Schikane anzusehen und sie bestmöglich zu umgehen. Oder sie blind zu befolgen („Papa wird sich schon etwas dabei gedacht haben.“). Beides ist nicht wirklich wünschenswert. Umgekehrt ermöglichen Begründungen allen, sich dazu zu verhalten, sei es durch bewusstes nachvollziehendes Umsetzen der Überlegungen, sei es durch Sonderregelungen, die zwar gegen die formalen Regelungen verstoßen, aber im Sinne ihrer Intention sind, sei es durch eine Kritik der Regelung.

7 Vorsichtiges Beispiel (abgerufen 16.7.2019):
http://fs-physik.uni-koeln.de/wordpress/wp-content/uploads/2016/09/Beispielstudienverlaeufe_2.pdf

#### 4.2.4. **Kritik der „Methoden“-Veranstaltungen**

Seit der Einführung des Ba/Ma-Systems weit verbreitet und ebenso bei Studierenden wie Dozierenden verhasst sind „Methoden der X“- und „Grundlagen von Y“-Veranstaltungen. Idee dieser Veranstaltungen ist, einen Überblick über das Fach zu verschaffen und zugleich den Werkzeugkasten für die „eigentlichen“ Veranstaltungen zu füllen. Dabei dominiert in der Regel der Druck, dass das „Handwerkszeug“ vermittelt werden müsse. Das Ergebnis ist dann, dass stumpf Rechenrezepte gepaukt werden, die völlig bezugslos sind. Selbst wenn doch noch Zeit für den „Überblick“ sein sollte, verkümmert dieser in der Regel zu einer willenlosen Ansammlung einzelner Aspekte des Faches.

Beides widerspricht allen Erkenntnissen der Naturwissenschaftsdidaktik diametral. So analysierte Wagenschein bereits in den 1970er Jahren[8], dass eines der größten Probleme bei der Physik-Vermittlung ist, dass die qualitative Stufe der Weltaneignung übersprungen und direkt mit der quantitativen begonnen wird. Zudem forderte er, dass Lernen gerade nicht im ansammelnden Rundumschlag bestehen dürfe, sondern exemplarisch, genetisch (und sokratisch) vollzogen werden müsse. Neuere Erkenntnisse aus dem Bereich „Nature of Science“ schlagen in dieselbe Kerbe (auch sollten philosophische und ethische Aspekte angemessen Berücksichtigung finden).

Angesichts dessen folgender Gegenvorschlag:[9]

In den letzten Jahren bis Jahrzehnten wurden an der Universität zu Köln fachwissenschaftliche Veranstaltungen speziell für Lehramtsstudienerde entwickelt, teils aus der Tradierung der nicht-gymnasialen Studiengänge, die bis in die PH-Zeiten der 1980er zurück reichen, teils entwickelt aus der Unzufriedenheit damit, dass Gymnasium-/Gesamtschul-Lehramtsstudienerde, die klassischerweise einen Teil der Veranstaltungen der Fachphysiker*innen mit besuchen, am Ende ihres Studiums zwar den Kreisel mit allen mathematischen Kniffen beherrschen, aber noch nie etwas davon gehört haben, was am LHC bei CERN passiert. Gemeinsam haben diese Veranstaltungen, dass sie anti-Kochbuch-Veranstaltungen sind. Anstatt auf die Anwendung des Gelernten zielen sie auf das qualitative Verstehen, die dahinter stehende „Natursicht“, die historischen und gesellschaftlichen Kontexte. Die Erfahrung mit diesen Veranstaltungen ist für alle Beteiligten sehr erfreulich. Angesichts dessen ist folgende neue „Staffelung“[10] naheliegend:

a) Abschaffung aller Methoden- und Kochrezept-Veranstaltungen. Stattdessen besagte Lehramtsveranstaltungen für alle als Übersichts- und Einführungsveranstaltungen, die dann auch ruhig etwas kürzer sein dürfen.
b) Aufbauveranstaltungen für die Fachwissenschaftler*innen, in denen dann die Mathekniffe, sonstigen Methoden usw. als Exkurse eingebaut sind.

Erfreuliche Nebeneffekte: Studierende gewinnen früher einen Zugang zum Fach, der ihnen eine bewusste Wahl ihrer weiteren Schwerpunkte ermöglicht, denn dazu taugen die üblichen Methoden-Veranstaltungen für gewöhnlich nicht; man muss erstmal bis zur Experimentalphysik 5 kommen, um sich einen Überblick zu verschaffen. Außerdem können sich Studierende so mit abstrakten Mathematik-Vorlesungen wie Analysis ein bisschen mehr Zeit lassen.

#### 4.2.5. **Einheit von Lehre und Forschung**

Wenn es eine eindeutige Verbesserung durch das Ba/Ma-System gibt, dann die, dass Studierende über ihre Ba-Arbeiten früher als in den Diplomstudiengängen systematisch in die Forschung eingebunden werden. Wünschenswert wäre, diese Humboldtsche Einheit von Lehre und Forschung noch mehr auszuprägen und schon vor der Ba-Arbeit beginnen zu lassen. Der frühe Weltbild-Überblick, der im vorigen Punkt vorgeschlagen wurde, könnte dazu beitragen: Er ermöglicht früh mitzureden, sich z.B. aktiv in Seminaren zu beteiligen, eigene Fragestellungen aufzuwerfen oder auch nur nachzuvollziehen, warum gerade woran geforscht wird. Daran anknüpfend könnten Studierende Reihenfolge und Schwerpunkte der Aufbauveranstaltungen so wählen, dass sie schon früh in Mini-Forschungsprojekte, die einerseits Teil größerer „echter“ Forschung sind und andererseits selbst und bewusst ausgewählt werden könnten, mit einbezogen werden könnten.

#### 4.2.6. **Formatvielfalt**

Dass die Quote der Studienabbrecher*innen in den Lehramtsstudiengängen oftmals geringer ist als in den fachwissenschaftlichen Studiengängen, mag viele Gründe haben, z.B. eine langfristigere Lebensplanung der jeweiligen Studierenden. Dennoch haben die Lehramtsstudiengänge gegenüber den fachwissenschaftlichen Studiengängen einen entscheidenden Vorteil: Die Studierenden studieren von Anfang an zwei Unterrichtsfächer und Bildungswissenschaften. Sie sind dadurch bestenfalls mit dreimal so vielen Fachkulturen, Veranstaltungsformen, Arten von Studienleistungen etc. konfrontiert. Das fordert nicht nur heraus, dass Studierende lernen, diese Vielfalt zu managen; vielmehr ist ein altes Mantra jeglicher (Schul-)Didaktik, dass es einer Vielzahl von Zugängen, einer Methodenvielfalt etc. bedarf, damit alle auf ihre Kosten kommen und aber auch alle von Anfang an mit hoher Wahrscheinlichkeit zumindest in

8 vergleiche [12]

9 Anm. der Redaktion: Ein etwas, aber nicht völlig anderer Weg das Problem zu beantworten wird auf Poster „Mathematische Methoden und Theoretische Physik fürs Lehramt – nur fürs Lehramt?“ aufgezeigt.

10 Anm. der Redaktion: Vergl. Poster „Mathematische Methoden und Theoretische Physik fürs Lehramt – nur fürs Lehramt?“

manchen Gebieten Erfolgserlebnisse verbuchen können, die ermutigen dran zu bleiben. Vom Erfolg der Lehramtsstudiengänge zu lernen, bedeutet deshalb auch, systematisch die Zahl der möglichen Veranstaltungs- und Prüfungsformate zu erhöhen. Warum nicht ein Seminar und ein Programmierpraktikum im ersten Semester? Warum nicht im zweiten Semester statt einer Optik-Klausur einen fiktiven Dialog zwischen Newton und Huygens zur Frage Korpuskel- versus Wellennatur des Lichtes schreiben? Also: Mehr Arten der Bewertung von Studienleistungen zulassen (z.B. Essays, Reflexionen, Präsentationen, etc.)[11]

#### 4.2.7. **Kooperation fördern**

And last, but not least: Alle wissen: Physik lernt man meist nur in Gruppen erfolgreich. Ob es gelingt, dass Studierende produktive Gruppen bilden, hängt von vielen Faktoren ab, etwa auch davon, ob die Räumlichkeiten vor Ort zum Verweilen oder zum Weglaufen einladen. Aber es gibt zumindest zwei Möglichkeiten, echte Gruppenarbeit in der Studiengangsentwicklung zu fördern z.B.:

a) Reihum-Abgaben, die sich aufeinander beziehen. Wenn etwa bei einer Praktikumsgruppe jedes Mal ein anderes Gruppenmitglied die Hauptverantwortung für die Abgabe trägt, sollten die Aufgaben so gestrickt sein, dass man sich die jeweils vorhergehende Abgabe ansehen muss, um die nächste ausarbeiten zu können. So kommen auch Einzelkämpfer*innen ins Gespräch.

b) Sog. Abhängigkeitsketten sind Gift für Gruppenarbeit, weil sie dazu führen, dass Arbeitsgruppen auseinander gerissen werden, sobald ein Teil der Gruppe eine Prüfung besteht und der andere Teil nicht. Deshalb: Die Zulassung zu einer Veranstaltung sollte (auch bei inhaltlicher Abhängigkeit) nie restriktiv davon abhängig gemacht werden, ob irgendeine andere Prüfung bestanden wurde oder nicht.

## 5. **Praktische Antworten und offene (Streit-)Fragen**

Die Abschlussdiskussion des Studienreformforums bestand aus recht wenigen Menschen, war in ihrer Zusammensetzung aber mit Professor*innen, Mitgliedern des wissenschaftlichen Mittelbaus sowie Studierenden aus Deutschland und Österreich und weiteren Interessierten divers zusammen gesetzt. Auch wenn die Zusammensetzung der Diskutierenden nicht repräsentativ war, steckten die Debattenbeiträge nach Einschätzung der Autor*innen meist den Bereich dessen ab, was z.B. im Rahmen von Reakkreditierungen an den Hochschulen vertreten wird. Angesichts dessen erhebt dieser Bericht auch nicht den Anspruch, die Debatte im Detail, in der tatsächlichen Reihenfolge oder wortgetreu wiederzugeben, sondern die Kernpositionen und -argumente der Debatte pointiert herauszuarbeiten. In diesem Sinne wurden teilweise auch Begriffe im Nachhinein behutsam vereinheitlicht (z.B. „flexible Studiengangskonzeption“ zu „nicht-lineare Studiengangskonzeption“).

In der Diskussion haben sich drei Kerndiskussionsstränge herauskristallisiert: Selbstständigkeit der Studienanfänger*innen, Flexibilisierung / Entlinearisierung von Studiengangskonzepten und Verwendung von Restriktionen innerhalb von Studiengangskonzepten. Die Kontroversen und Positionen zu diesen drei Punkten werden im Folgenden detaillierter geschildert.

### 5.1. **Wie selbständig sind Studienanfänger*innen und was ist eine passende Antwort darauf?**

Von einigen Teilnehmer*innen wurde problematisiert, dass trotz verschiedener Bemühungen eine erhebliche Zahl von Studierenden in ihren ersten Semestern nicht mehr an Veranstaltungen teilnehmen und auch nicht mehr auf Kontaktversuche reagierten, sodass es auch schwer sei, die Gründe dafür wirklich heraus zu finden und Strategien zu entwickeln. Allerdings wurde Leistungsdruck als wichtiger Punkt diskutiert.

Im Rahmen dieser Debatte gab es im Wesentlichen drei Kontroversen:

#### 5.1.1. **Smooth or stumbling?**

**Auf der einen Seite** wurde vertreten, dass Studierende nicht (mehr) so selbständig seien, dass sie mit Freiheiten sinnvoll umgehen könnten. Um sie dennoch erfolgreich zum Ende des Studiums zu führen, müsse mit Orientierungsangeboten und Verschulung reagiert werden. Alles andere führe zu Frust, Studienabbrüchen und vergeudeter Lebenszeit bei allen Beteiligten.

**Auf der anderen Seite** wurde dem entgegen gehalten, dass es entscheidender Zweck des Studiums sei, dass Studierende lernten, mit Freiheit sinnvoll umzugehen, was nur möglich sei, wenn sie diese Freiheit hätten und dabei Fehler machen könnten. Entscheidend sei nicht, dass Studierende möglichst reibungslos durchs Studium kämen; vielmehr sei vor allem Stolpern bildsam. Dies könne man sogar dahingehend zu Ende denken, dass jemand, die/der nie im Studium gescheitert sei, eigentlich keinen Abschluss bekommen könne, weil sie/er etwas Entscheidendes, nämlich den Umgang mit Scheitern, nur theoretisch kenne.

#### 5.1.2. **Durch Schule oder Studium verdorben?**

Ein weiteres ausführlich diskutiertes Thema war die Herausforderung beim Übergang zwischen Schule und Studium und die besondere Situation der Studienanfänger*innen.

**Von einigen Anwesenden** wurde vertreten, Studienanfänger*innen kämen immer unselbständiger von

11 Anm. der Redaktion: Vergleiche Poster „Übungsaufgaben versus Essays“

der Schule, betrachteten das Studium vor allem unter Kosten-Nutzen-Abwägungen (‚Ist das klausurrelevant?') und seien allgemein schlechter durch die Schule vorbereitet.

**Auf der anderen Seite** stand die Behauptung, Studienanfänger*innen kämen im Gegenteil offen und intrinsisch motiviert an die Hochschulen und würden dort in den ersten Semestern systematisch „versaut"; so würden Erstsemester*innen in Vorkursen die Übungsaufgaben z.B. ohne jeden Zwang bearbeiten und im ersten Semester vieles belegen, was nicht zum festen Curriculum gehöre, aber schon nach wenigen Semestern hätten sie gelernt, nur das zu tun, was helfe, um Punkte oder gute Noten zu bekommen.

#### 5.1.3. **Kulturstreit**

Zwar gab es unter den Diskutierenden einen Konsens, dass es prinzipiell möglich sein müsse, Fehler zu machen, durch Klausuren zu fallen und diese zu wiederholen, also dass nach dem Stolpern Hilfen zum Wiederaufstehen existieren müssten.

**Auf der einen Seite** wurde allerdings vertreten, dass dies nur realistisch sei, wenn insgesamt im Fachbereich eine solidarische Fehlerkultur herrsche. Für eine solche Kultur trügen Dozierende und Studierende gemeinsam die Verantwortung, wenn z.B. von Anfang an klar sei, dass es verschiedene Wege und Lerngeschwindigkeiten gebe und dass es nicht Ausnahme, sondern Normalfall sei, durch Klausuren zu fallen. Wenn dagegen der Eindruck erweckt werde, dass es *den einen* erstrebenswerten Normalfall gebe, wie z.B. durch die Existenz *des* Studienverlaufsplanes, durch Betonung der Wichtigkeit der Regelstudienzeit usw. seien die anfangs problematisierten Kommunikationsschwierigkeiten, ja eine regelrechte Sprachlosigkeit im Fachbereich, absehbar.

Vor allem wurde von Studierenden problematisiert, dass Abweichungen vom Normalfall zwar toleriert, aber vor allem als „korrigierbares Missgeschick von oben herab" diskutiert würden. Eine praktische Alternative dazu könne etwa sein, nicht nur *den* Studienverlaufsplan zu veröffentlichen, sondern z.B. auch tatsächliche Studienverläufe von Studierenden, die durch eine Reihe von Klausuren gefallen sind, zusammen mit Berichten realer Studierender über ihren Studienverlauf samt Beweggründen.

Ein Ansatz sei auch, das, was in Deutschland als Regelstudienzeit bezeichnet wird, wie in Österreich als „Mindeststudienzeit" zu bezeichnen. Selektion geschehe in Österreich zudem weniger mit dem Ergebnis, dass Menschen aussortiert würden, sondern dass sie bestimmte Leistungen wiederholen müssten, bis sie die Anforderungen erfüllten. So gebe es in Österreich beispielsweise im gesamten Hochschulsystem prinzipiell keinen Numerus Clausus und keine Selektion nach dem Bachelor.

**Auf der anderen Seite** gab es teils heftigen Widerspruch gegen diese Anregungen. Zwar sei klar, dass das Tempo für viele einfach zu hoch sei, egal welche didaktischen Anstrengungen unternommen würden. Dies werde im Hochschulalltag ja durchaus auch berücksichtigt, im Zweifel müsse man sich aber nach den Leistungsträger*innen richten. Vor allem aber dürfe man auf keinen Fall Studierende mit Schwierigkeiten als Vorbilder darstellen, weil das insgesamt die Moral untergrabe und ein falsches Bild vermittle.[12]

### 5.2. **Lineare oder nicht-lineare Studiengangskonzeption?**

Ein weiterer Diskussionsstrang ging von der Kritik einiger Teilnehmer*innen an Studienverlaufsplänen aus, die sich auch auf den Beitrag 4.2 „Entschulung ist mehr als das Aufheben von Restriktionen" bezog. Kern dieser Kritik war, dass Studienverlaufspläne zugleich wertlos und einschüchternd seien für Studierende, die nicht oder nicht mehr nach dem Studienverlaufsplan studieren könnten oder wollten, etwa auf Grund von nicht bestandenen Prüfungen, Krankheit oder Teilzeitstudium. Von einigen Dozierenden wurde diese Kritik für weltfremd gehalten: Ohne Studienverlaufspläne hätten die Studierenden noch weniger Orientierung. (Siehe auch Diskussionsstrang 5.1 „Wie selbständig sind Studienanfänger*innen und was ist eine passende Antwort darauf?")

In dieser Debatte entwickelte sich der Konsens, dass ein deutlich größerer Teil der Studierenden ein Physikstudium erfolgreich beenden würde, wenn man die systematische Möglichkeit böte, den Bachelor in 8 statt 6 Semestern zu studieren.

Von einigen Dozierenden wurde allerdings bedauert, dass es trotz dieser Erkenntnis praktisch unmöglich sei, zusätzlich zum 6-semestrigen ein Physik-Bachelor-Studium in 8 Semestern anzubieten. Einerseits fehle selbst den großen Hochschulen die Kapazität, um einen Großteil der Lehre doppelt anzubieten, wie es dafür notwendig sei; andererseits lege auch der rechtliche Rahmen für die Gestaltung von Studiengängen in Form der Akkreditierungsvorgaben einem 8-semestrigen Bachelor-Programm, dem ein 4-semestriges Master-Programm folge, Steine in den Weg.[13]

Abgesehen davon, dass einige Diskutant*innen diese Schwierigkeiten für überwindbar hielten,[14] wurde

12 Anm. d. Verf.: Zur Kritik des Standpunktes, dass man Studierende mit Schwierigkeiten nicht als Vorbilder darstellen dürfe, siehe auch Beitrag 2.2 „Warum Studienabbrecher toll sind"

13 Anm. d. Verf.: Eine Aufteilung der Unis in ‚Unis erster Klasse' mit 6-semestrigem Bachelor und ‚Unis zweiter Klasse' mit 8-semestrigem Bachelor, wie sie in anderen Debatten mitunter gefordert wird, wurden von keiner/keinem Diskussionsteilnehmer*in als erstrebenswert angesehen.

14 Man müsse gar nicht alles doppelt anbieten, sondern lediglich wenige Veranstaltungen, wie die Erfahrung an Hochschulen, an denen man auch im Sommersemester starten kann, zeigten. Außerdem gebe es mit der Möglichkeit Teilzeitstudiengänge einzu-

vor allem von studentischer Seite betont, dass ein 6-semestriges und ein 8-semestriges Programm parallel anzubieten auch gar nicht erstrebenswert sei. Vielmehr gehe es darum, bestehende Studiengänge so zu entschulen, dass jeder Studiengang problemlos in einer beliebigen Semesterzahl studierbar sei: Einerseits helfe ein festgelegtes 8-semestriges Curriculum wenig, wenn jemand aus dem 6-semestrigen Curriculum durch eine Klausur falle oder in der Mitte des Semesters feststelle, dass sie/er sich übernommen habe. Andererseits bestehe die Idee einer diversen, inklusiven Hochschule ja gerade darin, verschiedene Menschen, z.B. solche, die mit guter finanzieller Ausstattung frisch aus der Schule kommen, und solche, die über den zweiten Bildungsweg kommen und parallel zum Studium in ihrem alten Beruf arbeiten, systematisch zusammen zu bringen, anstatt sie in verschiedene Curricula einzusortieren.

Grundsätzlich – so die von studentischer Seite entfaltete These – sei die Verschulung der letzten 20 Jahre auch Ausdruck einer falsch verstandenen und zudem nicht zielführenden Fürsorge.[15] Neben fragwürdiger politischer Programmatiken[16] sei eine Triebfeder der Verschulung der Studiengänge insbesondere im Rahmen der Bachelor-Master-Reform das Anliegen gewesen, leistungsschwächere Studierende oder solche mit geringer intrinsischer Motivation schrittweise durch ein verschultes und verregeltes Studienprogramm zu führen. Diese Konzeption sei allerdings in doppelter Hinsicht gescheitert: Einerseits hätten die Verschulungsmaßnahmen ihren Zweck nicht erfüllt; Abbrecher*innen-Quoten, Studiendauern usw. hätten sich überhaupt nicht verändert, im Gegenteil sei die soziale Selektion an den Hochschulen und die psychische Belastung der Studierenden sogar gestiegen. Andererseits bremse die Verregelung und Verschulung die Studierenden, „die schon immer klarkamen“, aus. Sie töte vorhandene intrinsische Motivation ab, indem sie die Entfaltungsmöglichkeiten im Studium einschränke, und erziehe Studierende genau zum am Anfang der Diskussion von Dozierendenseite beklagten Studieren nach Kosten-Nutzen-Abwägung.

Angesichts dessen sei eine schrittweise, aber konsequente und systematische Entschulung der Studiengänge die Herausforderung der Zeit. Allerdings sei Entschulung deutlich mehr als die Aufhebung von Regularien.[17] Vielmehr sei bei den didaktischen Überlegungen zur Konzeptionierung von Studiengängen ein Umdenken von einem linearen zu einem nicht-linearen Studienverlauf nötig. Als Methode dafür wurde vorgeschlagen, die inhaltlichen Abhängigkeiten zwischen Veranstaltungen eines Studienganges graphisch aufzuzeichnen und zu diskutieren, durch welche Änderungen sich Verbindungen im entstehenden Abhängigkeiten-Geflecht kappen ließen.[18]

Studiengänge so zu flexibilisieren wurde allgemein als wünschenswert angesehen, die praktischen Schwierigkeiten und Chancen dieser Idee allerdings sehr unterschiedlich bewertet. Einige Dozierende betonten, dass es unhintergehbare Grundlagen der Physik gebe und eine in der Fachsystematik begründete Reihenfolge, in der Physik gelernt werden müsse. Dies wurde von anderen infrage gestellt[19]: Teilweise sei, was an einigen Hochschulen als unhintergehbare Grundlage im Bachelor-Studium angesehen werde, an anderen Hochschulen lediglich eine von vielen wählbaren Vertiefungen im Master. Die jeweilige Perspektive sei entscheidend davon geprägt, woran an der jeweiligen Hochschule geforscht werde, weil in der Physik – anders als in vielen anderen Fachbereichen – die Einheit von Lehre und Forschung bis heute sehr gepflegt werde. Der systematische Vergleich von ehemaligen und aktuellen Physik-Curricula verschiedener Hochschulen könne deshalb sehr nützlich sein, um einerseits Gründe für die Gestaltung der bestehenden Curricula zu rekonstruieren und als Grundlage für eine mündige Gestaltung des Studiums prominent an Studierende zu kommunizieren. Andererseits könnten so Ideen für die Entlinearisierung von Studiengängen entwickelt werden. Darüber hinaus gebe es mit den eingereichten Beiträgen zum Studienreform-Forum, z.B. auf dem Poster „Mathematische Methoden und Theoretische Physik fürs Lehramt – nur fürs Lehramt?“, bereits eine kleine Sammlung vielversprechender Ideen.

