

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

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

Fachverband Didaktik der Physik

Dresden 2017

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, Neue Versuche und Praktika* und weitere Themen.

Zitierweise:

Nordmeier, V.& Grötzebauch, H. (Hrsg.). (2017). PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung Dresden 2017. Berlin. 300 S.
Url.: <http://phydid.physik.fu-berlin.de/index.php/phydid-b/article/view/820>.
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

Kück, Carmesin Lösungsstrategien im Physikunterricht	1
--	---

Astronomie

Carmesin Schülerinnen und Schüler entdecken Gravitationswellen mithilfe von Computer-experimenten	11
--	----

Hohmann Eine Masse-Radius-Beziehung Weißer und Brauner Zwerge - Ein einfaches Modell	19
---	----

Kraus Die persönliche Gleichung in der Astronomie und ihre didaktischen Implikationen	23
--	----

Hochschuldidaktik

Ehrmann Interdisziplinäre Experimente im Modul „Naturwissenschaftliche Grundlagen“ am Bei-spiel einer Farbstoffsolarzelle	29
--	----

Horn Eigenwerte und Eigenvektoren aus geometrisch-algebraischer Perspektive	33
---	----

Kasper Physics by Inquiry - Ein Konzept zur Einführung in die Physik	41
--	----

Lehreraus- und Lehrerfortbildung

Bzduskova Strukturbildende Phänomene im Schulunterricht	49
Cirkel, Eggert, Bögeholz, Schneider Zertifikatsstudium Fächerübergreifendes Unterrichten in den Naturwissenschaften	55
Dohrmann, Rehfeldt, Nordmeier Wirkungen des Formats Lehr-Lern-Labor	59
Köster, Brämer, Steger, Mehrrens Seminarentwicklung, Umsetzung und Evaluation des forschenden Lernens im Lehr-Lern-Labor	65
Krause Mathematikdidaktik in der Physiklehrerbildung? - Projekte zur fachdidaktisch-verbindenden Lehrerbildung	69
Kurth, Wodzinski Die Kompetenz von Studierenden, Schülerschwierigkeiten zu diagnostizieren	75
Milster, Nordmeier Qualifizierung von Quereinsteiger*innen – Professionelle Kompetenzen der Q-Master-Studierenden	79
Ortiz Palacio, Welzel-Breuer Physik für Kinder in schwierigen Lebenslage" Eine empirische Studie zur Erfassung und Beschreibung spezifischer Rahmenbedingungen und Herausforderungen aktueller Bildungsangebote	85
Roetger, Wodzinski Wie fachspezifisch ist das Naturwissenschaftsverständnis?	91

Schweinberger, Mayer, Girwidz
Training der Präsentationskompetenz mit stummen Videos 95

Lehr- und Lernforschung

Behle, Wilhelm
Aktuelle Schülerrahmenkonzepte zur Energie 99

Finkenberg, Trefzger
Flipped Classroom im Physikunterricht der Oberstufe 109

Herbst, Hochwarter, Strahl
Interesse an Physik - in Salzburgs Neuen Mittelschulen 115

Jaeger, Itsios, Franz, Müller
Cognitive Load und Aufgabenmerkmale - Verwendung von Zusatzfragen bei authentischen Problemen - 125

Joußen, Fraß, Heinke
Diagnostik experimenteller Strategien: Validierung eines prozessorientierten Instruments 131

Muth, Erb
Auswirkungen auf den Lernzuwachs durch die Nachbereitung von Experimenten im Physikunterricht 139

Weber, Winkelmann, Erb, Wenzel, Ullrich, Horz
Entwicklung eines Fachwissenstests zur geometrischen Optik 147

Wilhelm, Gemici
Beschleunigungsverständnis in der Oberstufe 153

Neue Konzepte

Burde, Wilhelm

Grundlegende empirische Ergebnisse einer Studie zum Elektronengasmodell 167

Gehring, Fösel

Akustik im Alltag von Fledermäusen. Konzeption von Experimenten zur Thematik "Ultraschall" für einen kompetenzorientierten Physikunterricht 173

Horn

Zur Lösung Linearer Gleichungssysteme mit Hilfe gemischter Sandwich-Produkte 181

Leiß, Detemple, Heinke

Schülervorstellungen über Tätigkeiten von Naturwissenschaftlern 195

Schulze Heuling

Heterogene Lernvoraussetzungen in naturwissenschaftlichen Bildungsprozessen 203

Teichrew, Erb, Sonnabend

Didaktische Rekonstruktion der Nukleosynthese schwerer Elemente 207

Neue Medien

Ermel, Kirstein, Haase, Nordmeier

ELIXIER: Didaktische Konzeption einer kompetenzorientierten Mixed-Reality-Experimentierumgebung 213

Fösel

Low Cost - High Fun. Messwerterfassung mit dem Raspberry Pi. 217

Goertz, Heinke, Riese, Stampfer, Kuhlen

Smartphone-Experimente zu gleichmäßig beschleunigten Bewegungen mit der App phyphox 225

Götze, Heinke, Riese, Stampfer, Kuhlen

Smartphone-Experimente zu harmonischen Pendelschwingungen mit der App phyphox 233

Hütz, Kuhlen, Stampfer, Heinke Entwicklung und Evaluation modularer Vorlesungseinheiten mit Smartphone-Einsatz	241
Kirstein, Ermel, Haase, Nordmeier ELIXIER: Demonstration einer kompetenzorientierten Mixed-Reality- Experimentierumgebung	247
Laumann Integrativer Einsatz realer und interaktiver digitaler Repräsentationen in der Physik	251
Panusch, Kiupel "Big Data" im Physikunterricht mit Handy und Tablet-PC	257
Pusch Interaktive Lernmaterialien mit dem tiptoi-Stift	261
 Neue Versuche und Praktika	
Büsch, Guntermann, Heinke Diagnostik experimenteller Vorgehensweisen am Beispiel eines Versuchs zur Radioaktivität	265
Lüders, Plückers, Heinke Prä-Post-Vergleich des Erstellungsprozesses von Concept Maps im Physikpraktikum	273
Militschenko Entwicklung eines Konzeptes für einen außerschulischen Lernort - Optische Phänomene im Technikmuseum	281
Nikodemus, Hamacher, Heinke Prozessorientierte Analyse der Erstellung von Diagrammen mit Fehlerbalken	287

Weitere Themen

Pfeiler, Priemer

Der Umgang mit Daten aus erster und zweiter Hand im Physikunterricht 295

Tagungsprogramm

Url: <http://www.dpg-verhandlungen.de/year/2017/conference/dresden/static/dd.html>

Lösungsstrategien im Physikunterricht

Andrea Kück*, Hans-Otto Carmesin^{+,*}

*Max-Eyth-Schule, Jierweg 20, 27619 Schiffdorf, ⁺Studienseminar Stade, Bahnhofstr. 5, 21682 Stade, ⁻Gymnasium Athenaeum, Harsefelder Str. 40, 21680 Stade, [~]Universität Bremen, Postfach 28334
andrea.kueck@mes-portal.de, Hans-Otto.Carmesin@t-online.de

Kurzfassung

Eine der wichtigsten zu erlernenden Kompetenzen und gleichzeitig auch Ziel des Physikunterrichts ist das Lösen von realen, physikalischen Problemstellungen. Oftmals wird die Strategie zum Lösen des Problems eher unbewusst erlernt und angewandt, so dass die Lernenden die Problemstellungen meist intuitiv lösen. Zur Steigerung der Problemlösefähigkeit sollten diese jedoch bewusst angeeignet werden. Aus pragmatischer und neurowissenschaftlicher Sicht werden Denk- und Handlungsmuster betrachtet. Des Weiteren werden die grundlegenden Heuristiken (d.h. die Kunst des Problemlösens) in den fächerübergreifenden Strategien, den fachspezifischen Prinzipien und den situationsspezifischen Hilfsmitteln vorgestellt. Wir schildern unsere Erfahrungen aus dem Unterricht und stellen die Ergebnisse eines Modultages vor.

1. Ausgangssituation

„Ich weiß nicht, wie ich anfangen soll!“ ist eine häufig von Schülerinnen und Schülern (SuS) im Physikunterricht gehörte Aussage. Diese spiegelt deutlich die Problematik des lediglich unbewussten Anwendens von Lösungsstrategien wider. Sind sie einem nicht präsent, kann auch keine gewählt werden, um mit dem Lösen zu beginnen.

1.1. Motivation

In der aktuellen Unterrichtssituation haben intuitive Problemlöser meist das Glück, dass sie erfahrungsbasiert die erforderlichen Voraussetzungen mitbringen. Nicht-intuitive Problemlöser sind an dieser Stelle benachteiligt, da diese oft nicht den Grund ihrer Schwäche erkennen und sehr selten ihre Vorgehensweise reflektieren. Kennst du auch noch den extra fleißigen Klassenkameraden, der trotz aller Anstrengung stets nur 2er schrieb und nicht in den verdienten Genuss einer Bestnote kam? Dieselbe Aufgabe kann für jeden einzelnen aufgrund unterschiedlicher Startvoraussetzungen verschieden schwer zu lösen sein. An dieser Stelle ist die Lehrkraft in der Pflicht den Unterricht geeignet zu gestalten, um mehr Gerechtigkeit für alle Lernenden zu schaffen.

Unsere Erfahrungen aus dem Schulalltag zeigen, dass auch die intuitiven Problemlöser nicht das komplette Spektrum an Lösungsstrategien nutzen. Das bewusste Anwenden wird ebenfalls selten bei diesen SuS beobachtet. Ein Grund hierfür könnte sein, dass Metakognition im Allgemeinen bei ihnen noch nicht im Fokus steht. Folglich ist es auch für diese Schülergruppe interessant weitere Strategien zu erlernen und diese bewusst einzusetzen, um ihre Problemlösekompetenz zu steigern.

Die Lehrpläne, wie z.B. das Kerncurriculum (KC) in Niedersachsen [1], fordern das Unterrichten der Problemlöse-Kompetenz. Hierunter werden die

Phasen von der Problemanalyse, über das Aufstellen einer Lösungsstrategie bzw. -weges, über das Durchführen des Lösungsweges, bis zur (Selbst-) Überprüfung der erhaltenen Ergebnisse mit Reflexion verstanden. Jedoch ist das Unterrichten von Heuristiken bzw. Lösungsstrategien nicht explizit im KC vorgesehen. Dieses ist wahrscheinlich auch ein Grund zur Nichtbeachtung bei der Stundenplanung vieler Lehrkräfte. In den Unterrichten zeigte sich, dass den Lernenden die Findung einer geeigneten Lösungsstrategie die meisten Schwierigkeiten bereitet. Ist diese erst einmal geklärt, können die restlichen Aspekte bearbeitet werden. Wir sehen es aus den oben genannten Gründen als Mangel an, dass Lösungsstrategien oftmals nicht konkret unterrichtet und den Lernenden bewusst gemacht werden.

1.2. Unsere Ziele

Unser übergeordnetes Ziel ist es, den SuS das Erlernen und Anwenden von Lösungsstrategien zu ermöglichen sowie die Lernbarrieren, -blockaden und Ängste abzubauen. Es gilt zu diskutieren welche Strategien zu unterrichten sind und welche Form sinnvollerweise gewählt werden sollte.

Wie bereits im Allgemeinen aus den Berufsschulen und weiterführenden Schulen bekannt ist, benötigt das Entwickeln von prozessbezogenen Kompetenzen stets einen längeren Zeitraum, d.h. die Problemlösekompetenz sollte innerhalb von Unterrichtssequenzen immer wieder gefördert werden. Auf der anderen Seite scheint es effizient Neues im Ganzen am Block zu lernen, um Übersicht zu schaffen und Orientierung zu geben. Deshalb haben wir uns entschieden zu testen, ob die Einführung der Lösungsstrategien an einem Modultag sinnvoll ist. Die Intention des Modultages ist es bei den SuS die Neugier zu wecken und Einsicht zu erzeugen. Es sollte nicht versucht werden das komplette Spektrum an Strategien abuarbeiten oder die Strategien von den Ler-

nenden entwickeln zu lassen, da dieses innerhalb eines Tages nicht erreicht werden kann.

1.3. Begriffe

Mit dem Begriff Lösungsstrategie ist eine Methode zur Vorgehensweise zum Lösen des Problems gemeint. Es geht folglich darum welche Gedankenschritte vollzogen werden müssen, um zur Lösung zu gelangen. Deshalb nutzen wir ebenfalls den Begriff Denkstrategien. Vorteilhaft bei der Verwendung des Begriffs Denkstrategie ist ferner, dass sich die SuS unter diesem leichter etwas vorstellen können. Diese beiden Bezeichnungen werden hier ebenso als übergeordneter Titel für die gesamten Strategien, Prinzipien und Hilfsmittel genutzt, s. Abb. 1. Die Begriffe Strategie, Prinzip und Hilfsmittel werden im Kapitel 3.2 näher erläutert.

Lösungsstrategie bzw. Denkstrategie		
Strategie -> fächerübergreifend	Prinzipien -> fächerspezifisch	Hilfsmittel -> situationspezifisch

Abb.1: Übersicht der verwendeten Begriffe

2. Grundlagen

Die Schwierigkeit des Problemlösens ist keine neue und auch keine Problematik unserer Zeit. Das Entwickeln und Anwenden von Lösungsstrategien ist ebenfalls keine moderne Erfindung. Dieses wird uns bereits in die Wiege gelegt. Aus neurodidaktischer Sicht gibt es zwei wesentliche angeborene Lernmechanismen, wie wir etwas Neues erlernen können. Das ist zum einen das Nachmachen und zum anderen das Problemlösen. Gross legt in ihrer Arbeit dar, dass bereits Neugeborene diesen Mechanismus, für welchen sehr wahrscheinlich die Spiegelneuronen entscheidend sind, nutzen. [2] Ebenso ist das Problemlösen – das Ausbilden von Metakompetenzen – bereits in unserer Kindheit angelegt. [3, 4]

2.1. Stand des Wissens

Der Begriff der Heuristik meint die Kunst des Problemlösens. Bereits im 4. Jahrhundert entwickelte der griechische Mathematiker Pappos von Alexandria eine Methode zur Lösung von Problemen: 1. Betrachte das Problem als gelöst; 2. Suche den Lösungsweg durch Rückwärtsschreiten (Analyse); 3. Beweise durch Vorwärtsschreiten (Synthese), dass dieser Weg zur Lösung führt. [5] Bei dem dreischrittigen Vorgehen wird deutlich, dass Pappos eine Strategie aufzeigt, die er sich erarbeitet hat. Es konnte im Unterricht häufig beobachtet werden, dass intuitive Problemlöser ihr Spektrum an intuitiven Lösungsstrategien nicht wahrnehmen. Sie stellen, vermutlich auch wie Pappos, nur die erfahrungsbasierten in den Fokus.

In der Mathematik finden sich einige Publikationen zum Bereich der Heuristik. Bereits in den 40er Jahren beschäftigte sich zum Beispiel der Mathematiker Georg Pólya mit der Frage, wie man die Lösung sucht. Pólya prägte durch seine fundamentalen Arbeiten das Gebiet der Heuristik entscheidend. In seinem Buch **Die Schule des Denkens** stellt er seine

vier erarbeiteten Grundschriffe vor: 1. Verstehen der Aufgabe; 2. Ausdenken eines Plans; 3. Ausführen des Plans; 4. Rückschau halten. Jeder Phase ordnet Pólya eine Frage zu, um dem Lernenden die Durchführung der einzelnen Schritte zu erleichtern. Die Fragen zur zweiten Phase, das Finden der Lösungs-idee, verdeutlichen, dass hier bereits mit Lösungsstrategien gearbeitet wurde: Hast du die Aufgabe schon früher gesehen?; Betrachte die Unbekannte!; Kannst du die Aufgabe anders ausdrücken?; Hast du alle Daten benutzt?. 1957 erwähnte er einmal, dass es viele angemessene Wege gibt ein Problem zu lösen und dass die Fähigkeit eine geeignete Strategie zu finden am besten durch Üben verbessert werden kann. Als mögliche Strategien schlägt er beispielsweise vor: Rate und überprüfe; Schließe Möglichkeiten aus; Nutze Symmetrien; Löse eine Gleichung; Zeichne ein Bild; Arbeite rückwärts; Löse ein einfacheres Problem; Sei genial! [6]

Jüngere, bekannte Arbeiten zum Unterrichten von Heuristiken verfassten unter anderem Regina Bruder und Christina Collet. Sie legten mit ihren Arbeiten eine Basis für den modernen Mathematikunterricht. [7,8] Erprobt wurden die Unterrichtsmethoden in einem mehrjährigen Projekt hauptsächlich in der Sekundarstufe 1. Sie unterscheiden zwischen Strategien (z.B. Vorwärtsarbeiten, Rückwärtsarbeiten, systematisches Probieren), Prinzipien (z.B. Zerlegungsprinzip, Analogieprinzip) und Hilfsmitteln (z.B. informative Figur, Tabelle) und gehen beim Lehren der Heuristiken in fünf Schritten vor: 1. Gewöhnen an Heuristik; 2. Bewusstmachung (Methoden); 3. Bewusstes Üben; 4. Kontext-erweiterung; 5. Eigenes Problemlösemodell entwickeln. Ein wesentliches Merkmal von Bruder und Collet ist die Feststellung, dass Problemlösen bedeutet, die richtigen Fragen zu stellen. Der Erfolg dieses Trainingskonzepts spiegelt sich beispielsweise im SINUS-Programm wieder. Der Studie folgte ein Transfer-Programm, wodurch die Unterrichtsmethode deutschlandweit verbreitet wurde. [9]

Im Bereich der Physik sind bereits von jeher Lösungsstrategien implementiert, z.B. das Analogieprinzip, das Invarianzprinzip oder auch das Transformationsprinzip. In der Physikdidaktik konnten nur sehr wenige Hinweise auf das bewusste Entwickeln und Anwenden von Lösungsstrategien gefunden werden. Eine Reihe an Veröffentlichungen gibt es zum Lehrverfahren Problemlösen, z.B. von Martin Bruch. Hierbei geht es darum die aktuellen pädagogischen und didaktischen Ansätze des Problemlösens auf das Unterrichtsfach Physik anzuwenden und zu diskutieren. Der Schwerpunkt liegt im Unterrichtsaufbau zur Verbesserung der Problemlösefähigkeit. Das konkrete Unterrichten von Lösungsstrategien wird indirekt knapp aufgegriffen. Er erwähnt, dass die größte Schwierigkeit in der Fähigkeit zur Metakognition besteht. Laut Bruch ist die Fähigkeit Fragen zu stellen grundlegend. Zum Lösen werden drei Phasen (Worum geht es?; Gibt es Vorwissen?;

Strategiegeleitetes Ausprobieren) dargestellt und beispielsweise folgende Strategien aufgeführt: Mögliche Strategien: Annahmen und Kriterien wechseln, Gegebenheiten umstrukturieren, Gedankengänge oder Problemlöseschritte umkehren, verschiedene Aspektbetrachtungen zulassen. [10, 11]

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass sehr wenige Materialien zum Thema Lösungsstrategien im Physikunterricht zu finden sind. Der aktuelle Forschungsstand verdeutlicht die Lücke. Wie internationale Vergleichsstudien, z.B. PISA und TIMSS, zeigen, benötigen die SuS jedoch eine Anregung zur Steigerung ihrer Problemlösekompetenz, um effiziente Problemlöser zu werden. Ohne eine Bewusstmachung kann dieses vermutlich nur bedingt gelingen. Die Ergebnisse des SINUS-Programms und des SINUS-Transfers zeigen für den Mathematikunterricht, dass sich das bewusste Erlernen von Lösungsstrategien positiv auf die Problemlösefähigkeit auswirkt. [9]

Erste Vorarbeiten im Physikunterricht zeigt die Hausarbeit **Entwickeln und Anwenden von Lösungsstrategien**, welche sich mit dem Unterrichten von Lösungsstrategien befasste. Hierbei wurden im Mathematikunterricht bereits erfolgreich erprobte Heuristiken auf den Physikunterricht übertragen und die Metaebene in den Fokus gesetzt. Es handelt sich um die Lösungsstrategien Vorwärts, Rückwärts, systematisches Probieren und Mathematisieren. Als Ergebnis kann festgehalten werden, dass die zentralen Aspekte für ein Gelingen die **Aufgabenstellung im passenden, sinnstiftenden Kontext** sowie **geeignete Lernhilfen** sind. [14]

2.2. Erkenntnisleitende Fragestellung

Es stellt sich die Frage, warum die Anzahl an veröffentlichten Arbeiten so gering ist. Dieses könnte zum einen daran liegen, dass dieses Gebiet noch wenig erforscht ist. Diese Begründung wäre plausibel, da die Implementierung im Matheunterricht noch jung ist. Oder aber erste Ansätze zeigten recht früh, dass das Erlernen von Lösungsstrategien in der Physik nicht sinnvoll ist und es wurde nichts publiziert, da meist nur positive Ergebnisse öffentlich gezeigt werden. Somit ergibt sich die erste Leitfrage für diese Arbeit: **Ist das bewusste Erlernen von Lösungsstrategien in Physik sinnvoll?**

Zur Beantwortung der ersten Fragestellung ist eine praktische Erprobung im Unterricht erforderlich, deren Umsetzung zu diskutieren ist. Zunächst ist eine geeignete Form zu wählen. Es gilt abzuwägen, ob die Lösungsstrategien wie bisher über eine oder mehrere Unterrichtssequenzen hinweg oder an einem Modultag beigebracht werden sollen. Vorteilhaft bei der Durchführung an einem Modultag wäre, dass den Lernenden ohne zeitlichen Stress, abseits des Schulalltags, eine Gesamtübersicht und ein struktureller Aufbau gezeigt werden könnten. Die Gesamtübersicht sowie der gut strukturierte Input sind essentielle Grundvoraussetzungen zum Lernen.

„Nichts ist schädlicher als chaotischer Input, denn sofern der Input keine Regelmäßigkeit aufweist, können keine Regeln extrahiert werden, kann also nichts gelernt werden.“ [13] Es wird vermutet, dass sich dieses effizienter während eines Modultags umsetzen lässt. Somit resultiert hieraus die zweite Leitfrage: **Eignet sich ein Modultag zur Einführung der Lösungsstrategien?**

3. Material und Methoden

3.1. Evaluation

Zur Beantwortung der erkenntnisleitenden Fragestellung werden ein Vorher-Nachher-Vergleich (Kompetenzraster) sowie verschiedene Evaluationen mit unterschiedlichen Schwerpunkten angesetzt. Der erhoffte Erkenntnisgewinn je Leitfrage ist in Tab. 1 zu finden. Ebenso sind in dieser Tabelle die Bedeutungen für den Fall, dass die Tendenz positiv ausfällt, entsprechend den Leitfragen notiert. Eine Tendenz wird als positiv angenommen, wenn 70 % und mehr, der SuS, **Trifft teilweise zu** und besser angekreuzt haben. Die Evaluation wird in Anlehnung an die Kriterien von Balzer durchgeführt. [14] Zur Verifizierung werden die Ergebnisse der Schüler-Evaluation mit den Einschätzungen der durchführenden Lehrkräfte und der Beobachter verglichen. Die zu erarbeitenden Übersichtslisten stellen das Grundgerüst für die SuS dar und schaffen Struktur für eine gute Lernwirksamkeit.