Trotz unterschiedlich großer Hoffnungen gab es bei allen Anwesenden ein großes Interesse daran, Studiengänge, die in ihren Curricula ungewöhnliche Wege gehen, zu finden und einen Erfahrungsaustausch darüber herzustellen. Darüber hinaus wurde ein systematisches Review ehemaliger und bestehender Studiengänge unter dem Aspekt der Entlinearisierung des Studienverlaufs für sehr wertvoll gehalten.

richten sehr wohl die formalen Grundlage für 8-semestrige Bachelor-Programme.

15 Anm. d. Verf.: Vergleiche auch Beitrag 3.2 „Professor Namenlos und die liebevolle Strenge“

16 Anm. d. Verf.: Vergleiche auch den Beitrag 3.1 „Redesigning Education: A Gaze Beyond the Horizon of Bologna“

17 Anm. d. Verf.: Vergleiche auch den Beitrag 4.2 „Entschulung ist mehr als das Aufheben von Restriktionen“

18 Anm. d. Verf.: Es gibt im Beitrag 4.2 „Entschulung ist mehr als das Aufheben von Restriktionen“ einen Vorschlag für solch eine Darstellung, der an den seit einigen Jahren in der US-Naturwissenschaftsdidaktik etablierten Learning Progressions angelehnt ist. Dieser Vorschlag könnte zugleich auch ein potenziell konsensfähiger Ersatz für die derzeit verbreiteten Studienverlaufspläne sein.

19 u.a. mit Verweis auf den Erfahrungsaustausch bei der Zusammenkunft aller deutschsprachigen Physik Fachschaften (ZaPF)

### 5.3. **Prüfungsversuche, Maximalstudiendauern, Voraussetzungsketten**

Wiederum kontroverser war ein weiteres, sehr konkretes Thema, nämlich Begrenzungen für die Wiederholung von Prüfungen.

**Von einigen Teilnehmer*innen wurde betont**, dass Entschulung zwar nicht nur Entregelung sei, aber das Aufheben von Restriktionen schon auch ein entscheidender Reformschritt sei. Damit gebe es auch bereits ausreichend Erfahrungen, sodass direkt damit begonnen werden könne und solle. Als Beispiel solcher Restriktionen wurden sog. Voraussetzungsketten[20], Höchststudiendauern[21] und die Beschränkung der Anzahl von Klausurversuchen genannt.

Es wurde darauf hingewiesen, dass es zahlreiche Hochschulen gibt, die „schon immer gut ohne solche Restriktionen ausgekommen sind"; zudem wurde in der Frage der Klausurversuchsbeschränkungen auf ein Poster verwiesen, das die Diskussion um die und die Erfahrungen mit der Abschaffung der Klausurversuchsbeschränkungen samt vorher-nachher-Vergleich dokumentiert.[22]

**Dagegen gab es Einspruch von einigen Teilnehmer*innen.** Konkret wurde als Problem bei der Aufhebung von Restriktionen die Inkaufnahme von „Karteileichen" benannt. Selbst wenn diese Karteileichen nur sehr wenige seien und normalerweise niemanden störten, gebe es spätestens bei einer Überarbeitung der Studiengänge erhebliche Probleme, wenn diese Karteileichen exmatrikuliert oder in die neuen Studiengänge migriert werden müssten. Dem wurde entgegen gehalten, dass es unverhältnismäßig sei, die prinzipielle Gestaltung eines Studienganges von solchen Sonderfällen abhängig zu machen, für die es immer auch spezifische Übergangsregelungen geben könne.

Angesichts der fortgeschrittenen Zeit konnte aber nicht mehr geklärt werden, ob die Einsprüche gegen die vorgeschlagene Aufhebung von Restriktionen prinzipieller Natur waren oder sich lediglich auf Umsetzungsfragen bezogen.

### 5.4. **Wie weiter?**

Gemeinsam war bei allen Themen der Wunsch nach einer bessere Übersicht über die bestehenden Physikstudiengänge und ihre unterschiedlichen Ansätze. Außerdem wurde immer wieder über die mögliche Einbeziehung der Hochschuldidaktik und die Schwierigkeiten bei Forschungsprojekten über Studiengänge beraten. Dabei stellte sich heraus, dass die Erforschung der Weiterentwicklung ganzer Studiengänge mit den derzeit in der Physikdidaktik favorisierten empirischen Methoden mangels Vergleichsgruppen und sehr langer Zyklen schwierig ist. Vielmehr wäre eine „Archäologie der Studienreformen", eine systematische Rekonstruktion der dahinter stehenden Debatten und die systematische Dokumentation künftiger Reformschritte notwendig.

Außerdem gibt es den Wunsch, weitere am Thema Studiengangsgestaltung und -refom Interessierte und darin Involvierte, insbesondere die Konferenz der Fachbereiche Physik (KFP), für einen weiteren Austausch zu gewinnen und das Studienreform-Forum im nächsten Jahr erneut stattfinden zu lassen.

20 Modul B kann erst belegt werden, wenn Modul A erfolgreich abgeschlossen wurde

21 Zwangsexmatrikulation nach Überschreiten der Regelstudienzeit um X Semester, aber auch: automatische Anmeldung zur Klausur X im Semester Y bei Beschränkung der Anzahl der Klausurversuche

22 Poster „7 Semester ohne Klausurversuchsbeschränkungen – 7 Semester entwicklungs- statt absicherungsorientiert studieren"

## 6. **Literatur**


[1] Antonio Gramsci: Gefängnishefte, H. 3, §34, 354f

[2] European Association for Quality Assurance in Higher Education (ENQA), European Students' Union (ESU), European University Association (EUA), European Association of Institutions in Higher Education (EURASHE): Standards and Guidelines for Quality Assurance in the European Higher Education Area (ESG). (2015). Brussels, Belgium.
Findet sich im Supplementary Material

[3] Bläck Fööss: „En D'r Kayjass Nummer Null" by Hermann Kläser und Will Herkenrath. *Mer losse d'r Dom en Kölle*, Universal Music 1988 https://www.youtube.com/watch?v=jwl4O22_5WU, abgerufen 22.7.2019

[4] Wikipedia-Artikel zu Paternalismus https://de.wikipedia.org/wiki/Paternalismus, abgerufen 16.7.2019

[5] Wikipedia-Artikel zum Buch „Überwachen und Strafen" von Michel Foucault https://de.wikipedia.org/wiki/%C3%9Cberwachen_und_Strafen, abgerufen 16.7.2019

[6] Brings: „Kölsche Jung" by Peter und Stefan Brings. *Kölsche Jung*, Kasalla Musikverlag 2013 https://www.youtube.com/watch?v=DcNPqs-WPbD8, abgerufen 16.7.2019

[7] Francis Fukuyama: „The End of History and the Last Man" Free Press 1992

[8] Gemeinsame Erklärung der Bildungs- und Lehrergewerkschaften und der Kultusministerkonferenz vom 19.10.2006: „Fördern und Fordern – eine Herausforderung für Bildungspolitik, Eltern, Schule und Lehrkräfte" https://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2006/2006_10_20_Foerdern_Fordern.pdf, abgerufen am 22.7.2019

[9] Bodo Hombach, Peter Mandelson: „Der Weg nach vorne für Europas Sozialdemokraten" / „The Third Way", Ein Vorschlag von Gerhard Schröder und Tony Blair, vorgestellt am 8.6.1999 in London http://www.glasnost.de/pol/schroederblair.html, abgerufen am 22.7.2019

[10] Höhner: „Der Opportunist“. *Mach Laut!*, UMG 2014 https://www.youtube.com/watch?v=Wx1aCToa7VY, abgerufen 16.7.2019
[11] Anne Helen Petersen: „How Millenials Became the Burnout Generation“. BuzzFeedNews, 5.1.2019 https://www.buzzfeednews.com/article/annehelenpetersen/millennials-burnout-generation-debt-work, abgerufen 16.7.2019
[12] Wocken, H. (1981). Methodik des naturwissenschaftlichen Unterrichts mit lernbehinderten Schülern. In: Kanter, G. O. & Langenohl, H. (Hrsg.), Physikunterricht an der Lernbehindertenschule. (S. 161–220). Berlin: Marhold. S. 168

# Vermittlung von Teilchenphysik: Outreach und Physikdidaktik im Gespräch

## Dokumentation des gemeinsamen Workshops der Fachverbände Teilchenphysik und Didaktik der Physik

**Oliver Passon*, Claudia Behnke[+], Klaus Buschhüter[#] und Michael Kobel [+]**

*Bergische Universität Wuppertal, AG Physik und ihre Didaktik, Gaußstr. 20, 42119 Wuppertal,
[+]TU Dresden, Institut für Kern- und Teilchenphysik, Zellescher Weg 19, 01062 Dresden,
[#]Physik Moderator, Kompetenzteam Aachen, NRW
Korrespondenz passon@uni-wuppertal.de

**Kurzfassung**

Auf der DPG Frühjahrstagung in Aachen (25.-29. März 2019) haben die Fachverbände Teilchenphysik und Didaktik der Physik mit der Durchführung eines gemeinsamen Workshops zur Vermittlung der Teilchenphysik ein neues Format erprobt. Eingeleitet durch drei knappe Impulsreferate, die die Perspektiven „Outreach“ (Claudia Behnke), „Schule“ (Klaus Buschhüter) und „Fachdidaktik“ (Oliver Passon) vertreten haben, wurde eine moderierte Diskussion geführt. In diesem Beitrag stellen zunächst die Sprecher die Kernpunkte ihrer Referate dar, bevor die anschließende Diskussion auf Grundlage einer Audioaufzeichnung zusammengefasst wird.

## 1. Einleitung und Motivation

Die Elementarteilchenphysik (ETP) ist in mehreren Bundesländern Teil des Oberstufenlehrplans geworden. Dies stellt eine neue Herausforderung für die Fachdidaktik und Lehrendenbildung dar. Gleichzeitig gibt es eine jahrzehntelange Erfahrung im Outreach von Forschungseinrichtungen und Universitäten, Inhalte der Teilchenphysik für die interessierte Öffentlichkeit sowie Schülerinnen und Schüler aufzubereiten. Dies verspricht einen fruchtbaren Erfahrungsaustausch, wenn die verschiedenen Perspektiven der jeweiligen Akteure sowie die unterschiedlichen Ziele der Bildungsanstrengungen berücksichtigt werden. Eingeleitet durch drei knappe Impulsreferate aus „Outreach“ (Claudia Behnke), „Schule“ (Klaus Buschhüter) bzw. „Fachdidaktik“ (Oliver Passon) sollten im Rahmen einer moderierten Diskussion zusammen mit den Teilnehmern des Workshops die Potenziale einer Zusammenarbeit erörtert werden.

In Kapitel 2 fassen die Sprecher ihre Impulsreferate zusammen, bevor in Kapitel 3 auf der Grundlage einer Audioaufzeichnung die anschließende Diskussion dokumentiert wird. Es handelt sich dabei nicht um eine Transkription, sondern eine sinngemäße Zusammenfassung der Wortmeldungen. Jedoch wurde teilweise versucht, den sprachlichen Charakter der mündlichen Diskussion beizubehalten. Die jeweiligen Teilnehmer der Debatte hatten Gelegenheit, ihre Wortmeldungen zu redigieren. Abschließend ziehen wir ein Fazit (Kapitel 4).

## 2. Die Impulsreferate

### 2.1. Das Standardmodell der Teilchenphysik im Schulunterricht aus Sicht der Fachphysik und der Wissenschaftskommunikation (Claudia Behnke)

„Was ist das Standardmodell?“ - Aus Sicht der Teilchenphysik ist diese Frage leicht zu beantworten: Das Standardmodell ist die genaueste theoretische Beschreibung, die es momentan von unserem Universum gibt. Im Allgemeinen wird das Standardmodell mit Hilfe des Lagrange Formalismus dargestellt, der die fundamentalen Eigenschaften mathematisch elegant und korrekt darstellt.

Diese Darstellung ist für Schülerinnen und Schüler im Allgemeinen nicht begreifbar, da das mathematische Grundwissen noch nicht vorhanden ist. Somit werden Schülerinnen und Schüler im Schulunterricht immer nur Auszüge aus dem Standardmodell kennenlernen und es wird eine Art „Modell“ des Standardmodells gebildet. Unter der Beachtung der Verkürzung im Rahmen dieser Modellbildung [1] sollten die Hauptaspekte des Standardmodells für die Lernenden hervorgehoben werden. Diese Schwerpunkte setzt seit etwa 10 Jahren das Netzwerk Teilchenwelt in den *Masterclasses*, bei denen Schülerinnen und Schüler Datensätze aus Teilchenphysikexperimenten analysieren. Basierend auf diesen Erfahrungen wurde ein Zugang zur Teilchenphysik im Schulunterricht entwickelt, der beinahe ohne mathematische Hilfsmittel auskommt und dennoch Fehlvorstellungen vermeidet [2].

Die Basis des Standardmodells bilden fundamentale Symmetrien [3], aus denen weitere Eigenschaften direkt abgeleitet werden. Hierbei sollten besonders

die fundamentalen Wechselwirkungen sowie die Ladungen im Fokus liegen, da diese (mit Ausnahme der Gravitation) im Standardmodell direkt aus den Symmetrien folgen. Die Anzahl der vorhandenen Materieteilchen, wie sie in vielen Lehrbüchern aufgezählt werden, ist keine Konsequenz dieser fundamentalen Symmetriegruppen, sondern eine experimentelle Erkenntnis und bildet daher die eigentlichen Hauptaspekte nicht ab [2].

Durch Fokussierung auf Ladungen und Wechselwirkungen können die Lernenden an bereits bekannte Konzepte (z.B. Landungserhaltung, Ladungsquantelung) anknüpfen. Die Übermittlung von elektromagnetischer Wechselwirkung durch das Photon als Botenteilchen ist den Schülerinnen und Schülern ebenfalls bekannt. Dieses Botenteilchen-Modell kann auf die anderen Wechselwirkungen übertragen werden und durch veränderte Eigenschaften jener Botenteilchen (z.B. Masse, Selbstwechselwirkung) helfen, die unterschiedlichen Reichweiten der fundamentalen Wechselwirkungen zu veranschaulichen [2].

Das Unterrichten des Standardmodells im Schulunterricht hilft zu verstehen, dass unsere Welt mit der einfachen Annahme fundamentaler Symmetrien äußerst präzise beschrieben werden kann. Hierbei sollte man den Lernenden nicht vorenthalten, dass sie im Schulunterricht immer nur ein Modell des Modells sehen werden und sie eine mathematisch exakte Darstellung im Studium erlernen werden.

### 2.2. Bemerkungen zur Elementarteilchenphysik in der Schule (Klaus Buschhüter)

Ungeachtet der Tatsache, dass die Lehrerschaft bezüglich der Sinnigkeit dieses (im Lehrplan neuen physikalischen) Themenfeldes tief gespalten ist, kann man unschwer aber auch von enormen Chancen hinsichtlich der Motivation für dieses Thema sprechen.

Sieht man von einigen wenigen Teilthemen der Quantenphysik ab, so erschien den Schülerinnen und Schülern Physik bisher extrem „logisch“, immer tief begründet und mit Formeln belegt. Alle Probleme wurden sehr tiefgehend und kritisch hinterfragend beantwortet. Genau diese dem Fach eigene Vorgehensweise kann sich dabei dann als problematisch erweisen, wenn die Notwendigkeit virtueller Teilchen nicht deutlich wird, Massenbilanzen unsinnig oder zurechtgelegt erscheinen. Beispielhaft wird das beim Betazerfall deutlich, den viele Lehrkräfte sicher als Anknüpfungspunkt wählen, wenn man den Blick auf die W-Bosonen richtet. Modelle und Bilder müssen her, um weg von der Unschärferelation die Probleme der Massenbilanzen und der Lebensdauern dieser neuen Teilchen bei solchen Prozessen anschaulich zu erklären. Das Mittel der Wahl ist die schlüssige Übertragung eines zuvor begründeten Photonenwolkenmodells auf die W- und Z-Bosonen. Die darauf aufbauend folgende Weltliniendarstellung von Elementarteilchen z.B. die ständige Wandlung von u – d Quarks erzeugt eine höhere Akzeptanz der „begründeten Existenz“ virtueller Teilchen. Nun wird auch deutlich, dass sich das vorschnell erkannte Massenbilanzproblem ganz anders deuten lässt, denn die virtuellen Teilchen müssen nicht die Eigenschaften reeller Teilchen besitzen. Gerade hier ist der Wandlung von Teilcheneigenschaften durch die „Einwirkung“ von Wechselwirkungsteilchen besondere Beachtung zu schenken, um die Notwenigkeit von der Abkehr der Feldvorstellung zu verdeutlichen. Dabei zeigt die Erfahrung, dass die den Schülerinnen und Schülern bereits bekannten Photonen kaum als Austauschteilchen der elektromagnetischen Kraft wahrgenommen werden, eher erscheinen sie als eine Art „Währung“, um ihnen Energiebilanzen im Sinne der Bohrschen Energieniveaus stimmig erscheinen zu lassen. Hilfe bietet dabei die Deutung der Paarvernichtung von Photonen als Austauschprozess von Eigenschaften, wobei Energie- und Impulserhaltung eher als notwendige Bedingung erscheinen sollte statt Hauptfokus der Betrachtungen. Anschließend bereitet die Erklärung der für die Schüler neunen, starken Kraft zwischen den Quarks wenig Problem, denn es findet ersichtlich ein Austauschprozess statt (Farbänderung), den man über den so vollzogenen Gluonenaustausch einer Kraftwirkung zuschreiben kann.

Zum Abschluss bleibt das „Higgs-Teilchen“ als Vermittler von Masse extrem schwierig zu behandeln. Anekdotisch gedeutet, hat man in der Q1 mit viel Mühe den Äther mit Hilfe des Michelson Morley Experiments „abgeschafft“, um dann auf das den gesamten Raum durchsetzende Higgs-Feld zu stoßen.

### 2.3. Teilchenphysik und Konzeptwechsel – Anmerkungen zur Didaktik der ETP (Oliver Passon)

Es besteht breiter Konsens in der Lehr-Lern-Forschung, dass Lernprozesse nicht als reiner Zugewinn von „Wissensinhalten“ aufgefasst werden können, sondern vielmehr *Integrationsleistungen* in bestehende Wissenssysteme darstellen [4]. Vor allem in den Naturwissenschaften verfügen die Lernenden in der Regel über Vorwissen den Gegenstand betreffend – als „Präkonzepte“, „Schülervorstellungen“ oder „Alltagsvorstellungen“ bezeichnet (zur Illustration ein konkretes Beispiel aus dem Anfängerunterricht zur Wärmelehre: „Wolle wärmt“). In dem Umfang in dem diese Schülervorstellungen fachlich defizitär sind, zielt der Unterricht auf einen „Konzeptwechsel“ bzw. auf „Konzeptveränderung“ (in unserem Bsp.: „Wolle wärmt nicht (wie etwa die Sonne), sondern hemmt den Wärmetransport“). In einer klassisch gewordenen Arbeit haben Posner et al. 1982 [5] vier Schritte für eine erfolgreiche Konzeptveränderung identifiziert:

**1**. Es besteht Unzufriedenheit mit dem alten Konzept („dissatisfaction“).

**2**. Das neue Konzept ist verständlich („intelligible“).

**3**. Das neue Konzept ist glaubwürdig („plausible“).

**4**. Das neue Konzept ist fruchtbar bei der Deutung vieler Zusammenhänge („fruitful“).

Man erkennt die Geste: Das Sicherheit stiftende Präkonzept, das sich aus der erfolgreichen Bewältigung von Alltagssituationen gebildet hat, wird von den Lernenden nicht leichtfertig aufgegeben und der Lernprozess muss eine überzeugende Alternative anbieten.

Charakteristisch für didaktische Darstellungen der Teilchenphysik ist nun aber gerade die Anknüpfung an herkömmliche Erklärungsmuster. Gerne werden Quarks und Leptonen als Endpunkte der „Suche nach den kleinsten Bausteinen der Materie“ in eine Reihe mit Molekülen, Atomen und Atomkernen gestellt. Dabei wissen wir, dass diese „Aggregation“ nicht die Teil-Ganze Relation der modernen Physik darstellt. An ihre Stelle sind „Superposition“ und „Mischung“ getreten [6]. Bereits der schulische Unterricht der QM hat das Potential, den naiven Teilchenbegriff erfolgreich zu kompromittieren.

Folgt man hingegen dem Vorschlag des Netzwerk Teilchenwelt und stellt die Wechselwirkungen und Symmetrien (bzw. Erhaltungssätze) in den Mittelpunkt, droht eine andere Gefahr. Mit dem „Austauschteilchen“ begegnet einem zunächst wieder ein „Teilchen“, das klassische Assoziationen wecken kann. Vor allem die Veranschaulichung der Wechselwirkung mit Hilfe des Werfens von Bällen ist hoch problematisch. Ein solch mechanisches Modell insinuiert etwa eine raum-zeitliche Beschreibbarkeit der Vorgänge, die schon innerhalb der QM nicht mehr zulässig ist. Geht man zu einer elaborierteren Darstellung mithilfe von Feynman-Diagrammen über, ist die Gefahr ebenfalls beträchtlich. Als grafische Repräsentationen von Wahrscheinlichkeitsamplituden ist erst das Quadrat ihrer Summe einer physikalischen Deutung zugänglich. Auch hier gilt: Das einzelne Diagramm „erzählt“ keine „raum-zeitliche Geschichte“ über den physikalischen Vorgang (diese und weitere Kritikpunkte werden in [7] genauer untersucht).

Kehren wir nun zum Ausgangspunkt unserer Anmerkungen zurück, nämlich den Bedingungen für eine erfolgreiche Konzeptveränderung. Nach Posner et al. besteht die erste Bedingung in der Unzufriedenheit mit dem „alten Konzept“. Knüpft man jedoch konsequent (und fachlich fragwürdig) an hergebrachte Erklärungsstrategien an (klassische Teil-Ganze Relationen, mechanische Modelle) wird gerade keine Unzufriedenheit erzeugt. Aus diesem Grunde kann auch von einem (verständlichen, glaubwürdigen und fruchtbaren) „neuem Konzept“ nicht gesprochen werden.

Abschließend seien drei knappe Hinweise gegeben, wie der Unterricht der Teilchenphysik Posners Bedingungen für den Konzeptwechsel besser erfüllen könnte:

- Die Diskussion von „Teilchen-Erzeugung“ und „-Vernichtung“ kann den quantenmechanischen Teilchenbegriff in die Irritation führen.
- Wie in der QM sind auch in der Teilchenphysik die Vorhersagen für z. Bsp. Streuexperimente Wahrscheinlichkeitsaussagen, die keine Beschreibung von Einzelprozessen erlauben.
- Die Erläuterung von Feynman-Diagrammen kann ebenfalls an die QM anknüpfen, wenn man etwa die Analogie zum Doppelspaltexperiment ausnutzt. Auch dort werden die Amplituden erst addiert (d.h. die Beiträge von Spalt 1 und Spalt 2) und anschließend quadriert.

## 3. Die Diskussion

Die Diskussion beginnt mit der Rückfrage, in welchem Umfang und mit welcher Eindringtiefe die Quantenmechanik in der Schule behandelt werde. **Klaus Buschhüter** referiert knapp, dass der „Welle-Teilchen Dualismus“ trotzt einiger Kritik von Fachphysikern in der Schulphysik immer noch sehr präsent sei. Daneben spiele die Diskussion von „Wahrscheinlichkeiten“ eine große Rolle sowie (mit Hilfe des Doppelspaltversuches) die Behandlung der Frage, in welchem Umfang das „Realitätskonzept“ in der Mikrophysik eine Einschränkung erführe.

**Andreas Schulz** (Uni Köln) bemerkt, dass der Welle-Teilchen Dualismus an dieser Stelle gar nicht so kritisch zu sehen sei. Das Austauschteilchen in diesem Sinne „dualistisch“ aufzufassen, würde etwa helfen, die Analogie zu Kraftfeldern herzustellen. Außerdem wäre ein Phänomen wie die Neutrino-Oszillationen eine teilchenphysikalisch relevante Anwendung dieses Konzepts. Im Ganzen hebt er hervor, dass, wie in der QM auch, in der ETP bloß Wahrscheinlichkeitsaussagen getroffen werden könnten.

**Oliver Passon** bemerkt an dieser Stelle, dass die Analogie zur QM sicherlich erwünscht sei – jedoch auch Alleinstellungsmerkmale der ETP vorliegen müssten, um ihre unterrichtliche Behandlung zu rechtfertigen.

**Claudia Behnke** nimmt Bezug auf den Vortrag von Passon, in dem behauptet wurde, die Sprech- und Denkweise von Austauschteilchen leite sich aus den inneren Linien von Feynman Diagrammen her. Sie betont, dass Austauschteilchen sich vielmehr aus den Propagatoren ableiteten. Eine naiv teilchenhafte Vorstellung sei jedoch problematisch und eventuell müsse das Material des Netzwerk Teilchenwelt an dieser Stelle noch überarbeitet werden. Frau Behnke hebt jedoch hervor, dass Symmetrien und Erhaltungssätze im Zentrum dieses Vorschlags stünden. Wenn diese Grundidee erfolgreich vermittelt werden könne, seien Ungenauigkeiten in der Darstellung vielleicht verzeihlich.

**Stefan Heusler** (Uni Münster) bemerkt, dass die ETP in der Schule lediglich einen Umfang von ca. sechs Schulstunden habe. Man müsse sich deshalb fragen, welche Inhalte überhaupt behandelt werden könnten. Vermutlich sei es deshalb sinnvoller, ein Meta-Thema wie die Modellbildung in das Zentrum zu rücken. Hier müssten Fachdidaktiker mutiger sein, um auch neue Modelle zu entwickeln.

**Philipp Lindenau** (TU Dresden) bemerkt an dieser Stelle, das man sich weniger auf die Zahl von bloß sechs Schulstunden zur ETP fokussieren sollte. Verschiedene Inhalte seien bereits früher zu integrieren, etwa der Beta-Zerfall in der Kernphysik, oder die Ladungserhaltung in der E-lehre. Dann könne sogar im Sinne eines Spiralcurriculums vorgegangen werden. Ebenfalls betont er (in Replik auf Passons Vortrag), dass es Irritationspotenzial auch bei bisherigen Darstellungen gebe. Etwa sei die beschränkte Reichweite von Wechselwirkungen oder die Paarerzeugung ohne klassische Analogie.

**Klaus Buschhüter** plädiert an dieser Stelle noch einmal ganz grundsätzlich für möglichst konkrete „Bilder", die den Schülerinnen und Schülern angeboten werden sollten. Er gibt zu bedenken, dass die Schülerinnen und Schüler ohne solche Hilfen „abschalten" würden – auch weil sie in ihrer konkreten Lebenssituation von der reinen Fachlichkeit „weniger ergriffen" seien (Stichworte: „erwachsen werden", „Pubertät abgeschlossen").

Auch **Michael Kobel** betont die Rolle des „aha Erlebnis", die etwa der Beta-Zerfall spielen kann, da es zur Entstehung von Teilchen komme, die es vorher nicht gegeben habe. Hier läge eine Möglichkeit, das Neue (im Sinne des Konzeptwechsels) zu betonen. Daraus ergebe sich allerdings unmittelbar die Frage nach dem „wie". Das könne nicht einfach (etwa raum-zeitlich) beschrieben, sondern lediglich berechnet werden. Eine echte Schwierigkeit.

**Thomas Zügge** (Uni Wuppertal) greift eine Bemerkung von Buschhüter auf: Das Ende der Pubertät wäre doch gerade der Zeitpunkt, an dem die Affinität zum nicht-gegenständlichen Denken am größten sei! Die von Buschhüter erhobene Forderung nach „Bildern" sei also unter Umständen sogar kontraproduktiv. Zügge merkt zudem an, dass die Frage was wichtig sei, bzw. wofür man Bilder brauche, einer Auswahl unterliege, die im Einzelfall begründet werden müsse. Die Lernenden hätten etwa auch die Gravitation kennen gelernt, ohne einen belastbaren Masse-Begriff zu besitzen. Auf die Einführung „virtueller Austauschteichen" so sehr zu pochen erscheine ihm vor diesem Hintergrund nicht unmittelbar plausibel. Auf **Kobels** Rückfrage, ob dies als Plädoyer gegen virtuelle Teilchen aufzufassen sei, konkretisiert Zügge seinen Impuls. Seine Forderung sei zunächst nur, auch fachwissenschaftlich etablierte Sprechweisen auf den Prüfstand zu stellen.

**Stefan Brackertz** (Uni Köln) gibt mit dem Vorschlag, die Schule für einen Augenblick zu vergessen, der Debatte eine andere Wendung. Er bemerkt, dass doch auch fortgeschrittene Studierende mit all diesen Inhalten Schwierigkeiten hätten. Er vermutet, dass an dieser Stelle auch fachwissenschaftlicher Klärungsbedarf aufscheint. Brackertz vermutet, dass die Forscher ihre jeweiligen mentalen Modelle besäßen, sich in wissenschaftlichen Veröffentlichungen jedoch auf den mathematischen Formalismus zurückzögen. Er formuliert provokant: Der eigentliche Test für die fachliche Durchdringung bestünde darin, fortgeschrittenen Studierenden z. Bsp. den Begriff des virtuellen Teilchens ohne Formeln angemessen erklären zu können. Er erinnert in diesem Zusammenhang an eine Diskussion aus dem „Forum Studienreform". Dort sei bemerkt worden, dass auf zwei Semerster gekürzte Vorlesungen der theoretischen Physik für Lehramtsstudierende erfolgreich seien, obwohl gekürzte Vorlesungen *in der Regel* „nicht funktionierten". Die Ursache für diese Ausnahme von der Regel bestünde vermutlich darin, dass die jeweiligen Lehrenden in einem langjährigen Prozess gelernt hätten, „Ständerwerk" und „Gefache" zu unterscheiden – und die erfolgreich gekürzte Vorlesungen sich eben auf die tragenden Begriffe beschränkten.

**Claudia Behnke** merkt dazu an, dass aus ihrer Sicht nur der Lagrangian des Standard Modells eine „korrekte fachliche Darstellung" liefere. Alle Versuche der nicht-mathematischen Darstellung seien ohne eine modellhafte Verkürzung nicht möglich. **Stefan Brackertz** widerspricht: Das „nicht möglich" sei vielleicht ein „noch nicht möglich". Seiner Auffassung nach drücke sich hier also ein Defizit der bisherigen Beschreibung aus.

**Michael Kobel** widerspricht und möchte darin auch kein Defizit erkennen. Er bemerkt, dass gerade die abstrakten mathematischen Symmetrieforderungen zu experimentell bestätigten Vorhersagen führten.

**Stefan Brackertz** verteidigt sein Argument mit einem historischen Beispiel: Die Elektrodynamik Maxwells habe nach ihrer Erstveröffentlichung zahlreiche Reformulierungen erlebt, die auf eine bessere Verstehbarkeit zielten. Begriffe wie „Divergenz" oder „Rotation" wurden zu diesem Zwecke entwickelt. Vielleicht, so die Vermutung von Brackertz, stehe die Teilchenphysik am Beginn einer ähnlichen Entwicklung.

**Frank Fiedler** (Uni Mainz) fragt an, welche Rolle der Spin spiele bzw. spielen solle. Die Postulierung des Neutrinos beruhe schließlich auch auf einem Argument der Drehimpulserhaltung.

**Klaus Buschhüter** erläutert, dass der Eigendrehimpuls ein Stiefkind der Schulphysik sei und seine Behandlung im Unterricht häufig unterlassen würde.

Ein Teilnehmer der Diskussion schlägt vor, dass der fundamentale Unterschied zwischen Materieteilchen (Fermionen) und „Kraftteilchen" (Bosonen) eine

Möglichkeit sei, den Spin einzuführen. Gerade die Unmöglichkeit einzelne Fermionen zu erzeugen (im Gegensatz etwa zu Photonen) würde auf diese Weise plausibel werden.

**Stefan Heusler** kommt auf den Modellbegriff zurück. Für den Spin lägen bereits Ansätze vor (auch von ihm selbst; siehe etwa [8]). Brackertz Vorschlag, in der ETP neue und bessere Modelle zu finden, unterstütze er ausdrücklich. Er bemerkt, dass die Feynman-Diagramme ja auch lediglich eine Übersetzung des Lagrangian des Standard Modells in eine Symbolsprache seien. Hier könne es weitere Übersetzungen geben und eine Aufgabe der Fachdidaktik sei es, diese zu entwickeln und empirisch zu untersuchen.

**Frank Fiedler** kommt auf die Frage zurück, wie in der ETP an die QM und Wellenoptik angeknüpft werden könne. Er stellt ein Experiment mit einem Doppelspalt zu Diskussion, bei dem ein Spalt teilweise geschwärzt wird (Transmission auf z. Bsp. 1% reduziert). Folgende Fragen stellten sich: Was passiert bei der Beleuchtung? Wie kann man den 2. Spalt „entdecken“? Dies sei analog zur Entdeckung von neuen Austauschteilchen und könne den Entdeckungsprozess in der Teilchenphysik nachvollziehbar machen.

**Michael Kobel** unterstützt diese Idee, sieht jedoch eine recht hohe Abstraktionsleistung darin, dass der zweite Räumliche Weg der Strahlung (der zweite „Reaktionskanal“ sozusagen) mit einem Austauschteilchen identifiziert werde.

An dieser Stelle reißt **Michael Kobel** einen anderen Themenkomplex an und stellt die Frage, worin eigentlich der Bildungswert der Teilchenphysik liege, und – damit zusammenhängend – ob sie zu Recht ein Inhalt des schulischen Physikcurriculums sei.

**Andreas Schulz** bemerkt, dass vor allem eine Betonung des Nichtwissens und der offenen Fragen hier eine große Rolle spielten.

**Oliver Passon** merkt an, dass mit diesem Argument jedoch *jede* aktuelle Forschung als schulischer Inhalt legitimiert werden könne. Dass man vor allem der ETP eine so wichtige Rolle zuschreibe, liege wohl auch an einer weit verbreiteten reduktionistischen Tendenz.

**Thomas Zügge** widerspricht Passon in Hinblick darauf, dass jede aktuelle Forschung derart legitimiert werden könne. Eine Besonderheit der ETP läge in ihrer Anwendungsferne. Die kurzschlüssige Begründung des Bildungswertes eines Gegenstandes über seine praktische Anwendung (etwa in der Technik) würde hier zum Glück nicht gelingen.

**Frank Fiedler** betont die Rolle der ETP als Anwendung und Vertiefung von Konzepten, die in der Quantenmechanik eingeführt wurden. Der große Bildungswert der QM läge darin, ein „neues Denken“ einzuüben. In diesem Sinne wäre die Behandlung der Teilchenphysik in der Schule sehr bedeutsam.

**Claudia Behnke** charakterisiert das Standardmodell der Teilchenphysik als die beste Beschreibung unseres Universums, die gleichzeitig aus konzeptionell einfachen Symmetrieforderungen abzuleiten sei.

**Thomas Zügge** merkt an, dass die Rolle von Symmetrien und Erhaltungsgrößen jedoch auch schon in anderen Bereichen der Physik zentral sei. Daraus ließe sich also kein Alleinstellungsmerkmal der ETP ableiten. Behnke gesteht dies zu. Jedoch wäre bedeutsam, dass dieses Prinzip einen so universellen Charakter habe.

**Stefan Heusler** merkt erneut an, dass ein besonderer Bildungswert der ETP auf der Metaebene der Modellbildung liege. **Oliver Passon** knüpft hier die Rückfrage an, an welcher Stelle der Unterricht, der vor allem auf fachliches Überblickswissen zur ETP ziele, eine solche Reflexion anregen könne. **Heusler** präzisiert seine Idee mit dem Beispiel der Antimaterie. Deren Postulierung habe zu verschiedenen Modellvorstellungen geführt (Stichwort: „Dirac-See“). Solche Prozesse sollten zum Gegenstand des Unterrichts werden.

**Michael Kobel** betont zudem die wichtige Funktion, die eine Darstellung aller vier fundamentalen Kräfte habe. Die Schülerinnen und Schüler könnten anschließend jeden Vorgang darauf befragen, welche Wechselwirkung an ihm beteiligt sei. Für die vorgebliche Beeinflussung des menschlichen Schicksals durch die Stellung von Planeten und Sternen, wie sie die Astrologie behauptete, wäre hier aber kein Platz.

Abschließend stimmen **Andreas Schulz** und **Michael Kobel** darin überein, dass die Präsentation der Physik als offenes und lebendiges Forschungsfeld, in dem noch vieles zu erforschen sei, von entscheidender Bedeutung sei.

## 4. Zusammenfassung und Fazit

Die Veranstaltung wurde von allen Teilnehmern und den Organisatoren Michael Kobel und Oliver Passon als sehr bereichernd erlebt. Der Dialog zwischen Fachdidaktik und Outreach im Bereich der Elementarteilchenphysik besitzt großes Potenzial, wie sich auch schon bei der Tagung zur „Kohärenz im Unterricht der Elementarteilchenphysik“ im Herbst 2018 in Wuppertal gezeigt hat [9]. Für den Erfolg dieser Bemühungen wird es jedoch auf die Verstetigung und Dokumentation der Anstrengungen ankommen. Wir hoffen, dass die vorliegende Arbeit einen Beitrag dazu leistet.

## 5. Literatur

[1] Stachowiak, H. (1973) *Allgemeine Modelltheorie*, Wien, New York: Springer (S. 131–133).

[2] Kobel, M., Bilow, U., Lindenau , P. und Schorn, B. (2017) *Teilchenphysik: Ladungen, Wechselwirkungen und Teilchen*. Hamburg: Joachim Herz Stiftung.

[3] Noether, E. (1918) Invariante Variationsprobleme. *Nachr. d. König. Gesellsch. d. Wiss. zu Göttingen*, Math-phys. Klasse, 235–257.
[4] Möller, K. (2010) Lernen von Naturwissenschaft heißt: Konzepte verändern. In P. Labudde (Hrsg.), *Fachdidaktik Naturwissenschaft. 1. – 9. Schuljahr*, S. 57 – 72. Stuttgart: Haupt Verlag.
[5] Posner, G. J. Posner, Strike, K. A., Hewson, P. W. und Gertzog, W. A. (1982) Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. In: *Science Education* **66**(2): 211-227.
[6] Healey, R. (2013) Physical composition. In: *Studies in History and Philosophy of Modern Physics* **44**: 48–62.
[7] Passon, O., Zügge, T. und Grebe-Ellis, J. (2019) Pitfalls in the teaching of particle physics. In: *Physics Education*, 15(1) 015014 (17pp).
[8] Heusler, S und Ubben, M. (2018) Modeling spin. *European Journal of physics* **39**(6): 065405
[9] Passon, O., Zügge, T. und Grebe-Ellis, J. (in Vorbereitung) *Kohärenz im Unterricht der Elementarteilchenphysik*. Heidelberg, Berlin: Springer.

**Danksagung**

Wir danken dem Sprecher des Fachverbades Didaktik der Physik Johannes Grebe-Ellis für die organisatorische Unterstützung und Thomas Zügge für die technische Hilfe bei der Audioaufzeichnung und sorgfältige Korrekturen am Manuskript.

Unser besonderer Dank aber gilt natürlich allen Teilnehmern der Veranstaltung und an der lebhaften Diskussion.

# Low Cost Kinematik-Experimente

## - Mit Luftkissenscheiben aus dem 3D-Drucker -

**Paul Schlummer*, Alexander Pusch***

*Institut für Didaktik der Physik
Westfälische Wilhelms-Universität
Wilhelm-Klemm-Str. 10
48149 Münster

paul.schlummer@wwu.de, alexander.pusch@wwu.de

**Kurzfassung**

Experimente zur Kinematik sollen Zusammenhänge zwischen Kraft, Bewegung und Impulsübertragung aufzeigen und vermitteln. Im schulischen Kontext ist es üblich, dass diese Experimente stark idealisiert werden und insbesondere der Einfluss von Reibung so weit wie möglich minimiert wird. Für diesen Zweck werden häufig unhandliche, laute – und vor allem teure – Luftkissenbahnen verwendet. Diese ermöglichen zwar das Experimentieren fast ohne Reibungsverluste, sind jedoch auf die Bewegung in einer Dimension beschränkt und nur als Demonstrationsaufbau geeignet. Mithilfe von Luftkissenscheiben aus dem 3D-Drucker ist es möglich, neben Demonstrationsversuchen auch eine Vielzahl von kostengünstigen Schülerexperimenten durchzuführen, die einen realistischen, zweidimensionalen Zugang zur Mechanik der Stoßprozesse ermöglichen. In diesem Beitrag werden neben möglichen Experimenten auch die Ergebnisse einer Videoanalyse bezüglich der Elastizität der Stöße sowie dem Einfluss der Reibung vorgestellt.

## 1. Einleitung

Die Gesetzmäßigkeiten der Newton‘schen Mechanik begegnen Lernenden nicht nur überall im Alltag, sondern auch recht früh in ihrer schulischen Laufbahn. Sowohl der Begriff der *Kraft*, als auch der Begriff der *Geschwindigkeit* werden dabei schon in der Sekundarstufe I quantitativ thematisiert – etwa im Kontext von ‚einfachen Maschinen‘ oder im Bereich ‚Physik und Sport‘ [1]. In der Sekundarstufe II wird das Thema Kinematik in der Regel in der Einführungsphase durch die Betrachtung von *Beschleunigung* und *Impuls* vertieft [2].

Aus Schülersicht ist dabei von besonderer Bedeutung, dass es sich um vektorielle Größen handelt. Mit diesem neuen mathematischen Konzept muss ein angemessener fachlicher Umgang erst einmal eingeübt werden. Aus pragmatischer Sicht scheint deshalb eine Beschränkung zunächst auf eindimensionale Bewegungen zum Zwecke der Vereinfachung zwar naheliegend, jedoch ist aus fachdidaktischer Sicht diskussionswürdig, ob ein solches Vorgehen den Lernenden tatsächlich hilft, ein angemessenes Verständnis von Kraft und Geschwindigkeit zu erlangen [3]. Um Lernenden den Aufbau von adäquaten Konzepten in der Mechanik zu erleichtern, schlägt dagegen z. B. Wilhelm [3;4] einen Ansatz vor, in dem von vornherein die relevanten Größen mindestens in zweidimensionaler Form eingeführt werden, anstatt zunächst eindimensional zu argumentieren und diesen Ansatz erst später auf mehrere Dimensionen auszuweiten.

Möchte man diesen Ansatz in die Praxis umsetzen, stellt sich die Frage nach geeigneten Experimenten. Zu vielen Teilgebieten der Statik ließe sich eine ganze Reihe von alltagsnahen Experimenten aufzählen, mit denen abwechslungsreicher und motivierender Unterricht gestaltet werden kann [5]. In der Kinematik allerdings erschwert die allgegenwärtige Reibung das experimentelle Nachvollziehen der im Unterricht vermittelten idealen physikalischen Gesetzmäßigkeiten: Beispielsweise ist es unter normalen Bedingungen praktisch nicht möglich, eine annähernd gleichförmige Bewegung mit konstanter Geschwindigkeit zu realisieren und so z. B. das erste Newton’schen Axiom zu veranschaulichen. Die Erfahrungstatsache, dass auf der Erde alle Bewegungen früher oder später zum Erliegen kommen, wenn keine zusätzliche Krafteinwirkung stattfindet, wird im Alltag immer wieder bestätigt und erschwert daher den Konzeptwechsel [6]. Das erste Newton’sche Axiom verkommt dadurch oft zu einem „Spezialfall“, der keine Relevanz im Alltag hat.

Bekannte Lehrmittelhersteller schaffen hier Abhilfe: Eine Luftkissenbahn mit entsprechendem Zubehör ermöglicht das Experimentieren unter nahezu reibungsfreien Bedingungen und gehört quasi zur Standardausstattung vieler Schulsammlungen – aufgrund des recht hohen Anschaffungspreises von über 1000 € allerdings eher als ein Einzelstück für Demonstrationsversuche. Neben dem hohen Preis und den begrenzten Einsatzmöglichkeiten in Schülerexperimenten gibt es noch eine Reihe weiterer Aspekte, die sich beim Arbeiten mit der Luftkissen-

bahn im Schulalltag als problematisch erweisen können. Zu nennen sind hier vor allem:

- **Die Lautstärke des Gebläses.** Eine an unserem Gerät durchgeführte Messung des Schalldruckpegels ergab in der typischen Arbeitsposition Messwerte zwischen 75 dB und 80 dB, was in etwa der Lautstärke in der Nähe einer vielbefahrenen Straße entspricht. Dieser Geräuschpegel erschwert massiv die Kommunikation zwischen Lehrkraft und Lernenden während des Experimentierens und ist einer angenehmen, lernförderlichen Arbeitsatmosphäre vor allem über längere Zeiträume hinweg alles andere als zuträglich.

- **Der hohe Grad an Idealisierung.** Neben der durchaus erwünschten Minimierung der Reibung, wird der elastische Stoß oft durch auf die Schlitten gespannte Gummibänder und der inelastische Stoß durch einen aufmontierten Dorn und Knete realisiert. Beide Faktoren machen den Übertrag auf Alltagsituationen schwer, ermöglichen aber zugegebenermaßen die sehr gute Näherung an die idealisierte Theorie.

- **Die Beschränkung auf eine Dimension.** Vor allem zum Einstieg erscheint aus fachlicher Sicht die Beschränkung auf eine Dimension und somit die Realisierung des zentralen Stoßes unter bestimmten Gesichtspunkten auf den ersten Blick durchaus sinnvoll. Im Alltag und der Lebenswelt der Lernenden finden sich aber vor allem dezentrale Stöße wie z. B. beim Billard oder im Autoscooter. Der eigentliche Spezialfall des zentralen Stoßes wird im Physikunterricht zum exemplarischen Gegenstand, an dem allgemein die Stoßprozesse abgehandelt werden, was nicht nur zu einer Entfremdung des Unterrichts von der Lebenswelt beiträgt, sondern gegebenenfalls. auch beim Übergang auf mehrere Dimensionen den Konzeptwechsel erschwert [3]. Die höhere Lernwirksamkeit eines von vornherein auf zwei Dimensionen ausgerichteten Ansatzes ist z. B. auch von Tobias et al. bestätigt worden [7].

## 2. Materialien für Schülerexperimente und Mechanik in 2D

Um den oben skizzierten Einschränkungen und Problemen zu begegnen und vor allem auch Schülerversuche bereitzustellen, gibt es bereits verschiedene Lösungen, die nachfolgend dargestellt werden.

### 2.1. Bisherige Materialien & Experimente

Es existieren bereits verschiedene Varianten von Luftkissengleitern, die nicht auf eine feste Bahn angewiesen sind, sondern ihr Luftkissen jeweils selbst erzeugen. Hier sind vor allem Luftballonbetriebene Luftkissengleiter in verschiedenen Ausführungen zu nennen, z. B. [8], basierend auf [9], die sich auch als einfacher Eigenbau mit CDs realisieren lassen. Der Einsatz batteriebetriebener Luftkissenpucks [10] ermöglicht ein längeres Experimentieren ohne Unterbrechungen durch Aufpusten des Ballons.

All diese Varianten sind vergleichsweise günstig in Anschaffung bzw. Herstellung und ermöglichen den Einsatz des Materials in zweidimensionalen Schülerversuchen. In qualitativen Experimenten ist der Einfluss der Reibung augenscheinlich gering.