Evaluation	Erkenntnisgewinn zu Leitfrage 1:	Erkenntnisgewinn zu Leitfrage 2:
Vorher-Nachher-Vergleich (Kompetenzraster)	Lernende schätzen selbst, ob es eine Kompetenzsteigerung gab > falls Tendenz positiv > Indiz für Sinnhaftigkeit	Selbsteinschätzung der Lernenden zur Kompetenzsteigerung > falls positiv > Kompetenzzuwachs am Modultag möglich
Allgemeine Kurs-evaluation	Interesse der Lernenden > falls Tendenz positiv > Indiz für Sinnhaftigkeit	Interesse (Lernenden) > falls Tendenz positiv > Indiz für Modultag
Inhaltliche Evaluation	Einschätzung d. erworbenen inhaltsbezogenen Kompetenz > falls Tendenz positiv > Indiz für Sinnhaftigkeit	Einschätzung d. erworbenen inhaltsbezogenen Kompetenz > falls Tendenz positiv > Indiz für Modultag
Zukünftige Nutzung	> falls Tendenz positiv > Erzeugung von Einsicht möglich > Indiz für Sinnhaftigkeit	> falls Tendenz positiv > Erzeugung von Einsicht möglich > Indiz für Modultag
Feedback: Lehrkräfte/ Beobachter	Vergleich mit Schüler-Evaluation > Übereinstimmung der Ergebnisse > Indiz für Plausibilität der Schülerevaluation	

Tab.1: Zu erwartender Erkenntnisgewinn pro Evaluation und Leitfrage.

3.2. Übersichtslisten

Zunächst ist eine klare Einteilung in die Kategorien Strategie, Prinzipien und Hilfsmittel vorzunehmen. Die Einteilung wird anhand der nachfolgenden Kriterien vorgenommen: fächerübergreifende (nicht-inhaltliche) Strategien, fächerspezifische (inhaltliche) Prinzipien und situationsabhängige Hilfsmittel. Hieraus soll eine Übersichtsliste pro Kategorie resul-

tieren. Zu den in der Übersichtsliste aufgeführten Aspekten ist, wenn möglich, die Lernwirksamkeit nach Hattie [15] zuzuordnen, welche in der Effektstärke d gemessen wird. Um den SuS die Einordnung in diese Kategorien zu erleichtern und die Anwendung zu verdeutlichen, wird die Analogie Getränkekiste-Flasche-Öffner herangezogen. Zur Entwicklung einer Lösungsstrategie ist z.B. eine Getränkekiste (= eine Strategie), eine Flasche (= Prinzip) und ein Öffner (= Hilfsmittel) zu wählen. Zur Erhöhung des Wiedererkennungswertes wird ein Farbschema genutzt: **Strategien: blau, Prinzipien: grün und Hilfsmittel: rot.**

3.3. Planung der Durchführung

Für den Modultag wurden zwei Lerngruppen des Beruflichen Gymnasiums (BG) der 11. Jahrgangsstufe mit insgesamt 41 SuS gewählt. Eine Lerngruppe entstammt dem Beruflichen Gymnasium mit dem Schwerpunkt Gesundheit/Pflege (kurz: GPLer) und die andere dem Beruflichen Gymnasium mit dem Schwerpunkt Technik (kurz: Techniker). Zunächst mögen die Berührungspunkte zwischen den GPLern und dem Gebiet der Problemlösung sehr gering erscheinen, jedoch gibt es ebenso z.B. in der Biologie fachspezifische Lösungsprinzipien. Des Weiteren wird mit der Stärkung der eigenen Problemlösekompetenz nicht nur die Leistung in einem Fach verbessert, sondern die SuS eignen sich allgemeine Denkstrategien an und werden geistig beweglicher. Diese Fähigkeiten können in allen Bereichen des Lebens genutzt werden. Es wurde die 11. Jahrgangsstufe gewählt, da diese sich am Beginn der Einführungsphase befindet und hier gleich die Grundlagen für eine gute Problemlösekompetenz angelegt werden soll. Für den Modultag werden neben dem Fach Physik Fächer mit physikalischen Inhalten wie Technik (hier Alltagswissen genannt, um die Allgemeingültigkeit und Übertragbarkeit zu unterstreichen) gewählt. Als Gegenstück wird für die GPLer das Fach Biologie mit aufgenommen. Es wird sich ferner für das Fach Mathematik entschieden, da es hier bereits in der Literatur gut beschriebene Vorgehensverfahren gibt. Die Inhalte der Aufgaben sind an die aktuelle Studententafel angelehnt, damit im folgenden Unterricht auf den Modultag aufgebaut werden kann. Es soll ein kumulativer Kompetenzaufbau in Anlehnung an die fünf Phasen von Bruder und Collet erfolgen [7]. Am Modultag selbst wird vorwiegend die erste Phase **Gewöhnen an Heuristik**, in der Gruppenarbeit ebenso die zweite **Bewusstmachung (Methoden)** und die dritte Phase **Bewusstes Üben** angestrebt. Das Material der Einführungsrunde sowie der Gruppenarbeiten kann unter folgendem Link eingesehen werden: hans-otto.carmesin.org

3.4. Umsetzung

Die Umsetzung des Modultages wird wie im Folgenden beschrieben realisiert. Begonnen wurde mit einer kurzen Begrüßung. Um Interesse und Betroffenheit bei den Lernenden zu erzeugen, wurde die

oben bereits beschriebene Problematik der nicht-intuitiven Problemlöser aufgezeigt. Im Anschluss wurde im Einführungsvortrag anhand spannender Beispiele die Denkstrategien des James Bond vorgestellt, damit die SuS eine Idee für die Leistungsfähigkeit guter Problemlöser erhalten. Der Vortrag wurde mit neurowissenschaftlichen Erklärungen, warum jedem diese Fähigkeit angeboren ist, abgeschlossen. Hiermit sollte einerseits erreicht werden, dass die Lernenden sich nicht von vornherein mit dem Argument „Das konnte ich sowieso noch nie!“ verschließen. Andererseits sollte hiermit erreicht werden, dass die Lernenden ihr bisheriges Wissen in Bezug auf die neuartige Herausforderung aktivieren. Dabei sollten sie sich selbst konkrete, passende Fragen vorstellen sowie die drei Gruppen von Lösungsstrategien einsetzen, s. Abb. 1. Somit sollten die Lernenden den angeborenen Vorgang des transferierenden Abrufens aus dem Langzeitgedächtnis bewusst gestalten. In den folgenden Gruppenarbeiten werden nun verschiedene Lösungsstrategien an fächerbezogenen Anwendungsbeispielen selbst angewendet. Hier sollen durch Selbstkompetenzerlebnisse Motivation und Einsicht erzeugt werden. Während der Abschlussrunde wird der Modultag zusammengefasst und die Evaluationsbögen für die spätere Auswertung ausgefüllt.

4. Ergebnis und Diskussion

Der Ergebnisteil gliedert sich in zwei Unterpunkte:

1. Übersichtslisten der Lösungsstrategien
2. Evaluation des Modultags

4.1 Übersichtslisten

Herausgearbeitet wurden die wesentlichen Strategien, Prinzipien und Hilfsmittel, siehe Tab. 2- 4. Laut den durchführenden Lehrkräften und den Beobachtern ist die Einteilung nach diesen Kriterien hilfreich sowie das Unterrichten der Getränkekiste-Analogie sinnvoll. Die Übersichtslisten sollen den SuS eine Struktur geben und Transparenz erzeugen. Jedoch wurden diese vermutlich aufgrund der knapp bemessenen Gruppenzeit nur oberflächlich genutzt.

Die Zuordnung der Lernwirksamkeit nach Hattie [15] zeigt, dass diese im Vergleich zu den weiteren von Hattie untersuchten Aspekten überdurchschnittlich hoch sind. Das Problemlösen an sich, ohne die nähere Betrachtung von Denkstrategien, hat nach Hattie lediglich eine Lernwirksamkeit von 0,61. Das bedeutet, dass die Lernwirksamkeit je nach Lösungsstrategien bis zu über 100 % gesteigert werden kann. Es gilt zu beachten, dass nicht für alle Aspekte Literaturwerte gefunden werden konnten. Eine Effektstärke $< 0,4$ gilt als pädagogisch unbedeutend.

In Anlehnung an die Übersichtslisten wurde eine Strategiesammlung für die Lernenden erstellt. In dieser sind die Strategien verdichtet dargestellt, ähnlich wie Formeln in einer Formelsammlung. Wie im vorherigen Kapitel bereits erwähnt, gehört zum effektiven Problemlösen die Fähigkeit Fragen zu stellen und dadurch Wissen transferierend abzurufen.

fen. Aus diesem Grund sind in der Strategiesammlung die jeweils entsprechenden Fragen mit notiert. Ferner wird zu jedem Aspekt mindestens ein Beispiel aufgezeigt, um die Anschaulichkeit zu erhöhen, da die SuS leichter am Beispiel lernen [13]. Aufgrund der kurzen Gruppenarbeitszeiten konnte die Strategiesammlung nicht erschöpfend eingesetzt werden.

Strategie	d
Kreativitätsförderung via Zweck	1,44 ⁴
Metakognition	0,69
Vorwärts-Rückwärts-Denken	1,48 ¹
Systematisches Probieren	
Analogie	1,32 ²
Fragen stellen	0,9
Analyse, Synthese	
Steigerung	
Invarianz	
Elementarisierung	1,48 ¹
Modellierung	
Verallgemeinerung	1,48 ¹
Perspektivwechsel	1,48 ¹
Symmetriestrategie	
Grenzen erkunden	
Transformationsstrategie	
Rückführungsstrategie	1,48 ¹

¹Vernetzen mit Bekanntem; ²Erkennen von Bekanntem; ³Graph; ⁴Kreativitätsförderung via Zweck

Tab.2: Strategien [-> Getränkekeiste], Lernwirksamkeit in Effektstärke d [15]: **Fachübergreifend (nicht inhaltlich)**

Prinzip	d
Wärme-Kraft-Maschine, Versuch + Technik	
Feld-/Kraftgleichung: Induktionsgesetz	
Feld-/Kraftgleichung: Motor-Generator-Prinzip	1,32 ²
Bewegungsgleichungen ($F = m \cdot a$)	
Einstein-Gleichung, schülergerecht	1,32 ²
Skizzen, Dimensionsseparation, Versuch	1,24 ³
Lösungen: Ähnlichkeit, Strukturgleichheit	1,48 ¹ ; 1,32 ²
Lösungen: Feldlinien, Bahnen	1,24 ³
Vernetzung mit Sinnen: Versuch/Unmittelbarkeit/Bionik	1,48 ¹
Struktur-Funktions-Prinzip, Versuch	1,32 ²
Hypothese und Versuch	1,1 ⁴
Spektralanalyse, Versuchsauswertung	1,32 ²
Schrödinger-Gleichung, schülergerecht	
Drehimpulserhaltung	1,32 ²
Massenerhaltung	
Energieerhaltung	
Impulserhaltung	

¹Vernetzen mit Bekanntem; ²Erkennen von Bekanntem; ³Graph; ⁴Kreativitätsförderung via Zweck

Tab.3: Prinzipien [-> Flasche], Lernwirksamkeit in Effektstärke d [15]: **Fachspezifisch (inhaltlich)**

Im Laufe der Auswertung des Modultags stellte sich ein weiterer Aspekt zur Aktivierung der Denkstrategien bei den SuS heraus. Mithilfe spezieller Lernspiele im Physikunterricht könnten die Lernenden angeregt werden fast mühelos während des Spielverlaufs Lösungsstrategien anzuwenden und zu trainieren. Das Lernspiel dient folglich für die Lernenden als situationspezifisches Hilfsmittel und für die Lehrkräfte als Lernmaterial. In Tab. 4 sind die wesentlichen Arten von Lernspielen aufgelistet. Zu jedem Spiel ist ein Beispiel mit den Ausgangsaspek-

ten und dem jeweiligen Erkenntnisgewinn aufgeführt. Es konnten keine passenden Literaturhinweise auf die Lernwirksamkeit von Lernspielen im Physikunterricht gefunden werden. Die Effektstärken, welche in Tab. 4 aufgeführt sind, wurden aufgrund der im Spiel genutzten Strategien, Prinzipien und Hilfsmittel abgeschätzt. Diese Abschätzung lässt eine hohe Lernwirksamkeit erwarten.

Hilfsmittel	d
Informative Skizze	1,24 ³
Tabelle	1,32 ²
(Lösungs-) Graph	1,24 ³
Gleichungen/ Formelsammlung	1,32 ²
Strategiesammlung	1,17/0,6
AKTIVIERUNG SITUATIONSGEBUNDENER DENKSSTRATEGIEN	
Planspiel, z.B. Klimaspiele, [16, 17] (Situation + Naturgesetz + Spieler -> Dilemma + Kooperation)	1,32 ²
Simulationsspiel, z.B. Formel 1-Spiel [18, 19] (Naturgesetz + Spieler -> Erkenntnis)	1,24 ³
Nacherfindungsspiel, z.B. Ringgenerator (Modultag) [20] (Ausgangsproblem + Naturgesetz + Erfinder -> Erfindung)	1,44 ⁴
Bionik-Spiel, z.B. Hörbare Elektrizität [21] (Biologische Lösung + Spieler -> Erleben d. Funktionsprinzips)	1,48 ¹
Spieltheorie-Spiel, z.B. Klima-Spiel, Nash-Gleichgewicht (Situation + Spieler -> Verhaltensgleichgewicht -> Erkenntnis) [17, 22, 23]	1,32 ²
Rollenspiel, z.B. Elektronen im Halbleiter (Naturgesetz [Elektron] + designte Umgebung [Festkörper] -> Systemverhalten)	1,44 ⁴
Konstruktionswettbewerb, z.B. Balkentheorie [24, 25] (techn. Problem + Naturgesetz + Spieler -> techn. Lösung)]	1,44 ⁴

¹Vernetzen mit Bekanntem; ²Erkennen von Bekanntem; ³Graph; ⁴Kreativitätsförderung via Zweck

Tab.4: Hilfsmittel [-> Öffner], Lernwirksamkeit in Effektstärke d [15]: **Situationspezifisch (inkl. Lernspiele als Hilfsmittel zur Aktivierung von Denkstrategien)**

4.2. Evaluation

Die Auswertung der Evaluation erfolgt getrennt nach Lerngruppen, da lerngruppenspezifische Ergebnisse erwartet werden. Es werden die Ergebnisse des Vorher-Nachher-Vergleichs (Kompetenzraster), der allgemeinen Kursevaluation und der zukünftigen Nutzung sowie die Bewertungen der durchführenden Lehrkräfte vorgestellt.

4.2.1. Kompetenzraster (Vorher-Nachher)

Die positive Tendenz des Vorher-Nachher-Vergleichs (Abb. 2, Kompetenzraster) der selbsteingeschätzten Kompetenzen lässt erkennen, dass die SuS scheinbar Selbstkompetenzerlebnisse während des Modultages erfahren haben. Die Lernenden teilen mit, dass es ihnen leichter fällt einen Lösungsweg zu finden sowie komplexe und Transferaufgaben zu lösen. Dieses bedeutet, dass die höheren Effektstärken hier tendenziell abgebildet sind.

4.2.2. Allgemeine Kursevaluation

Anhand der allgemeinen Kursevaluation werden Informationen über die Transparenz, den Lernfortschritt, personale Kompetenzen und der SuS-Motivation erhalten, s. Abb. 3 und 4. Die Transparenz wird tendenziell positiv bewertet, jedoch erkennen nicht alle Lernenden den Zusammenhang zu

anderen Themen. Dies könnte daran liegen, dass nicht genügend (fächerübergreifende) Beispiele angeboten worden sind. Der Lernfortschritt ist bei den Technikern stärker ausgeprägt als bei den GPLern. Dieses könnte mit dem technisch-physikalischen Schwerpunkt der angebotenen Aufgabe zusammenhängen. Die personalen Kompetenzen wie Arbeiten in Gruppen, selbstständiges Lernen sowie eine faire Behandlung sind bei beiden Lerngruppen weitgehend positiv bewertet worden, wobei die Motivation zum Thema Lösungsstrategien bei den Technikern ausgeprägter ist. Dieses war zu erwarten, da die Notwendigkeit einer effizienten Problemlösefähigkeit bei den Technikern sehr viel höher ist.

	VORHER		NACHHER	
	Trifft nicht zu	Trifft zu	Trifft nicht zu	Trifft zu
Mir fällt es leicht Transferaufgaben zu lösen.				
Mir fällt es leicht neue Lösungswege zu finden.				
Ich weiß auch bei komplizierten Aufgaben wie ich anfangen soll.				
Auch bei schwierigen Aufgaben finde ich immer einen Weg, um die Aufgabe zu lösen.				
Wenn ich eine Aufgabe lösen möchte, denke ich über den besten Lösungsweg nach.				

Abb.2: Vorher-Nachher-Vergleich (Kompetenzraster)

4.2.3. Evaluation zur zukünftigen Nutzung

Die Evaluation zur zukünftigen Nutzung gibt Auskunft über die Einsicht der Notwendigkeit des Aneignens von Denkstrategien, siehe Abb. 5 und 6. Werden die Ergebnisse der Techniker näher beleuchtet, sind bei allen drei Aussagen positive Tendenzen zu verzeichnen, d.h. der Bedarf an einem eigenen Spektrum von Lösungsstrategien wird tendenziell erkannt. Bei den GPLern konnte nur bei wenigen Lernenden eine Einsicht erzeugt werden. Das hängt wahrscheinlich damit zusammen, dass vorwiegend nicht die Fächer aus ihrem Schwerpunktbereich für den Modultag vorbereitet wurden.

4.2.4. Rückmeldung der durchführenden Lehrkräfte und der Beobachter

Mittels der Bewertungen der durchführenden Lehrkräfte und der Beobachter können positive Tendenzen aufgezeigt werden. Der Tenor ist, dass der Modultag eine gute Idee und sinnvoll für die SuS ist. Der generelle Einsatz von Lösungsstrategien im Unterricht ist passend und sie sollten auch zukünftig im Unterricht eingesetzt werden. Verbessert werden sollte die knappe Gruppenarbeitszeit. Es könnte auch über eine inhaltliche Reduktion zu Gunsten der Tiefe

in der Gruppenarbeitsphase und über eine Verlängerung der Übungsphase nachgedacht werden. Die Übersichtslisten (inkl. der Analogie) und die Strategiesammlung könnten noch effizienter bei einer großzügigeren Zeitplanung eingesetzt werden, z.B. indem öfter Bezug genommen wird.

4.2.5. Optimierungsmöglichkeiten

Wie bereits zuvor erwähnt, sollte der Modultag einen größeren Zeitrahmen bekommen. So könnten die Gruppenarbeitszeiten ausgedehnt werden, um die Übersichtslisten und die Strategiesammlung mehr in den Fokus zu rücken. Des Weiteren wäre es gewinnbringend den Reflexionsanteil zu erweitern, um das Denken auf der metakognitiven Ebene zu üben. Darüber hinaus könnte der Inhalt zu Gunsten der Tiefe reduziert werden. Die Evaluationsergebnisse zeigen, dass beim Modultag nicht alle SuS erreicht worden sind. Dieses liegt vermutlich an der thematischen Auslegung der GPLer, wahrscheinlich da die Problemlösefähigkeit in diesem Bereich hilfreich, jedoch nicht essentiell ist. Möglicherweise liegt bei den GPLern der Fokus mehr auf dem Aspekt der Harmonisierung. Es könnte mit mehr strukturgebenden Elementen, einer verbesserten Transparenz sowie einer optimierten Anschaulichkeit bei reduziertem Zeitstress eine Verbesserung erzielt werden. Ferner wäre zu überlegen, ob die Fächer für GPLer auf ihre Unterrichtsfächer (Mathematik, Biologie) begrenzt werden sollten. Bei der Umgestaltung des zeitlichen Rahmens wurde unter anderem von durchführenden Lehrkräften und den Beobachtern angeführt, dass der Einführungsvortrag und die Abschlussrunde zeitlich passend waren. Jedoch benötigen die Lernenden in der Gruppenarbeitsphase mehr Zeit zur Bearbeitung der einzelnen Themengebiete. Der Modultag 2016 war angesetzt bis 13 Uhr und könnte auf 15 oder 16 Uhr erweitert werden.

4.2.6 Beantwortung der Leitfrage

Ist das bewusste Erlernen von Lösungsstrategien in Physik sinnvoll? Die erste Leitfrage kann bejaht werden. Sehr hohe Effektstärken deuten auf eine gute Lernwirksamkeit hin, welche sich beim Vorher-Nachher-Vergleich widerspiegelt. Einsicht zum Nutzen der Lösungsstrategien konnte im Mittel bei den Technikern erzeugt werden. Das beim Großteil der Lernenden vorhandene Interesse an Lösungsstrategien ist der allgemeinen Kursevaluation zu entnehmen. Der fachliche Kompetenzzuwachs zeigt sich in der inhaltlichen Kursevaluation.

Eignet sich ein Modultag zur Einführung der Lösungsstrategien? Die Einführung der Lösungsstrategien an einem Modultag scheint sinnvoll, da diese Kompetenzen kumulativ und bewusst gefördert werden können, ohne dass andere Ziele verfolgt werden müssten, wie es im Schullalltag der Fall wäre. Die positiven Tendenzen der Evaluation zeigen die Möglichkeiten für die Lernenden auf. Laut Selbsteinschätzung der SuS konnte eine Steigerung ihrer Problemlösefähigkeit erzielt werden.