### 2.2. Luftkissenscheiben aus dem 3D-Drucker

In unseren Versuchen verwenden wir eine Weiterentwicklung der in [8] und [9] skizzierten Luftkissenscheibe, die sich mit dem 3D-Drucker automatisiert und sehr kostengünstig herstellen lässt [11] (Abb. 1).

**Abb.1:** Zwei Luftkissenscheiben aus dem 3D-Drucker mit Ballon

Die Luftkissenscheibe aus dem 3D-Drucker weist aus schulischer Sicht viele Vorteile gegenüber den anderen Produkten auf. Neben dem geringen Preis bietet die Herstellung im 3D-Druckverfahren eine hohe Flexibilität im Design. Dies ermöglicht es, die Scheiben so zu gestalten, dass eine einfache Parametervariation möglich ist [11].

Wir verwenden für unsere Experimente verschiedene Designs (Abb. 2): Für Schülerversuche reicht ein „Basisdesign“, mit welchem elastische Stöße mit gleichen oder unterschiedlichen Massen (durch Aufstecken von M12-Muttern) möglich sind. Für unsere Messreihen setzten wir eine Variante mit Fahrradventil ein, wodurch der Ballon, der das Luftpolster für etwa eine halbe Minute Experimentierzeit herstellt, in kürzerer Zeit mit einer Fahrradpumpe wieder mit Luft gefüllt werden kann. Die stl-Vorlagen für den 3D-Drucker sind online verfügbar unter: [http://physikkommunizieren.de/3d-druck/luftkissenscheibe-aus-dem-3d-drucker/]

**Abb.2:** Verschiedene Bauformen der verwendeten Luftkissenscheiben. Links: Einfache Variante für Schülerexperimente. Rechts: Variante mit Fahrradventil.

### 2.3. **Experimentelle Fragestellungen**

Es existieren bisher vor allem Beschreibungen möglicher Experimente mitsamt qualitativer Auswertung [8;10]. Es gibt ebenfalls bereits Arbeiten zur quantitativen Analyse der Bewegungen mit Tracker [10]. Diese Experimente mit Luftkissenscheiben bzw. -pucks beinhalten:

- Aufnahme von Weg-, Zeit- und Geschwindigkeitsdiagrammen
- Untersuchung von gleichförmigen und beschleunigten Bewegungen
- Demonstration der Newton'schen Axiome
- Qualitative & spielerische Charakterisierung von Stößen
- Untersuchung der Energie- und Impulsbilanz bei Stößen
- *g*-Bestimmung an der schiefen Ebene.

Bei all diesen qualitativen und quantitativen Experimenten stellt sich allerdings die Frage der Performanz bzw. der Nähe zu den idealisierten Gesetzen. Um diese näher zu beleuchten, ermitteln und charakterisieren wir anhand der oben genannten Experimente die Einflüsse von Reibung, Elastizität sowie von Drehbewegungen. Konkret gehen wir den folgenden Fragen nach:

- Wie groß ist der Einfluss von Reibung auf die Bewegung der Scheiben?
- Wie elastisch sind „elastische" Stöße zwischen zwei Scheiben verglichen mit der Luftkissenbahn?
- Wie kann man zweidimensionale Stöße mit Störeinflüssen sinnvoll auswerten (Berücksichtigung von Drehungen usw.)?

## 3. **Aufbau und Auswertung der Experimente**

Im Folgenden wird beschrieben wie die Experimente einfach und schultypisch durchgeführt und analysiert werden können.

### 3.1. **Aufbau der Experimente**

Alle Experimente werden auf einer Glasplatte (Sicherheitsglas!) ausgeführt, die auf zwei Tischen liegt (Abb.3). Die Videoaufzeichnung erfolgt von unten durch die Glasplatte. Hierzu eignet sich ein Smartphone mit Slow-Motion Aufnahmefunktion (hier 120 fps, 1080p).

Zur Ermittlung des Einflusses der Reibung auf die Bewegung der Scheiben wurden diese mit verschiedenen Anfangsgeschwindigkeiten in ihrer Bahn über die Glasplatte verfolgt und die Abnahme der Geschwindigkeit untersucht.

**Abb.3:** Versuchsaufbau mit Glasplatte zwischen zwei Tischplatten. Gefilmt wird von unten mit einem Smartphone.

Bei den Stoßexperimenten wurden Stoßprozesse mit Luftkissenscheiben für Vergleichsanalysen auf der Luftkissenbahn aufgenommen. Es wurden sowohl Stöße mit gleichen als auch mit unterschiedlichen Massen der Stoßpartner untersucht

Zur *g*-Bestimmung wird die Glasplatte auf einer Seite mit Holzklötzen angehoben, um eine schiefe Ebene zu realisieren (Abb.4).

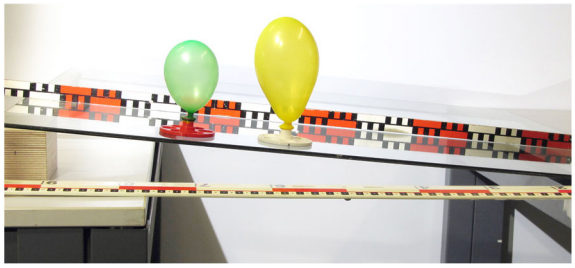


**Abb.4:** Versuchsaufbau zur *g*- Bestimmung an der schiefen Ebene.

### 3.2. **Auswertung**

Zur Auswertung wird das kostenlose Analyseprogramm ‚Tracker' [http://physlets.org/tracker/] verwendet. Mit Hilfe der Software können Bewegungsdaten wie Position, Geschwindigkeit und Beschleunigung sowie die Rotation ermittelt werden (s. z. B.

mögliche Experimente in Abschnitt 2.3). Die weitere Analyse der aufgenommenen Daten erfolgt in Excel.

### 3.3. **Analysegenauigkeit und Abweichungen**

Abweichungen beim Markieren von Punkten im Video führen während der Analyse auf zweifache Weise zu Unsicherheiten auf den ausgewerteten Daten: Erstens muss im Programm händisch ein Maßstab zum Umrechnen der Abstände von Pixeln in Längeneinheiten eingefügt werden, sodass sich die Unsicherheit beim Markieren der beiden Endpunkte des Maßstabs auf alle ausgelesenen Positionsdaten und die daraus abgeleiteten Größen überträgt. Durch Aufnahme von Videos mit hoher Auflösung und Markierung einer relativ langen Strecke als Maßstab kann dieser Fehler vernachlässigbar klein gehalten werden.

Zusätzlich zur Unsicherheit auf dem Maßstab ergibt sich beim Tracken der Scheiben bei jeder neu gesetzten Positionsmarkierung erneut eine Ortsunsicherheit durch ungenaues Klicken. Die Größenordnung dieser Unsicherheit wurde ermittelt, indem in einem Standbild 50-mal versucht wurde, eine Markierung auf denselben Punkt im Zentrum der Luftkissenscheibe zu setzen. Die doppelte Standardabweichung der so ermittelten Positionsdaten ergab einen Wert von 0,25 Pixeln. Dieser Wert wurde für alle weiteren Daten als Unsicherheit der Positionsbestimmung angenommen.

## 4. **Ergebnisse**

Nachfolgend wird zunächst anhand des Experiments zur schiefen Ebene die Reibung der Scheiben beim Gleiten ermittelt. Daraufhin erfolgt die Betrachtung der Elastizität der Stöße samt möglicher Gründe für Abweichungen. Im Anschluss erfolgt ein Vergleich mit der Luftkissenbahn.

### 4.1. **Einfluss der Reibung**

Betrachtet man die Bewegung der Scheibe auf der Glasplatte, kommen im Wesentlichen zwei Reibungsvorgänge infrage, die einen Einfluss auf den zeitlichen Verlauf der Geschwindigkeit haben können. Zum einen ist dies die Gleitreibung der Scheibe auf der Unterlage, bzw. auf dem zwischen Scheibe und Unterlage erzeugten Luftpolster. Da es sich hierbei um einen Reibungsvorgang zwischen Festkörper und einem Gas handelt, ist zu erwarten, dass die auftretenden Reibungskräfte im Allgemeinen abhängig von der Geschwindigkeit sind.

Zum anderen bietet vor allem der Ballon eine große Angriffsfläche für den Luftwiderstand. Die Kräfte, die aus der Relativbewegung von Scheibe und Ballon im umgebenden Medium Luft resultieren, sind ebenfalls nicht geschwindigkeitsunabhängig.

Darüber hinaus muss in der Praxis beachtet werden, dass die Größe des Ballons einen nicht hinreichend kontrollierbaren, zeitlich veränderlichen Parameter darstellt, der zusätzlichen Einfluss auf die resultierende Gesamtreibungskraft hat. Eine genaue mathematische Modellierung des erwartbaren Geschwindigkeitsverlaufs der Scheiben ist deshalb an dieser Stelle nicht möglich.

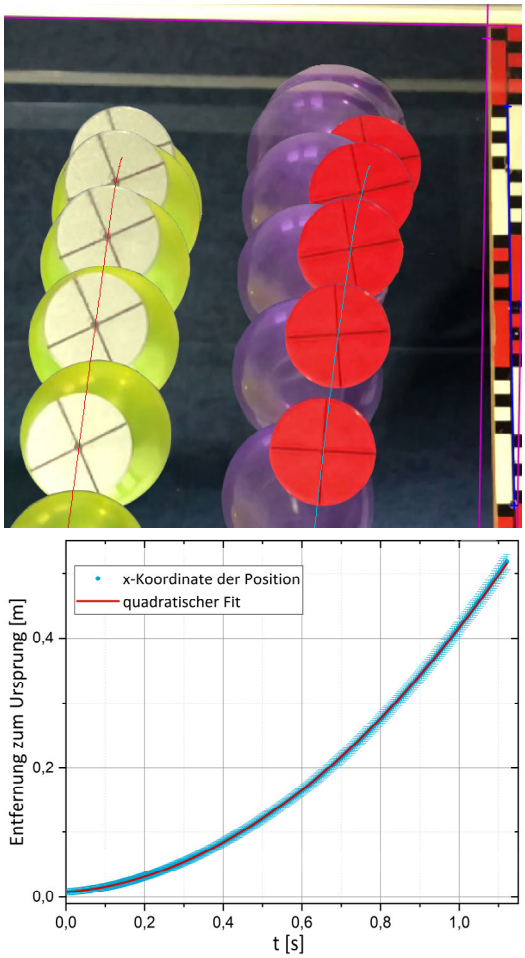



**Abb.5:** Analyse der *g*-Bestimmung an der schiefen Ebene. a.) Stroboskopaufnahme der Bewegung der Luftkissenscheiben. b.) Plot der mit Tracker aufgenommenen Bahnkurve. Es wurde die Bewegung der Scheibe in Richtung Gefälle als Funktion der Zeit aufgetragen.

In unseren Versuchen konnte bei Betrachtung längerer Zeitskalen durchaus wie erwartet eine Abhängigkeit der Geschwindigkeitsänderung von der Anfangsgeschwindigkeit beobachtet werden. Da die hier präsentierten Einzelmessungen jedoch nur wenige Sekunden lang sind und die Geschwindigkeiten bewusst geringgehalten wurden, ist dieser Effekt allerdings kaum sichtbar.

Um dennoch eine für die Unterrichtspraxis relevante Aussage über den Einfluss der Reibung treffen zu können, wurde die Abweichung des gemessenen Wertes für *g* an der schiefen Ebene als Gütekriterium herangezogen:

Es wird erwartet, dass ohne Reibungsverluste der Wert für die Erdbeschleunigung mit der Methode der schiefen Ebene recht exakt bestimmt werden könnte. Da jedoch in der Realität immer Reibungskräfte auftreten, die als Gegenkraft zur Hangabtriebskraft in Erscheinung treten, sollte die experimentell ermittelte Beschleunigung an der schiefen Ebene geringer sein als der Literaturwert von $g = 9{,}81\,\frac{m}{s^2}$. Die Abweichung vom Literaturwert kann daher als Maß für die Größe der auftretenden Reibungskräfte im Bereich kleiner Geschwindigkeiten gelten. In Abb. 5 ist ein typisches Stroboskopbild der Bahnkurve samt Messwerten dargestellt.

Zur Bestimmung der Beschleunigung wurde die Orts-Zeitkurve aufgenommen und mit einer quadratischen Modellfunktion gefittet. Aus dem Streckfaktor der Parabel lässt sich dann über die Winkelbeziehungen im Kräfteparallelogramm die Erdbeschleunigung ermitteln:

$$g = \frac{a_{gemessen}}{\sin\alpha} \qquad \{1\}$$

Der Winkel $\alpha$ bezeichnet dabei den Anstellwinkel der Ebene.

Im Mittel ergab sich bei den 16 ausgewerteten Durchläufen ein Wert von $g \approx 9{,}4\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$, also eine Abweichung vom Literaturwert im Bereich von ca. 5%. Die mittlere Abweichung der Messdaten vom Mittelwert betrug $\Delta g = 0{,}44\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$ . Der Einfluss der Reibung ist somit unserer Ansicht nach bei geringen Geschwindigkeiten der Scheiben in den Experimenten als gering einzuschätzen (vgl. auch Abschnitt 4.4)

### 4.2. **Elastizität der Stöße**

Wenn Luftkissenscheiben im Unterricht eine sinnvolle Alternative zur Luftkissenbahn darstellen sollen, ist eine zentrale Frage, in welchem Umfang der Gesamtimpuls bei Stößen zwischen zwei Scheiben tatsächlich erhalten bleibt. Um dieser Frage nachzugehen wurden insgesamt 60 Stöße von Luftkissenscheiben analysiert, davon 30 Stöße zwischen zwei Scheiben annähernd gleicher Masse und 30 Stöße, bei denen die Masse einer Scheibe durch zusätzliche Gewichtsstücke auf das Dreifache erhöht wurde.

#### Stoßpartner mit gleichen Massen

Die Abbildung 6 zeigt neben einer Stroboskopaufnahme der Scheibenbahnen einen typischen Geschwindigkeitsverlauf für einen Stoß zwischen zwei Scheiben gleicher Masse (blaue und graue Datenpunkte). Zudem ist der zeitliche Verlauf des Gesamtimpulses auf einer separaten Achse dargestellt (grüne Datenpunkte).

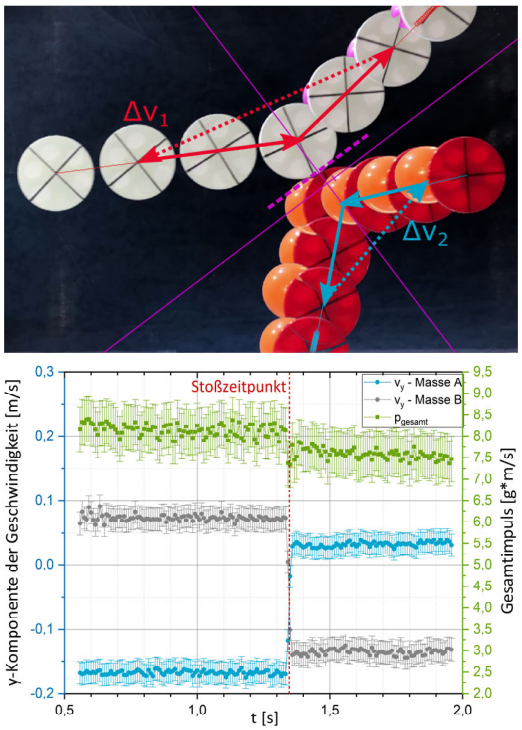



**Abb.6:** Analyse eines Stoßes bei gleicher Massenverteilung. a.) Stroboskopaufnahme der Bewegung der Luftkissenscheiben. b.) Plot der mit Tracker ermittelten Geschwindigkeits- und Impulsdaten. Deutlich zu sehen ist, dass bezogen auf die y-Achse die Scheiben ihre Geschwindigkeiten ‚tauschen'

Da in den Geschwindigkeits-Zeit Diagrammen aufgrund verschiedener Prozesse teilweise deutliche Schwankungen auftreten können (z. B. durch die Übertragung von Schwingungen des Ballons), wurde zur Auswertung der Daten folgendermaßen vorgegangen: Zunächst wurde der Zeitpunkt des Stoßes als der zum Datenpunkt des minimalen Gesamtimpulses gehörige Zeitwert ermittelt. Von diesem Zeitpunkt ausgehend wurde der Gesamtimpuls vor und nach dem Stoß $\vec{p}_{ges_{vor}}$ und $\vec{p}_{ges_{nach}}$ durch Mittelung über je 20 Datenpunkte bestimmt. Rund um den in Abbildung 6b zu sehenden Stoßzeitpunkt wurden je 10 Datenpunkte vor und nach dem Stoß nicht zur Berechnung des Mittelwerts herangezogen. Als Kenngröße für die Änderung des Gesamtimpulses wurde schließlich die relative Änderung des Gesamtimpulses berechnet:

$$\Delta\,\vec{p}_{\mathrm{ges}} = \frac{\vec{p}_{ges_{nach}}}{\vec{p}_{ges_{vor}}} \qquad \{2\}$$

Für zwei Scheiben gleicher Massen ergab sich in den 30 ausgewerteten Stößen eine mittlere Abnahme des Gesamtimpulses von etwa 20%. Bei weiteren Analysen der Aufnahmen zeigt sich aber, dass diese 20% Impulsverlust nicht komplett einem inelasti-

schen Anteil des Stoßprozesses zuzuschreiben sind. Teilweise rotieren die Scheiben vor und/oder nach dem Stoß um ihre Mittelachse und tragen somit einen Drehimpuls, dessen Änderung beim Stoß in der Gesamtbilanz berücksichtigt werden muss. (Abb.7a). Auch solche Effekte lassen sich prinzipiell über die Bestimmung der Rotationsgeschwindigkeit quantitativ auswerten (Abb. 7b), sollen hier aber nicht näher betrachtet werden, da eine umfassende Bertachtung von Drehimpulsen und Trägheitsmomenten über das übliche Schulniveau hinausgeht.

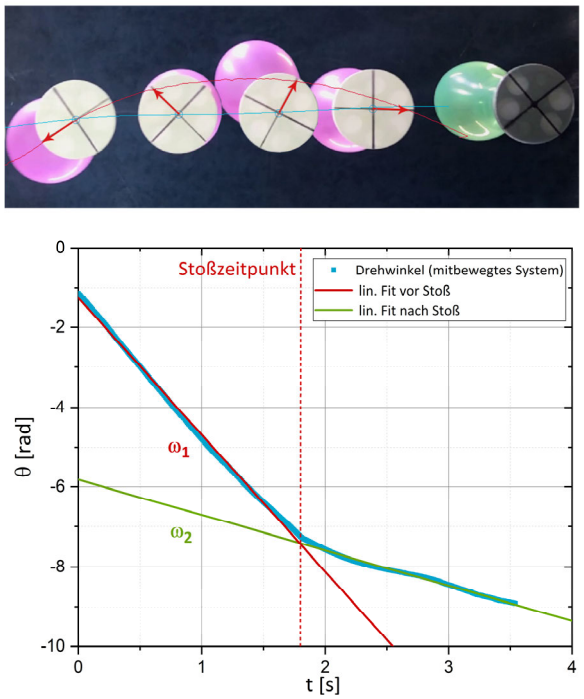



**Abb.7:** Analyse der Rotation der Scheibe. Die rotierende weiße Scheibe trifft auf die ruhende graue Scheibe. a.) Stroboskopaufnahme der Bewegung der Luftkissenscheiben b.) Bestimmung der Rotationsgeschwindigkeit vor und nach dem Stoß über die zeitliche Änderung des Drehwinkels.

**Stoßpartner mit unterschiedlichen Massen.**

In einer weiteren Versuchsreihe wurde eine der Scheiben zusätzlich mit zwei M12-Muttern beschwert, sodass zwischen leichter und schwerer Scheibe ein Massenverhältnis von etwa 3:1 bestand. Ein typischer Stoß samt Analysedaten ist in Abbildung 8 zu sehen. Die Auswertung von 30 Stößen ergab mit einer mittleren Abnahme des Gesamtimpulses von ca. 35% ein deutlich größeres Defizit in der Impulsbilanz, als dies bei gleichen Massen der Fall war. Dies lässt sich auf die im folgenden Abschnitt erwähnten Effekte zurückführen.

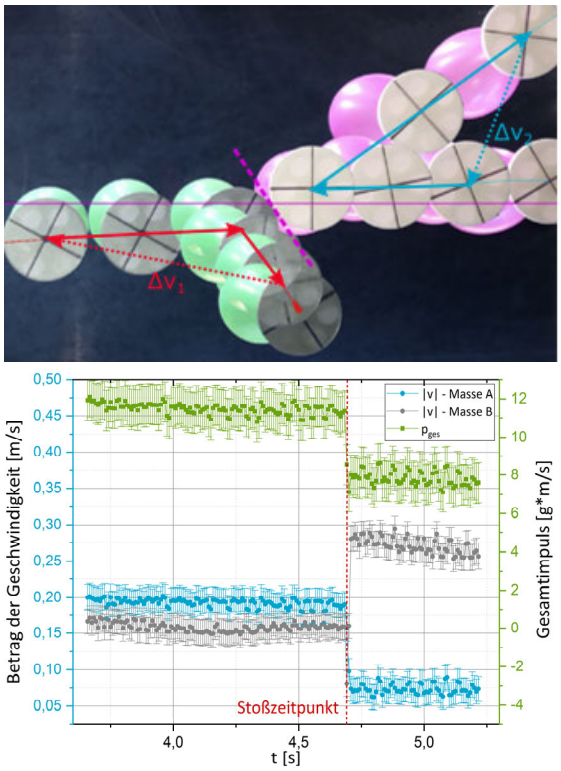



**Abb.8** Analyse eines Stoßes bei ungleicher Massenverteilung. a.) Stroboskopaufnahme der Bewegung der Luftkissenscheiben. b.) Plot der mit Tracker ermittelten Geschwindigkeits- und Impulsdaten. Die leichte Scheibe hat nach dem Stoß die deutlich höhere Gesamtgeschwindigkeit.

### 4.3. **Abweichungen von idealisierter Theorie**

Anhand der Videoaufnahmen sowie der Daten aus Tracker lassen sich verschiedene Gründe für Abweichungen von der Theorie des idealen Stoßes ermitteln. Diese entstehen u.a. durch:

- Abreißen des Luftpolsters durch Kippeln der Scheibe beim Stoß.
- Luftreibung am Ballon und Gleitreibung auf der Unterlage (Abschnitt 4.1).
- Zusätzlichen Beitrag von Rotationsenergie, bzw. Drehimpuls (Abb. 7a, Abschnitt 4.2).
- Schwingungen des Ballons (Abb. 7a).
- perspektivische (Winkel-)Verzerrungen der Kameraaufnahme sowie der unterschiedlichen Position von Luftkissenscheibe und Referenzmaß (insbesondere an der schiefen Ebene).

Durch Verwendung größerer Massen und den damit einhergehenden größeren Kräften beim Stoß werden vor allem die ersten drei Effekte verstärkt, was die beobachtete größere Abnahme des Impulses erklärt.

## 5. Vergleich mit der Luftkissenbahn

Um einen Vergleichswert für die bisher ermittelten Kenndaten der Luftkissenscheiben zu ermitteln wurden die oben beschriebenen Versuche auch an einer Luftkissenbahn durchgeführt. Auch hier wurden 16 Messreihen an der schiefen Ebene, bzw. je 30 Stöße mit gleicher und ungleicher Massenverteilung (hier aufgrund der generell größeren Massen: $m_1 \approx 2m_2$) per Video aufgenommen und in Tracker analysiert.

Der an der schiefen Ebene ermittelte Wert für die Erdbeschleunigung ergab ebenfalls einen Wert von $g \approx 9{,}4\ \frac{m}{s^2}$, jedoch weisen die Werte der Einzelmessungen eine deutlich geringere Streuung auf ($\Delta g = 0{,}18\frac{m}{s^2}$). Die mittlere Abweichung der Einzelwerte vom Mittelwert ist damit bei der Luftkissenbahn nur etwa halb so groß wie bei den Messwerten der Luftkissenscheiben.