	Trifft im Wesentlichen zu	Trifft eher zu	Trifft teilweise zu	Trifft eher nicht zu	Trifft nicht zu	Ich kann es nicht entscheiden
	1	2	3	4	5	6
Techniker						
Transparenz						
Ich habe einen Überblick über das Thema bekommen.	15	31	38	15	0	0
Ich habe erkannt, wofür das Thema wichtig ist.	15	38	23	23	0	0
Ich habe erkannt, wie das Thema mit anderen Themen zusammenhängt.	15	31	31	23	0	0
Lernfortschritt						
Ich habe Wissen erworben.	31	15	38	8	8	0
Ich habe Fertigkeiten erworben.	8	38	38	8	8	0
Mir wurde die Erarbeitung des Themas einsichtig.	31	8	31	15	8	8
Ich kann das Thema selbstständig erklären.	15	15	31	31	8	0
Ich kann mir zu diesem Thema selbstständig weitere Kenntnisse erwerben.	17	17	42	25	0	0
Empathie						
Ich habe mit meinen Mitschülern gemeinsam gelernt.	23	31	23	15	8	0
Ich habe selbstständig gelernt.	23	15	23	31	8	0
Ich fühle mich fair behandelt.	15	23	38	15	0	8
Ich habe die Lehrerin/ den Lehrer als einfühlsam empfunden.	18	0	55	18	9	0
Motivationales						
Ich interessiere mich für das Thema.	8	23	38	15	15	0
Ich bin von dem Thema angetan.	8	23	38	8	23	0

Abb.3: Allgemeine Kursevaluation, Lerngruppe: Techniker, Angaben in %

	Trifft im Wesentlichen zu	Trifft eher zu	Trifft teilweise zu	Trifft eher nicht zu	Trifft nicht zu	Ich kann es nicht entscheiden
	1	2	3	4	5	6
GPIer						
Transparenz						
Ich habe einen Überblick über das Thema bekommen.	18	27	36	9	9	0
Ich habe erkannt, wofür das Thema wichtig ist.	9	45	27	9	9	0
Ich habe erkannt, wie das Thema mit anderen Themen zusammenhängt.	9	18	36	18	18	0
Lernfortschritt						
Ich habe Wissen erworben.	9	27	36	9	9	9
Ich habe Fertigkeiten erworben.	0	18	55	9	9	9
Mir wurde die Erarbeitung des Themas einsichtig.	0	18	27	36	18	0
Ich kann das Thema selbstständig erklären.	0	27	36	27	9	0
Ich kann mir zu diesem Thema selbstständig weitere Kenntnisse erwerben.	0	10	30	20	40	0
Empathie						
Ich habe mit meinen Mitschülern gemeinsam gelernt.	10	30	40	10	10	0
Ich habe selbstständig gelernt.	11	33	44	11	0	0
Ich fühle mich fair behandelt.	20	30	40	10	0	0
Motivationales						
Ich interessiere mich für das Thema.	0	10	30	20	30	10
Ich bin von dem Thema angetan.	0	10	20	20	40	10

Abb.4: Allgemeine Kursevaluation, Lerngruppe: GPIer, Angaben in %

	Techniker					
	Ich kann es nicht entscheiden	Trifft nicht zu	Trifft eher nicht zu	Trifft teilweise zu	Trifft eher zu	Trifft im Wesentlichen zu
Ich kann mir vorstellen die Lösungsstrategien auch in Zukunft anzuwenden.	0	0	0	39	50	11
Ich möchte noch mehr Lösungsstrategien kennen lernen.	0	5	21	47	16	11
Ich kann mir vorstellen die Lösungsstrategien auch außerhalb der Schule, z.B. Beruf, Studium, Arbeit anzuwenden.	5	10	5	50	25	10

Abb.5: Evaluation zu zukünftigen Nutzung, Techniker, Angaben in %

	GPIer					
	Ich kann es nicht entscheiden	Trifft nicht zu	Trifft eher nicht zu	Trifft teilweise zu	Trifft eher zu	Trifft im Wesentlichen zu
	0	7	7	71	14	0
	0	33	27	40	0	0
	8	8	23	46	15	0

Abb.6: Evaluation zu zukünftigen Nutzung, GPIer, Angaben in %

5. Fazit und Ausblick

Ziel der vorliegenden Arbeit war eine Untersuchung zur Sinnhaftigkeit des bewussten Lehrens von Lösungsstrategien im Physikunterricht sowie der Eignung eines Modultages zur Einführung. Es handelt sich bei der prozessbezogenen Kompetenz **Lösungsstrategien entwickeln und anwenden** um eine der wichtigsten im KC und für die spätere berufliche Handlungsfähigkeit. Die Neurowissenschaft stellt dar, dass jeder Mensch prinzipiell in der Lage ist diese zu erlernen, da die Anlagen für diese Fähigkeit angeboren sind.

Die Ergebnisse des Modultages zeigen eine systemische Übersicht inklusive der Hinweise auf Lernwirksamkeit nach Hattie. Hier wird deutlich, dass die Lernwirksamkeit von Lösungsstrategien ($d_{\max} = 1,48$) im Vergleich zum Problemlösen ($d = 0,61$) bis zu über 100 % erhöht sein kann. Es werden Beispiele zur Aktivierung der Denkstrategien mittels verschiedener Lernspiele aufgezeigt. Die Erprobung anhand eines Modultages soll Übersicht und Einsicht erzeugen und liegt laut der Evaluation und dem Vorher-Nachher-Vergleich weitgehend im positiven Bereich. Die Ergebnisse sind eindeutig lerngruppenspezifisch. Da bei den Technikern die Notwendigkeit der Anwendung von Denkstrategien größer ist, ist bei dieser Gruppe die Betroffenheit erhöht. Die GPlern konnten nicht in allen Bereichen erreicht werden. Das könnte verschiedenen Ursachen haben, z.B. dass die ausgewählten Kontexte nicht im Interessenfokus liegen, dass die Vorerfahrung der GPlern in Bezug auf Problemlösen nicht optimal war, oder dass die GPlern im Umgang mit Menschen weniger auf Problemlösung und mehr auf Harmonisierung setzen.

Die erste Leitfrage dieser Arbeit - **Ist das bewusste Erlernen von Lösungsstrategien in Physik sinnvoll?** – ist somit zu bejahen. Nicht-intuitive Problemlöser erhalten eine Möglichkeit sich diese Kompetenzen anzueignen. Intuitive Problemlöser verbessern ihre Fähigkeiten durch das bewusste Einsetzen und das Erweitern ihres Strategiespektrums. Ferner wird durch das Üben von Lösungsstrategien eine essentielle Schlüsselkompetenz für die spätere (technische) Berufs- und auch Alltagswelt gelegt.

Die zweite Leitfrage - **Eignet sich ein Modultag zur Einführung der Lösungsstrategien?** – ist zu bejahen. Den SuS fällt es nach diesem Tag im Mittel leichter einen Anfang zur Aufgabenbearbeitung zu finden. Sie finden leichter Lösungswege, auch bei komplexen Problemstellungen.

Für die zukünftige Arbeit an den Schulen kann festgehalten werden, dass die Einführung der Lösungsstrategien mittels eines Modultages sinnvoll ist, jedoch muss diese Kompetenz im folgenden Schulalltag weiter gefördert werden, da es sich bei der Aneignung dieser Fähigkeit um einen Prozess handelt. Des Weiteren ist der Einsatz von Lernspie-

len in der Praxis zu erproben, da diese zur Aktivierung von Denkstrategien geeignet scheinen.

6. Literaturverzeichnis

- [1] Chrost, G. (2009): Kerncurriculum für das Gymnasium- gymnasiale Oberstufe. Physik. Hannover: Niedersächsisches Kultusministerium
- [2] Gross, L. (2006): Evolution of Neonatal Imitation, PLoS Biol 4(9): e311. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.0040311>
- [3] Hütter, G. (2009): Die Ausbildung von Metakompetenzen und Ich-Funktionen während der Kindheit. In: Herrmann, U. (Hrsg.) Neurodidaktik. Weinheim: Beltz-Verlag.
- [4] Arnold, M. (2009): Brain-Based Learning and Teaching- Prinzipien und Elemente, In: Herrmann, U. (Hrsg.) Neurodidaktik. Weinheim: Beltz-Verlag.
- [5] Heuristik (2016): Entwicklung der Heuristik, <https://de.wikipedia.org/wiki/Heuristik> (letzter Zugriff: 01.05.2017)
- [6] Pólya, G. (1949), Schule des Denkens. Vom Lösen mathematischer Probleme. Tübingen und Basel, Francke
- [7] Bruder, R., Collet, C. (2011): Problemlösen lernen im Mathematikunterricht. Berlin: Cornelsen Verlag Scriptor GmbH & Co. KG.
- [8] Bruder, R. (2017): Mathematikunterricht entwickeln. Berlin: Cornelsen Verlag Scriptor GmbH & Co. KG.
- [9] SINUS (2017): Überblick: Von SINUS zu SINUS-Transfer, <http://www.sinus-transfer.de/programm/ueberblick.html> (letzter Zugriff: 02.05.2017).
- [10] Bruch, M. (2015): Problemlösendes Lernen im Physikunterricht. Norderstedt: Druck und Bildung: Books on Demand GmbH
- [11] Bruch, M. (2015): Lerntheorien im Kontext des Problemlösens: Eine praktische und umfangreiche Studie zu einem schülerorientierten Unterrichtsansatz, Hamburg: Diplomica Verlag GmbH
- [12] Kück, A. (2016): Entwicklung von Lösungsstrategien für anwendungsnahe physikalische Probleme. Stade: Studienseminar, Hausarbeit.
- [13] Beck, H. (2003): Neurodidaktik oder Wie lernen wir?. In: in „Erziehungswissenschaft und Beruf“, Heft 3/2003
- [14] Balzer, L. (2005): Wie werden Evaluationsprojekte erfolgreich? – Ein integrierender theoretischer Ansatz und eine empirische Studie zum Evaluationsprozess. Verlag Empirische Pädagogik, Landau.
- [15] Hattie, J. (2009): Visible learning. A synthesis of 800+ meta-analyses on achievement. London: Routledge
- [16] Rumpel, V. L. (2016): Entwicklung von globalem Denken mit Hilfe eines Planspiels zu Klima und Energiegewinnung im bilingualen Sachfach-

modul Physik – Ein Unterrichtsversuch in einer 8. Klasse am Gymnasium. Stade: Studienseminar, Hausarbeit.

[17] Carmesin, H.-O., Rumpel, V. L. (2017): Schülerinnen und Schüler entdecken und erkunden spielerisch den Klimawandel – Planspiel und mathematische Spieltheorie, Teile 1-3, MNU-Zeitschrift 2017

[18] Carmesin, H.-O. (2013): Experimente im Physikunterricht zur Kraft, Anhang: Formel 1 Rennen, Bremerhaven: MNU-Tagung, hans-otto.carmesin.org/images/Physikdid/Kraft2013MNU_BRHV.pdf (Stand: 30.5.17)

[19] Carmesin, H.-O. (2017): Schülerinnen und Schüler entdecken Gravitationswellen mithilfe von Computerexperimenten, Dresden: DPG Frühjahrstagung 2017

[20] Carmesin, H.-O. (2016): Wie macht die WEA aus mechanischer Energie elektrische Energie?. Bremerhaven: Modultag Lösungsstrategien, Max-Eyth-Schule Schiffdorf

[21] Tietje, L. (2016): Schülerversuch zur auditiven Wahrnehmung der elektrischen Leitfähigkeit – Ein Unterrichtsversuch in einer 5. Klasse am Gymnasium. Stade: Studienseminar, Hausarbeit.

[22] Carmesin, H.-O. (2004): Das Nash-Gleichgewicht, Dümmler Troisdorf: Bildungsverlag EINS, MNU 57/7 (15.20.2004)

[23] Carmesin, H.-O. (2012): Anni und Max erleben Nash-Gleichgewichte, Arbeitsblattspieltheorie (ab Klasse 7), MINT Zirkel, Juni/Juli 2012

[24] Carmesin, H.-O., Matthies, C. (2014): Schülerinnen und Schüler verstehen das 1-Liter Auto, Frankfurt: DPG Frühjahrstagung 2014

[25] Popov, V. (2014): Statik und elementare Festigkeitslehre (Mechanik I), Vorlesungsnotizen WiSe 2014/2015, Berlin: Technische Universität, FG Systemdynamik und Reibungsphysik

Schülerinnen und Schüler entdecken Gravitationswellen mithilfe von Computorexperimenten

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

¹Studienseminar Stade, Bahnhofstr. 5, 21682 Stade, ²Gymnasium Athenaeum, Harsefelder Str. 40, 21680 Stade, ³Universität Bremen, 28334 Bremen
Hans-Otto.Carmesin@t-online.de

Kurzfassung

Die aktuelle Entdeckung der Gravitationswellen ist eine für Schülerinnen und Schüler spannende Gelegenheit, etwas über Einsteins Theorie der Dehnung der Raumzeit zu erfahren. Mit Modellversuchen, Computorexperimenten, kognitiven Konflikten und Modellbildungen erschließen sich die Lernenden schrittweise das Thema. Ausgehend von ihren Kenntnissen entdecken sie, warum die Raumzeit gedehnt wird, warum beschleunigte Massen Gravitationswellen aussenden, wie man die dabei wichtigen Formeln gewinnt und für Computorexperimente nutzt. Mit diesen Computorexperimenten bilden die Lernenden das gemessene Gravitationswellensignal nach und überprüfen so ihre durch eigenständige Aktivität entwickelte Theorie selbstkritisch.

1. Einleitung

Die aktuelle Entdeckung der Gravitationswellen (Abbott u. a. 2016) bietet eine gute Gelegenheit für naturwissenschaftliche Bildung (Humboldt 1792). Denn die Schülerinnen und Schüler können ihre kognitiven Fähigkeiten entwickeln, indem sie diese Entdeckung mit Computorexperimenten nachbilden. Hier wird über einen Unterrichtsversuch in einer Arbeitsgemeinschaft für Astronomie der Klassenstufen fünf bis zwölf berichtet.

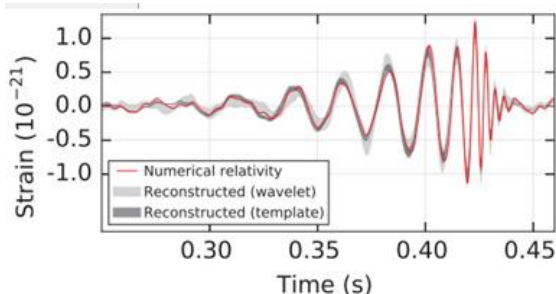


Abb.1: Gemessenes Gravitationswellensignal, GW150914 (Abbott u. a. 2016): Die Lernenden bilden dieses Signal nach und überprüfen so ihre Ergebnisse.

1.1. Ziele

Es werden drei Ziele verfolgt, ein fachliches, ein fachdidaktisches und ein methodisches.

Das fachliche Ziel besteht darin, das gemessene Gravitationswellensignal mit Modellexperimenten zu erklären und mit Computorexperimenten nachzubilden, wobei die dazu notwendigen Gleichungen im Rahmen der Schulphysik hergeleitet werden. Dabei leiten die Lernenden Einsteins Quadrupolformel (Einstein 1916) in einer auf die wesentliche Dimension reduzierten Form her.

Das fachdidaktische Ziel besteht darin, an die Vorkenntnisse anzuknüpfen und dadurch eine sehr hohe Lernwirksamkeit zu erreichen, die nach Hattie den

besonders hohen Betrag von 1,48 annimmt (Hattie 2009).

Um die Ziele zu erreichen, müssen die Lernenden einige Konzeptwechsel durchführen (Kircher u. a. 2001). Dabei besteht das methodische Ziel darin, dass die Schülerinnen und Schüler die Unzulänglichkeit des jeweiligen Basiskonzepts durch einen jeweils passenden kognitiven Konflikt einsehen, weil hierbei eine hohe gedankliche Aktivität verbunden ist (Cohen 2014). Daraufhin sollen sie das neue Konzept entwickeln oder das neue Modell bilden. Zudem sollen sie die neuen Konzepte durch Vergleiche mit Beobachtungen überprüfen, um die Lernwirksamkeit weiter zu steigern (Hattie 2009).

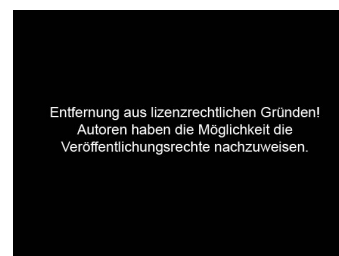


Abb.2: Modellversuch zur Dehnung.

1.2. Aufwand und Motivation

Die Unterrichtseinheit umfasst 6 bis 12 Doppelstunden sowie zwei Referate und ist binnendifferenzierend aufgebaut. Dieser Aufwand wird dadurch motiviert, dass von der Masse und Energie im Weltall mit elektromagnetischen Wellen nur 4 %, dagegen mithilfe von Gravitation im Prinzip 100% erfasst werden können (s. z. B. Carmesin 2014).

2. Entdeckung

Die Gravitationswellen wurden anhand ihrer Raumdehnung oder ihrem Strain erfasst (Abb. 1). Dieser Betrag bei der Erde ungefähr:

$$\varepsilon = \Delta L/L \approx 10^{-21} \quad \{1\}$$

Die Raumdehnung bildeten die Lernenden mithilfe eines Modellversuchs zur Dehnung nach (Abb. 2).

3. Basiskonzept Schwerkraft

Um die bei Gravitationswellen beobachtete Dehnung nachzubilden, gingen die Lernenden von ihrem Basiskonzept zur Schwerkraft aus. Dazu wiederholten wir die Schwerkraft am Erdboden und verdichteten unsere Kenntnisse in der Gleichung:

$$F = m \cdot g \quad \{2\}$$

Dabei ist die Gravitationsfeldstärke $g = F/m = 9,81 \text{ N/kg}$ am Erdboden. Diesen Fall verallgemeinerten wir zum Newton'schen Gravitationsgesetz (Newton 1687) und verdichteten dies mit folgender Gleichung:

$$F = m \cdot M \cdot G/r^2 \quad \{3\}$$

Dabei ist die Gravitationskonstante $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$. Hierzu entwickelten wir folgende Terme zur Energie E und zum Gravitationspotential φ :

$$E = -m \cdot M \cdot G/r \quad \{4\}$$

$$\varphi = E/m = -M \cdot G/r \quad \{5\}$$

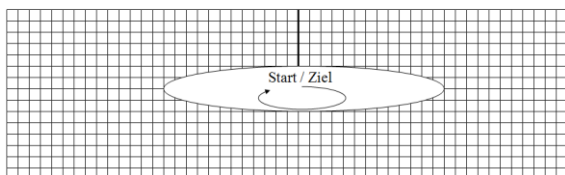


Abb.3: Formel 1- Spiel: Spielfeld.

4. Basiskonzept Newton'sche Axiome

Mithilfe eines Formel 1-Spiels wurde das Zustandekommen einer Bewegung durch Beschleunigung und Geschwindigkeit für die Fortgeschrittenen wiederholt und für die jüngeren spielerisch eingeführt: Die Spielregel lautet wie folgt:

Anzahl der Spieler: 2-6

Spielplan: Erlaubte Plätze sind die Kreuzungspunkte des Karopapiers (s. Abb. 3). Erreicht ein Auto in seinem Zug keinen erlaubten Platz, so scheidet es aus. Stehen mehrere Autos am Ende eines Zuges auf dem gleichen Platz, so scheidet sie aus.

Zugreihenfolge: Der jüngste Spieler beginnt, die übrigen ziehen im Uhrzeigersinn. In dieser Reihenfolge wählt jeder einen Platz auf der Startlinie und markiert sein Auto mit einem Kreuz.

Zug:

- Zeichne am Ende deines Zuges vom vorherigen Platz zum neuen Platz deinen Geschwindigkeitspfeil (s. Abb. 4).
- Ziehe vom aktuellen Platz den Geschwindigkeitspfeil weiter. Bleibe dort oder ziehe zu einem der 8 benachbarten Plätze.

Gewinner: Gewinner ist, wer als erster das Oval im Uhrzeigersinn umfahren und die Ziellinie erreicht hat.

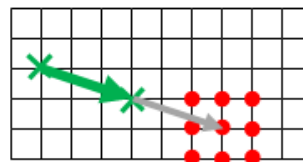


Abb.4: Formel 1- Spiel: Konstruktion eines Zuges.

Die Spielzüge werden wie folgt physikalisch gedeutet: Ein Spielzug modelliert $\Delta t = 1 \text{ s}$. Ein Kästchen stellt waagrecht die Strecke $\Delta x = 10 \text{ m}$, die Geschwindigkeit $v_x = \Delta x/\Delta t = 10 \text{ m/s}$ und die Beschleunigung $a_x = 10 \text{ m/s}^2$ dar. Bei jedem Zug entscheidet sich der Spieler, ob er beschleunigt, lenkt oder bremst, indem er für a_x und a_y 0 oder 10 m/s oder -10 m/s wählt, also 0 oder ein Kästchen. Nach der Grundgleichung der Mechanik ist $\Delta v_x = a_x \cdot \Delta t = 10 \text{ m/s}$ oder ein Kästchen. Zudem ergibt sich entsprechend der Newton'schen Mechanik die Verschiebung $\Delta x = v_x \cdot \Delta t$. Für die senkrechte Richtung geht entsprechendes. Die Beschleunigung a einer Masse m kommt gemäß der Grundgleichung der Mechanik, $F = m \cdot a$, als Folge einer Kraft F zustande.

Das Spiel hat keine besonderen Lernvoraussetzungen, ist kompetenzfördernd und motivierend. Ein Durchgang dauert etwa 45 min. Die Lernenden entdeckten beim Spielen die Bedeutung der Geschwindigkeit für Bremswege und Kurvenradien. Um die nötige Progression sanft und vernetzend zu gestalten, wurde das Spiel weiter verwendet und lediglich um die Erdbeschleunigung erweitert (s. Gl. {2}).

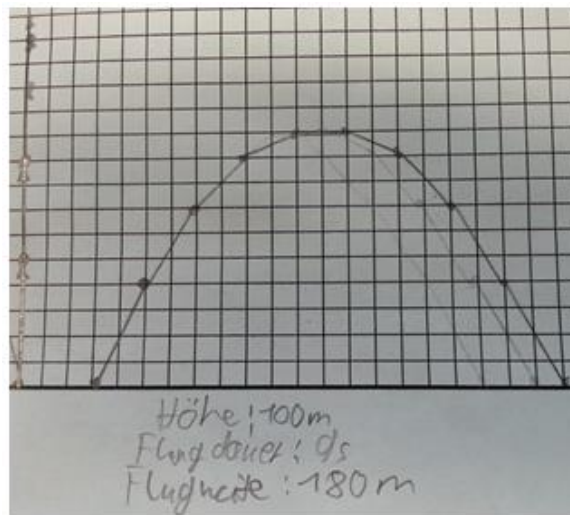


Abb.5: Wurfspiel: Spieler entdecken die Wurfparabel.

5. Basiskonzept Wurfparabel

Das Formel 1-Spiel wurde wie folgt zu einem Korbballspiel abgewandelt:

Spielplan: Ein waagerechte Boden und ein Start- sowie ein Zielpunkt werden festgelegt (s. Abb. 5).

Zugreihenfolge: Der jüngste Spieler beginnt, die übrigen ziehen im Uhrzeigersinn. Jeder Spieler nennt seinen anfänglichen Geschwindigkeitspfeil.

Zug:

- Zeichne am Ende deines Zuges vom vorherigen Platz zum neuen Platz deinen Geschwindigkeitspfeil (s. Abb. 4).
- Ziehe vom aktuellen Platz den Geschwindigkeitspfeil weiter und ziehe zum Platz direkt darunter.

Gewinner: Gewinner ist, wer mit der geringsten Entfernung zum Zielpunkt den Boden trifft.

Die Spielzüge werden wie folgt physikalisch gedeutet: Ein Spielzug modelliert zusätzlich die Erdbeschleunigung von $a_y = -10 \text{ m/s}^2$. Keine weitere Beschleunigung ist zulässig.

Das Wurfspiel baut auf dem Formel 1-Spiel sowie auf der Erdbeschleunigung (s. Gl. {2}) auf und hat sonst keine besonderen Lernvoraussetzungen, ist kompetenzfördernd und motivierend und dauert etwa 45 min. Die Lernenden entdeckten beim Spielen die Wurfparabel sowie die Bedeutung der Anfangsgeschwindigkeit für die Wurfhöhe und -weite. Zudem erstellten die Lernenden Tabellenkalkulationen, welche die Bahnen erzeugen können. So entwickelten schon Fünftklässler die Kompetenz zu physikalischen Computerexperimenten. Darauf aufbauend wurde die konstante Schwerkraft nach Gl. {2} durch die abstandsabhängige Schwerkraft nach Gl. {3} ersetzt.

6. Basiskonzept Bewegung bei Newton'scher Gravitation

Die Lernenden setzten in der Tabellenkalkulation zum Wurfspiel für die konstante Gravitationskraft nach Gl. {2} die Newton'sche Gravitationskraft nach Gl. {3} ein und erkundeten die Wurfhöhe abhängig von der Abwurfgeschwindigkeit.

6.1. Entdeckung der Fluchtgeschwindigkeit

Dabei fanden sie heraus, dass der Ball ab einer Geschwindigkeit von 11,2 km/s nicht mehr zurückfällt. Diese Geschwindigkeit wurde als Fluchtgeschwindigkeit bezeichnet und von den Älteren alternativ hergeleitet: Die Fluchtgeschwindigkeit wird erreicht, wenn die Bewegungsenergie gleich der Gravitationsenergie ist (s. Gl. {4}):

$$\begin{aligned} E_{\text{Grav}} &= E_{\text{kin}} && | \text{ einsetzen} \\ m \cdot M \cdot G / r &= \frac{1}{2} m \cdot v^2 && | \text{ auflösen} \\ v^2 &= 2 \cdot M \cdot G / r && \{6\} \end{aligned}$$

6.2. Basiskonzept Lichtgeschwindigkeit

Die Lernenden kannten von der Bearbeitung anderer Themen bereits die Lichtgeschwindigkeit von $c = 300\,000 \text{ km/s}$. Sie folgerten daraus, dass ab einer bestimmten Masse oder ab einem bestimmten Radius auch Licht den Himmelskörper nicht mehr verlassen kann. Ein solcher Himmelskörper wurde als schwarzes Loch bezeichnet und Beispiele wurden genannt. Das Konzept wurde 1784 von Mitchell entdeckt (Harrison 1990).

Der entsprechende Radius R_S wurde Schwarzschildradius genannt und eine Formel wurde herge-

leitet, indem in Gl. {6} für v die Lichtgeschwindigkeit c eingesetzt sowie aufgelöst wurde:

$$R_S = 2M \cdot G / c^2 \quad \{7\}$$

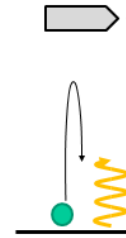


Abb.6: Schwarzes Loch: Aufsteigende Masse kann langsamer werden und umkehren, Licht nicht.

6.3. Kognitiver Konflikt

Die Lernenden wussten von der Bearbeitung eines früheren Themas, dass die Lichtgeschwindigkeit eine Naturkonstante darstellt, die für jeden Beobachter oder in jedem Bezugssystem den gleichen Betrag hat (Michelson und Morley 1883; Carmesin 2006). Sie folgerten, dass senkrecht nach oben ausgesendetes Licht sich also immer weiter mit Lichtgeschwindigkeit nach oben bewegt, aber dennoch nicht den Himmelskörper verlässt und beispielsweise ein in der Nähe fliegendes Raumschiff erreicht (s. Abb. 6). Sie folgerten somit, dass das Basiskonzept einer massenunabhängigen endlichen raumzeitlichen Entfernung vom Himmelskörper zum Raumschiff nicht stimmen kann, denn sonst müsste das Licht nach endlicher Zeit das Raumschiff erreichen.

6.4. Neues Konzept der Raumdehnung

Die Lernenden lösten den kognitiven Konflikt nach dem Ausschlussprinzip: Die Konstanz der Lichtgeschwindigkeit ist empirisch belegt und wird zudem als Prinzip betrachtet. Schwarze Löcher sind ebenfalls empirisch belegt. Dann muss die raumzeitliche Entfernung zwischen dem Raumschiff und dem schwarzen Loch durch die Masse zu unendlicher Größe gedehnt sein.

Hiermit haben die Lernenden den ersten Konzeptwechsel auf der Basis eigener Vorkenntnisse auf dem Weg über einen kognitiven Konflikt durchgeführt. Das Konzept der Raumdehnung geht auf Einstein zurück (s. z. B. Einstein 1915).

6.5. Berechnung der Raumdehnung

Um die beobachtete Dehnung bei der Gravitationswelle (s. Gl. {1}) nachbilden zu können, muss ein Verfahren zur Berechnung der Raumdehnung gefunden werden. Hierzu habe ich zwei schülergerechte Lernwege vorgeschlagen. Der eine Lernweg beruht auf einer Regression und kann von Lernenden ab ungefähr Klassenstufe 7 bis 8 beschriftet werden (Carmesin 2012). Der andere Lernweg beruht auf einer Integration und kann von Lernenden der Sekundarstufe 2 beschriftet werden (Carmesin 2016). Hier stelle ich den ersten Lernweg dar.

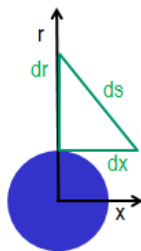


Abb.7: Raumdehnung: Zwei Raumrichtungen.

Zunächst verallgemeinern wir den Satz des Pythagoras (s. Abb. 7): $ds^2 = dx^2 + dr^2$

Die Strecke dx verläuft in waagerechte Richtung und wird daher nicht durch die Gravitation gedehnt. Die Strecke dr dagegen verläuft in lotrechte Richtung und wird somit gedehnt. Das beschreibt man durch einen sogenannten metrischen Faktor g_{rr} :

$$ds^2 = dx^2 + g_{rr} \cdot dr^2 \quad \{8\}$$

Weil die Schwerkraft nach oben hin abnimmt, hängt dieser Faktor von der radialen Koordinate r ab. Die entsprechende Funktion $g_{rr}(r)$ wird mithilfe einer linearen Regression bestimmt: Bei r gegen unendlich geht die Schwerkraft gegen null und somit g_{rr} gegen eins, kurz:

$$g_{rr}(\infty) = 1 \quad \{9\}$$

Weil Licht bei R_S nicht entkommt, geht g_{rr} hier gegen unendlich, kurz:

$$g_{rr}(R_S) = \infty \quad \{10\}$$

Die Lernenden wissen, dass man bei einer Regression eine passende Achsenbeschriftung oder Achsenkalibrierung wählt. Beispielsweise wird bei einer Antiproportionalität der Kehrwert der entsprechenden Variablen gewählt. In diesem Sinne wird hier für r der Kehrwert $u = 1/r$ und für g_{rr} der Kehrwert $q = 1/g_{rr}$ verwendet. So wird aus den beiden Gleichungen {9} und {10}:

$$q(U_S) = 0 \text{ \& } q(0) = 1 \text{ mit } U_S = 1/R_S \quad \{11\}$$

Für diese beiden Stützstellen wird eine lineare Regression durchgeführt (s. Abb. 9). So erhalten die Lernenden folgende Geradengleichung:

$$q = 1 - u/U_S \quad \{12\}$$

Hier werden für q und u die ursprünglichen Variablen entsprechend eingesetzt und man erhält:

$$g_{rr} = 1/(1 - R_S/r) \quad \{13\}$$

Diese Gleichung stellt die Schwarzschild-Lösung dar (Schwarzschild 1996). Somit haben die Lernenden zu ihrem neuen Konzept der Raumdehnung mithilfe ihrer Kompetenzen zu Regression die passende Metrik entwickelt.

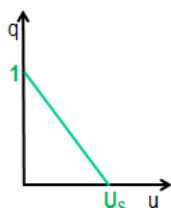


Abb.8: Lineare Regression.

Diese Darstellung wird nun in die in der Technik übliche Darstellung (s. Gl. {1}) umgewandelt: Eine Strecke L wird gemäß Gl. {8} und {13} wie folgt gedehnt: $L + \Delta L = g_{rr}^{0,5} \cdot L$

$$\text{Also ist: } \epsilon = \Delta L/L = g_{rr}^{0,5} - 1$$

Mit der Tangentennäherung für kleine R_S/r gilt:

$$\epsilon = 1/2 \cdot R_S/r = G \cdot M/r \cdot 1/c^2 = -\phi/c^2 \quad \{14\}$$

Damit haben die Lernenden gezeigt, dass die bei Gravitationswellen gemessene Raumdehnung (s. Gl. {1}) proportional zum Gravitationspotential (s. Gl. {5}) ist (s. z. B. Straumann 2013).

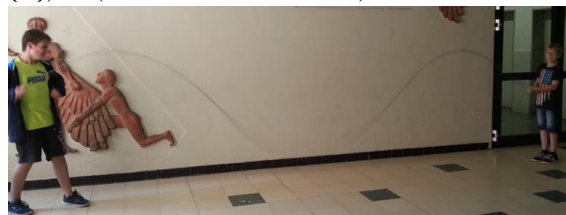


Abb.9: Modellversuch zur Welle.

7. Basiskonzept Welle

Die Schülerinnen und Schüler kennen aus ihrer Lebenswelt unterschiedliche Wellen. Zur Beobachtung grundlegender Eigenschaften führten sie ein Experiment mit einer langen Schraubenfeder durch (s. Abb. 9).

7.1. Modellversuch

Die Lernenden führten zunächst einen Modellversuch mit einem Seil durch (s. Abb. 9). Sie erkannten eine räumlich und zeitlich periodische Ausbreitung der Welle. Auch stellten sie fest, dass die Welle von einem zeitlich periodischen Sender ausgeht. Dieser Sender ist bei der beobachteten Gravitationswelle (GW150914) ein Doppelsternsystem bestehend aus zwei schwarzen Löchern (s. Abb. 10, s. Abbott u. a. 2016).

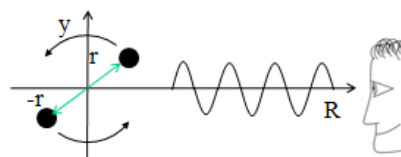


Abb.10: Doppelsternsystem sendet Gravitationswelle aus.

7.2. Computereperiment

Die physikalischen Daten des Doppelsternsystems wurden zusammengefasst. Jedes der beiden schwarzen Löcher hat ungefähr einer Masse von 35 Sonnenmassen: $Masse\ M = 2 \cdot m = 70 \cdot M_{Sonne}$

Der Bahnradius beträgt ungefähr $r = 350\text{ km}$.

Die Umlaufdauer beträgt ungefähr $T = 50\text{ ms}$.

Die Entfernung des Doppelsterns zur Erde beträgt ungefähr 1300 Millionen Lichtjahre:

$$R = 1300\text{ Mio. LJ} = 1,23 \cdot 10^{25}\text{ m}$$

Die Lernenden erkannten, dass sie die Raumdehnung beim Beobachter (s. Gl. {1}) berechnen können, indem sie das Gravitationspotential (s. Gl. {5} und {14}) der beiden schwarzen Löcher berechnen.

Dazu erstellten sie eine Tabellenkalkulation (s. Abb. 11). Hierzu berechneten sie zunächst die Gravitationspotentiale der beiden schwarzen Löcher, $\varphi_1 = -G \cdot m / |R-r|$ und $\varphi_2 = -G \cdot m / |R+r|$ sowie das zeitunabhängige Potential des Schwerpunkts: $\varphi_M = -G \cdot M / R$

Für die Welle ist nur der zeitabhängige Anteil des Potentials wichtig. Dieser besteht aus der Summe der beiden einzelnen Potentiale abzüglich des Potentials des Schwerpunkts: $\varphi_{\text{Zeit}} = \varphi_1 + \varphi_2 - \varphi_M$ {15}
Somit gilt für die Dehnung (s. Gl. {14}): $\varepsilon = -\varphi/c^2$

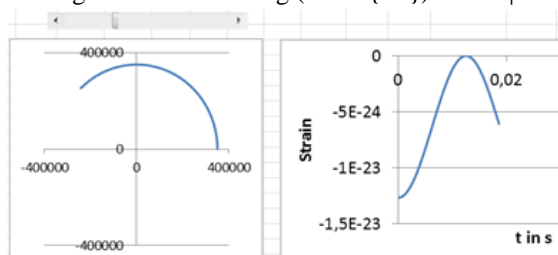


Abb.11: Computerexperiment zur Gravitationswelle: Bahn eines der beiden schwarzen Löcher (links). Raumdehnung berechnet aus dem statischen Gravitationspotential in 10^{13} m Entfernung.

Bei diesen Computerexperimenten stellten die Lernenden fest, dass die Tabellenkalkulation diese Dehnung nur bis zu Entfernungen von 10^{13} m berechnen kann, weil bei der Berechnung mit Gleichung {15} sehr große Zahlen addiert und subtrahiert werden müssen. Hierbei wurde dem Computer durch eine Tangentennäherung geholfen: Zunächst wurde im Computerexperiment festgestellt, dass die y-Koordinate für das Potential in großer Entfernung R unwesentlich ist. Für die x-Koordinate gilt:

$$x(t) = r \cdot \cos(\omega \cdot t)$$

$$\text{Somit ist: } \varphi_1 = -G \cdot m / (R-x) = -G \cdot m / R \cdot 1 / (1-x/R)$$

Mit der Abkürzung $a = x/R$ ist:

$$\varphi_1 + \varphi_2 = -G \cdot m / R \cdot [1 / (1-a) + 1 / (1+a)] = -G \cdot m / R \cdot 2 / (1-a^2)$$

Mit der Tangentennäherung für kleine a ist:

$$\varphi_1 + \varphi_2 = -2G \cdot m / R \cdot (1+a^2)$$

Damit gilt (s. Gl. {15})

$$\varphi_{\text{Zeit}} = -2G \cdot m / R^3 \cdot x^2 \quad \{16\}$$

Mit weiteren Computerexperimenten bestätigten die Lernenden, dass Gl. {16} gleichwertige Ergebnisse liefert wie die Gleichung {15} (s. Abb. 12).

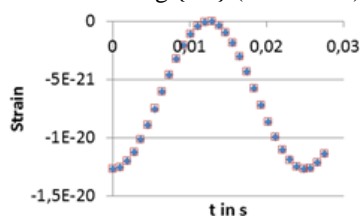


Abb.12: Computerexperiment zur Gravitationswelle: Raumdehnung berechnet ohne (Blau) und mit (Rot) Tangentennäherung für $R = 10^{12}$ m Entfernung. Das Aufeinandertreffen der roten und blauen Punkte bestätigt die Güte der Näherung.

7.3. Kognitiver Konflikt

Mit weiteren Computerexperimenten stellten die Lernenden fest, dass die Raumdehnung bei der beobachteten Entfernung von $1,23 \cdot 10^{25}$ m nur 10^{-60} beträgt, wogegen eine Raumdehnung von 10^{-21} beobachtet wurde (s. Abb. 13).

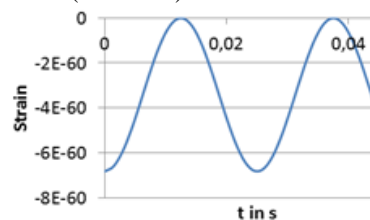


Abb.13: Computerexperiment zur Gravitationswelle: Raumdehnung für $R = 1,23 \cdot 10^{25}$ m Entfernung.

Dieser kognitive Konflikt zeigt, dass die Gravitationswelle nicht einfach durch das stationäre Gravitationspotential nach Gleichung {5} bestimmt ist. Um hier zu einem neuen Konzept zu kommen, wurden Modellversuche zur Wellendynamik durchgeführt.



Abb.14: Modellversuch zum langsamen veränderlichen Gravitationspotential.

7.4. Modellversuche zur Wellendynamik

Um die Dynamik des statischen Potentials nachzubilden, wurde die lange Schraubenfeder von zwei Lernenden gedehnt und einer bewegte die Schraubenfeder als Sender langsam auf und ab (s. Gl. 14). Am anderen Ende entstand so nur eine winzige Auslenkung. Auch wurde überhaupt keine Ausbreitung einer Welle beobachtet. Um eine schnelle Bewegung des Senders zu modellieren, zupfte einer der beiden Experimentatoren kurz an der Schraubenfeder. Daraufhin wanderte ein Wellenberg mit großer Auslenkung zum anderen Ende (s. Abb. 15). Die Lernenden erkannten, dass erst eine schnelle Bewegung des Senders die Wellendynamik auslöst.

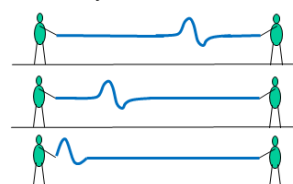


Abb.15: Modellversuch zur Wellendynamik.

7.5. Basiskonzept Wellendynamik

Um diese Wellendynamik zu untersuchen, gingen die Lernenden von der aus vielen Bereichen bekannten Wellengleichung aus:

$$z = z_0 \cdot \cos(\omega \cdot t - k \cdot R) \quad \text{mit Abkürzung } k = 2\pi/\lambda$$

Um die Dynamik zu untersuchen, analysierten die Lernenden wie bei den Dynamiken in den Abschnitten 4 und 5 die Ableitungen und erhielten:

$$c^2 \cdot z(R)'' = z(t)'' \quad \text{mit } c = k/\omega = \lambda/T \quad \{17\}$$

7.6. Neues Konzept: Wellendynamik beim Gravitationspotential

In diese Gleichung {17} setzen die Schülerinnen und Schüler für z das Potential ein (s. Gl. {16}):

$$c^2 \cdot \varphi_{\text{Zeit}}(R) = M \cdot G / R^3 \cdot r^2 \cdot \omega^2 \cdot 2 \cdot \cos(2\omega \cdot t)$$

Um die zweite Ableitung bezüglich R zu beseitigen, wurde zweimal bezüglich dR integriert. Außerdem wurde durch c^2 dividiert, um nach dem Potential aufzulösen:

$$\varphi_{\text{Zeit}} = M \cdot G / R \cdot r^2 \cdot \omega^2 \cdot 4 \cdot \cos(2\omega \cdot t) / c^2 \quad \{18\}$$

Diese Gleichung entspricht der Quadrupolformel, die Einstein 1916 für die Aussendung von Gravitationswellen hergeleitet hatte (Einstein 1916). Die Lernenden nutzten diese Formel in ihrer Tabellenkalkulation. Bei diesen Computerexperimenten bildeten die Schüler die beobachtete Gravitationswelle im Wesentlichen nach (s. Abb. 16).

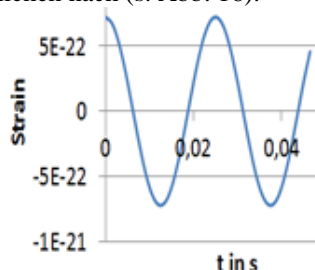


Abb.16: Computerexperiment bildet Gravitationswelle nach.

Damit haben die Lernenden die Aussendung von Gravitationswellen durch einen weit entfernten Doppelstern mit konstanter Umlaufdauer quantitativ nachgebildet und an der Beobachtung (s. Abb. 1) überprüft.

Zudem haben sie dabei erkannt, dass die Auslenkung der ausgesendeten Welle proportional zur zweiten Ableitung des Senders bezüglich der Zeit ist, also proportional zur Beschleunigung des Senders (s. Gl. {17}). Diese Erkenntnis wurde auf die Aussendung von elektromagnetischen Wellen übertragen, denn auch das elektrische Potential ist proportional zum Kehrwert der Entfernung (s. Abb. 17).



Abb.17: Analogie: Die Beschleunigung ist die Ursache der Aussendung von Gravitationswellen und elektromagnetischen Wellen.

7.7. Relativitätspostulate

Darüber hinaus erkannten die Schülerinnen und Schüler, dass ein ruhender Fahrstuhl K bei einer Gravitationsfeldstärke g von einem mit $a = g$ beschleunigten Fahrstuhl K' im gravitationsfreien Raum lokal unterschieden werden kann. Zwar wird in beiden Fahrstühlen eine Masse m mit einer Kraft $m \cdot g$ zum Boden gedrückt, weil die träge und schwere Masse nach dem Relativitätssprinzip von Galileo (auch schwaches Äquivalenzprinzip genannt) nicht

unterschieden werden können. Aber in K' senden Ladungen elektromagnetische Wellen und Massen Gravitationswellen aus, wogegen es im unbeschleunigten Fahrstuhl K zu keiner derartigen Wellenausendung kommt. Das sind zwei Gegenbeispiele zu dem von Einstein beispielsweise 1916 formulierten „erweiterten Relativitätssprinzip“ (Einstein 1916b), ein elektrisches und ein mechanisches. Dieses Relativitätspostulat wurde gar nicht erst thematisiert, da der Nutzen für die Lernenden fragwürdig erscheint und da es genug gibt, was die Schülerinnen und Schüler von Einsteins Theorie lernen können.

7.8. Veränderliche Amplitude

Das gemessene Signal zeigt deutlich eine Amplituden- und Frequenzzunahme (s. Abb. 1). Diese hatten die Lernenden zunächst nicht nachgebildet. Einige holten dies nach. Die Grundidee dabei war, dass das ausgesandte Gravitationspotential φ einer ausgesandten Gravitationsfeldstärke $g = -\varphi(R)$ entspricht. Dieses hat eine Energiedichte E/V . Also wird eine Leistung P abgestrahlt. Somit verliert der Doppelstern an Energie, der Bahnradius r wird kleiner, die Kreisfrequenz ω und die Amplitude der Welle nimmt zu (s. Gl. {18}). Das erklärt grundsätzlich die Zunahme der Amplitude im gemessenen Signal (s. Abb. 1). Diese Erklärung wurde im Rahmen eines Referats von einigen als Herleitung nachvollzogen. Die Herleitung ist etwas technisch und kann übersprungen werden.