Dies lässt darauf schließen, dass Störparameter auf der Luftkissenbahn deutlich besser konstant gehalten werden können als beim Einsatz von Luftkissenscheiben, wo sich z. B. Größe des Ballons und Druck der ausströmenden Luft ständig ändern. Es ist jedoch festzuhalten, dass die Luftkissenscheiben in puncto Reibung ähnlich gut funktionieren wie die teure Luftkissenbahn. In beiden Experimentiersettings kann der Einfluss Reibung auf die Bewegung aufgrund der geringen Abweichung um 5% vom Literaturwert als gering eingeschätzt werden.

Bei elastischen Stößen zwischen zwei gleich großen Massen zeigten sich an der Luftkissenbahn deutlich geringere Verluste als bei den Luftkissenscheiben. Im Mittel betrug die Impulsabnahme durch den Stoß etwa 6%, und somit grob ein Drittel der an den Luftkissenscheiben gemessenen Abnahme. Dies ist insbesondere auf das bei der Luftkissenbahn eingesetzte Gummisystem zur Federung zurückzuführen, während bei den Scheiben allein die Elastizität des Kunststoffmaterials selbst entscheidend ist.

Ein anderes Bild ergab sich jedoch bei der Analyse der Stöße mit ungleicher Massenverteilung. Hier betrug die relative Abnahme des Gesamtimpulses im Mittel 28% und liegt damit nur wenige Prozent unter den Luftkissenscheiben. Sicherlich ließe sich hier die Performanz der Luftkissenbahn verbessern, indem z. B. ein System mit metallener Blattfeder anstelle des hier benutzten Gummisystems verwendet würde.

Die Ergebnisse zeigen, dass die auftretenden Verluste durch Stoß und Reibung bei der Luftkissenbahn insgesamt zwar geringer ausfallen als bei den Luftkissenscheiben. Es zeigt sich aber gleichzeitig auch, dass selbst unter den sehr guten idealisierenden Experimentierbedingungen, die die Luftkissenbahn bietet, noch eine deutliche Abnahme des Gesamtimpulses zu verzeichnen ist.

## 6. Fazit

Mit Hilfe von Luftkissenscheiben können im Unterricht realistische Experimente zur Kinematik umgesetzt werden. Unsere Experimente zeigen, dass diese für die schulische Betrachtung verglichen mit der Luftkissenbahn zufriedenstellende quantitative Ergebnisse liefern können. Die Komplexität der verschiedenen Einflüsse kann hierbei als Chance zum Umgang mit idealisierten Theorien und Modellen gesehen werden. Durch den günstigen Herstellungspreis können vor allem als Schülerexperimente eine Vielzahl von Experimenten auf unterschiedlichen Komplexitätsniveaus qualitativ oder quantitativ durchgeführt werden.

## 7. Literatur


[1] Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfahlen (2008): Kernlehrplan für das Gymnasium - Sekundarstufe I in Nordrhein-Westfalen. https://www.schulentwicklung.nrw.de/lehrplaene/upload/lehrplaene_download/gymnasium_g8/gym8_physik.pdf (10.05.2019).

[2] Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfahlen (2014): Kernlehrplan für die Sekundarstufe II Gymnasium/Gesamtschule in Nordrhein-Westfalen. https://www.schulentwicklung.nrw.de/lehrplaene/upload/klp_SII/ph/KLP_GOSt_Physik.pdf (10.05.2019.).

[3] Wilhelm, Thomas, Heuer, Dieter (2002): Fehlvorstellungen in der Kinematik vermeiden – durch Beginn mit der zweidimensionalen Bewegung. In: PdN – Physik in der Schule, 51/7, S. 29-34.

[4] Wilhelm, Thomas (2008): Mechanik – zweidimensional und multicodal. In: Didaktik der Physik, hrsg. v. Volker Nordmeier und Helmuth Grötzebauch, Berlin: Lehmanns Media.

[5] Kugler, Heike, Lichtenstern, Hedwig (Hrsg.) (2019): Naturwissenschaften im Unterricht Physik, Heft 169: Materialien und Methoden: Einfache Maschinen. Seelze: Friedrich Verlag.

[6] Schecker, Horst, Wilhelm, Thomas Hopf, Martin, Duit, Reinders. (Hrsg.) (2018): Schülervorstellungen und Physikunterricht. Berlin: Springer Verlag.

[7] Tobias, Verena, Waltner, Christine, Hopf, Martin, Wilhelm, Thomas, Wiesner, Hartmut (2010): Dynamischer Mechanikunterricht – Ergebnisse einer quantitativen Vergleichsstudie. In: PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung Hannover 2010, hrsg. v. Volker Nordmeier und Helmuth Grötzebauch. http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/111/130 (20.05.2019).

[8] Müller, Kai, Müller Rudolf (2017): Mechanik pur - Luftkissen-Experimente ohne Kompressor. In: MNU-Journal 70 (3), S. 169-17.

[9] Straulino, Samuele & Bonechi, Lorenzo (2011): A Simple Frictionless Device for the Study of Motion. In: Physics Education, 46/5 S.583-586.
[10] Wilhelm, Thomas & Stein, Jacqueline (2018): Experimente mit Luftkissenpucks. In: PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung Dresden 2018, hrsg. v. Volker Nordmeier und Helmuth Grötzebauch, S. 459 – 465. http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/824/970 (20.05.2019).
[11] Pusch, Alexander & Bruns, Carsten (2018): Von der Idee zum Produkt - Experimente aus dem 3D-Drucker. In: Mathematisch naturwissenschaftlicher Unterricht (MNU), 71/1, S. 14-19.

**Danksagung**
Wir bedanken uns bei Tabea Mann und Bianca Niedermeier für die Unterstützung bei Aufnahme und Tracking der Videodaten.

# Veränderung von Schülervorstellungen durch Experimentierstationen im inklusiven Optikunterricht

**Laura Sührig*, Roger Erb***

*Institut für Didaktik der Physik, Goethe-Universität Frankfurt am Main, Max-von-Laue-Str. 1, 60438 Frankfurt
suehrig@physik.uni-frankfurt.de

**Kurzfassung**

Studien weisen zurzeit darauf hin, dass es bundesweit zu wenige Chancen für inklusiven Unterricht gibt. Insbesondere in Hessen werden so wenige Schülerinnen und Schüler mit und ohne Förderbedarf gemeinsam unterrichtet wie in keinem anderen Bundesland.
Aufgrund dieser Situation wurde im Rahmen der hier vorgestellten Studie eine Stationenarbeit mit Optikexperimenten für einen inklusiven Physikunterricht entwickelt, die Lehrkräfte für ihren eigenen Unterricht inspirieren kann. Zudem wurde basierend auf dem Experimentierunterricht untersucht, inwiefern die Schülervorstellungen zur Anfangsoptik durch Experimentierstationen beeinflusst werden können. Dabei sollte durch differenziertes, barrierefreies Schülerarbeitsmaterial, welches unterschiedliche Zugänge und Lernwege ermöglicht, eine stark heterogene Lerngruppe (Kinder mit und ohne sonderpädagogischem Förderbedarf) durch unterschiedliche Aufgaben- und Hilfsangebote unterstützt werden. Die Arbeitsmaterialien wurden in Anlehnung an das Universal Design for Learning und das Konzept von Lernstrukturgittern entworfen. In der Unterrichtseinheit arbeiteten die Kinder gemeinsam und selbstständig in Kleingruppen an den Experimentierstationen.
Die Ergebnisse der Studie (N=71, davon 11 Kinder mit Förderbedarf) zeigen auf, dass sich die Schülervorstellungen durch Experimentierstationen überwiegend hin zu physikalisch angemessenen Vorstellungen entwickeln lassen, wenngleich sich die Präkonzepte der Förderkinder schwerer beeinflussen lassen.

## 1. Einleitung und Motivation

In Deutschland ist seit März 2009 die UN-Konvention über die Rechte von Menschen mit Behinderung in Kraft getreten, die ein integratives Bildungssystem und Zugang zu integrativem bzw. inklusivem Unterricht fordert [1].

Aktuelle Studien zeigen jedoch, dass es bundesweit zu wenige Chancen für inklusiven Unterricht gibt. Speziell in Hessen werden so wenige Schülerinnen und Schüler mit und ohne kognitive Einschränkungen gemeinsam unterrichtet, wie in keinem anderen Bundesland. Im Schuljahr 2013/14 belegte Hessen mit einem Anteil der Schülerinnen und Schüler, die inklusiv an einer Regelschule unterrichtet werden, von 21,5 Prozent den letzten Platz Deutschlands [2]. Auch aktuelle Daten vom Schuljahr 2016/17 zeigen, dass Hessen mit 27,01 Prozent immer noch das Schlusslicht im Ländervergleich darstellt [3]. An dieser Stelle besteht Handlungsbedarf.

Um die Umsetzung von Inklusion in Hessen weiter voranzutreiben, benötigt es Konzepte und Materialien, die bei der Gestaltung eines Unterrichts für stark heterogene Lerngruppen die Lehrerinnen und Lehrer unterstützen können. In der Forschung finden sich derzeit jedoch kaum Studien zu Inklusion im naturwissenschaftlichen Unterricht.

Wolters konnte feststellen, dass selbstständiges Experimentieren im inklusiven Physikunterricht möglich ist [4].

Auch Türck erzielte bereits positive Ergebnisse mit einem kooperativen Experimentierunterricht in inklusiven Klassen [5].

Im Bereich der Chemiedidaktik haben Michna und Melle den Erfolg eines Unterrichtsmodells evaluiert, welches das integrative Modell von Instruktion und Konstruktion mit dem sogenannten Universal Design for Learning (kurz UDL) verknüpft und eine Lernumgebung bestehend aus Lehrerkurzvorträgen, differenzierten Arbeitsmaterialien und Selbsteinschätzungsbögen gestaltet. Dabei zeigte sich, dass die Durchführung der Einheit in inklusiven und nicht inklusiven Klassen zu einem vergleichbaren positiven Fachwissenszuwachs und zu einer vergleichbar positiven Bearbeitungsqualität der Schülerarbeitsmaterialien führt. Dies zeigt den Erfolg des Modells in inklusiven Lerngruppen, die mit leistungshomogeneren Klassen mithalten konnten. Das eingesetzte Unterrichtsmodell erzeugte sogar eine positivere Einstellung der Schülerinnen und Schülern gegenüber der Unterrichtseinheit im Vergleich zur Kontrollgruppe [6].

Die Ergebnisse zeigen somit erste Erfolge des Einsatzes selbstgesteuerter und handlungsorientierter Unterrichtsbausteine in inklusiven Lerngruppen.

Durch den erfolgreichen Einsatz selbstgesteuerter und kooperativer Experimentiersituationen in inklusiven Lerngruppen ist eine Veränderung der Schülervorstellungen durch die Realbegegnung zu erwarten.

## 2. Ablauf und Design der Studie

Insbesondere Schülerinnen und Schüler mit Förderbedarf haben einen Entwicklungsverzug, der sich in einem langsamer ablaufenden Lernprozess äußern kann. Um deren Entwicklung genauer untersuchen zu können, wurden für die Studie Klassen ausgewählt, die eine möglichst große Anzahl an Inklusionskindern aufweisen. Die Studie sollte zeigen, ob sich die Präkonzepte von Kindern mit und ohne Förderbedarf durch die entwickelten Materialien positiv beeinflussen lassen und ob ein Lernfortschritt erzielt werden kann.

Es wurden u.a. folgende Forschungsfragen untersucht:

- Wie verändern sich Schülervorstellungen der Optik durch Experimentierstationen?
- Kann durch Experimentierstationen bei den Lernenden mit und ohne Förderbedarf ein Lernfortschritt erreicht werden? Führt die Durchführung der Einheit bei Lernenden mit und ohne Förderbedarf zu einem vergleichbaren positiven Fachwissenszuwachs?

Die Studie ist in einem Prä-Post-Interventions-Design konzipiert. Die Gruppe wurde vor und nach der Intervention getestet.

Der Prätest fragt vorhandene Schülervorstellungen und das Fachwissen ab, der Posttest erhebt zudem eine Einschätzung der Unterrichtseinheit und des Themenverständnisses und das Selbstkonzept der Lernenden. Die dreiteilige Intervention besteht aus einem lehrergeleiteten Einstieg mit Demonstrationsexperimenten, einer offenen Stationenarbeit mit Schülerexperimenten und einer Ergebnissicherung in Form einer Plakatpräsentation.

## 3. Unterrichtseinheit

Die Unterrichtseinheit basiert auf UDL und dem Konzept der Lernstrukturgitter.

### 3.1. Universal Design for Learning

UDL ist ein Ansatz, der Lernumgebungen und Unterricht barrierefrei gestalten möchte, sodass ein Zugang für alle Schülerinnen und Schüler gewährleistet ist. Die Prinzipien des UDL-Ansatzes, welche Lernangebote flexibel ausgestalten sollen, umfassen folgende Punkte:

a) Provide multiple means of engagement
b) Provide multiple means of representation
c) Provide multiple means of action and expression [7].

Das erste Prinzip besagt, dass die Lehrkraft multiple Möglichkeiten der Förderung von Lernengagement bzw. Lernmotivation bereitstellen soll. Dazu gehört das Angebot von Optionen der Selbstregulierung wie zum Beispiel Checklisten, aber auch um Anstrengung und Beständigkeit beim Lernen aufrechtzuerhalten und Interesse zu gewinnen.

Das zweite Prinzip zielt auf die Bereitstellung von unterschiedlichen Repräsentationsformen ab. Dabei geht es darum, vielfältige Optionen zur Verständnisförderung, Möglichkeiten für Sprache, mathematische Ausdrücke und Symbole sowie Wahrnehmungsalternativen bereitzustellen. In den unten vorgestellten Unterrichtsmaterialien wurde beispielsweise Text mit Realfotos und Erklärskizzen kombiniert.

Beim dritten Prinzip sollen multiple Optionen für Handlung und Ausdruck zur Verfügung gestellt werden. Optionen für Ausdruck und Kommunikation und für physische Handlungen stehen im Vordergrund [7].

Die Prinzipien sollen Lehrkräften dabei helfen, allen Schülerinnen und Schülern unabhängig von deren individuellen Lernerfordernissen den bestmöglichen Zugang zum Bildungsangebot zu gewährleisten.

### 3.2. Lernstrukturgitter

Für die Strukturierung der Aufgaben im Forscherheft (siehe 4.) wurden Lernstrukturgitter als Orientierungshilfe zur Unterstützung genommen.

Ein Lernstrukturgitter stellt ein Instrument der Unterrichtsplanung dar. Auf der horizontalen Achse wird die Komplexität der Unterrichtsinhalte und -ziele aufgetragen, die vertikale Achse ist nach dem Niveau der Repräsentation (basal-perzeptiv, konkret-handelnd, anschaulich-bildhaft und begrifflich-abstrakt) gegliedert [8].

### 3.3. Stationenarbeit

Um Lernende mit unterschiedlichen Förderschwerpunkten (Lernen, geistige Entwicklung, emotionale und soziale Entwicklung, Sprache, körperliche und motorische Entwicklung, Hören, Sehen und Kranke) zu unterstützen, sollten die Unterrichtsmaterialien entsprechend aufbereitet sein. Dabei ist zu betonen, dass dadurch nicht nur Schülerinnen und Schülern mit, sondern auch ohne Förderbedarf ein guter Zugang zum Unterrichtsgegenstand ermöglicht wird. Eine Stationenarbeit eignet sich dabei besonders durch ihren hohen Grad an Differenzierbarkeit.

Das hier vorgestellte Stationenlernen für den Themenbereich „Erste Erfahrungen mit Licht“ (siebte Jahrgangstufe) wurde durch das Realisieren von verschiedenen Stationsarten stark differenziert gestaltet. Neben einfachen Basisstationen wurden Vertiefungsstationen und Knobelstationen entwickelt, die entsprechend für die Schülerinnen und Schüler gut erkennbar markiert waren. Als Orientierungshilfe diente den Lernenden ein Laufzettel.

Die Schülerinnen und Schüler konnten diese Stationen frei bearbeiten und selbst entscheiden, welchen Schwierigkeitsgrad sie auswählen wollten. Daher ist das vorliegende Stationenlernen gut geeignet für stark heterogene Lerngruppen.

Basisstationen sollten von allen Schülerinnen und Schülern besucht werden. Vertiefungsstationen setzten Vorkenntnisse über die Inhalte der Basisstationen voraus. An Knobelstationen waren Rätsel von besonders leistungsstarken Lernenden zu lösen. An den Zusatzstationen konnten die Schülerinnen und Schüler kreativ werden, wenn die anderen Stationen belegt oder wenn leistungsstarke Gruppen mit der Arbeit an den anderen Stationen früher fertig waren. Für leistungsschwache Lernende wird die Bearbeitung von Aufgaben durch Lernunterstützungen mithilfe von Hilfskarten erleichtert. Diese Hilfskarten sollen Denkanstöße liefern und Beobachtungen lenken.

Insgesamt wurden zehn Stationen für den Themenbereich Optik (Licht und Schatten) für die siebte Jahrgangstufe konzipiert. Tabelle 1 bietet einen Überblick über die Stationen mit ihrem jeweiligen Lerngegenstand.

| Nr. | Station | Lerngegenstand |
|---|---|---|
| 1 | Lichtausbreitung | Strahlenmodell, Lichtstrahl |
| 2 | Licht trifft auf Gegenstände | Lichtdurchlässigkeit, Lichtstreuung |
| 3 | Licht und Schatten | Schattenentstehung, Schattenkonstruktion |
| 4 | Sehen | Sehvorgang, Lichtstreuung |
| 5 | Schatten von zwei Lichtquellen | Kern- und Halbschatten, Schattenkonstruktion |
| 6 | Sonnenfinsternis | Entstehung von Finsternissen |
| 7 | Lochkamera | Gradlinige Lichtausbreitung |
| 8 | Rätsel des Doppelschattens | Doppelter Schattenwurf durch Reflexion |
| Z1 | Zusatz 1 | Kennenlernen verschiedener Schatten |
| Z2 | Zusatz 2 | Kreieren eigener Schatten |

**Tab. 1:** Stationen mit ihren jeweiligen Themenbereichen und Lerngegenständen

## 4. Forscherheft

Das Forscherheft „Abenteuer Optik“ (Auszug siehe Anhang) mit der dazugehörigen Stationenarbeit bildet das Herzstück der konzipierten Unterrichtseinheit. Es sollte damit ein inklusives Lernsetting entwickelt werden, so dass sowohl die Lernenden individuell auf ihrem eigenen Niveau lernen können, die gesamte Lerngruppe aber an einem gemeinsamen Gegenstand bzw. Inhalt arbeitet [6].

Einige Schülerinnen und Schüler mit Förderbedarf haben Schwierigkeiten bei der Wahrnehmung, was Barrieren im inklusiven Unterricht aufbauen kann. Um diese Barrieren abzubauen, wurde bei der Erstellung des Materials auf die Verwendung einer größeren Schriftgröße und einer kontrastreichen Darstellung geachtet. Um Überforderung zu vermeiden, wurden die Aufgaben in Teilschritte zerlegt [9]. Damit die Arbeitsaufträge von allen Lernenden unabhängig von ihren sprachlichen Kompetenzen erschlossen werden konnten, wurden die Aufgaben in einer Kombination aus Text, Realfotos und Symbolen gestaltet. Als optische Strukturierungshilfe diente der Einsatz einer wiederkehrenden Symbolik, die den Lernenden bei der Orientierung helfen und sie bei der selbstständigen Durchführung der Aufgaben unterstützen soll. Die Symbole bzw. Piktogramme mit den dazugehörigen Erklärungen sind ganz vorne in Form eines Glossars im Forscherheft zu finden.

Die Aufgabentypen sind auf Basis von Lernstrukturgittern (siehe 3.2) konzipiert. So gibt es unterschiedlich komplexe Experimentieraufgaben (konkret-handelnde Darstellungsform), Zeichnungsaufgaben (anschaulich-bildhafte Darstellungsform) und Schreib-, Lese- und Erklärаufgaben (begrifflich-abstrakte Darstellungsform) in unterschiedlichen Komplexitätsgraden (von Reproduktion bis Transfer). Zudem ergänzen die reinen Beobachtungsaufgaben des Stationenlernens als basal-perzeptive Repräsentationsform das Lernstrukturgitter. Die Aufgaben sind in drei Komplexitätsniveaus unterteilt. Zum untersten Komplexitätsniveau gehören Aufgaben, bei denen Versuchsanleitungen befolgt, Beobachtungen aufgenommen und Texte gelesen werden sollen. Aufgaben des mittleren Komplexitätsniveaus gehen über dies hinaus, indem zum Beispiel eine Beobachtung interpretiert, eine Variation getätigt und beobachtet oder eine Vermutung aufgestellt werden soll. Aufgaben, die zum höchsten Komplexitätsniveau zählen, zeichnen sich durch Transferleistungen aus, beispielsweise wenn aus Versuchen allgemeine Aussagen abgeleitet, Konstruktionsskizzen angefertigt oder Erklärungen für Phänomene gegeben werden sollen.

## 5. Datenerhebung

Vor der Einheit fragte ein Prätest vorhandene Schülervorstellungen [10] und das Fachwissen ab.

Der Posttest griff die Erfassung der Schülervorstellungen und des Fachwissens in Single- oder Multiple-Choice-Fragen auf, damit die Entwicklung zwischen Prä- und Posttest festgestellt werden konnte. Zudem sollte ein Fragebogen eine Bewertung der Schülerinnen und Schüler der gesamten Unterrichtseinheit einholen. Darüber hinaus wurde das Selbstkonzept der Lernenden erhoben, um Aussagen über die Heterogenität der Gruppe zu

machen. Zum Schluss sollte das jeweilige Themenverständnis eingeschätzt werden. Der Lernfortschritt berechnet sich aus der Differenz der prozentualen Anteile der erreichten Punkte an den Gesamtpunkten im Prä- und Posttest.

Die Unterrichtseinheit wurde mit drei siebten Parallelklassen an einer Gesamtschule durchgeführt. Insgesamt nahmen 71 Schülerinnen und Schüler an der Erhebung teil, 11 davon mit einem diagnostizierten Förderbedarf (6 im Förderschwerpunkt Lernen, 5 im Förderschwerpunkt emotionale und soziale Entwicklung).

## 6. Ergebnisse

Die Ergebnisse der gesamten Lerngruppen in Prä- und Posttest machen deutlich, dass alle Schülerinnen und Schüler (sowohl Kinder mit als auch ohne Förderbedarf) durch die Einheit dazu gelernt haben [11]. Abbildung 1 zeigt den Lernzuwachs der Schülerinnen und Schüler, differenziert nach mit und ohne Förderbedarf.

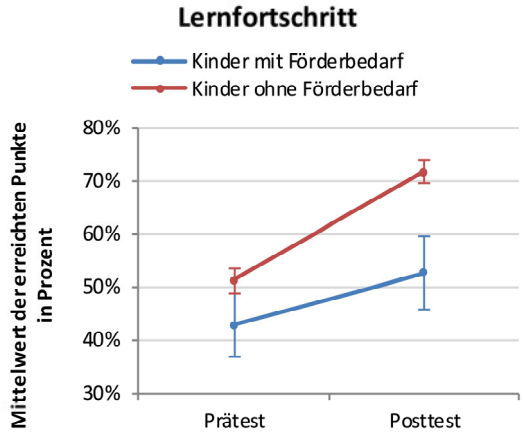



**Abb.1:** Lernfortschritt der Kinder mit und ohne Förderbedarf

Tendenziell lernen die Schülerinnen und Schüler mit Förderschwerpunkt „Lernen“ durch die Einheit besser als die Kinder mit Förderschwerpunkt „Emotionale und soziale Entwicklung“ [11].