7.8.1. Herleitung

Zunächst wurde die Bahnbewegung mit Formeln in verdichteter Weise nachgebildet:

$$\text{Die Gravitationskraft ist: } F_G = GM^2 / (2r)^2$$

$$\text{Die Zentripetalkraft lautet: } F_z = Mv^2 / r$$

$$\text{Gleichsetzen ergibt: } Mv^2 / r = GM^2 / (2r)^2 \quad | \cdot r$$

$$\text{So entsteht ein Term für die gesamte kinetische Energie beider Massen: } Mv^2 = GM^2 / (4r) = E_{\text{kin}} \quad \{19\}$$

$$\text{Die potentielle Energie ist: } E_{\text{pot}} = -GM^2 / (2r)$$

$$E = E_{\text{kin}} + E_{\text{pot}} = -GM^2 / (4r) \quad \{20\}$$

Gleichung {19} wird durch M dividiert:

$$v^2 = GM / (4r) \quad | v = \omega \cdot r \quad | : r^2$$

$$\omega^2 = GM / (4r^3) \quad | \text{Wurzel}$$

$$\omega = [GM / (4r^3)]^{0,5} = 1/2 \cdot [GM / r^3]^{0,5} \quad \{21\}$$

Die Ableitung des Bahnradius r ist $dr/dt = dr/dE \cdot dE/dt$ ergibt mit $dE/dr = GM^2 / (4r^2)$ und der Leistung $dE/dt = P$:

$$dr/dt = 4r^2 \cdot M^{-2} \cdot G^{-1} \cdot P \quad \{22\}$$

Wir drücken die Leistung P durch die Leistungsdichte $S = P/A$ aus: $P = S \cdot 4\pi R^2$

Wir drücken S durch die Energiedichte $E/V =$

$$E / (A \cdot L) \text{ aus: } S = P/A = L/t \cdot E / (A \cdot L) = c \cdot E/V$$

$$\text{Einsetzen ergibt: } P = c \cdot E/V \cdot 4\pi R^2$$

Wir drücken E/V durch die Gravitationsfeldstärke g aus: $P = c \cdot g^2 / (8\pi G) \cdot 4\pi R^2$ oder

$$P = c \cdot g^2 \cdot R^2 / (2G) \quad \{23\}$$

Mit $g = -d\varphi/dr$ und der Kettenregel erhalten wir, wobei wir den Betrag von g betrachten:

$$g = d\varphi/dt \cdot dt/dr = d\varphi/dt \cdot 1/c$$

Wir setzen für φ die Quadrupolformel ein, leiten ab und erhalten: $g = 2\omega\varphi/c$ {24}

Wir setzen {24} in {23} ein:

$$P = 2 \cdot \omega^2 \cdot \varphi^2 \cdot R^2 / (Gc) \quad \{25\}$$

Wir setzen die Quadrupolformel ein und erhalten:

$$P = 2 \cdot \omega^2 \cdot R^2 / (Gc) \cdot M^2 \cdot G^2 / R^2 \cdot r^4 \cdot \omega^4 \cdot 16 \cdot \cos(2\omega \cdot t)^2 / c^4$$

Wir vereinfachen: $P = 32 \cdot \omega^6 \cdot G \cdot M^2 \cdot r^4 \cdot \cos(2\omega \cdot t)^2 / c^5$

Wir setzen Gl. {21} ein: $P = \frac{1}{2} G^4 \cdot M^5 \cdot r^5 \cdot \cos(2\omega \cdot t)^2 / c^5$

Im zeitlichen Mittel ist $\cos^2 = \frac{1}{2}$: $\bar{P} = \frac{1}{4} G^4 \cdot M^5 \cdot r^5 \cdot c^{-5}$

Wir setzen für P_{quer} nach Gl. {23} ein und erhalten:

$$dr/dt = G^3 \cdot M^3 \cdot r^{-3} \cdot c^{-5} = \beta \cdot r^{-3} \quad \{26\}$$

Wir kürzen ab: $\beta = G^3 \cdot M^3 \cdot c^{-5}$

Die Lösung der Differentialgleichung {26} ist:

$$r = (r_0^4 - 4 \cdot \beta \cdot t)^{0,25} \quad \{27\}$$

Das Minuszeichen kommt dadurch, dass P abgestrahlt wird. Wir bestimmen die Abstrahldauer τ , nach der $r = 0$ ist:

$$0 = r = (r_0^4 - 4 \cdot \beta \cdot \tau)^{0,25} \rightarrow \tau = 0,25 r_0^4 / \beta$$

7.8.2. Computerexperiment

Die Lösung {27} wurde in die Tabellenkalkulation eingesetzt. So konnten die Lernenden die Zunahme der Amplitude nachbilden (s. Abb. 18).

Damit haben die Lernenden die Zunahme der Amplitude nachgebildet. Auch zeigte sich die Grenze der Theorie. In den letzten Millisekunden verschmelzen die schwarzen Löcher und die Amplitude nimmt wieder ab (s. Abb. 1). Hier jedoch geht für r gegen null ω gegen unendlich und somit die Amplitude gegen unendlich. Unsere Theorie beinhaltet Tangentennäherungen, durch Mitnahme nichtlinearer Terme kann das gesamte gemessene Signal im Rahmen der Messgenauigkeit erklärt werden.

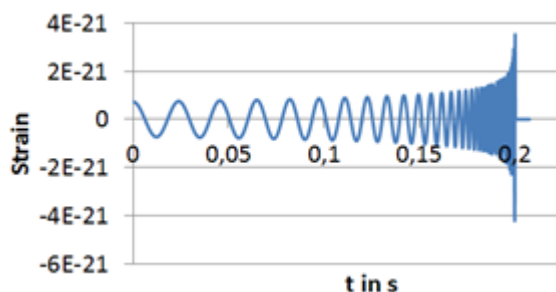


Abb.18: Computerexperiment bildet zunehmende Amplitude der Gravitationswelle nach.

8. Ablauf der Unterrichtseinheit

Die Unterrichtseinheit war wie folgt aufgebaut, wobei alle Lernziele in binnendifferenzierender Weise in einer jeweils altersgerechten Form durch folgende Stundenthemen erreicht wurden:

1: Entdeckung der Gravitationswellen. Ein Schüler hielt ein Referat über 45 min. Die Lernenden konnten anschließend die Messung erläutern, die zu Abb. 1 führte.

2: Veranschaulichung von Gravitationswellen mit Modellversuchen. Dauer 45 min. Die Lernenden konnten anschließend die Raumdehnung gemäß Gl. {1} mit dem Versuch nach Abb. 2 erläutern sowie Wellen mit dem Versuch in Abb. 9 veranschaulichen.

3: Wiederholung zum Basiskonzept Schwerkraft.

Dauer 45 min. Die Lernenden konnten anschließend die Gravitationskraft, die Gravitationsenergie sowie das Gravitationspotential erläutern sowie bei einfachen Beispielen berechnen gemäß Gl. {2-5}.

4: Wiederholung zum Basiskonzept Newton's Axiome mithilfe des Formel 1 Spiels. Dauer 90 min. Die Lernenden konnten anschließend anhand des Spiels die Entstehung einer Bewegung durch Beschleunigung und Geschwindigkeit erklären sowie grob auf Karopapier simulieren.

5: Modellierung der Wurfparabel mit einem simulierten Ballspiel. Dauer 90 min. Die Lernenden konnten anschließend anhand des Spiels die Entstehung einer Wurfparabel durch die konstante Schwerkraft, die Beschleunigung und Geschwindigkeit erklären sowie grob auf Karopapier und fein mit einer Tabellenkalkulation simulieren.

6: Entdeckung der Fluchtgeschwindigkeit und des schwarzen Loches. Dauer 90 min. Die Lernenden konnten anschließend anhand einer Tabellenkalkulation, einer Energiebetrachtung (s. Gl. {6}) sowie des Schwarzschildradius (s. Gl. {7}) Fluchtgeschwindigkeiten ermitteln und das schwarze Loch erklären sowie den Schwarzschildradius berechnen.

7: Erklärung des Lichteinschlusses mit der Raumzeitdehnung. Dauer 45 min. Die Lernenden konnten anschließend die Unzulänglichkeit einer masseunabhängigen Raumzeit erklären sowie das neue Konzept der Dehnung der Raumzeit erläutern und begründen.

8: Entwicklung der Schwarzschildmetrik. Dauer 90 min. Die Lernenden konnten anschließend die Schwarzschildmetrik mithilfe einer Regression entwickeln, begründen und den metrischen Faktor g_{rr} sowie radiale Dehnungen berechnen.

9: Anwendung der Schwarzschildmetrik beim GPS. Dauer 90 min. Die Lernenden konnten anschließend die Schwarzschildmetrik auf das GPS anwenden. Diese Stunde stellt eine reine Konsolidierung dar und wird in (Carmesin 2012) dargestellt.

10: Modellierung von Gravitationswellen mit dem statischen Gravitationspotential und Entdecken der zu geringen Amplitude. Dauer 90 min. Die Lernenden konnten anschließend mit dem statischen Potential Raumdehnung am Ort des Beobachters berechnen und beurteilen.

11: Erklärung der Gravitationswellen mit der Wellendynamik. Dauer 90 min. Die Lernenden konnten anschließend die Quadrupolformel (s. Gl. {18}) erläutern sowie die große Reichweite durch den $1/R$ -Term begründen. Auch konnten sie die Aussendung von Gravitationswellen und elektromagnetischen Wellen durch die Beschleunigung erklären. Zudem konnten sie erklären, wie man mithilfe dieser Tatsache Beschleunigung und Gravitation prinzipiell unterscheiden kann.

12: Überprüfende Modellierung der Gravitationswellen mit der Wellendynamik. Dauer 45 min. Die Lernenden konnten anschließend mithilfe der Quadrupolformel und der Tabellenkalkulation das

beobachtete Gravitationswellensignal für konstante Umlaufdauer des Doppelsterns nachbilden.

13: Modellierung der Amplituden- und Frequenzzunahme beim Gravitationswellensignal. Dauer 45 min. Im Rahmen eines Referats wurde die Gleichung zur Radiusänderung entwickelt. Auch wurde mit der Tabellenkalkulation das beobachtete Gravitationswellensignal weitgehend nachgebildet.

Optional 14-17: Zudem wurde in weiteren 8 Doppelstunden ein öffentlicher Astronomieabend vorbereitet und anschließend in der gut besuchten Aula durchgeführt.

9. Diskussion

Die Entdeckung der Gravitationswellen bietet eine hervorragende Gelegenheit für die Lernenden, ein aktuelles Ergebnis der physikalischen Grundlagenforschung zu behandeln. Das Thema ist für die Lernenden auch dadurch besonders spannend, dass die Gravitationswellen vor 100 Jahren vorausberechnet und nun nach jahrzehntelanger weltweiter Suche erstmals erfasst wurden. Und vor allem eröffnen diese Wellen ein völlig neues Fenster ins Weltall. Hierbei werden drei Zieleverfolgt:

Als fachliches Ziel wird das Thema relativ anspruchsvoll behandelt, indem das Gravitationswellensignal von den Lernenden mithilfe von Computerexperimenten nachgebildet wird, wobei die verwendeten Formeln von den Schülerinnen und Schülern hergeleitet oder entwickelt werden.

Als fachdidaktisches Ziel werden die Inhalte vom Wissen der Lernenden aus entwickelt, um eine hohe Lernwirksamkeit zu erzielen. Das legt ein Vorgehen im Sinne eines Spiralcurriculums nahe. Dabei kommt es systembedingt zu mehreren Konzeptwechseln.

Als methodisches Ziel werden diese Konzeptwechsel mit kognitiven Konflikten behandelt, da dies das Bewusstsein für den Wechsel vertieft, gedanklich besonders aktiviert und auch aus neurowissenschaftlicher Sicht objektiv aktivierend ist.

Die Erfahrung zeigt, dass diese drei Ziele bei der heterogenen Lerngruppe von den älteren Lernenden voll erreicht wurden, wobei die Jüngeren durch Modellversuche und Computerexperimente an allen Teilthemen in gehaltvoller Weise teilhaben konnten. Beim öffentlichen Astronomieabend stellten sie ihre verschiedenen Ergebnisse vor, die somit zu einem sinnvollen Ganzen zusammenfließen konnten. Bei dieser Unterrichtseinheit konnten die Lernenden in aktiver Weise anspruchsvolle Kompetenzen zur allgemeinen Relativitätstheorie, zur Modellbildung sowie zu Computerexperimenten entwickeln und diese durch das Nachbilden des Gravitationswellensignals selbstkritisch überprüfen (s. Abb. 1 und 18). Daher empfehle ich das Thema zur Behandlung in weiteren Lerngruppen und hoffe auf zukünftige Entdeckungen durch Gravitationswellendetektoren, sodass entsprechende spannende Unterrichtseinheiten entwickelt werden können.

10. Literatur

- [1] Abbott, Benjamin P. et al. (2016): Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger. In: *Phys. Rev. Lett.* 116, 6, 1-16.
- [2] Carmesin, Hans-Otto (2006): Entdeckungen im Physikunterricht durch Beobachtungen des Himmels. In: *Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung (2006)* ISSN 798-386541-190-7.
- [3] Carmesin, Hans-Otto (2012): Schüler entdecken die Einstein-Geometrie mit dem Beschleunigungssensor. In: *PhysDid B* (2012), ISSN 2191-379, DD15p06.
- [4] Carmesin, Hans-Otto und Carmesin, Ellen (2014): How Old is the Universe? In: *PhysDid B* (2014), ISSN 2191-379.
- [5] Carmesin, Hans-Otto (2016): Mit dem Zwillingenparadoxon zur speziellen und allgemeinen Relativitätstheorie. In: *PhysDid B* (2014), ISSN 2191-379.
- [6] Cohen, Michael (2014): A neural microcircuit for cognitive conflict detection and signalling. *Trends in Neurosciences*, 37, 9, p. 480-490.
- [7] Einstein, Albert (1915): Die Feldgleichungen der Gravitation. In: *Sitzungsberichte der preussischen Akademie der Wissenschaften*, 25. November, 844-847.
- [8] Einstein, A. (1916): Näherungsweise Integration der Feldgleichungen der Gravitation. Berlin: *Sitzungsberichte der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften*. 688-696.
- [9] Einstein, A. (1916b): Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie. *Annalen der Physik*, 49, S. 769-822, hier S. 772-773.
- [10] Harrison, Edward (1990): *Kosmologie*. 3. Aufl. Darmstadt: Verlag Darmstädter Blätter.
- [11] Humboldt, W. (1792): In: Brockhaus GmbH (1996): *Brockhaus – Die Enzyklopädie*. 20. Aufl. Bd. 3, S. 330.
- [12] Kircher, Ernst; Girwidz, Raimund; Häußler, Peter (2001): *Physikdidaktik*, 2. Aufl., Berlin: Springer Verlag.
- [13] Michelson, Albert Abraham; Morley, Edward (1883): On the Relative Motion of the Earth and the Luminiferous Ether. In: *American Journal of Science*, 34, 303, 203-345.
- [14] Newton, Isaac (1687): *Principia Naturalis Principia Mathematica*. London: Jussu Societatis Regiæ ac Typis Joseph Streater.
- [15] Schwarzschild, K. (1916): Über das Gravitationsfeld eines Massenpunktes nach der Einsteinschen Theorie. *Sitzungsberichte der Deutschen Akademie der Wissenschaften*, 189-196.
- [16] Straumann, Norbert (2013). *General Relativity*. 2. Auflage, Heidelberg - New York – London: Springer Dordrecht.

Eine Masse-Radius-Beziehung Weißer und Brauner Zwerge

- Ein einfaches Modell -

Sascha Hohmann*

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

Kurzfassung

Diverse Studien zeigen, dass die Behandlung astrophysikalischer Themen das Interesse an der Physik steigern kann. Dementsprechend sollten derartige Themen in der Schule in allen Stufen behandelt werden, speziell wenn sie die Möglichkeit bieten, verschiedene Bereiche der Physik zu verbinden.

In der Astrophysik ist die Masse-Radius-Beziehung für Hauptreihensterne im Allgemeinen bekannt. Weniger verbreitet ist jedoch, dass sich für die meisten Himmelskörper im hydrostatischen Gleichgewicht eine Masse-Radius-Beziehung herleiten lässt und dass sich die Proportionalitäten dabei deutlich unterscheiden können.

Es wird gezeigt, wie man mit Oberstufenphysik und elementarer Mathematik eine Masse-Radius-Beziehung für Weiße und Braune Zwerge herleiten und dabei Mechanik, Quantenphysik und Thermodynamik verbinden kann. Gleichzeitig können die Lernenden erkennen, dass Weiße und Braune Zwerge – entgegen der Intuition – mit zunehmender Masse kleiner werden.

Mithilfe ähnlicher Überlegungen kann man auch für andere Himmelskörper eine Masse-Radius-Beziehung herleiten.

1. Motivation

In diesem Artikel soll ein Modell für Weiße und Braune Zwerge vorgestellt werden, mit dem sowohl die oberen Grenzmassen als auch die Masse-Radius-Beziehung beider Körper mit mathematisch elementaren Operationen (Grundrechenarten, Bruchrechnung, Potenzrechnung) bestimmt werden können. Es ergibt sich ein quantitativer Einblick in diese beiden exotischen Objekte und damit eine vereinfachte Erklärung, warum diese beiden Körper so existieren können. Trotzdem handelt es sich um quantenmechanische Körper, die sich nicht ohne weiteres beliebig weit elementarisieren lassen, ohne eine rein qualitative Beschreibung zu verwenden. Gleichzeitig bietet sich die Möglichkeit, das Interesse der Lernenden mithilfe astronomischer Themen zu fördern (vgl. [1]). Zusätzlich kann, sofern man eine fortgeschrittene Lerngruppe hat, mithilfe des Modells das freie Modellieren durch qualifizierte Annahmen nachvollzogen und geübt werden – eine große Schwierigkeit für Lernende (vgl. [2]) und es wird ein Bezug zu aktuellen Themen der Astrophysik gegeben. Das Modell kann auch für andere Himmelskörper erweitert werden (vgl. [3] und [4]).

2. Grundidee

Sowohl Weiße als auch Braune Zwerge befinden sich im hydrostatischen Gleichgewicht. Um dieses aufrecht zu erhalten, muss sich ein Gleichgewicht zwischen dem zum Zentrum wirkenden Gravitationsdruck auf der einen und einem dagegen wirkenden Gegendruck auf der anderen Seite einstellen. Würde der Gravitationsdruck überwiegen, so würde der Körper schrumpfen, überwiegt der Gegendruck,

so expandiert er. Den Gravitationsdruck kann man beispielsweise mithilfe eines Säulenmodells abschätzen, bei dem eine Materiesäule konstanter Dichte in (infinitesimal dünne) Schichten zerlegt wird. Für jede dieser Schichten gilt $\Delta P = \rho g(h)\Delta h$, mit der (konstanten) Dichte ρ , der Gravitationsbeschleunigung g im Abstand h zum Zentrum und der Schichtdicke Δh . Betrachtet man den Druck bis zum Zentrum des Körpers, so erhält man:

$$P_{\text{Gravitation}} = P_{\text{Gegendruck}} = \frac{3GM^2}{8\pi R^4} \quad \{1\}$$

Die maximal mögliche Masse M und der zugehörige Radius R hängen also von der Art des Gegendrucks ab. G ist wie üblich die Gravitationskonstante. Im Folgenden wird zur Vereinfachung angenommen, dass es sich um reine Wasserstoffkugeln handelt.

Der Gesamtradius R hängt von der Teilchenzahl N und dem Raum, den jedes Teilchen benötigt (proportional zu r^3), ab. Falls der Gegendruck durch entartete Elektronen verursacht wird, ist die Anzahl der Elektronen relevant. Diese entspricht für reine Wasserstoffkugeln der Protonenzahl, daher ist die Rechnung in beiden Fällen identisch:

$$R = N^{\frac{1}{3}} \cdot r = \left(\frac{M}{m_p}\right)^{\frac{1}{3}} \cdot r \quad \{2\}$$

Nun kann man die Gleichungen {1} und {2} kombinieren, so dass sich ein Term für die maximale Masse eines Körpers im hydrostatischen Gleichgewicht ergibt:

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

3. Modellierbare Himmelskörper

Diese Grundidee erlaubt die Modellierung unterschiedlichster Himmelskörper im hydrostatischen Gleichgewicht. Der Typ des Körpers hängt von dem Gegendruck ab, der ihn stabilisiert – angefangen bei Gasplaneten, die durch die elektrostatische Abstoßung zwischen den Wasserstoffatomen stabilisiert werden, über die hier beschriebenen Objekte bis hin zu den Hauptreihensternen maximaler Masse und Größe, die primär durch den Strahlungsdruck stabilisiert werden. Ist die Masse so groß, dass jeder Gegendruck überwunden wird, so ergibt sich ein Schwarzes Loch (vgl Abb. 1 und 2).

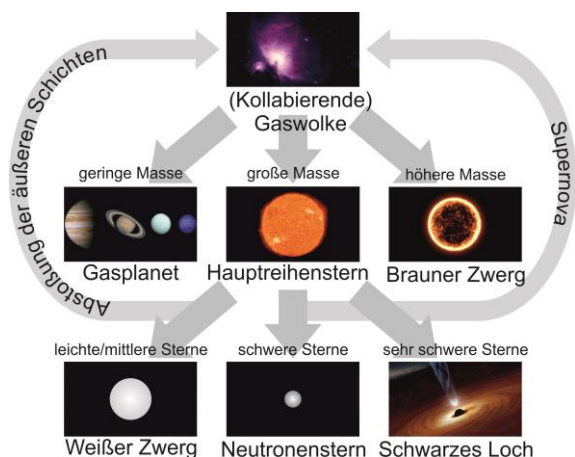


Abb.1: Überblick über die verschiedenen Himmelskörper, die mit diesem Modell modelliert werden können, sowie ein Schwarzes Loch.

Himmelskörper	Gegendruck
Gasplanet	Elektrostatische Abstoßung
Brauner Zwerg	Therm. entartete Elektronen
Hauptreihenstern	Gas- und Strahlungsdruck
Weißer Zwerg	Rel. entartete Elektronen
Neutronenstern	Rel. entartete Neutronen
Schwarzes Loch	-

Abb.2: Überblick über die zu den Himmelskörpern gehörenden Gegendrucke.

4. Weiße Zwerge

Weiße Zwerge sind die Überreste leichter Sterne wie beispielsweise der Sonne, die nach dem Ende der Kernfusion übrig bleiben. Stabilisiert werden sie durch relativistisch entartete Elektronen, die sich maximal mit Lichtgeschwindigkeit bewegen können und dabei der Heisenberg'schen Unschärferelation unterliegen. In erster Näherung gilt daher für die Elektronen:

$$r = \frac{\hbar}{m_e c} \quad \{4\}$$

Den zugehörigen Druck kann man als Energiedichte betrachten, eine einfache Einheitenanalyse zeigt die Äquivalenz. Die Energie ist wieder in erster Näherung betrachtet:

$$P = \frac{E}{V} = \frac{m_e c^2}{\frac{4}{3}\pi r^3} = \frac{3m_e^4 c^5}{8\pi \hbar^3} \quad \{5\}$$

Setzt man diesen Druck in Gleichung {3} ein, so ergibt sich die maximale Masse eines Weißen Zwerges und darüber auch der zugehörige Radius:

$$M_{WZ} = \left(\frac{c\hbar}{\frac{4}{3}m_p^3 G} \right)^{\frac{3}{2}} \approx 1,8 M_{Sonne}$$

$$R_{WZ} \approx 5000 \text{ km}$$

Eine ähnliche Abschätzung mit einem anderen Ansatz gibt es von dem russischen Physiker Lew Landau [5].

Um eine Masse-Radius-Beziehung zu erhalten, müssen niedrigere Geschwindigkeiten v betrachtet werden:

$$M(v) = \left(\frac{v\hbar}{\frac{4}{3}m_p^3 G} \right)^{\frac{4}{3}} \quad \{6\}$$

Auflösen nach der Geschwindigkeit, die Kombination mit Gleichung {2} und Umformen ergibt die Masse-Radius-Beziehung Weißer Zwerge:

$$R \propto M^{-\frac{1}{3}} \quad \{7\}$$

Weiße Zwerge schrumpfen also mit zunehmender Masse. Dieses nicht intuitive Verhalten lässt sich damit erklären, dass die Elektronen mit steigendem Gravitationsdruck enger zusammengepresst werden. Somit wird der pro Elektron benötigte Raum kleiner und der Gesamtradius reduziert sich.

5. Braune Zwerge

Braune Zwerge sind Körper, deren Masse nicht für eine dauerhafte Kernfusion im Zentrum ausreicht. Anders als bei Hauptreihensternen ist hier nicht der Gas- oder Strahlungsdruck der stabilisierende Faktor, sondern der Entartungsdruck durch thermische Elektronen – als Grenzwert mit der Minimaltemperatur zur Kernfusion T :

$$E = \frac{3}{2} kT = \frac{\hbar^2}{2m_e r^2} \quad \{8\}$$

Für den Radius, den jedes Elektron benötigt, gilt damit folgendes:

$$r = \sqrt{\frac{\hbar^2}{3m_e kT}} \quad \{9\}$$

Somit ergibt sich für den Druck als Energiedichte:

$$P = \frac{E}{V} = \frac{\frac{3}{2}kT}{\frac{4}{3}\pi\left(\frac{\hbar^2}{3m_e kT}\right)^{\frac{3}{2}}} \quad \{10\}$$

Mithilfe von Gleichung {3} erhält man somit:

$$M = \left(\frac{\sqrt{3kT} \cdot \hbar}{Gm_p^{\frac{4}{3}} m_e^{\frac{1}{2}}} \right)^{\frac{3}{2}} \quad \{11\}$$

Der Term beinhaltet jedoch nicht nur Naturkonstanten, sondern auch die Temperatur T . Für eine Kernfusion muss das Coulomb-Potential zwischen zwei Protonen überbrückt werden (Idee nach [6]). Dies ist klassisch nicht erklärbar, sondern muss quantenmechanisch über den Tunneleffekt beschrieben werden. Dies kann angenähert werden, indem der minimale Abstand, den die Protonen durch ihre Energie erreichen können, durch eine Welle mit der de-Broglie-Wellenlänge überbrückt wird (vgl. Abb. 3).

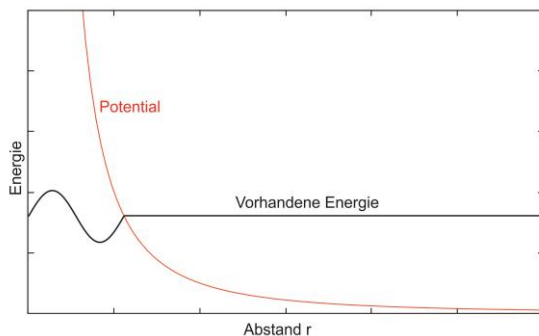


Abb.3: Der Tunneleffekt zur Kernfusion. Mit ihrer vorhandenen Energie können sich zwei Protonen nicht nah genug kommen, um zu fusionieren – die restliche Strecke muss durchtunnelt werden.

Es ergibt sich eine minimale Fusionstemperatur von etwa 20 Millionen Kelvin. Dies liegt deutlich über der minimalen Fusionstemperatur im Inneren von Sternen, entspricht aber näherungsweise der benötigten Temperatur unter Laborbedingungen [6]. Insgesamt gleichen sich hier die Ungenauigkeiten des Modells etwas aus, was insgesamt der Einfachheit des Modells geschuldet ist. Mithilfe von Gleichung {9} ergibt sich für Masse und Radius folgendes:

$$M_{BZ} \approx 60 M_{Jupiter}$$

$$R_{BZ} \approx 50000 \text{ km}$$

Um die Masse-Radius-Beziehung Brauner Zwerge zu erhalten, müssen niedrigere thermische Geschwindigkeiten der Elektronen betrachtet werden:

$$T = \frac{m_p}{3k} v^2$$

$$M(v) = \left(\frac{\frac{1}{2} m_p v \hbar}{Gm_p^{\frac{4}{3}} m_e^{\frac{1}{2}}} \right)^{\frac{3}{2}} \quad \{12\}$$

Analog zu den Weißen Zwergen kann hier die Masse-Radius-Beziehung hergeleitet werden. Wieder ergibt sich:

$$R \propto M^{-\frac{1}{3}} \quad \{13\}$$

Die Erklärung für dieses Verhalten ist ebenfalls genau wie bei Weißen Zwergen und lässt sich auf alle anderen durch entartete Teilchen stabilisierten Körper – beispielsweise Neutronensterne - übertragen.

6. Vergleich mit Literaturwerten

Auch wenn man mit einem derartig stark vereinfachten Modell von Abweichungen von den aktuellen Messwerten und Modellrechnungen ausgehen muss, soll hier ein kurzer Vergleich mit Literaturwerten stattfinden.

Die in der Literatur im Allgemeinen angegebene Obergrenze für Weiße Zwerge – die Chandrasekhar Grenze – beträgt etwa 1,44 Sonnenmassen [7], im Vergleich zu 1,8 Sonnenmassen, die dieses Modell ergeben. Die Größenordnung passt in guter Näherung zu den aufwändigeren Modellrechnungen. Der Radius eines Weißen Zwerges wird mit etwa 5.000 bis 10.000 km angegeben, also genau in der bestimmten Größenordnung.

Für Braune Zwerge wird in der Literatur zumeist eine Untergrenze der Masse von etwa 75 Jupitermassen angegeben [7]. Somit ist die Abweichung zu den hier bestimmten 60 Jupitermassen gering. Der Radius Brauner Zwerge bewegt sich meistens in der Größenordnung von etwa 60.000 bis 90.000 km, wobei genaue Beobachtungen meistens schwierig sind, da Braune Zwerge sehr leuchtschwach sind und sich keines dieser Objekte in direkter astronomischer Umgebung befindet. Der hier ermittelte Wert als Untergrenze des Radius passt aber gut zu den bisherigen Beobachtungen.

7. Fazit

Das hier vorgestellte Modell bietet eine einfache, quantitative Abschätzung, mit der Masse und Ausdehnung der meisten Körper im hydrostatischen Gleichgewicht beschrieben werden können. Fortgeschrittene Lerngruppen können anhand dieses Modells Grundprinzipien nachvollziehen, Lehrende erhalten quantitative Argumente, ohne dass sie sich intensiv mit den speziellen Feldern der Physik beschäftigen müssen, die zum Verständnis der modernen Theorien nötig sind.

Zusätzlich bietet sich hier die Möglichkeit, verschiedene Teilgebiete der Physik zu verknüpfen. Im Fall des Weißen Zwerges ist dies die Mechanik und die Quantenmechanik, beim Braunen Zwerg die Thermodynamik. Es fällt Lernenden oftmals schwer, die verschiedenen „Physikwelten“ zu verknüpfen (vgl. auch Subjektive Erfahrungsbereiche in der Mathematik in [8] und [9]).

Weiterhin kann mithilfe astrophysikalischer Themen das Interesse und die Motivation von Lernenden gefördert werden (vgl. [1]). Dies ist auch bei fortgeschrittenen Lerngruppen ein wichtiger Faktor, wie ein Blick auf die hohen Abbrecherquoten im Physikstudium zeigt (vgl. [10]).

8. Literatur

- [1] Sjøberg, Svein; Schreiner, Camilla (2010): The ROSE project - An overview and key findings. URL: <http://roseproject.no/network/countries/norway/eng/nor-Sjoberg-Schreiner-overview-2010.pdf>
- [2] Hestenes, David (1987): Toward a modeling theory of physics instruction. In: American Journal of Physics 55, S. 440-454. URL: https://www.researchgate.net/profile/David_Hestenes/publication/216743200_Toward_a_modeling_theory_of_physics_instruction/links/551ec7010cf2f9c1304da164.pdf
- [3] Hohmann, Sascha (2016): Celestial Bodies dominated by Gravity. Vortrag auf der Tagung der Astronomischen Gesellschaft 2016 in Bochum
- [4] Hohmann, Sascha (2016): Abschätzungen zu schwerkraftdominierten Himmelskörpern. Ein einfaches Modell zu Weißen Zwergen, Gasriesen und Co. Vortrag auf der bundesweiten WE-Hereaus-Lehrerfortbildung zur Astronomie in Heidelberg
- [5] Camenzind, Max (2016): Gravitation und Physik kompakter Objekte
- [6] Lotze, Karl-Heinz (2016): Why are the stars as they are? A qualitative study in physics and astronomy à la Victor Weisskopf. Vortrag auf der Hereaus Summer School "Astronomy from 4 perspectives" in Florenz
- [7] Unsöld, Albrecht; Baschek, Bodo (2005): Der neue Kosmos
- [8] Bauersfeld, Heinrich et. al. (1983): Lernen und Lehren von Mathematik. In: Untersuchungen zum Mathematikunterricht, Band 6. Köln: Aulis Verlag Deubner, S. 1-56
- [9] Krause, Eduard (2015): Fächerverbindende Didaktik am Beispiel von subjektiven Lernvoraussetzungen im Mathematik- und Physikunterricht. In: Beiträge zum Mathematikunterricht 2015, 49. Jahrestagung der Gesellschaft für Didaktik der Mathematik vom 09.02. bis 13.02.2015 in Basel. URL: https://eldorado.tu-dortmund.de/bitstream/2003/34636/1/BzMU15_KRAUSE_Faecherverbinden.pdf
- [10] Haase, Axel (2005) Trendwende(n) im Physikstudium? Statistiken zum Physikstudium an den Universitäten in Deutschland 2005. In: Physik Journal, 4 (8/9), S. 25-30. URL: http://www.kfp-physik.de/statistik/physikstudium_2005.pdf

Die persönliche Gleichung in der Astronomie und ihre didaktischen Implikationen

Simon F. Kraus

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

Kurzfassung

In Zeiten zunehmender Technisierung stellt sich auch für den Physikunterricht die Frage, inwieweit man sich auf komplexe Messgeräte stützt oder „herkömmliche“ Instrumente hinzuzieht. Moderne elektronische Messinstrumente verschleiern nicht selten den physikalischen Kern des Messvorgangs. Es kann deshalb vor allem aus fachdidaktischen Gründen sinnvoll sein, bewusst auf moderne elektronische Methoden der Messwerterfassung zu verzichten. Allerdings ist dabei zu beachten, dass viele Lernende analoge Messverfahren als antiquiert und ungenau ansehen - nicht zuletzt auch deshalb, weil sie der Auffassung sind, moderne Technik würde den Menschen als Fehlerquelle ausschließen.

Beim Verzicht auf klassische Messmethoden tritt jedoch eine verpasste Chance hinzu: Es kann äußerst spannend und interessant sein, das Individuum Mensch und seinen unmittelbaren Einfluss auf die Resultate von Experimenten zu betrachten. Der Blick ins 19. Jahrhundert zeigt, wie sich im Rahmen der Einführung verbesserter Instrumente zur Ermittlung der Zeitpunkte von Sternpassagen plötzlich eine neue Fehlerquelle auftut. Friedrich Wilhelm Bessel analysierte diese Einflüsse auf die Messwerte und erkannte als erster ihre Abhängigkeit von der Person des Beobachters. Durch die quantitative Beschreibung der sogenannten persönlichen Gleichung und ihrer Berücksichtigung in der Positionsastronomie gelangen ihm und anderen Beobachtern fortan signifikante Verbesserungen der Datenbestände.

1. Wissenschaftsgeschichte und Didaktik

Die Integration wissenschaftsgeschichtlicher Themen in den Unterricht scheint aus vielerlei Hinsicht erstrebenswert. Auf die Vorzüge, Hindernisse und möglichen Herangehensweisen soll an dieser Stelle nicht eingegangen werden. Stattdessen sei auf die vorhandene Literatur verwiesen (siehe beispielhaft [1] - [4]). Besonders hervorgehoben werden soll dagegen der Aspekt der Förderung des Verständnisses physikalischer Aufgaben. Mit den Worten von Ziegler und Vortmeyer-Kley ist die Einbettung in den historischen Hintergrund oft eine Hilfe, „weil sie die Begriffs- und Modellbildung transparent macht und zugleich deutlich macht, dass Physik das Ergebnis eines langen und harten Ringens ist“. ([4], S. X)

Das hier präsentierte Beispiel des Erkenntnisprozesses zeigt weiterhin die Verwobenheit zwischen physikalischer Erkenntnis und der menschlichen Wahrnehmung, die gleichermaßen Voraussetzung wie Grenze der Erkenntnis ist.

2. Historische Rahmenbedingungen

Seefahrer sahen sich über Jahrhunderte mit der Herausforderung konfrontiert, ihre Position auf hoher See zu bestimmen. Zahlreiche Schiffsunglücke, darunter auch der Verlust einer ganzen Flotte von

Kriegsschiffen vor der englischen Küste im Jahre 1707, mit ihren enormen Verlusten an Menschenleben und eingesetztem Kapital, rückten das Problem zunehmend in den Fokus von Politik und Wissenschaft (eine populärwissenschaftlich aufgearbeitete Darstellung des historischen Kontextes findet sich in [5]).

2.1. Das Längengradproblem

Die sichere Navigation auf hoher See erfordert – heute wie damals – die exakte Kenntnis von Längen- und Breitengrad des Schiffs. Während die Bestimmung des Breitengrades relativ einfach durch die Bestimmung der Höhe heller Sterne, der Beobachtung der Kulminationshöhe der Sonne etc. zu ermitteln ist, ist die Bestimmung des Längengrades mit ungleich größeren Herausforderungen verbunden. Sie erfordert die Kenntnis der Referenzzeit an einem Ort bekannter Länge und die aktuelle Ortszeit.

Realisierbar wird dies durch die Beobachtung eines Ereignisses, dessen Erscheinungszeitpunkt am Referenzort vorausberechnet wurde. Die Differenz zwischen Referenzzeitpunkt und tatsächlichem Eintritt der Erscheinung am Beobachtungsort (mit seiner lokalen Zeit) ergibt dann den Längengradunterschied.

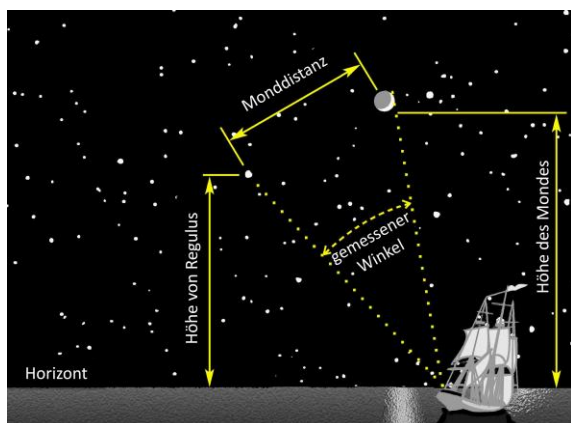


Abb. 1 Methode der Mondstrecken. Die Winkeldistanz zwischen Mond und Regulus wird für bestimmte Zeitpunkte am Bezugsmeridian vorausberechnet. Der beobachtete Eintritt des Ereignisses ergibt indirekt die Zeitdifferenz zum Bezugsmeridian. (Quelle: wikimedia.org / Michael Daly, Lizenz: CC BY-SA 4.0).

2.2. Lösungsansätze

Die endgültige Lösung des Längengradproblems bestand in der Mitführung hochstabiler Chronometer, die die Zeit am Nullmeridian (je nach Nation und Zeitpunkt Greenwich, Paris, San Fernando etc.) anzeigte. Sonnenbeobachtungen ergaben die lokale Zeit. Da die Konstruktion solcher Uhren jedoch lange Zeit eine nicht zu überwindende technische Hürde darstellte, die erst durch John Harrison (1693–1776) gelöst wurde, mussten zunächst andere Wege gefunden werden.

Prinzipiell geeignet wären die regelmäßigen Erscheinungen rund um die Monde des Jupiters. Diese ziehen regelmäßig vor oder hinter dem Planeten vorbei oder werden von seinem Schatten verdunkelt. Jedoch muss zur erfolgreichen Registrierung Jupiter am Ort des Beobachters in ausreichender Höhe über dem Horizont stehen und gleichzeitig die nautische Dämmerung (die Sonne steht mindestens 12° unter dem Horizont) vorüber sein. Im Gegensatz zu Sonnen- oder Mondfinsternissen sind die Verfinsterungen der Jupitermonde ein ausreichend häufiges Ereignis.

Die Beobachtung dieser Erscheinungen setzt jedoch

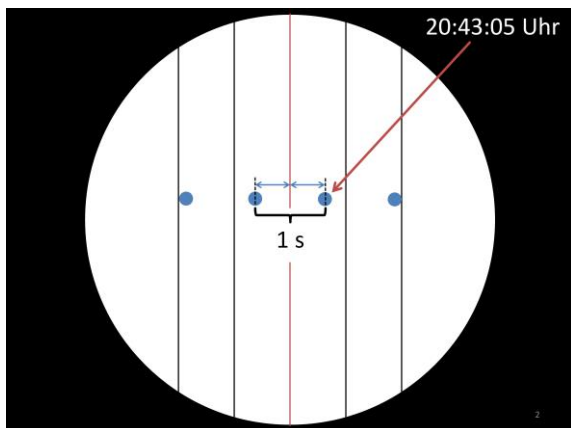


Abb. 2 Schematische Darstellung der Beobachtungsmethode nach Bradley. Die Sternpositionen im Abstand von je 1 s sind blau markiert.

zwingend ein Teleskop voraus, welches sich nicht an Bord eines Schiffs nutzen lässt. Demensprechend waren praktikable Alternativen gefragt.

2.3. Die vorläufige Lösung

Eine Lösung, die bis zur Einführung der Schiffschronometer Bestand haben sollte, stellt die Methode der Messung der Mondstrecken dar. Dazu wurde eine Winkelmessung zwischen dem hellen Rand des Mondes und einem Bezugsstern großer Helligkeit vorgenommen. Erreicht der Mond einen vorab festgelegten und in einem Tabellenwerk dokumentierten Winkel, so wird die Höhe von Mond und Stern über dem Horizont gemessen. Der Vergleich mit der Horzhöhe am Referenzort ergibt damit den Zeit- und darüber den Längenunterschied.

Solche Winkelmessungen waren mit Quadranten oder Sextanten von geschultem Personal mit genügender Genauigkeit auch auf See durchführbar. Hierfür existieren jedoch wiederum zwei Voraussetzungen: Erstens müssen die Gesetze der Mondbewegung genau bekannt sein, die durch Bahnstörungen unterschiedlicher Herkunft keineswegs trivial sind. Zweitens muss dem Verfahren ein Fundamentalkatalog der Sterne zugrunde liegen, der selbst hinreichend genau ist.

2.4. Die Rolle der Astronomie bei der Problemlösung

Die eingangs erwähnten finanziellen Verluste, die durch die Navigationsfehler hervorgerufen wurden, waren der Ansporn der Regierungen der führenden Nationen, selbst Mittel zur Linderung des Problems bereitzustellen.

Das Erfordernis präziser Sternkataloge führte ab der Mitte des 17. Jahrhunderts zur Gründung von gut ausgestatteten Sternwarten in ganz Europa, darunter auch des Observatoriums von Greenwich (1676). Ihre Aufgabe lag in der Erstellung solcher Kataloge, wozu Durchgangsbeobachtungen an Meridiankreisen durchgeführt wurden.

3. Entdeckung der Beobachterabweichungen

3.1. Das Beobachtungsverfahren

Zur Messung der Durchgangszeiten kam das Verfahren nach James Bradley (1693–1762), 3. Astronomer Royal am Observatorium in Greenwich, zum Einsatz. Dabei wurde das Okular eines Teleskops mit drei bis fünf, senkrecht zur Bewegungsrichtung der Sterne angeordneten, hauchdünnen Fäden ausgestattet. Das Teleskop selbst war fest montiert und lediglich in Deklinationsrichtung, also entlang des Meridians schwenkbar.

Während die Bewegung des Sterns durch das Gesichtsfeld beobachtet wurde, schlug gleichzeitig eine Uhr im Sekunden- oder Halbsekundentakt. Aufgabe des Beobachters war es, sich zu jedem Schlag der

Uhr die Position des Sterns zu merken. Abbildung 2 stellt den Durchgang eines Sterns durch das Gesichtsfeld des Okulars dar. Die Positionen des Sterns (blau markiert) sind im Bild eingetragen. Man beachte dabei die durch das Instrument hervorgerufene Bewegung von rechts nach links. Betrachtet man die beiden inneren Positionen des Sterns, so ist erkennbar, dass der Durchgang 0,5 s nach dem Schlag der Uhr um 20:42:05 Uhr erfolgt ist.

Die hier stark vereinfachte Darstellung täuscht über die sehr hohen instrumentellen und persönlichen Anforderungen hinweg. Man denke etwa an eine notwendige Kompensation von Temperaturschwankungen oder die Szintillation des Sterns.

Auf diese Weise ließ sich der Zeitpunkt des Durchgangs des Sterns durch den zentralen Faden des Messokulars mit einer Genauigkeit von ca. 0,2 s bestimmen. ([7], S. 141-142)

Dem vorgestellten Verfahren lag die Annahme zugrunde, dass die Genauigkeit der Messungen allein vom Geschick und der Übung des Beobachters abhing. Demzufolge wurde den Messungen, die von den Sternwartendirektoren persönlich ausgeführt wurden, das höchste Gewicht beigemessen.

3.2. Probleme bei der Durchführung

Nevil Maskeleyne (1732–1811), 5. Astronomer Royal, veröffentlichte in seinem Beobachtungsbericht aus dem Jahre 1799 eine kurze Anmerkung, die Einblick in die Arbeit des Observatoriums gibt und gleichzeitig in der Folgezeit ein kaum zu überwindendes Problem für die dort betriebenen hochpräzisen Messungen offenbaren sollte:

“I Think it necessary to mention my Assistant, Mr. David Kinnebrook, who had observed the transits of the stars and planets very well, in agreement with me, all the year 1794, and for great part of the present year, began, from the beginning of August last, to **set them down half a second of time later than he should do**, according to my observations; and in January of the succeeding year, 1796 he **increased his error to 8/10ths of a second.**” ([6], S. 339, Hervorhebungen durch den Verfasser)

Maskeleyne hebt hier – in völliger Übereinstimmung mit dem Kenntnisstand seiner Zeit – hervor, dass die

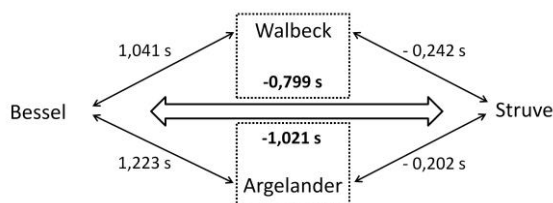


Abb. 3 Ergebnisse der Vergleichsmessungen Bessels. Eingetragen sind jeweils die Mittelwerte der Abweichungen mehrerer Durchgangsbestimmungen. Ziel war der Abgleich zwischen Bessel und Struve. Die Vergleichspfade über Walbeck und Argelander ergaben jedoch abweichende Ergebnisse.

gemessenen Durchgangszeiten seines Assistenten als fehlerhaft anzusehen sind (vgl. [7]).