Zudem lässt sich sagen, dass sich die Entwicklung von Schülervorstellungen durch Experimentierstationen in den meisten Fällen in Richtung physikalisch angemessener Vorstellungen bewegen lässt, wenngleich sich die Präkonzepte der Förderkinder schwerer positiv beeinflussen lassen [11].

Die Schülerinnen und Schüler sowohl mit wie auch ohne Förderbedarf schätzen die Unterrichtseinheit eher positiv ein. Lernende mit und ohne Förderbedarf weisen eine vergleichbare positive Einstellung bzw. Selbstkonzept auf, wobei das Selbstkonzept der Schülerinnen und Schüler ohne Förderbedarf leicht positiver ausfällt. Schülerinnen und Schüler mit und ohne Förderbedarf schätzen ihr Themenverständnis eher positiv ein. Die Förderkinder beurteilen sich dabei leicht negativer als ihre Mitschüler [11].

## 7. Ausblick

Als nächster Schritt soll im Rahmen des Projektes „Entwicklung einer Lehrkräftefortbildung zum inklusiven Experimentieren“ eine Fortbildung für Physiklehrkräfte entwickelt werden, die diese dazu befähigt, das Experimentieren im Physikunterricht als erfolgreiche Unterrichtsmethode einzusetzen.

Dafür wird auf Basis der hier vorgestellten Erkenntnisse ein Unterrichtskonzept in Form einer Unterrichtseinheit erarbeitet werden, welches das Experimentieren in Gruppenarbeit im inklusiven Unterricht thematisiert.

Das erarbeitete Konzept soll in einer Fortbildung an Physiklehrkräfte vermittelt werden, die in inklusiven Klassen unterrichten. Diese sollen dann die Unterrichtseinheit in ihren Klassen umsetzen. Im Rahmen einer darauffolgenden Interventionsstudie soll die Auswirkung dieser Fortbildungen auf die Lehrkräfte selbst und den inklusiven Physikunterricht untersucht werden, indem u.a. das Fachwissen der Schülerinnen und Schüler und die Bereitschaft der Lehrpersonen, auf Inklusion in der Planung einzugehen, erhoben wird.

Das Projekt ist Teil von "The Next Level", welches im Rahmen der gemeinsamen „Qualitätsoffensive Lehrerbildung“ von Bund und Ländern aus Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gefördert wird.

## 8. Literatur

[1] Beauftragte der Bundesregierung für die Belange von Menschen mit Behinderungen, „Die UN-Behindertenrechtskonventino - Übereinkommen über die Rechte von Menschen mit Behinderungen“, 2008.

[2] Bertelsmann Stiftung, „Inklusion in Deutschland. Daten und Fakten“, Bertelsmann Stiftung, Gütersloh, 2015.

[3] K. Klemm und Bertelsmann Stiftung, „Unterwegs zur inklusiven Schule: Lagebericht 2018 aus bildungsstatistischer Perspektive“, 2018.

[4] B. Wolters, „Selbstständiges Lernen im inklusiven Physikunterricht“, Masterarbeit, Universität Bonn, 2017.

[5] V. Türck, „Entwicklung und Erprobung von Unterrichtsmaterialien zur Unterstützung inklusiven Physikunterrichts“, Masterarbeit, Universität Duisburg-Essen, 2016.

[6] D. Michna und I. Melle, „Inklusiver Chemieunterricht in der Sekundarstufe I. Konzeption und Evaluation“, in *Authentizität und Lernen - das Fach in der Fachdidaktik. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Berlin 2015*, Universität Berlin, 2016.

[7] A. Meyer, D. H. Rose, und D. Gordon, *Universal design for learning: theory and practice*. Wakefield, MA: CAST Professional Publishing, an imprint of CAST, Inc, 2014.

[8] T. Hoffmann und J. Menthe, „Inklusiver Chemieunterricht: Ausgewählte Konzepte und Praxisbeispiele aus Sonderpädagogik und Fachdi-

daktik“, 2016, S. 351–360.
[9] R. Werning und J. Baumert, „Inklusion entwickeln. Leitideen für Schulentwicklung und Lehrerbildung.“, in *Inklusion. Forschungsergebnisse und Perspektiven*, München: Oldenbourg, 2013, S. 38–55.
[10] R. Wodzinski und T. Wilhelm, „Schülervorstellungen im Anfangsunterricht“, in *Schülervorstellungen und Physikunterricht. Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis*, Berlin, 2018, S. 244–268.
[11] L. Sührig, „Veränderung von Schülervorstellungen durch Experimentierstationen im inklusiven Optikunterricht“, Wissenschaftliche Hausarbeit im Rahmen der ersten Staatsprüfung für das Lehramt an Gymnasien im Fach Physik, Goethe-Universität Frankfurt, 2018.

**Anhang**

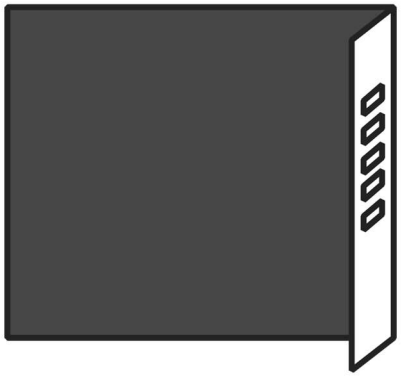
| 6 | Abenteuer Optik |
|---|---|

## Station 1: Lichtausbreitung

Art der Station: *Basis*
Vorkenntnisse: *keine*
Lernziel: *Einführung des Strahlenmodells, Lichtstrahl*
Materialien: *Kerze mit Schlitz-Karteikarte, Laser, Styroporplatte mit Stecknadeln und einem Lineal*

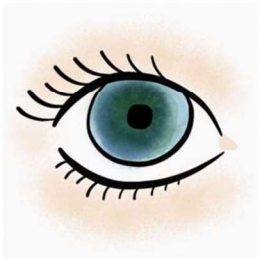
**Aufgaben:**

1.
Stelle die Karteikarte mit den Schlitzen so wie in der Abbildung auf und stelle die Kerze daneben. Zünde nun die Kerze an.



Schlitzkarteikarte

Kerze



2.
Was kannst du beobachten? Beschreibe.

_____

_____

_____

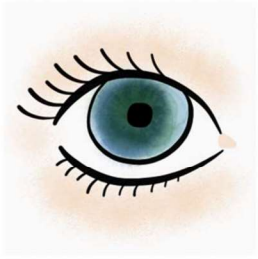
_____

3.
Was kannst du durch diesen Versuch darüber sagen, wie Licht sich ausbreitet? Kreuze an.

- ☐ Licht breitet sich geradlinig aus.
- ☐ Licht breitet sich gebogen aus.
- ☐ Licht breitet sich manchmal geradlinig, manchmal gebogen aus.

Bitte umblättern

4.
Schalte den Laser über den Knopf an der Seite ein und stelle ihn auf die Tischplatte.
**ACHTUNG: Schaue nicht direkt in den Laserstrahl hinein!**



5.
Wie verläuft das Licht beim Laser? Beobachte.

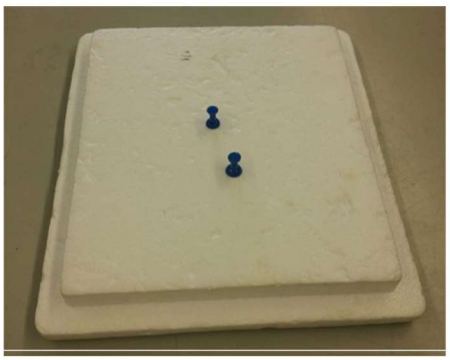
_____

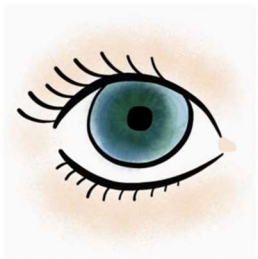
_____

_____

_____

6.
Lege ein Blatt Papier auf die Styroporplatte und stecke zwei Stecknadeln durch das Papier in die Platte. Schließe ein Auge und drehe die Styroporplatte so, dass du mit einem Auge beide Stecknadeln direkt hintereinander siehst. Stecke nun weitere Nadeln so in die Platte, dass du sie alle in einer Reihe siehst.





7.
Liegen die Stecknadeln auf einer geraden Linie? Überprüfe das mit dem Lineal und schreibe dein Ergebnis auf.

_____

_____

Bitte umblättern

# ICT Support in Mathematics and Physics Integrated Teaching Based on Modeling Process

**Ngoc Chat Tran *, Van Bien Nguyen *, Eduard Krause [+]**

* Hanoi University of Education, Faculty of Physics, Vietnam, [+] University of Siegen, Department of Mathematics, Germany

chattn@hnue.edu.vn, biennv@hnue.edu.vn, krause@mathematik.uni-siegen.de

**Abstract**

This article presents a part of the scientific missions of the Inter-Tetra project: Teaching based on modeling process has been published from many didactic researchers for mathematics, physics and math-physics integrated teaching. However, in many cases, the process of building model and the operating of the model is abstract to the students and even teachers. For a deeper understanding of modeling, the first part of the study will present an overview of modeling in mathematical and physical learning. The next part of this study will proposes the application at the steps of building model and operating model in teaching based on modeling process. In addition, this study also presents some examples of using these ICT tools in teaching some math-physics integrated topics and analyzes the advantages and disadvantages of using them.

## 1. Overview of modeling

### 1.1. Model and modeling

A Model is a thinking structure that reflects reality or process in the real world. Summaries of studies on psychology have shown, that the nature of the formation of knowledge is the construction of models that reflect the outside world (Chiu, 2000).

There are two types of models: mental models and conceptual models. The mental model is a structure of instant images that instantly reflect the outside world. Its structures will be analogical to real-world structures. The mental model helps us to quickly visualize, explain and predict the evolution of the real process that the model reflects. Therefore, understanding physical phenomena necessarily needs to build mental models.

However, the mental model is incomplete, unstable and often is not described clearly without limits and in general the differences between individuals (example: model depicting light: having a figure it is a sunny yellow environment, others imagine a beam of light rays, some envisioned as a continuous emission of light particles etc.). Mental models will be refreshed in new situations. The conceptual model is accurate, a complete representation of structures, scientifically validated and highly stable (Norman, 2014) For example, the light model shows that light has both the nature of electromagnetic waves and quantum properties. Thus, while the mental model is personal, internal, inadequate and highly flexible, the conceptual model is external, more complete and scientifically validated (Greca, 2000).

Learning modeling can be understood as the process of editing and refreshing internal mental models to best suit conceptual models (Nersessian, 1992). Thus, if understood in this sense, the process of learning scientific knowledge is playing "game of modeling" (Halloun, 1996).

### 1.2. Role of modeling in teaching

Three fundamental purposes of science teaching include: learning of science, learning about science and learning to do science (Hodson, 1992). To achieve this goals, students need to perform modeling corresponding to three types of modeling activities: Learning to understand models (model learning), learning to modify models to suit new purposes (model revision) and learn to create models (model production) (Justi, 2002).

However, according to Piaget's Constructivism, learning how to build knowledge (a model) is better than re-understanding a way of defining knowledge (a model) developed by others (Piaget, 1952). Therefore, the goal to help students build knowledge (models) for themselves should be of top concern.

### 1.3. Modeling cycle

Building models requires students to have analogical inferences and metaphorical reasoning (Coll, 2005). However, modeling is not just about showing how to use thinking techniques to create a model. Modeling should include all actions: From discovering the reasons for modeling, proposing the model's objectives, arguing for model recommendations, correctness and feasibility testing (Gilbert, 2012). If the testing process finds that the proposed model is not correct, the proposed process of modeling will have to be repeated, so modeling is cyclical. It can be perceived that these characteristics of modeling have many parallels with the way of building knowledge.

A modeling cycle that met these requirements was proposed in mathematics soon by Burkhardt (1964) when solving a practical situation (Fig. 1). This cycle focuses more on techniques for modeling, which illustrates cyclicality with two loops of the simplification and improvement, which are also the way scientists apply to build models.

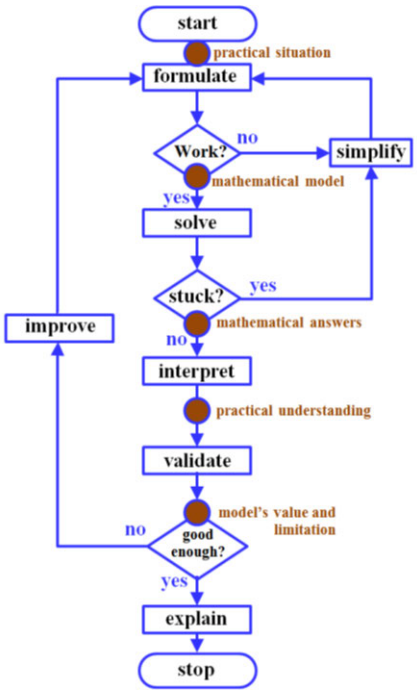



Fig.1 Modelling cycle (Burkhardt, 1964)

The modeling cycle building the scientific knowledge was proposed by Gentner (1983) (Fig. 2). In comparison to the cycle of Burkhardt, this cycle is less focused on the technique of creating models, but emphasizes on the goal of modeling and the test loops for models are built through two loops with thought experiments and empirical tests.

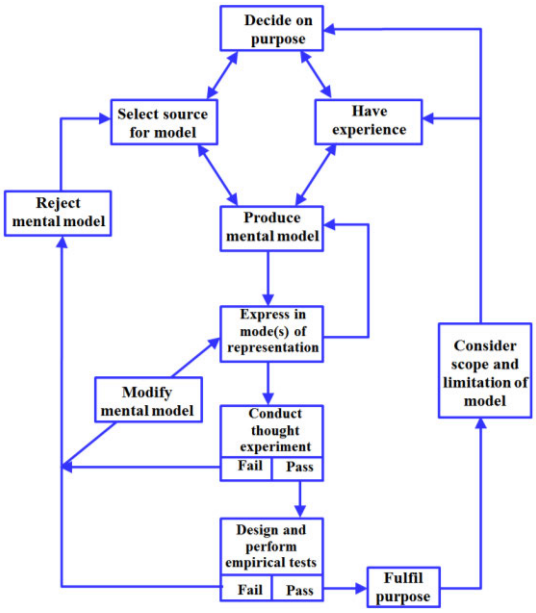



Fig.2 Modelling cycle (Gentner, 1983)

Hennes (2001) proposed a modeling cycle in mathematics teaching, which has many similarities with the teaching cycle of solving problems in science education (Fig. 3)

The modeling cycles in teaching mathematics today, that many education researchers mentioned, are proposed by Blum (2005) (Fig. 4). The two scopes which obviously are presented in this model are the mathematical world and real world. It can be seen that the model's cycle consists of 6 stations: Real situation, Mental model, Real model, Mathematical model, Mathematical results and Real results. Lines connecting stations represent activities during the modeling process, they are called Modelling paths. There are 7 Modelling paths: 1. Constructing; 2. Simplifying; 3. Mathematizing; 4. Working mathematically; 5. Interpreting; 6. Validating; 7. Exposing.

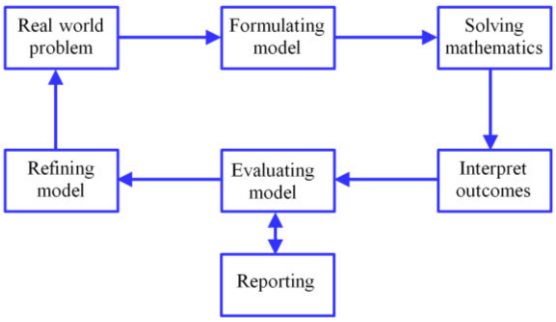



Fig.3 Modelling cycle (Hennes, 2001)

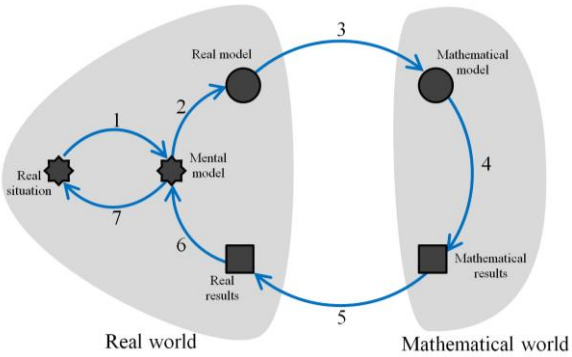



Fig.4 Modelling cycle (Blum, 2005)

The example "The Sugarloaf task" (Blum, 2007) has shown that this modeling cycle is described briefly, clearly and in accordance with applying mathematical models to explain specific problems in the real world. However, the role of the modeling cycle in teaching mathematics is currently mainly stopped at the level of helping students apply mathematical models into real world, which is still not the level, which helps students building a new mathematical model (Stillman, 2017). However, this modelling cycle applied in science education has a better role, not only to apply knowledge into practice but also to build and form new models (see section 1.2).

The modeling cycle should also be interpreted as a structural model of the modeling process, rather than an order of time of action steps (Prediger, 2010). Some studies have documented the action steps taken by students during modeling. It`s called "individual modeling path" (Ferri, 2007). The results of the study also indicate that the student's individual modelling paths generally differ from order of modeling paths in theoretical modelling cycle (Greefrath, 2017).

## 2. Applications of ICT in teaching physics

ICT with the leading role of the personal computer, handheld mobile devices, the internet system and the achievements of technological progress has a lot of support for teaching. The application of ICT in teaching physics can be cataloged into 5 functions:

- Describing: ICT supports the recording of images and videos of phenomena occurring in nature. Presentation of text, image and video data dynamically (e.g. software: PowerPoint, Windows Media Player ...)
- Connection: With internet network support, interactive information can be done anytime, anywhere. Students can observe a related phenomenon or review related knowledge at any learning stage (e.g. software: Internet Explorer, Chrome ...).
- Simulation and modeling: Computers can quickly perform a series of calculations on the data provided. Therefore, the time to calculate the parameters of the evolutionary state of real physical process over time can be quickly completed. However, the computer is just a machine that performs calculations. The command of the calculation steps must be controlled by humans through algorithm settings, that are concretized through computer programming language symbols. In order to be able to set up the algorithm, it is necessary to understand the dominant rule of phenomena over time (e.g. software: Stella II, Mathematica, Coach 7, Excel ...).
- Experimental data collection and processing: The sensor will convert the physical parameters into electrical signals. This electrical signal will go through an AD (Analog to Digital) adapter to standardize into a digital signal, and then it be connected to the computer to be recorded in memory, and be called data. These data will be processed according to the simulation or modeling scenarios (e.g.: Arduino and Inventor, Cassy and Cobra ...)
- Control: The data is obtained from a simulation to control an external device, it will be sent to the DA converter (Digital to Analog), in which it is converted into electrical signals. The electrical signals will be amplified and connected to an electrical device (e.g. an electric motor) to act as desired by the simulation (e.g. Arduino and Inventor, Cassy and Cobra ...).

## 3. Proposing a cycle of modeling mathematics and physics integration teaching with ICT support

Blum's modeling cycle (see section 1.3) has been widely applied in research of teaching mathematics. However, the proposal of a mathematical and physical integrated modeling cycle with the support of ICT has not been taken account by education researchers.

The supported mathematics learning cycle of ICT is briefly described in Fig. 5. In this model, there is a clear distinction between mathematical model and computer model (Greefrath, 2011a). However, as example 4.2 below indicates, that math and computer model without the presence of physics will lead to mistakes. Therefore, the computer model should not be separated from the mathematical and physical model. In another research of Greefrath (2011), the ICT action are not directly added into modeling cycle in learning mathematics, instead it describes each stage of the modeling cycle with integration of ICT support.

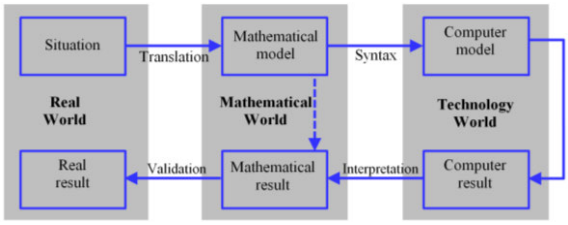



Fig.5 Modelling cycle (Greefrath, 2011a)

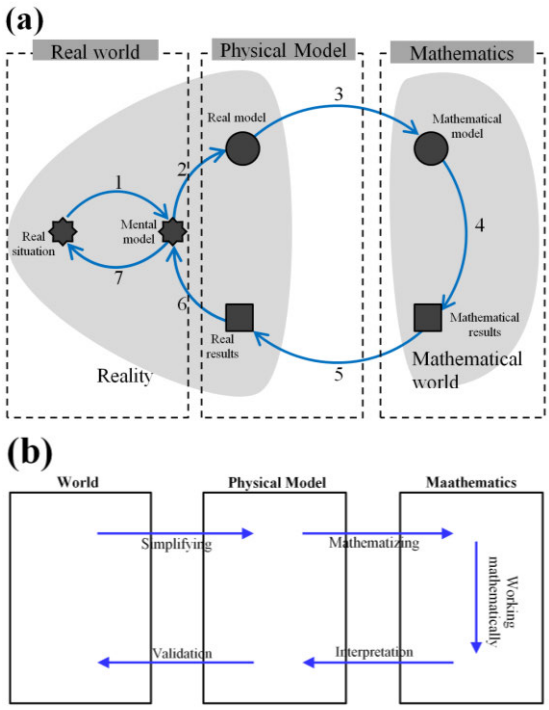



Fig. 6 Modelling cycle (Uhden, 2012)

When applying Blum's modeling cycle in physics learning, the modeling cycle can be divided into

three independent scopes: Real model, Physical model and Mathematics (Fig. 6). However, it is in the scope of physics that structures of mathematical thinking exist (Uhden, 2012), and in mathematical reasoning steps, there must also be the guidance of physical thinking (see section 4.2). Therefore, in the process of modeling having mathematical and physical integration with the support of ICT, it is not necessary to clearly distinguish the scope of physics and the scope of mathematics.

From the consideration of the influence of Blum`s modelling cycle, the considerations of ICT-supported mathematical modeling cycles and considering the study of embedding the mathematical modeling cycle in physics learning process, a new modeling cycle is proposed. This modelling cycle was modified from the Blum's modelling cycle and allows describing steps to build or apply integration knowledge of physics and mathematics with the support of ICT (Fig. 7).

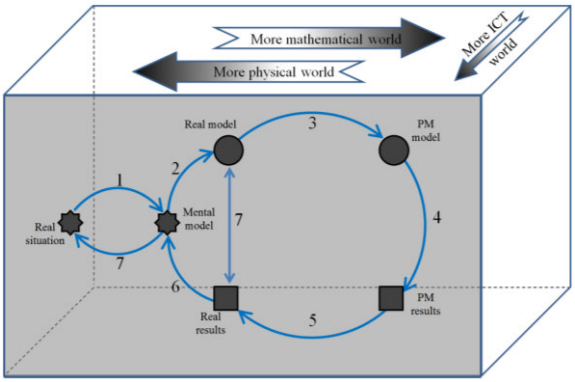



Fig.7 New modelling cycle concerning mathematics, physics and ICT integration

The modeling cycle is presented in 3D space, corresponding to physics, mathematics and ICT. The modelling cycle still preserves the number of stations as Blum's modelling cycle, but the content of stations 4 and 5 is renamed Physical and mathematical model (PM model) and Physical and mathematical results (PM result). In addition, the model also adds a 6b path module, which means testing by experiment (Experimenting). Actions to go from one station to the next can be supported by ICT, allowing achieving a higher efficiency in learning. The scope of mathematics and physics overlap completely on each other, but pointing on the right side is more related to the mathematical world, pointing to the left will be more about the physical world. The third dimension, the depth of model shows how deep the level of ICT support is.

## 4. Illustration of the new modelling cycle through examples

To illustrate the application of the modeling cycle proposed above, the following 4 examples of different problematic situations in traditional swinging folk games in Vietnam are presented (Fig. 8). Stations and modeling paths descriptions for each station corresponding to the modeling cycle will be specified. In addition, the level of ICT support and ICT role in modeling will be analyzed.