Es folgt sogleich eine Ausführung zu den getroffenen Maßnahmen:

“As he had unfortunately continued a considerable time in this error before I noticed it, and did **not seem to me likely ever to get over it, and return to a right method of observing**, therefore, though with reluctance, as he was a diligent and useful assistant to me in other respects, **I parted with him.**” ([6], S. 339, Hervorhebungen durch den Verfasser)

Das Unvermögen des Assistenten, der ansonsten als sorgfältig und nützlich beschrieben wird, zur richtigen Methode der Zeitnahme zurückzukehren, lässt nur eine Lösung zu. Für Maskeleyne selbst war das Problem mit der Entlassung seines Assistenten gelöst. Für weitere Nachforschungen in dieser Sache schien es keinen Bedarf zu geben.

4. Systematische Untersuchung

Systematische Untersuchungen erfolgten erst durch Friedrich Wilhelm Bessel (1784–1846), Direktor der Sternwarte in Königsberg, der auf Umwegen von der Schilderung Maskeleynes erfuhr und dem ein plötzliches Versagen des geübten Beobachters sehr unglaubwürdig erschienen sein mag.

Bessel nutzte seine Kontakte zu Friedrich Georg Wilhelm von Stuve (1793–1864) am Observatorium von Dorpat (heute: Tartu, Estland) und den Umstand das Friedrich Wilhelm Argelander (der vormals sein Assistent in Königsberg war) das Observatorium in Åbo (heute: Turku, Finnland) übernahm. Damit stand ihm die Möglichkeit zur Verfügung, Vergleichsmessungen zwischen äußerst fähigen Beobachtern an gut ausgestatteten Observatorien anzustellen.

Da ihm zunächst kein direkter Vergleich mit den Zeitbestimmungen Struves möglich war, nutzte Bessel den Umweg über seine Assistenten. Einer von ihnen war Johann Henric Walbeck, zu dem Bessel eine Differenz seiner eigenen Messungen von 1,041 s feststellte (Walbeck beobachtete den Durchgang jeweils um diese Zeitspanne später). Der Vergleich zwischen Walbeck und Struve ergab dann wiederum, dass Struve die Durchgänge 0,242 s früher angab. Zur Absicherung der Ergebnisse sollte der Abgleich auch durch Argelander, auf seiner Reise nach Åbo, erfolgen. Abbildung 3 gibt die festgestellten Zeitdifferenzen aller Beteiligten an. Aus seiner Unternehmung konnte Bessel nun zweierlei schließen: Zum einen gab es Unterschiede in der Angabe der Durchgangszeiten zwischen ihm, Struve und Argelander, d.h. zwischen drei Sternwartendirektoren, denen jeweils das höchste Maß an Genauigkeit zugebilligt wurde. Zum anderen zeigte sich, dass die auf zwei Wegen ermittelte Differenz zwischen ihm und Struve nicht das gleiche Ergebnis

erbrachte, d.h. die Differenzen waren zeitlich nicht konstant.

4.1. Konsequenzen für die Beobachtungspraxis

Zum Ausgleich der Beobachtereinflüsse war zunächst eine systematische Dokumentation der Observatoren notwendig. Dies ließ sich in den Beobachtungsbüchern ohne Mehraufwand bewerkstelligen. War eine Konsolidierung und Überführung von Messungen zwischen zwei oder mehr Beobachtern notwendig, so mussten zunächst die Abweichung zwischen ihnen ermittelt und durch Addition bzw. Subtraktion des entsprechenden Wertes ausgeglichen werden. Der Begriff der persönlichen Gleichung repräsentiert diese Ausgleichsrechnung, die für jedes Beobachterpaar von neuem erstellt werden musste (vgl. [7], S. 203-212).

Anders als von Bessel anfänglich konstatiert unterliegt die persönliche Gleichung mittelfristig in der Regel keinen größeren Schwankungen. Zur Kalibrierung genügt demnach eine über mehrere Tage verteilte, abwechselnde Beobachtung mehrerer Vergleichssterne. Indirekte Abgleiche, wie derjenige zwischen Bessel und Struve, sind naturgemäß mit größeren Fehlern behaftet und kommen als Quelle für Bessels zunächst misslungenen Versuch in Betracht.

4.2. Ideengeschichtlicher Einfluss

Aus ideengeschichtlicher Sicht ist hervorzuheben, dass Bessels Untersuchungen die bisherigen Grundannahmen widerlegten. Keineswegs ist die Messgenauigkeit der Durchgangsbeobachtungen allein vom Geschick des Beobachters abhängig und sie lässt sich auch durch Übung nicht beliebig steigern. Damit war der Glaube an die „Autorität“ der Sternwartendirektoren bei der Angabe „wahrer“ Messwerte als Trugschluss entlarvt. Vielmehr zeigte sich, dass es einen „wahren Wert“ mit dem klassischen Beobachtungsverfahren gar nicht geben kann.

Dagegen rückte das Individuum in den Mittelpunkt des Interesses. Fortan wurde penibel vermerkt, durch welchen Beobachter Messungen vorgenommen wurden.

5. Schulische Relevanz

5.1. Technikgläubigkeit

Die Zeiten zunehmender Technikgläubigkeit machen auch vor dem Schulunterricht im Allgemeinen und ebenso dem Physikunterricht im Speziellen nicht halt. Praktisch jedem Lehrenden an Schule und Hochschule dürfte die leidige Diskussion um die vermeintlich größere Präzision digitaler Messgeräte gegenüber ihren analogen Pendanten bekannt sein. Mehr und mehr finden immer komplexere Messgeräte Einzug in den Unterricht – sei es in Form von „klassischen“ Messwerterfassungssystemen oder

auch durch Smartphones. Unbestritten besitzen solche Geräte eine Legitimation für den Einsatz im Unterricht, sowohl aus messtechnischen, wie auch aus motivationalen Gründen. Gleichzeitig wird durch den Charakter einer Black-Box der eigentliche Messvorgang immer weiter verschleiert und der Lernende entfremdet sich zunehmend von der eigentlichen Mess- oder Beobachtungsaufgabe. Die gesamte Prozesskette, von der physikalischen Erscheinung bis zur Dokumentation des vermeintlichen oder tatsächlichen Messwertes, an ausgewählten Beispielen in den Blick zu nehmen, sollte Bestandteil des Unterrichts sein. Damit einhergehen muss jeweils die Reflexion des eigenen Einflusses auf die angestellten Beobachtungen und Messungen.

5.2. Nature of Science

Basierend auf der verbreiteten Vorstellung von Physik oder Astronomie als „exakte Wissenschaften“, sollten diese frei von subjektiven Einflüssen sein. Tatsächlich ist jedoch auch hier der Mensch elementarer Teil des Erkenntnisprozesses. Diesem Umstand sollte im Rahmen der dezidierten Thematisierung von Nature of Science-Aspekten im Unterricht Rechnung getragen werden. Ausgewählte Themen, wie die Geschichte rund um die Entdeckung der persönlichen Gleichung können ein geeigneter Anlass dazu sein.

5.3. Fächerübergreifende Aspekte

Der dargestellte Einfluss grundlegender wahrnehmungsphysiologischer und –psychologischer Voraussetzungen auf Beobachtungen bietet sich auch für eine fächerübergreifende Bearbeitung an. Der physikalische Erkenntnisweg und die Physiologie sind hier untrennbar miteinander verbunden. Experimente zur Wahrnehmungsphysiologie können sich anschließen und das Bewusstsein für die Möglichkeiten und Grenzen des menschlichen Körpers schärfen.

Auch lassen sich bekannte Experimente, wie die Messung der Reaktionsgeschwindigkeit mittels einem fallendem Lineal in einen neuen Kontext stellen und bewerten. Unterschiede in den Reaktionszeiten lassen sich nicht in die üblichen Kategorien schnell/langsam und besser/schlechter einordnen, sondern erfordern eine differenzierte Betrachtung und systematische Überlegungen zu den möglichen Folgen: Welche Messungen und Beobachtungen sind unter Forschern oder Schülern austauschbar und bleiben direkt vergleichbar? Wo sind vorhergehende Korrekturen erforderlich? Die Beantwortung solcher Fragen lässt die Fächergrenzen verwischen.

5.4. Einüben systematischer Naturbeobachtung

Die Stellung der Beobachtung als zentrale Erkenntnismethode der Astronomie muss an dieser Stelle nicht weiter betont werden. Jedoch ist sie auch innerhalb der Physik von großer Bedeutung und dementsprechend in den Bildungsstandards ([8], S. 9) und Physiklehrplänen (z.B. [9], S. 16) als zu entwickelnde Fähigkeit zu finden. Gegenüber dem Experiment tritt die Beobachtung hier jedoch in den Hintergrund. Dabei ist die Ausführung eines systematischen Beobachtungsauftrages ein komplexes Unterfangen, welches selbst zunächst ebenso systematisch erlernt und geübt werden muss. Der Blick in die Wissenschaftsgeschichte kann dies verdeutlichen.

6. Literatur

- [1] Heering, P., Klassen S., Metz, D., (2013): Enabling Scientific Understanding through Historical Instruments and Experiments in Formal and Non-Formal Learning Environments.
- [2] Höttecke, D., Silva, C.C. (2011): Why Implementing History and Philosophy in School Science Education is a Challenge - An Analysis of Obstacles. *Science & Education* 20 (3-4), S. 293-316.
- [3] Kuhn, W. (2016): *Ideengeschichte der Physik*.
- [4] Ziegler, A., Vortmeyer-Kley, R. (2016): *Physik verständlich*.
- [5] Sobel, Dava (2015): *Längengrad. Die wahre Geschichte eines einsamen Genies, welches das größte wissenschaftliche Problem seiner Zeit löste*.
- [6] Maskelyne, Nevil (1799): *Astronomical Observations. Made at the Royal Observatory at Greenwich from M. DCC. LXXXVII. to M. DCC. XCVIII*. London (3).
- [7] Hoffmann, Christoph (2006): *Unter Beobachtung. Naturforschung in der Zeit der Sinnesapparate*. Göttingen: Wallstein (Wissenschaftsgeschichte).
- [8] KMK (2004): *Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss*.
- [9] Ministerium für Schule und Weiterbildung NRW (2008): *Kernlehrplan für das Gymnasium – Sekundarstufe I in Nordrhein-Westfalen*.

Interdisziplinäre Experimente im Modul „Naturwissenschaftliche Grundlagen“ am Beispiel einer Farbstoffsolarzelle

Andrea Ehrmann*

*FH Bielefeld, FB Ingenieurwissenschaften und Mathematik, Interaktion 1, 33619 Bielefeld
andrea.ehrmann@fh-bielefeld.de

Kurzfassung

In vielen ingenieurwissenschaftlichen Studiengängen lernen die Studierenden zwar ein oder zwei Semester lang die Grundlagen der Physik kennen, häufig fehlen ihnen jedoch jegliche Grundlagen in Chemie oder Biologie, obwohl diese Naturwissenschaften für interdisziplinäre Projekte durchaus nützlich sein können. In den Studienrichtungen Mechatronik und Apparative Biotechnologie wird daher ein neues Modul „Naturwissenschaftliche Grundlagen“ konzipiert und im kommenden Jahr umgesetzt, in dem neben der Physik auch Chemie und Biologie gelehrt werden. Diese Kombination erlaubt die Integration interdisziplinärer Fragestellungen in den Unterricht. In den Praktika beschäftigen sich die Studierenden dementsprechend mit Experimenten, in denen viele verschiedene Wissensgebiete verknüpft sind.

Der Artikel stellt beispielhaft das Experiment „Farbstoffsolarzelle“ vor. Beim Bau einer Farbstoffsolarzelle und der Aufnahme ihrer I-U-Kennlinie werden u. a. die Bereiche Elektronik (Schaltkreise, strom-/spannungsrichtige Messungen), Leitfähigkeit (Elektronen, Halbleiter, Leiter) und Licht (Maßeinheiten, Wellenlängen) angesprochen, aber ebenso Redox-Reaktionen, Farbstoffe und elektronische Übergänge in Molekülen. Der Text stellt die bisherigen Erfahrungen in der Umsetzung dieses Versuches mit Studierenden dar und gibt einen Ausblick auf weitere Details des zukünftigen Praktikumsversuchs.

1. Einleitung

Im Fachbereich Ingenieurwissenschaften und Mathematik der FH Bielefeld werden Studierende in verschiedensten ingenieurwissenschaftlichen Bachelor- und Masterstudiengängen ausgebildet, u. a. in Mechatronik, Apparativer Biotechnologie, Wirtschaftsingenieurwesen, Maschinenbau, Regenerativen Energien etc. Alle diese Fächer enthalten Physik-Vorlesungen. In den beiden erstgenannten Studiengängen, die eine gemeinsame Physikvorlesung hören, wird in Bälde der Modulverantwortliche für die Physik wechseln, was die Möglichkeit bietet, im Rahmen der bevorstehenden Studiengangsreform auch Veränderungen der aktuellen Module vorzunehmen.

In den ersten Semestern hören Mechatronik-Studierende beispielsweise die Module Konstruktive Grundlagen, Technische Mechanik und Konstruktion Maschinenelemente. In der Apparativen Biotechnologie werden stattdessen Chemie 1 und 2, Molekularbiologie und Biotechnologie 1-3 unterrichtet. Trotz der für die meisten Grundlagenfächer angebotenen Vorkurse fehlen vielen Studierenden die Grundlagen, die in diesen Modulen vorausgesetzt werden.

In den höheren Semestern hören die Studierenden beider Studienrichtungen wieder gemeinsame Vorlesungen zur Messtechnik, Regelungstechnik, Informatik, Bildverarbeitung etc. Auch hier wird seitens der Lehrenden regelmäßig beklagt, dass die Grundlagen dieser Fächer fehlten.

Um beiden Problemen entgegenzuwirken, soll das jetzige Modul Physik zu „Naturwissenschaftlichen Grundlagen“ (NWG) erweitert werden.

2. Konzeption des Moduls NWG

Die Physik soll weiterhin einen großen Teil des Moduls NWG einnehmen und insbesondere die Mechanik, Optik, Elektromagnetismus und Thermodynamik beinhalten. Die aktuellen Inhalte der Strömungsdynamik werden ausgegliedert.

Daneben sollen zukünftig auch einige Grundlagen der Chemie unterrichtet werden, insbesondere anorganische Chemie, aber auch organische und Polymerchemie, da insbesondere letztere im Umgang mit Kunststoffen eine große Rolle spielt und den Mechatronik-Studierenden in vielen anderen Modulen wieder begegnet. Ein kurzer Exkurs in die Biologie ist angedacht, in der der Focus auf Algen, Moosen, Schad- und Nutzpilzen, Bakterien und Bakteriophagen sowie ähnlichen Bereichen liegt, in denen zwei große Arbeitsgruppen im Fachbereich tätig sind und die daher regelmäßig in verschiedenen Projekten oder anderen Modulen eine Rolle spielen.

Zuletzt sollen die für alle anderen Module relevanten Grundlagen wie Einheiten, Zehnerpotenzen u. ä. den Studierenden nahegebracht werden.

Im zugehörigen Praktikum müssen verschiedene Rahmenbedingungen beachtet werden: Es sind nur drei Versuche pro Semester möglich, die jeweils drei Zeitstunden umfassen und in 8 Gruppen à 2 Personen pro Termin durchgeführt werden. Zudem wird

derselbe Praktikumsraum genutzt werden, in dem je nach Semester die Versuche zur Messtechnik oder zur Regelungstechnik und Sensorik laufen. Daraus können folgende Anforderungen abgeleitet werden:

- Die Versuche sollten möglichst interdisziplinär ausgerichtet sein.
- Sie sollten wenig zeitlichen Aufwand erfordern.
- Der apparative Aufwand darf nicht zu hoch sein bzw. die in den anderen Praktika vorhandene Ausstattung sollte möglichst mitgenutzt werden, um einen täglichen langwierigen Umbau zu vermeiden.
- Die Nutzung von Gas, Druckluft oder fließendem Wasser ist aufgrund der räumlichen Situation nicht möglich.

Auf dieser Grundlage wurde begonnen, Versuche für das NWG-Praktikum zu entwickeln. Einer davon wird im folgenden Kapitel vorgestellt.

3. Praktikumsversuch „Farbstoffsolarzelle“

In einem der zukünftigen Praktikumsversuche zum Modul NWG soll eine Farbstoffsolarzelle von den Studierenden hergestellt und charakterisiert werden. Dieser interdisziplinäre Versuch beinhaltet insbesondere Aspekte der Chemie und der Elektrotechnik, u. a. Schaltkreise, strom- und spannungsrichtige Messungen, Leitfähigkeit (Elektronen, Halbleiter, Leiter), elektronische Übergänge in Molekülen, aber auch Redox-Reaktionen, Licht (Maßeinheiten und Wellenlängen), Farbstoffe etc. Der zeitliche Umfang bleibt überschaubar, wenn teilweise vorgefertigte Komponenten für die Herstellung der Zellen genutzt werden. Auch der apparative Aufwand ist akzeptabel – pro Versuchsplatz werden neben einer idealerweise einstellbaren Lampe mit tageslichtähnlichem Spektrum zwei Multimeter und eine Widerstandsdekade für die Messung benötigt; alternativ kann die Messung auch vollständig über eine der vorhandenen, entsprechend programmierten DAQ-Karten durchgeführt werden. Für die Herstellung der Zellen werden nur kleine Flüssigkeitsmengen benötigt, fließendes Wasser ist nicht erforderlich.

Tests mit verschiedenen studentischen Projektgruppen haben die Umsetzbarkeit in der geplanten Zeit gezeigt und belegt, dass die gewünschten Lerneffekte eintreten.

Der Herstellungsprozess ist in Abb. 1 dargestellt. Die Gegenelektrode ist mit leitfähigem FTO (fluorine doped tin oxide) beschichtet (gekauft bei Man Solar, Niederlande). Zur Entfernung von Kleberesten wird sie mit Alkohol oder Aceton gereinigt (Abb. 1a). Anschließend wird sie mit Hilfe eines Bleistifts mit einer Graphitschicht versehen (Abb. 1b).

Als Frontelektrode dient eine leitfähige FTO-Glasplatte, die zusätzlich gleichmäßig mit TiO_2 beschichtet ist (Abb. 1c, ebenfalls von Man Solar).

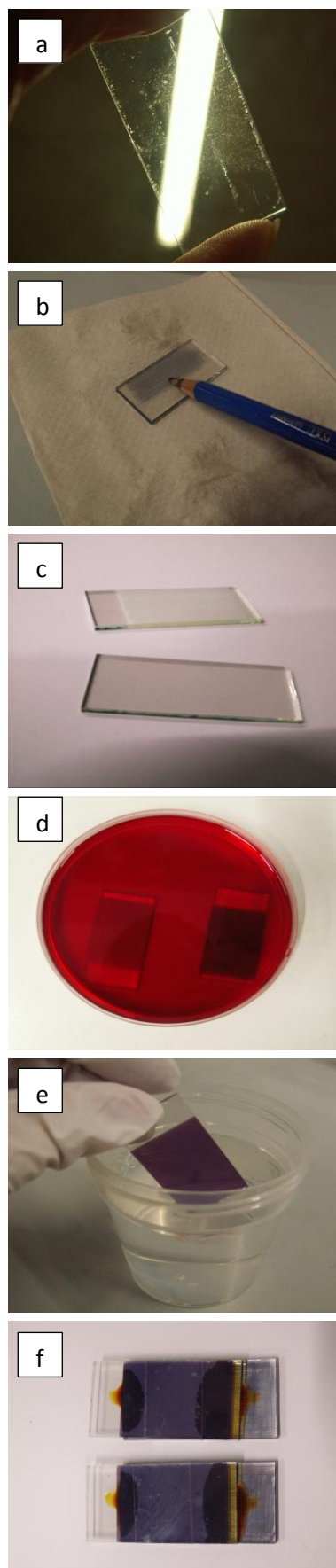


Abb. 1: Herstellungsprozess einfacher Farbstoffsolarzellen. Aus [1], modifiziert.

Diese wird für etwa 5 min in Farbstoffextrakt (z. B. aus Hibiskus- oder Waldbeertee) eingelegt (Abb. 1d) und anschließend abgewaschen, um nicht absorbierte Farbreste zu entfernen (Abb. 1e).

Zuletzt werden beide Seiten zusammengefügt, mit durchsichtigem Klebeband oder nicht zu großen Klemmen fixiert und mit zwei Tropfen Iod-Triiodid (Lugol'scher Lösung) als Elektrolyt versehen (Abb. 1f).

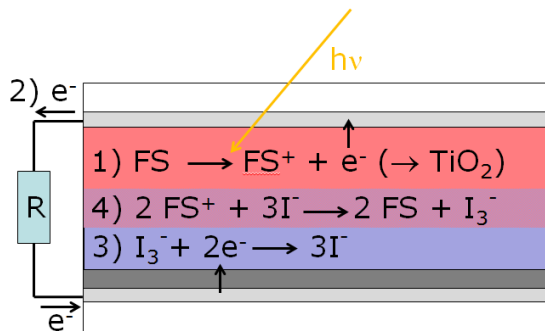


Abb. 2: Schema der elektrochemischen Vorgänge in einer Farbstoffsolarzelle. Nach [2], modifiziert.

Der theoretische Aufbau einer solchen Farbstoffsolarzelle ist in Abb. 2 dargestellt.

In der Farbstoffsolarzelle wird zunächst ein Farbstoffmolekül („FS“ in Abb. 2) angeregt. Dadurch wird ein Elektron in der Leitungsband des Halbleiters (hier TiO_2) injiziert, zurück bleibt ein Farbstoffkation (Schritt 1 in Abb. 2). Das Elektron wird durch die TiO_2 -Schicht und die Frontelektrode zu einem externen Verbraucher („R“) geleitet und von dort weiter zur Gegenelektrode (Schritt 2). Die Rückkehr in die Solarzelle wird durch Graphit oder einen anderen Katalysator unterstützt. Hier rekombiniert es mit den Akzeptoren im Elektrolyten (Schritt 3). Im letzten Schritt wird das Farbstoffkation durch den Elektrolyten wieder zu seinem neutralen Grundzustand reduziert, wodurch sich der Stromkreis schließt [3].