### 4.1. The first example

The situation of swinging games in Vietnam: The observer uses a clock to measure the time between two consecutive times that the gamers reach to the maximum height on the left: 5s. The question is to determine the height of the bamboo frame. The following will describe 6 stations and 7 modeling paths corresponding to the proposed modeling cycle:

Station 1. Real situation: Reconciliation with the modelling cycle, the Real situation station is the game observation experience. (Fig. 8). The time reaching the maximum height sequentially almost remains constant.

Station 2. Mental model: After understanding the real situation, the initial visualization of the situation will form a Mental model (corresponding to modeling path 1: Constructing). Each individual will have a unique mental model (Fig. 9).

Fig.8 Real situation

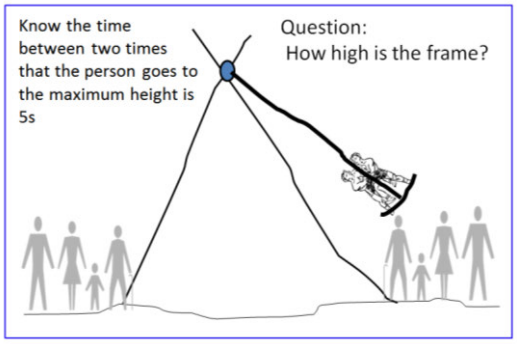



Fig.9 Mental model

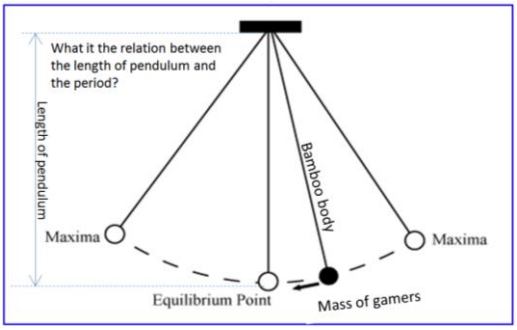



Fig.10 Real model

Station 3. Real model: From the mental model some key elements were refined, and then to be simplified (corresponding to modeling path 2: Simplifying). Consider this game layout to be simplified, similar to the experimental layout of a single pendulum. From that point on, the diagram was designed to illustrates that experimental device with notes about objects related to the real situation (Fig. 10).

Station 4. Physical and mathematical model: The physical objects with its characteristics and the relationships from the real model will be represented mathematically and physically (corresponding to modeling path 3: mathematization). At this station, the physical models and mathematical models were selected to represent the characteristics of the real model (Fig. 11)

Station 5. Physical and mathematical results: By applying mathematical laws the physical and mathematical results will be drawn (corresponding to modeling path 4: Working mathematically) (Fig. 12).

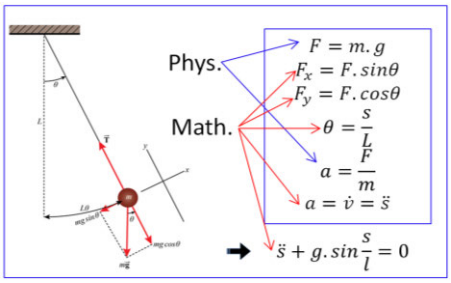



Fig.11 Physical and mathematical model

$$\ddot{s} + g.\frac{s}{l} \cong 0$$

$$\downarrow$$

$$s = S_o.\sin(\frac{2.\pi.t}{T} + \varphi_o)$$

$$T = 2.\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$$

Fig.12 Physical and mathematical results

T is constant when L and g are constant. T depends on L according to the following formula:

$$L = g.\frac{T^2}{4.\pi^2}$$

After replace the data from real situation, the height L is

$$L = 6{,}2m$$

Fig.13 Real results

Station 6. Real results: From physical and mathematical results, the actual results will be explained (corresponding to path 5: Interpreting) (Fig. 13).

With this result, a single pendulum experiment must be carried out to verify the relationship between the pendulum length and the oscillation period (corresponding to path 6b: Experimenting). The test results confirmed the results. Therefore, the real result returned to the mental model, which help envision the height of the bamboo frame to be about 6.2m, which is approximately 4 times the height of the observer, which is likely to match the original image (similar Applying path 6: Validating). From this, it is possible to explain how to calculate the height of a vibrating object in practice, which has a single pendulum-like vibration (corresponding to modeling path 7: Exposing).

### 4.2. The second example

The initial situation and the goal are the same as in the first example (4.1.) However, from the 4th station to the 5th station we will not use the mathematical working, but instead ICT will be applied, namely the computer modelling (or computer simulation) function. First of all, we need to set up a computer modeling cycle. This process is essentially a discrete process of continuous physics. The usual way to do this process is to divide the process continuously into a lot of (n) differential processes that have small changes (Δt) in succession. We consider, that in the differential process the simplest physical states are evolving to facilitate calculations, in particular in this example, during small Δt, the acceleration, force, velocity and position are assumed unchanged. Moreover, between differential processes, the quantity of accelerations, forces, velocities and displacement will vary in quantity corresponding to the small time-varying Δt. Specifically, the additional quantity of displacement is Δs=v. Δt, the additional quantity of velocity is Δv=a. Δt, the force and acceleration will have new values depending on the position. Thus, if the initial position and velocity of the object were given, we will calculate to find out all quantities of position, velocity, force and acceleration of all n differential processes. If the real continuous process is divided into a lot of n differential processes (for example, n = 1000), then manual calculations will be very time consuming. However, if the computer program is used, all series calculations will take place very quickly.

An algorithm describing the calculation process as shown above is represented in Fig. 14. The algorithm will guide the computer to perform the calculation of every quantity according to every differential process. In order to let the computer understand this algorithm, it is necessary to program in the grammatical structure (write code) corresponding to the given software. The computer, after reading the programming code, quickly executes a series of calculations based on the algorithm, thus finding out all series of data of physical quantity for every differential processes. Computer programming today has been simplified, maybe just drag and drop icons on the screen (e.g. software: Stella II, Mathematica,

Coach 7, Excel ...). By the use of software with support for modeling and simulation, the results can quickly be achieved (Fig. 15). This result will enable mathematics and physics to draw results that are equivalents the station 5 at example 4.1 (Fig.12).

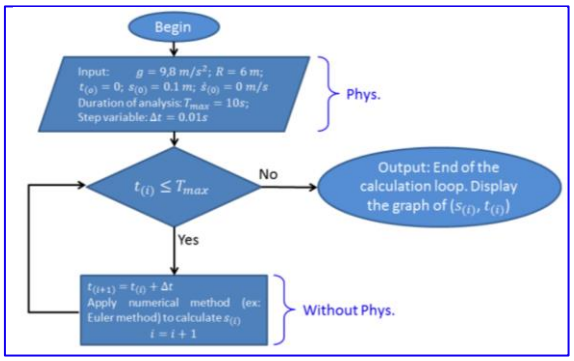



Fig.14 Algorithm to calculate at every differential process

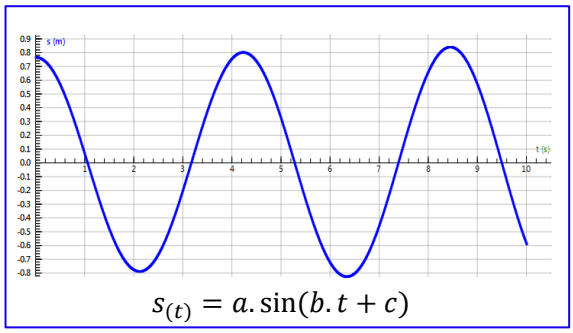



Fig.15 ICT result

Through the above analysis, it is required to create an algorithm to perform computer-based calculations. So it must be including the physical thinking, not merely the math and a technique to create algorithm. For example, in the above case, if the actual evolution of the physical process is without consideration, we don't have the criteria to choose the value of dt. So it can be chosen Δt = 0.1s. Consequence, the result of the oscillation process is a false (Fig. 16). However, mathematics and ICT cannot know right away that this is the wrong result even though the calculation steps are logical. Therefore, activities in the modeling process must be activities that integrate mathematical, physical, and ICT thinking.

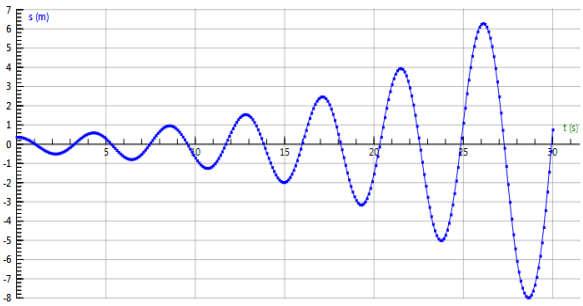



Fig.16 One wrong ICT result

### 4.3. The third example

In this example will show that the application of ICT is the only way to solve the problem. Return to the swing game at 4.1: After performing modeling, the period of swing must be constant. However, while the swinging, if the players make the swing amplitude reach the higher position, then a greater period of swing is observed. In the case, that the player makes the bamboo body move up, and the angle between bamboo body and the vertical is greater than 90 degrees, the period of swing will increase very much. The period in this case can be recorded up to 16s (Fig. 17). Therefore, if applying the result from the modeling cycle as in example 4.1, the height of the bamboo frame is too large: 64m. A result far from reality.

However, if using the modeling cycle with ICT support in calculating among series of differential processes, we still get reasonable results for the height of bamboo frame: about 6.2m. In this case, the player's movement will not follow the harmonic rule (Fig. 17)

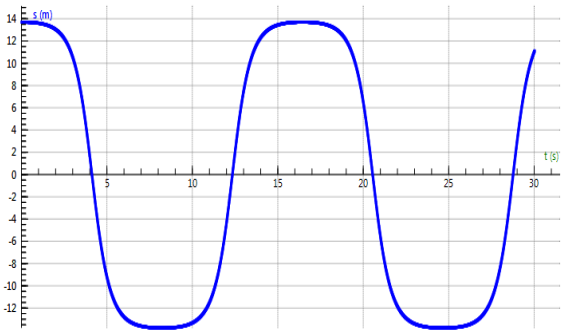



Fig.17 ICT result for special case of Vietnamese swing game

### 4.4. Example 4

This example will continue to show ICT support in more difficult situations. ICT not only supports the modeling cycle at the calculating stage (Working mathematical) but also supports the experimenting phase with data collection and device control functions.

Going back to example 1, a swinging game due to friction, then the swing will have to be damping. However, the players can still create sustained swing. So what should a player do to maintain periodic oscillation?

From the actual observation, swingers do not apply external forces to the system. However, they will shrug and stoop their body at different level to maintain oscillation. When shrugging or stooping, player will change the centroid. It leads to change the relative position of center of gravity, therefore change the gravitational potential energy. So PM model (Station 4) will be: by changing the the centroid the players will provide the gravitational potential energy for the system to sustain the swing. Station 5.

(PM result): The results of mathematical arguments and physical models are: When the players change the position of center of gravity from orbit a to orbit b (Fig. 18), the gravitational potential energy will decrease, so the kinetic energy must increase. After that, the players change the position of Centre of gravity from orbit b back to orbit b and accompany by the obtained kinetic energy. This added energy will compensate for energy wastage due to friction, thus maintaining the swing.

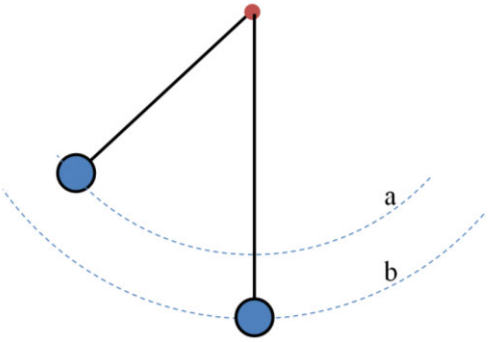



Fig.18 PM results explaining how to maintain the swing

Station 6 (Real result): So when the players reach the highest position they should to stand upright to remain high position of Centre of gravity. When the players reaches its lowest position, it is necessary to shrug and stoop to lower the center of gravity to obtain a higher velocity, so the kinetic energy will be added. Therefore providing more energy to maintain the swing.

To test this will require a single pendulum experiment, with the studied system including a servo and a heavy metal cube attached to the arm of servo. The servo will lift the heavy metal ball when the pendulum is reaching the highest point on the left side and to the highest point on the right side, and the servo will lower the heavy metal ball when the pendulum is moving to the lowest position. Servo control in such a way can be done with ICT with Arduino support. To actualize the process of lifting and lowering the heavy metal ball of the servo according to the pendulum oscillation state, an algorithm must be designed, and this also lead to programming code corresponding to that algorithm, too. Experimental results show that the pendulum having servo lifting and lowering metal ball can sustain the oscillation. This means, that the proposed model is reasonable, and the result of modeling (Real result) will describe the technical guide for swing game players.

## 5. Conclusion

The integrated mathematical and physical learning process is carried out harmoniously when applying modeling from mathematical learning to physical learning with the support of ICT. This modeling process will make opportunities for students to inquiry and find new physical knowledge and to apply mathematical knowledge to practice. This combination also makes mathematical thinking and physical thinking harmoniously integrated.

The modeling cycle has many similarities with the knowledge discovery cycle. Therefore, the application of mathematical models into physics can be understood as a cycle of building new physical knowledge. Teaching new knowledge can follow the process of modeling. However, it should be noted that the modelling cycle indicate the structure of actions rather than the order by time of actions in the modelling cycle.

The examples presented in section 4 treated the same topic, but the degree of difficulty in situations and the ways of dealing are also different, which helps to understand and apply the modeling cycle in teaching integrating mathematics and physics more clearly. In addition, these examples also allow teachers to organize students to implement the following diverse modeling cycles to suit different learners' competence. Applying this method will also bring many positive learning benefits (Lamb, 2017).

ICT in this era can support at all stages of the modeling process. However, supporting ICT requires the integration of many mathematical and physical knowledge, in which computer modeling must play the main role. When students achieve modelling cycles, they could develop modeling competence, but this is also a process for students who are struggling. Learners tend to try out an existing model, but the ability to build computer models and building steps to calculating are still limited (Sins, 2005). Improving the competence of analyzing the physical process to facilitate the loops calculation of computers, how teacher can organization students' learning as well as the impact on student should continue to be researched.

## References

Chiu, M. M. (2000). Metaphorical reasoning: Origins, uses, development, and interactions in mathematics. EDUCATION JOURNAL-HONG KONG-CHINESE UNIVERSITY OF HONG KONG-, 28(1), pp. 13-46.

Blum, W., & Leiß, D. (2005). Modellieren im Unterricht mit der „Tanken "-Aufgabe. mathematik lehren (128). S, 1, 21.

Blum, W., & Leiss, D. (2007). How do students and teachers deal with modelling problems?. In Mathematical modelling (pp. 222-231). Woodhead Publishing.

Burkhardt, H. (2006). Modelling in Mathematics Classrooms: reflections on past developments and the future. ZDM, 38(2), pp. 178-195.

Coll, R. K., France, B., & Taylor, I. (2005). The role of models/and analogies in science education: implications from research. International Journal of Science Education, 27(2), pp. 183-198.

Ferri, B. (2007). Personal experiences and extra-mathematical knowledge as an influence factor on modelling routes of pupils. Proceedings of CERME-5, WG 13 Modelling and Applications, pp. 2080-2089.

Gentner, D. and Gentner, D. R. (1983). Flowing waters and teeming crowds: mental models of electricity. In D. Gentner and A. L. Stevens (eds), Mental Models (Hillsdale, NY: Erlbaum), pp. 99–129.

Gilbert, J. K., & Boulter, C. (Eds.). (2012). Developing models in science education. Springer Science & Business Media.

Greca, I. M., & Moreira, M. A. (2000). Mental models, conceptual models, and modelling. International journal of science education, 22(1), pp. 1-11.

Greefrath, G., Siller, H. S., & Weitendorf, J. (2011). Modelling considering the influence of technology. In Trends in teaching and learning of mathematical modelling (pp. 315-329). Springer, Dordrecht.

Greefrath, G. (2011). Using technologies: New possibilities of teaching and learning modelling–Overview. In Trends in teaching and learning of mathematical modelling (pp. 301-304). Springer, Dordrecht.

Greefrath, G., & Siller, H. S. (2017). Modelling and simulation with the help of digital tools. In Mathematical Modelling and Applications (pp. 529-539). Springer, Cham.

Haines, C., Crouch, R., & Davis, J. (2001). Understanding students' modelling skills. In Modelling and mathematics education (pp. 366-380). Woodhead Publishing.

Halloun, I. (1996). Schematic modeling for meaningful learning of physics. Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching, 33(9), pp. 1019-1041.

Hodson, D. (1992) In search of a meaningful relationship: an exploration of some issues relating to integration in science and science education. International Journal of Science Education, 14, pp. 541–562.

Justi, R. S., & Gilbert, J. K. (2002). Modelling, teachers' views on the nature of modelling, and implications for the education of modellers. International Journal of Science Education, 24(4), pp. 369-387.

Lamb, J., Matsuzaki, A., Saeki, A., & Kawakami, T. (2017). The Dual Modelling Cycle Framework: Report on an Australian Study. In Mathematical Modelling and Applications(pp. 411-419). Springer, Cham.

Nersessian, N. J. (1992). How do scientists think? Capturing the dynamics of conceptual change in science. Cognitive models of science, 15, pp. 3-44.

Norman, D. A. (2014). Some observations on mental models. In Mental models (pp. 15-22). Psychology Press.

Piaget, J., & Cook, M. (1952). The origins of intelligence in children (Vol. 8, No. 5, p. 18). New York: International Universities Press.

Prediger, S. (2010). „Aber wie sag ich es mathematisch?“–Empirische Befunde und Konsequenzen zum Lernen von Mathematik als Mittel zur Beschreibung von Welt. Entwicklung naturwissenschaftlichen Denkens zwischen Phänomen und Systematik. Jahrestagung der GDCP, pp. 6-20.

Sins, P. H., Savelsbergh, E. R., & van Joolingen, W. R. (2005). The Difficult Process of Scientific Modelling: An analysis of novices' reasoning during computer-based modelling. International Journal of Science Education, 27(14), pp. 1695-1721.

Stillman, G. A., Blum, W., & Kaiser, G. (Eds.). (2017). Mathematical modelling and applications: Crossing and researching boundaries in mathematics education. Springer.

Uhden, O., Karam, R., Pietrocola, M., & Pospiech, G. (2012). Modelling mathematical reasoning in physics education. Science & Education, 21(4), pp. 485-506.

# Die Natur der Naturwissenschaften im Schüler*innen-Labor Physik vermitteln

**Matthias Ungermann*, Verena Spatz***

* Physikdidaktik, FB Physik, Technische Universität Darmstadt, Hochschulstraße 12, 64289 Darmstadt
matthias.ungermann@physik.tu-darmstadt.de

**Kurzfassung**

Die Natur der Naturwissenschaften (NOS) wird unter gesellschaftlichen und lernpsychologischen Gesichtspunkten als immer wichtigeres Bildungsziel angesehen. Darum wurde an der TU Darmstadt ein Schüler*innen-Labor Physik entwickelt, welches mithilfe des Ansatz des forschend-entdeckenden Experimentierens die Vermittlung von NOS-Aspekten und der Variablenkontrollstrategie (VKS) in den Mittelpunkt stellt. Zudem wird dabei die aktuelle Forschung am Fachbereich adressatengerecht aufbereitet und vorgestellt. Zur Erfassung der Wirksamkeit des Labors wird eine Begleitstudie durchgeführt. Hierzu wurde ein Messinstrument pilotiert, welches auf dem Fragebogen von Kremer (2010) basiert und um eigene Items zur VKS erweitert wurde. Die Ergebnisse legen eine neue Skalenfindung zu den Items zu NOS nahe. Die Items zur VKS können aufgrund der Werte von Lösungswahrscheinlichkeit und Trennschärfe in der Studie eingesetzt werden.

## 1. Motivation

Neben dem Bildungsziel des „Lernens von Physik“ rückt das „Lernen über Physik“ (Jung, 1979; Niedderer & Schecker, 1982), also das Lernen über die „Natur der Naturwissenschaften“ (NOS), in der aktuellen Bildungsdebatte immer mehr in den Fokus. Dieses Ziel beinhaltet im engeren Sinne bei naturwissenschaftlichen Lerngelegenheiten erkenntnis- und wissenschaftstheoretische Fragen (Kircher, Girwidz & Häußler, 2015), im weiteren Sinne allgemeine Strukturen sowie ethische und fachimmanente Grenzen (Klafki, 1963, 130 ff) zu thematisieren.

Die Forderung adäquate Vorstellungen von NOS als Bildungsziel einer durch MINT-Wissenschaften geprägten Gesellschaft (Euler, Schüttler & Hausamann, 2015; Höttecke, 2001, 2008; Kircher, Girwidz & Häußler, 2015; OECD, 2016; Pommeranz et al., 2016) zu verankern lässt sich leicht mit einem Hinweis auf die lernpsychologische Forschung erklären, die den Einfluss von epistemologischen Überzeugungen auf Lernprozesse und –ergebnisse vielfach zeigen konnte (Hofer & Pintrich, 2016). Dies ist nicht verwunderlich, da das Wissen über die Natur der Naturwissenschaften eine Schlüsselkompetenz zum Verständnis und Lernerfolg in Physik zu sein scheint (Hofer & Pintrich, 2016; Köller, Baumert & Neubrand, 2000).

Als Gelingensfaktoren gelten dabei die explizite anstelle der impliziten Instruktion von NOS (Abd-El-Khalick & Lederman, 2000) sowie die fundierte Auseinandersetzung mit authentischen Kontexten (Roth, 1995). Beides lässt sich im Regelunterricht, aber noch leichter in außerschulischen Lernorten, z.B. forschungsnahen Schülerlaboren, umsetzen. Denn neben der „Vermittlung eines zeitgemäßen Bildes“ (Euler, Schüttler & Hausamann, 2015, 762) ermöglichen Schülerlabore eine „Begegnung mit moderner Naturwissenschaft und Technik durch erfahrungsbasierte Zugänge zu Prozessen der Forschung und Entwicklung.“ (Euler, Schüttler & Hausamann, 2015, 762). Darüber hinaus haben sie, bis auf wenige Ausnahmen (Uhlmann & Priemer, 2010), das Ziel implizit die Ansichten der Schüler*innen über die Natur der Naturwissenschaften positiv zu verändern.

Eine weitere Säule der Arbeit in Schülerlaboren ist das „Experimentieren, Forschen, Ausprobieren durch die Kinder und Jugendlichen […]. Dabei steht der Forschungsprozess im Mittelpunkt, der durch das entdeckende Experimentieren oder das geführte entdeckende Experimentieren gekennzeichnet ist.“ (Haupt et al., 2013, 3). Entsprechend Bruner (1970) sollen so für Physik typische Denk- und Arbeitsweisen sowie Persönlichkeitsentwicklung und Kommunikationsfähigkeit durch die unmittelbare Realitätserfahrung der Versuche und der authentischen Umgebung geschult werden. Ebenfalls können durch die Selbstständigkeit bei den Versuchen im Labor Problemlösetechniken und die Motivation der Schüler*innen sich mit (naturwissenschaftlicher) Forschung zu beschäftigen stark gefördert werden (Ausubel, 1974).

Daher erscheint „forschend und konstruierend-entwickelnd zu lernen […] ein ebenso natürlicher wie authentischer Zugang zu Naturwissenschaften“ (Euler, Schüttler & Hausamann, 2015, 771). In diesem Zusammenhang gilt es allerdings aber auch den Schüler*innen eine korrekte Arbeitsmethodik, in diesem Fall der Variablenkontrollstrategie (VKS), zu vermitteln.

## 2. Schüler*innen-Labor Physik der TU Darmstadt

Im Schüler*innen-Labor Physik der TU Darmstadt wird untersucht, inwieweit sich in einem außerschulischen Lernort durch ein einmaliges Treatment adäquatere Vorstellungen der Schüler*innen zu NOS und der Arbeitsmethodik in den Naturwissenschaften vermitteln lassen. Die Fülle der Aspekte von NOS (McComas, 2002; Osborne et al., 2003) wird dazu entsprechend Schwartz et al. (2008) auf vier wesentliche Aspekte begrenzt. Diese entsprechen vier der sieben von Kremer (2010) bzw. der sechs von Ertl (2013) identifizierten Kategorien, nämlich Rechtfertigung von Wissen, Entwicklung von Wissen, Zweck der Naturwissenschaften und Kreativität der Naturwissenschaftler*innen.

Die Arbeitsmethodik in Naturwissenschaften, das bedeutet hier die VKS, wird entsprechend der Adaption des SDDS-Modells (Klahr & Dunbar, 2000) durch Hammann (2008) und Ehmer (2008) im Schüler*innen-Labor untersucht.

Konkret werden die Metakompetenzen jeweils zu einem bestimmten Thema explizit behandelt. Die Themen im Schüler*innen-Labor zeichnen sich dabei vor allem durch die gute inhaltliche Passung zur aktuellen Forschung am Fachbereich aus. So wird eine Analogie zu einem aktuellen Forschungsfeld gesucht und mit den Schüler*innen erkundet. Für die Schulklassen ist somit ein Tag im Schüler*innen-Labor ein Eintauchen in die aktuelle naturwissenschaftliche Forschung am Fachbereich Physik der TU Darmstadt.

Für die Phase des Experimentierens orientiert sich die Konzeption des Schüler*innen-Labors implizit an einer Adaption des Modellierungsprozesses des biologisch-mathematischen Problemlösens nach Schultz-Siatkowski (2012), um Aspekte des forschend-entdeckenden Lernens (Höttecke, 2010) und des SDDS-Modells von Dunbar und Klahr (2000) einfließen lassen zu können.

Dementsprechend wird den Schüler*innen der 7. bzw. 8 Jahrgangsstufe ein zentraler Forschungsanlass in Form einer Videobotschaft eines Professors zu Beginn eines Labortags präsentiert. Dieser spannt den thematischen Bogen von selbst erkundetem und selbst entdecktem Wissen zur aktuellen Forschung am Fachbereich Physik, so dass im Sinne des genetischen Lernens nach Wagenschein (2013) ein bruchloser Übergang von vorwissenschaftlichen Erfahrungen hin zur Physik ermöglicht wird. Ausgehend von diesem Forschungsanlass entwickeln die Schüler*innen im ersten Teil des Labortags Hypothesen, um das Thema phänomenologisch fassen zu können. Diese Hypothesen überprüfen sie anschließend forschend-entdeckend in Kleingruppen. Ihre Ergebnisse stellen sie dann im Sinne einer „Postersession“ ihren Mitschüler*innen vor und entwickeln ausgehend von ihren Erkenntnissen neue zu überprüfende Hypothesen, welche in einer zweiten Experimentierphase getestet werden. Dieses Vorgehen betont die ständige Weiterentwicklung des Forschungsstands und das Wechselspiel von Experiment und Hypothese im Forschungsalltag – ein Aspekt der in der Schulpraxis oft übergangen wird. Für die Erkenntnisgewinnung der Schüler*innen steht dabei die Frage „Konnte die Hypothese bestätigt oder widerlegt werden? Oder kann anhand des Experiments keine Aussage darüber getroffen werden?“ im Vordergrund.

Nach der eigenständigen Erkundung des Forschungsfelds findet im zweiten Teil des Labortags ein Treffen mit Doktorand*innen des Fachbereichs statt. Diese sind Mitglieder der Forschungsgruppen, aus denen die Themen entlehnt werden, so dass die Schüler*innen die Chance haben ihre Erkenntnisse mit den Erfahrungen aus erster Hand abgleichen zu können. Dadurch ermöglicht die Gestaltung des Labortags, dass die Schüler*innen Ergebnisse und Forschungsmethoden, die sie vormittags erarbeitet haben, in der Forschung der Fachgruppen wiederentdecken und dabei an einem authentischen Lernort mit Forscher*innen in Kontakt kommen.

## 3. Forschungsfragen

Zur Messung der Wirksamkeit des Schüler*innen-Labors Physik an der TU Darmstadt erfolgt eine Begleitstudie. Dabei werden im Wesentlichen die beiden folgenden Fragen betrachtet:

- Wie ist die Entwicklung der Vorstellungen über die Natur der Naturwissenschaften und die Kompetenzen zur Variablenkontrollstrategie in den ersten beiden Lernjahren Physik?
- Welchen Einfluss darauf hat ein Besuch im Schüler*innen-Labor kurz nach dem Besuch und am Ende des Schuljahres?

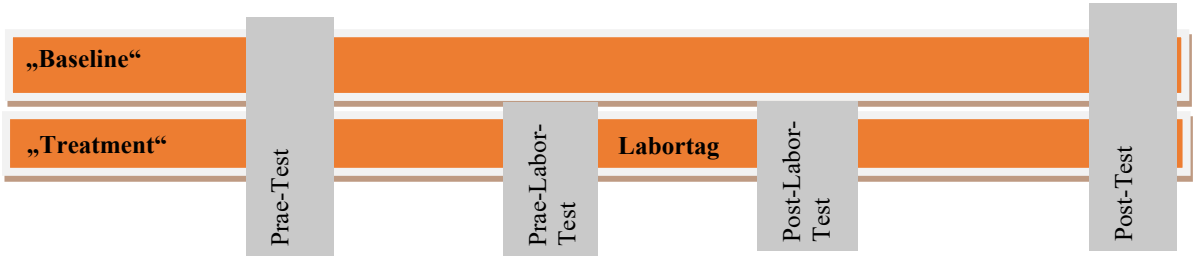



**Abb. 1:** Studiendesign der Begleitstudie zum Schüler*innen-Labor

## 4. Studiendesign und Messinstrument

Diese Forschungsfragen sollen in einer Längsschnittstudie beantwortet werden. Dementsprechend werden für die Studie zwei Gruppen untersucht:

Bei beiden Gruppen werden zu Beginn und am Ende des Schuljahrs die Vorstellungen des Schüler*innen über NOS und VKS erfasst wird.

Während eine Gruppe („Baseline“) nur den Regelunterricht erfährt, kommt eine zweite Gruppe („Treatment“) in das Schüler*innen-Labor. Bei dieser Gruppe wird zusätzlich direkt vor und nach der Teilnahme an einem Labortag eine weitere Erhebung durchgeführt (vgl. Abbildung 1).

Zur Erfassung der Vorstellungen über NOS wurde auf den von Kremer (2010) validierten Fragebogen zurückgegriffen. Kremer entwickelte theoriegestützt Items und konnte so sieben Kerndimensionen, nämlich Herkunft des Wissens, Sicherheit des Wissens, Entwicklung des Wissens, Rechtfertigung des Wissens, Einfachheit der Theorie, Zweck der Naturwissenschaften und Kreativität der Naturwissenschaftler*innen, identifizieren. Zur Messung wurde eine fünfstufige Likert-Skala (1 „stimmt gar nicht“, 2 „stimmt kaum“, 3 „stimmt teils-teils“, 4 „stimmt ziemlich“, 5 stimmt völlig“) eingesetzt.

Um den Lerninhalt und den zeitlichen Aufwand des Ausfüllens der Fragebögen an die Jahrgangsstufen 7 und 8 anzupassen, haben wir aus den sieben Kerndimensionen wiederum die vier Dimensionen Kreativität der Naturwissenschaftler*innen, Rechtfertigung des Wissens, Entwicklung des Wissens und Zweck der Naturwissenschaften ausgewählt, um sie im Schüler*innen-Labor zu vermitteln. Die Items zum Test des Verständnisses zur Variablenkontrollstrategie wurden an die Untersuchungen von Phan und Hammann (2008) sowie Ehmer (2008) angelehnt und entsprechend an physikalische Inhalte angepasst (vgl. Abbildung 2).

Es wurden acht Aufgaben (T1- T4 und K1- K4) erstellt, wobei jeweils vier das Identifizieren von Hypothesen (Aufgaben T1, T2, K1 und K2) und vier das Planen von Experimenten (Aufgaben T3, T4, K3 und K4) testen. Dabei sind die Aufgaben T4 und K4 komplexer und werden daher nicht wie die anderen Aufgaben mit 0 oder 1 Punkt, sondern mit bis zu 2 Punkten bewertet.

## 5. Ergebnisse und Diskussion

Die hier vorgestellten Ergebnisse dienen der Pilotierung des Messinstruments. Die Erhebung wurde am Ende des vergangenen und zu Beginn des aktuellen Schuljahres im Regelunterricht unter Anwesenheit einer Lehrkraft durchgeführt. Die selbstständige Bearbeitung des Fragebogens dauerte etwa 20 Minuten. An dieser Voruntersuchung nahmen 108 Schüler*innen (weiblich: 38, männlich: 68, o.A.: 2 | Klassenstufe 7: 32, Klassenstufe 8: 76 | gymnasial: 73, IGS/ H&R: 18, o.A.: 17) teil.

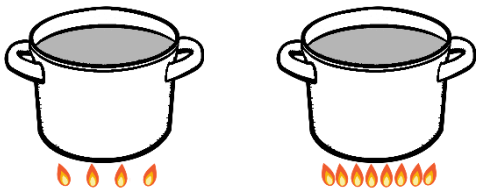
### 5.1. Natur der Naturwissenschaften

Die Beurteilung der Items zu NOS erfolgt im Vergleich zu der Vorgängerstudie von Kremer. Betrachtet man hierbei die Reliabilitäten der Skalen (vgl. Tabelle 1) fällt auf, dass bei den Skalen Entwicklung, Kreativität und Zweck die hier vorgestellte Studie leicht höhere Werte erzielen. Allerdings ist die Reliabilität der Skala Rechtfertigung in dieser Studie etwas schlechter als bei Kremer.

Mithilfe der erhobenen Daten wurde eine konfirmatorische Faktorenanalyse durchgeführt. Mit der Annahme von vier latenten Faktoren, entsprechend den Skalen von Kremer, ergab sich allerdings für die gesamte Stichprobe eine nicht positive Kovarianzmatrix. Eine Betrachtung der Kovarianzmatrix legt die Vermutung einer verborgenen Linearität zwischen der Skala Rechtfertigung und den anderen Skalen nahe, was sich mit den Reliabilitäten der Skalen in Einklang bringen lässt.

Experimente zum Erwärmen (1)

Andreas macht ein Experiment zur Erwärmung. Er verwendet dazu zwei Töpfe ohne Deckel und füllt in beide Töpfe 2 Liter Wasser. Er stellt Topf 1 auf einen Herd mit kleiner Hitze und Topf 2 auf einen Herd mit großer Hitze. Nach 5 Minuten misst er die Temperatur des Wassers in beiden Töpfen.




Warum macht Andreas dieses Experiment?

Kreuze die richtige Antwort an.

Weil er die Flüssigkeiten so schnell wie möglich erwärmen will.

Weil er vermutet, dass die Menge und die Art der Flüssigkeit die Erwärmung beeinflussen.

Weil er vermutet, dass die Hitze des Herds die Erwärmung beeinflusst.

Weil er vermutet, dass die Hitze des Herds und die Menge der Flüssigkeiten die Erwärmung beeinflussen.

**Abb. 2:** Beispielaufgabe zur VKS, hier: „Identifizieren von Hypothesen“

| Skala | Itembeispiel | Item-anzahl | Cronbachs Alpha (Kremer) | Cronbachs Alpha (Schüler*innen-Labor) |
|---|---|---|---|---|
| Entwicklung | Manchmal verändern sich die Vorstellungen in den Naturwissenschaften. | 8 | .71 | .74 |
| Kreativität | Naturwissenschaftliches Wissen ist auch ein Ergebnis menschlicher Kreativität. | 5 | .54 | .58 |
| Rechtfertigung | In den Naturwissenschaften kann es mehrere Wege geben, um Vorstellungen zu überprüfen. | 9 | .71 | .67 |
| Zweck | Naturwissenschaftler führen Experimente durch, um neue Entdeckungen zu machen. | 5 | .62 | .67 |

**Tab. 1:** Reliabilitäten der Skalen zu NOS im Vergleich zur Vorgängerstudie und der hier vorgestellten Pilotierung

Aufgrund der unbefriedigenden Ergebnisse der konfirmatorischen Faktorenanalyse wurde anschließend eine explorative Faktorenanalyse nach der Hauptkomponentenmethode mit Varimax-Rotation durchgeführt. Ein Scree-Test nach Cattell (1966) unterstützt die theoretische Vorhersage, dass die Items sich in vier Skalen zusammenfassen lassen. Dies Skalen unterscheiden sich jedoch zum Teil stark von der Einteilung von Kremer.

Im Vergleich zwischen der hier vorgestellten Studie und Kremer fällt neben der höheren aufgeklärten Gesamtvarianz (Kremer: 33%; vorgestellte Stichprobe: 43%) auch der Unterschied zwischen den Gesamtreliabilitäten (Kremer: .84, vorgestellte Stichprobe: .78) auf. Dieser könnte jedoch über die unterschiedliche Anzahl der verwendeten Items erklärt werden.

Die Auswertung der Pilotierung der Items zu NOS impliziert also, dass eine neue Skalenfindung für den verwendeten Fragebogen sinnvoll scheint.

### 5.2. **Variablenkontrollstrategie**

Zur Auswertung der Aufgaben zur VKS wurde ebenfalls zunächst eine konfirmatorische Faktorenanalyse durchgeführt. Hier wurden aufgrund der theoretischen Konstruktion der Aufgaben zwei latente Faktoren, nämlich „Identifizieren von Hypothesen“ und „Planen von Experimenten“, angenommen. Dabei ergab sich ein komparativer Anpassungsindex (CFI) von 1.000 bei einer Approximationsdiskrepanzwurzel (RMSEA) von 0.000 und einer standardisierten Residualdiskrepanzwurzel (SRMR) von 0.055. Damit entspricht nach Hu und Bentler (Hu & Bentler, 1999) und Browne und Cudeck (Browne & Cudeck, 2016) die Einteilung der Aufgaben sehr gut dem Modell.

Die Gesamtreliabilität dieses Teils des Tests lag bei .84. Eine explorative Faktorenanalyse bestätigt die Einteilung der Aufgaben in die zwei Faktoren und ergab eine aufgeklärte Gesamtvarianz von 62,1%. Die Reliabilitäten der beiden Skalen sind mit .64 und .80 ebenfalls akzeptabel.

Betrachtet man die Lösungswahrscheinlichkeiten der Aufgaben so liegen bis auf die Aufgabe T3 allen zwischen 20% und 80% (vgl. Tabellen 2 und 3). Die Trennschärfen sind durchweg größer als .30. Dementsprechend können die Aufgaben zur VKS (Lienert, 1989) im Messinstrument eingesetzt werden.

| Items „Identifizieren von Hypothesen“ | Lösungswahrscheinlichkeit (Standardfehler) | **Trennschärfe** |
|---|---|---|
| T1 | 63 % (.047) | .36 |
| T2 | 75 % (.042) | .47 |
| K1 | 58 % (.048) | .31 |
| K2 | 66 % (.046) | .57 |
| Cronbachs Alpha | .64 | |

**Tab. 2:** Lösungswahrscheinlichkeiten und Trennschärfen der Aufgaben zum „Identifizieren von Hypothesen“.

| Items „Planen von Experiment“ | Lösungswahrscheinlichkeit (Standardfehler) | Trennschärfe |
|---|---|---|
| T3 | 81 % (.038) | .60 |
| T4 | 63 % (.077) | .68 |
| K3 | 80 % (.039) | .68 |
| K4 | 73 % (.081) | .73 |
| Cronbachs Alpha | .80 | |

**Tab. 3:** Lösungswahrscheinlichkeiten und Trennschärfen der Aufgaben zum „Planen von Experimenten“

## 6. **Fazit**

Zusammengefasst kann festgehalten werden, dass die TU Darmstadt ein Schüler*innen-Labor konzipiert und in Betrieb genommen hat, das den Ansatz des forschend-entdeckenden Experimentierens mit der Vermittlung der aktuellen Forschung vereint. Ziel des Schüler*innen-Labors ist neben der Vorstellung des Fachbereichs vor allem die Vermittlung ausgewählter Aspekte von NOS und der VKS. Die Wirksamkeit des Labors wird mithilfe einer Begleitstudie untersucht.

Die hier dargestellten Ergebnisse umfassen die Ergebnisse der Pilotierung des in der Begleitstudie eingesetzten Messinstruments.

Im Hinblick auf die Skalen zu NOS bleibt festzustellen, dass in der vorliegenden Stichprobe die NOS Items sich nicht in die Skalen von Kremer einordnen lassen. Eine explorative Faktorenanalyse legt neue Skalenfindung nahe. Dies soll nun in einer größeren Stichprobe weiter untersucht werden.

Die Aufgaben zur VKS bilden die beiden vorgegebenen Kategorien „Identifizieren von Hypothesen“ und „Planen von Experimenten“ ab. Zudem entsprechen sie in den Lösungswahrscheinlichkeiten und Trennschärfen den von Lienert (1989) geforderten Kriterien zur Testentwicklung. Sie können daher zur Erfassung der Vorstellungen der Schüler*innen zur VKS eingesetzt werden.

## 7. Literatur


Abd-El-Khalick, F. & Lederman, N.G. (2000). Improving science teachers' conceptions of nature of science. A critical review of the literature. *International Journal of Science Education*, *22*(7), 665–701.

Ausubel, D.P. (1974). *Psychologie des Unterrichts,* Weinheim: Beltz.

Browne, M.W. & Cudeck, R. (2016). Alternative Ways of Assessing Model Fit. *Sociological Methods & Research*, *21*(2), 230–258.

Bruner, J. (1970). Gedanken zu einer Theorie des Unterrichts. In Dohmen, G. (Hrsg.), *Unterrichtsforschung und didaktische Theorie*. *Texte* (S. 188–218). München: Piper.

Cattell, R.B. (1966). The Scree Test For The Number Of Factors. *Multivariate behavioral research*, *1*(2), 245–276.

Ehmer, M. (2008). *Förderung von kognitiven Fähigkeiten beim Experimentieren im Biologieunterricht der 6. Klasse*. Kiel, Christian-Albrechts-Universität, Diss., 2008. Universitätsbibliothek Kiel.

Ertl, D. (2013). Sechs Kernaspekte zur Natur der Naturwissenschaft. *Plus Lucis: Mitteilungsblatt des Vereins zur Förderung des Physikalischen und Chemischen Unterrichts und des Fachausschusses LHS der Österreichischen Physikalischen Gesellschaft*(1-2), 16–20.

Euler, M., Schüttler, T. & Hausamann, D. (2015). Schülerlabore. Lernen durch Forschen und Entwickeln. In Kircher, E., Girwidz, R. & Häußler, P. (Hrsg.), *Physikdidaktik* (S. 759–782). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Hammann M., Phan T.H., Bayrhuber H. (2008). Experimentieren als Problemlösen: Lässt sich das SDDS- Modell nutzen, um unterschiedliche Dimensionen beim Experimentieren zu messen? In Prenzel, M., Gogolin, I. & Krüger, H.-H. (Hrsg.), *Kompetenzdiagnostik*. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften / GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden.

Haupt, O., Domjahn, J., Martin, U., Skiebe-Corrette Petra, Vorst, S. & Hempelmann, R. (2013). Schülerlabor - Begriffsschärfung und Kategorisierung. *LeLa magazin*(Ausgabe 5), 2–4.

Hofer, B.K. & Pintrich, P.R. (2016). The Development of Epistemological Theories. Beliefs About Knowledge and Knowing and Their Relation to Learning. *Review of Educational Research*, *67*(1), 88–140.

Höttecke, D. (2001). Die Vorstellungen von Schülern und Schülerinnen von der "Natur der Naturwissenschaften". *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*(7), 7–23.

Höttecke, D. (2008). D. (2008), Was ist Naturwissenschaft. Physikunterricht über die Natur der Naturwissenschaften. in: Naturwissenschaften im Unterricht – Physik 103/2010, S. 4-12. *Naturwissenschaften im Unterricht – Physik*(103/2010), 4–12.

Höttecke, D. (Hrsg.) (2010). *Forschend-entdeckendes Lernen,* Seelze, Stuttgart: Friedrich; Klett.

Hu, L.-t. & Bentler, P.M. (1999). Cutoff criteria for fit indexes in covariance structure analysis. Conventional criteria versus new alternatives. *Structural Equation Modeling: A Multidisciplinary Journal*, *6*(1), 1–55.

Jung, W. (1979). *Aufsätze zur Didaktik der Physik und Wissenschaftstheorie,* Frankfurt am Main, Berlin, München: Diesterweg.

Kircher, E., Girwidz, R. & Häußler, P. (Hrsg.) (2015). *Physikdidaktik,* Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Klafki, W. (1963). *Studien zur Bildungstheorie und Didaktik,* Weinheim/Bergstr.: Beltz.

Klahr, D. & Dunbar, K. (2000). *Exploring science*. *The cognition and development of discovery processes,* Cambridge, Mass.: MIT Press.

Köller, O., Baumert, J. & Neubrand, J. (2000). Epistemologische Überzeugungen und Fachverständnis im Mathematik-und Physikunterricht. In Baumert, J., Bos, W. & Lehmann, R. (Hrsg.), *Mathematische und physikalische Kompetenzen am Ende der gymnasialen Oberstufe* (S. 229–269). Opladen: Leske + Budrich.

Kremer, K.H. (2010). *Die Natur der Naturwissenschaften verstehen*. Kassel, Univ., Diss., Kassel: Universitätsbibliothek Kassel.

Lienert, G.A. (1989). *Testaufbau und Testanalyse,* München: Psychologie-Verl.-Union.

McComas, W.F. (Hrsg.) (2002). *The Nature of Science in Science Education*. *Rationales and Strategies,* Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

Niedderer, H. & Schecker, H. (1982). Ziele und Methodik eines wissenschaftstheoretisch orientierten Physikunterrichts. In , *Der Physikunterricht*. *PU* (Band 2) (S. 58–71). Seelze.

Osborne, J., Collins, S., Ratcliffe, M., Millar, R. & Duschl, R. (2003). What ideas-about-science should be taught in school science? A Delphi study of the expert community. *Journal of Research in Science Teaching*, *40*(7), 692–720.

(2016). *PISA 2015 assessment and analytical framework*. *Science, reading, mathematic and financial literacy,* Paris: OECD Publishing.

Pommeranz, H.-P., Dittmer, F., Kaminski, E., Schülbe, R. & Talanow, M. (2016). Fachlehrplan Gymnasium - Physik. https://www.bildung-lsa.de/pool/RRL_Lehrplaene/Erprobung/Gymnasium/FLP_Gym_Physik_LTn.pdf?rl=106 (7.8.2018).

Roth, W.-M. (1995). *Authentic School Science,* Dordrecht: Springer Netherlands.

Schultz-Siatkowski, A. & Elster, D. (2012). Experimentieren als biologisch-mathematisches Problemlösen -ein Modellierungsprozess -Projektskizze. *Erkenntnisweg Biologie*(11), 71–86.

Schwartz, R., Lederman, N. & Lederman, J. (2008). An Instrument To Assess Views Of Scientific Inquiry: The VOSI Questionnaire, Baltimore, MD: Paper presented at the annual meeting of the National Association for Research in Science.

Uhlmann, S. & Priemer, B. (2010). Das Experiment in Schule und Wissenschaft - ein „Nature of Science“ - Aspekt explizit in einem Projekt im Schülerlabor. *PhyDid B - Didaktik der Physik*.

Wagenschein, M. (2013). *Verstehen lehren*. *Genetisch, sokratisch, exemplarisch,* Weinheim: Beltz.