Gemessen werden I-U-Kennlinien (Abb. 3). Hierdurch kommen die Studierenden mit Strom und Spannung in Berührung, müssen sich mit den zugehörigen Einheiten sowie den auftretenden Zehnerpotenzen auseinandersetzen, lernen eine Widerstandsdekade und die grundsätzliche Idee einer solchen Kennlinienmessung kennen. Außerdem müssen sie sich bei der Charakterisierung der genutzten Lampe mit Angaben in lux und W/m^2 beschäftigen und lernen, einen Wirkungsgrad zu berechnen.

Bei der Auftragung der Kennlinien üben die Studierenden einerseits, einfache Excel-Graphen zu erstellen. Vor allem beschäftigen sie sich aber mit Einheiten und ihrer (normgerechten) Schreibweise, der Berechnung der Leistung und der Bewertung der Ergebnisse. Im Vergleich mit den anderen Gruppen lernen sie schließlich, ihre eigenen Ergebnisse einzuschätzen.

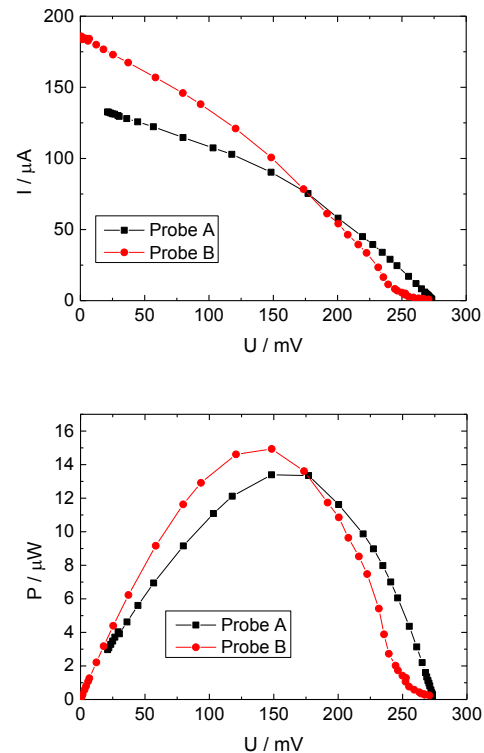


Abb. 3: Typische I-U- bzw. P-U-Kennlinien einfacher Farbstoffsolarzellen.

4. Weiterentwicklung

Bei der Vorstellung des geplanten Praktikumsversuchs während der DPG-Frühjahrstagung sowie im Nachgang wurden von den Zuhörern viele interessante Vorschläge gemacht, die hier nicht unerwähnt bleiben sollen.

So kann die Bedeutung der Lichttemperatur untersucht werden, indem verschiedene offensichtlich „weiße“ Lichtquellen verglichen werden. Durch Filter oder verschiedenfarbige LED-Lampen kann der Einfluss des eingestrahnten Wellenlängenbereichs geprüft werden. Die Spektren aller Lampen lassen sich mit einfachen Spektroskopen (z. B. erhältlich als Bausatz bei Astromedia) betrachten. Entsprechend der Interdisziplinarität des Versuches können Teams aus je einem Mechatronik- und einem Biotechnologie-Studierenden gebildet werden.

Diese Überlegungen werden in die Planung des Praktikums eingehen, dessen weitere Bestandteile in den kommenden Monaten entwickelt werden.

5. Literatur

- [1] Juhász Junger, Irén; Grimmelsmann, Nils; Homburg, Sarah Vanessa; Meissner, Hubert; Grethe, Thomas; Schwarz-Pfeiffer, Anne; Fiedler, Johannes; Herrmann, Andreas; Blachowicz, Tomasz; Ehrmann, Andrea (2017): Einfluss des pH-Wertes von Anthocyan-Farbstoffen auf die elektrischen Eigenschaften von Farbstoffsolarzellen. In: Proceedings des Fachgruppentreffen

des Graduierteninstituts NRW – Ressourcen,
Bochum 2017

- [2] Herrmann, Andreas; Fiedler, Johannes; Ehrmann, Andrea; Grethe, Thomas; Schwarzpfeiffer, Anne (2015): Strides towards textile based dye sensitized solar cells. In: Proc. of Aachen-Dresden Int. Textile Conf., Aachen 2015
- [3] Macht, Bernd (2003): Degradationsprozesse in $\text{Ru}(\text{bpca})_2(\text{NCS})_2$ -sensibilisierten Farbstoffsolarellen auf Titandioxidbasis. Dissertation, FU Berlin

Eigenwerte und Eigenvektoren aus geometrisch-algebraischer Perspektive

Martin Erik Horn

HWR – Hochschule für Wirtschaft und Recht Berlin / Berlin School of Economics and Law
Badensche Str. 52, 10825 Berlin
Email: e_hornm@doz.hwr-berlin.de

Kurzfassung

Mit Hilfe der Geometrischen Algebra lässt sich eine an physikalischen und physikdidaktischen Setzungen orientierte moderne Lineare Algebra konstruieren, die auf vorangegangenen Frühjahrs-tagungen in Wuppertal und Hannover vorgestellt wurde. Diese moderne Lineare Algebra beruht auf einem konzeptuellen Gleichklang algebraischer und geometrischer Deutungen, wobei die Koeffizientenmatrix Linearer Gleichungssysteme durch Koeffizientenvektoren ersetzt wird. Die Lösung eines Linearen Gleichungssystems ergibt sich dann durch Volumenvergleich der durch die Koeffizientenvektoren aufgespannten (Hyper-)Parallelepipede bzw. Parallelotope.

Dieser physikdidaktisch motivierte Ansatz wird nun in einer weiteren Ausarbeitung auf Eigenwerte und Eigenvektoren übertragen. Dieser Zugang wird unter Einbezug von Beispielen aus der Unterrichtspraxis im fachhochschulischen Rahmen vorgestellt und diskutiert.

1. Einleitung: Einordnung des Beitrags

Mit Hilfe der Geometrischen Algebra lässt sich eine an physikalischen und physikdidaktischen Setzungen orientierte moderne Lineare Algebra konstruieren, die auf einem konzeptuellen Gleichklang algebraischer und geometrischer Deutungen beruht.

Dabei wird die Koeffizientenmatrix Linearer Gleichungssysteme durch Koeffizientenvektoren ersetzt. Die Lösung Linearer Gleichungssysteme ergibt sich dann durch Volumenvergleich der durch die Koeffizientenvektoren aufgespannten (Hyper-) Parallelepipede bzw. Parallelotope.

Dieser Ansatz wurde bzw. wird derzeit in den Wintersemestern an der HWR Berlin in den englischsprachigen Kursen der Poolveranstaltungen zur Wirtschaftsmathematik (LV-Nr. 200 691.01) sukzessive erprobt.

Im Wintersemester 2014/2015 erfolgte die Erprobung des entwickelten Kursmaterials zu den Grundlagen der Geometrischen Algebra [1], [2], zur Lösung einfacher Linearer Gleichungssysteme mit zwei oder drei Unbekannten [3], zum Direkten Produkt und zur Lösung höher-dimensionaler Linearer Gleichungssysteme mit mehr als drei Unbekannten [4].

Im Wintersemester 2015/2016 erfolgte die Erörterung des Gauß-Verfahrens im Kontext von Koordinatentransformationen [5], [6], wobei aus Zeitgründen die Darstellung der Grundlagen zur Geometrischen Algebra didaktisch und vor allem auch zeitlich reduziert in Anlehnung an eine zwischenzeitlich erfolgte Erprobung mit relativ leistungsschwachen Studierenden an der MSB [7], [8], [9] erfolgte.

Im Wintersemester 2016/2017 erfolgte nun die Erprobung des in diesem Beitrag vorgestellten Ansatz-

zes zur Darstellung von Eigenvektoren und Eigenwerten im Rahmen der Geometrischen Algebra [24], sowie die Nutzung von Sandwich-Produkten zur Lösung Linearer Gleichungssysteme.

Für zukünftige Semester geplant ist die Erprobung der Nutzung des Programm-Tools „Geometric Algebra Algorithms Optimizer“ (GAALOP) zur Lösung Linearer Gleichungssysteme [10].

2. Kernpunkte der Geometrischen Algebra

Das mathematische Grundgerüst der Geometrischen Algebra ist ein ambivalentes Konstrukt. Zum einen ist es ein zutiefst in der Mathematik verorteter Ansatz, der von Graßmann [11] zu Beginn mathematisch-algebraisch erdacht und eingeführt wurde, so dass „die Algebra eine wesentlich veränderte Gestalt gewinnen“ werde [11, § 45, S. 71].

Doch zum anderen war Graßmann als ein physikalisch denkender Mathematiker immer darauf ausgerichtet, die von ihm erdachten algebraischen Zusammenhänge geometrisch zu unterlegen und so konzeptuell zu festigen.

In einer frühen Deutung der Graßmannschen Ideen betont Peirce diesen Aspekt: „In truth, Grassmann has got hold (though he did not say so) of an eight-fold algebra, which may be written in my system as follows: – Three Rectangular Vectors – – Three Rectangular Planes – – One Solid – – Unity“ [12].

Oder mit anderen, moderneren Worten: „We have now reached the point which is liable to cause the greatest intellectual shock. We have played an apparently harmless game with the algebra of 3-dimensional vectors and found (...) exactly the algebra of the Pauli spin matrices“ [13, S. 1184].

Das ist der zentrale Kernpunkt der Geometrischen Algebra: Graßmann beschrieb mit seinem Ansatz eine (verallgemeinerte) Pauli-Algebra, deren Grundgrößen räumlich interpretiert werden.

Die drei Pauli-Matrizen $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ bzw. m verallgemeinerten Pauli-Matrizen σ_i mit $i \in \{1, 2, \dots, m\}$ repräsentieren dabei Basisvektoren eines drei- bzw. m -dimensionalen Euklidischen Raums. Ein Vektor \mathbf{r} kann somit immer als Linearkombination von Pauli-Matrizen

$$\mathbf{r} = \sum_{i=1}^m r_i \sigma_i \quad \{1\}$$

dargestellt werden.

3. Lineare Gleichungssysteme

Jedes Lineare Gleichungssystem

$$\mathbf{A} \bar{\mathbf{x}} = \bar{\mathbf{r}} \quad \text{mit } \mathbf{A} = (a_{ij}) \quad \{2\}$$

bzw. zeilenweise

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j = r_i \quad i \in \{1, 2, \dots, m\} \quad \{3\}$$

kann durch Geometrisierung mit Hilfe von n Koeffizientenvektoren

$$\mathbf{a}_j = \sum_{i=1}^m a_{ij} \sigma_i \quad j \in \{1, 2, \dots, n\} \quad \{4\}$$

somit in eine Linearkombination dieser Koeffizientenvektoren

$$\sum_{j=1}^n \mathbf{a}_j x_j = \mathbf{r} \quad \{5\}$$

überführt werden, indem jede der m Zeilen {3} gemäß Gl. {1} mit einem entsprechenden Basisvektor σ_i multipliziert wird und sodann alle Terme aufaddiert werden.

Diese Geometrisierung bewirkt gleichzeitig eine algebraische Verdichtung, indem die m unterschiedlichen Linearen Gleichungen {3} in einer einzigen Gleichung {5} zusammengefasst werden. Oder umgangssprachlich: Anstelle von m verschiedenen Zeilen {3} wird das Lineare Gleichungssystem {2} nun in nur noch einer einzigen Zeile {5} geschrieben:

$$\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m a_{ij} \sigma_i x_j = \mathbf{r} \quad \{6\}$$

Da die Mathematik der Eigenwerte und Eigenvektoren in der Regel nur anhand quadratischer Matrizen diskutiert wird (siehe beispielsweise die Darstellungen in [14], [15], [16], [17], [18], [19], [20], [21]) wird sich die Diskussion im Folgenden auf n Lineare Gleichungen mit n Unbekannten beziehen, so dass $m = n$ gesetzt wird. Es werden also lediglich quadratische Matrizen \mathbf{A} in Gl. {2} betrachtet. Es gilt dann:

$$\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n a_{ij} \sigma_i x_j = \mathbf{r} \quad \{7\}$$

4. Grundlagen der Eigen-Mathematik

Die mathematische Perspektive, die bei der Diskussion von Eigenwerten und Eigenvektoren eingenommen wird, ist die einer reinen Streckungswirkung. Es werden diejenigen Vektoren $\bar{\mathbf{v}}$ betrachtet, die bei Einwirkung der Matrix \mathbf{A} in Gl. {2} keine Richtungsänderung, sondern lediglich eine Längenänderung erfahren:

$$\mathbf{A} \bar{\mathbf{v}} = \lambda \bar{\mathbf{v}} \quad \{8\}$$

Die Streckungsfaktoren λ werden dann Eigenwerte, die richtungskonstanten Vektoren $\bar{\mathbf{v}}$ Eigenvektoren der Matrix \mathbf{A} genannt.

Dies ist äquivalent zur Darstellung

$$(\mathbf{A} - \lambda \mathbf{E}) \bar{\mathbf{v}} = \mathbf{0} \quad \{9\}$$

mit Hilfe einer charakteristischen Matrix $(\mathbf{A} - \lambda \mathbf{E})$, wobei \mathbf{E} die n -dimensionale Einheitsmatrix bezeichnet. Im Fall nicht-trivialer Lösungen ist diese charakteristische Matrix singular.

Die Übersetzung dieser simplen Darstellung in die Sprache der Geometrischen Algebra erfolgt analog zur Geometrisierung beim Schritt von Gl. {3} zu Gl. {4}. Die charakteristische Matrix kann spaltenweise betrachtet und somit zwanglos als Komposition von n charakteristischen Koeffizientenvektoren

$$\mathbf{a}_j - \lambda \sigma_j = \sum_{i=1}^n (a_{ij} - \lambda \delta_{ij}) \sigma_i \quad \text{mit } \delta_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{für } i = j \\ 0 & \text{für } i \neq j \end{cases} \quad \{10\}$$

geschrieben werden.

Da die charakteristische Matrix singular sein muss, sind die charakteristischen Koeffizientenvektoren nicht linear unabhängig. Dies hat die geometrisch-algebraische Konsequenz, dass das äußere Produkt aller charakteristischen Koeffizientenvektoren Null ergeben muss. Somit erhält man das charakteristische äußere Produkt

$$(\mathbf{a}_1 - \lambda \sigma_1) \wedge (\mathbf{a}_2 - \lambda \sigma_2) \wedge \dots \wedge (\mathbf{a}_n - \lambda \sigma_n) = \mathbf{0} \quad \{11\}$$

in Analogie zur Determinante der charakteristischen Matrix von

$$\det(\mathbf{A} - \lambda \mathbf{E}) = 0 \quad \{12\}$$

Durch Multiplikation von Gl. {11} mit der Inversen \mathbf{I}^{-1} (oder Reversen \mathbf{I}^{\sim}) des Pseudoskalars

$$\mathbf{I} = \sigma_1 \sigma_2 \sigma_3 \dots \sigma_n = \prod_{i=1}^n \sigma_i \quad \{13\}$$

ergibt sich linksseitig das charakteristische Polynom

$$((\mathbf{a}_1 - \lambda \sigma_1) \wedge (\mathbf{a}_2 - \lambda \sigma_2) \wedge \dots \wedge (\mathbf{a}_n - \lambda \sigma_n)) \mathbf{I}^{-1} \quad \{14\}$$

dessen Nullstellen in Form einer charakteristischen Gleichung (Eigenwert-Gleichung)

$$((\mathbf{a}_1 - \lambda \sigma_1) \wedge (\mathbf{a}_2 - \lambda \sigma_2) \wedge \dots \wedge (\mathbf{a}_n - \lambda \sigma_n)) \mathbf{I}^{-1} = \mathbf{0} \quad \{15\}$$

die Eigenwerte λ_k bezeichnen. Gelingt die nicht immer einfache Lösung dieser Gleichung n -ter Ordnung, sind die Eigenwerte bekannt.

Durch eine Lösung der maximal n Linearen Gleichungssysteme $\mathbf{A} \vec{v}_k = \lambda_k \vec{v}_k$ {8} auf Grundlage des Grassmannschen Ansatzes [11, § 45]

$$(\mathbf{a}_1 \wedge \mathbf{a}_2 \wedge \dots \wedge \mathbf{a}_n) v_{ki} = \mathbf{a}_1 \wedge \mathbf{a}_2 \wedge \dots \wedge \mathbf{a}_{k-1} \wedge \lambda v_k \wedge \mathbf{a}_{k+1} \wedge \dots \wedge \mathbf{a}_n \quad \{16\}$$

können sodann die Eigenvektoren \mathbf{v}_k in geometrisch-algebraischer Schreibweise

$$\mathbf{v}_k = \sum_{i=1}^n v_{ki} \sigma_i \quad \text{mit } k \leq n \quad \{17\}$$

berechnet werden. Die Eigenvektoren können gegebenenfalls auch normiert zu

$$\mathbf{n}_k = \frac{\mathbf{v}_k}{\|\mathbf{v}_k\|} = \frac{1}{\|\mathbf{v}_k\|} \sum_{i=1}^n v_{ki} \sigma_i \quad \{18\}$$

angegeben werden.

5. Beispiel: Das Tankstellenproblem (Teil I)

Anhand eines Beispiels aus dem wirtschaftsmathematischen Bereich (siehe Abb. 1) können die Vor- und Nachteile der Nutzung der Geometrischen Algebra bei der Ermittlung von Eigenwerten und Eigenvektoren aufgezeigt werden.

Ähnlich wie in der Physik kommen diese insbesondere in abgeschlossenen Systemen (beispielsweise bei Berechnung von Eigenschwingungen ohne äußere Krafteinwirkung) klar zum Tragen.

größter Eigenwert $\lambda_1 = 1$ beträgt. Die spaltenorientiert ermittelten Koeffizientenvektoren

$$\begin{aligned} \mathbf{a} &= 0,70 \sigma_x + 0,20 \sigma_y + 0,10 \sigma_z \\ \mathbf{b} &= 0,10 \sigma_x + 0,80 \sigma_y + 0,10 \sigma_z \\ \mathbf{c} &= 0,20 \sigma_x + 0,20 \sigma_y + 0,60 \sigma_z \end{aligned} \quad \{20\}$$

führen sofort auf die charakteristischen Koeffizientenvektoren

$$\begin{aligned} \mathbf{a} - \lambda \sigma_x &= (0,70 - \lambda) \sigma_x + 0,20 \sigma_y + 0,10 \sigma_z \\ \mathbf{b} - \lambda \sigma_y &= 0,10 \sigma_x + (0,80 - \lambda) \sigma_y + 0,10 \sigma_z \\ \mathbf{c} - \lambda \sigma_z &= 0,20 \sigma_x + 0,20 \sigma_y + (0,60 - \lambda) \sigma_z \end{aligned} \quad \{21\}$$

Das charakteristische äußere Produkt

$$\begin{aligned} (\mathbf{a} - \lambda \sigma_x) \wedge (\mathbf{b} - \lambda \sigma_y) \wedge (\mathbf{c} - \lambda \sigma_z) \\ = (-\lambda^3 + 2,10 \lambda^2 - 1,40 \lambda + 0,30) \sigma_x \sigma_y \sigma_z \end{aligned} \quad \{22\}$$

kann dann als charakteristisches Volumen des durch die drei charakteristischen Koeffizientenvektoren aufgespannten Parallelepipeds interpretiert werden. Im nächsten Schritt wird das charakteristische Polynom

$$\begin{aligned} (\mathbf{a} - \lambda \sigma_x) \wedge (\mathbf{b} - \lambda \sigma_y) \wedge (\mathbf{c} - \lambda \sigma_z) \sigma_z \sigma_y \sigma_x \\ = (-\lambda^3 + 2,10 \lambda^2 - 1,40 \lambda + 0,30) \sigma_x \sigma_y \sigma_z \end{aligned} \quad \{23\}$$

Null gesetzt, so dass aus der charakteristischen Gleichung

$$\begin{aligned} 0 &= -\lambda^3 + 2,10 \lambda^2 - 1,40 \lambda + 0,30 \\ &= -(\lambda - 1)(\lambda - 0,60)(\lambda - 0,50) \end{aligned} \quad \{24\}$$

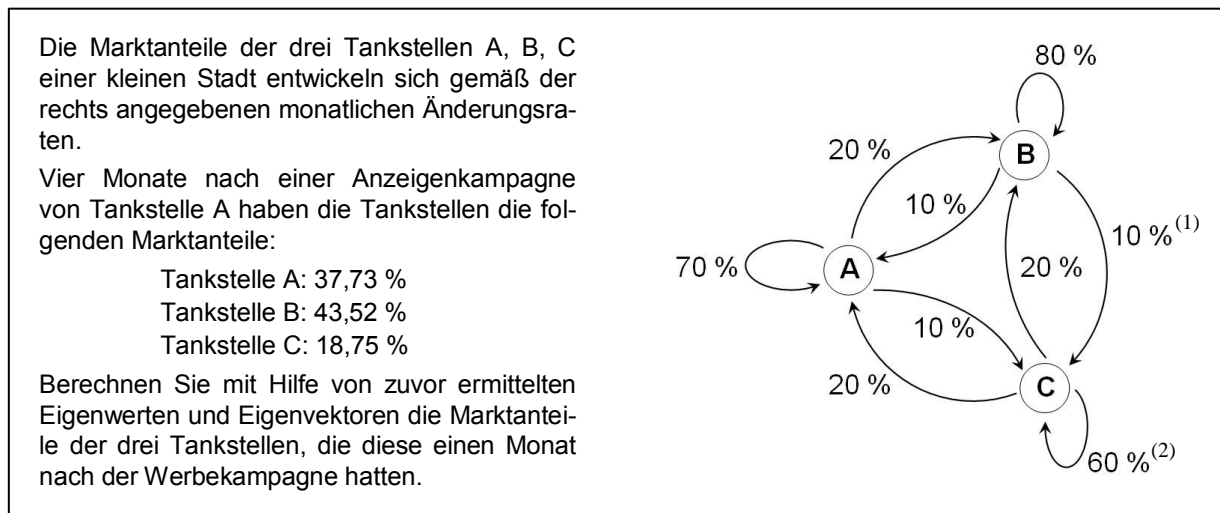


Abb.1: Das Tankstellenproblem aus [24].

Lesebeispiele: ⁽¹⁾ 10 % der Kunden, die im vergangenen Monat bei Tankstelle B tankten, tankten jetzt bei Tankstelle C.

⁽²⁾ 60 % der Kunden, die im vergangenen Monat bei Tankstelle C tankten, tankten weiterhin bei Tankstelle C.

Die in Abb. 1 angegebenen Werte können in der Matrix der Änderungsraten \mathbf{T}

$$\mathbf{T} = \begin{pmatrix} 0,70 & 0,10 & 0,20 \\ 0,20 & 0,80 & 0,20 \\ 0,10 & 0,10 & 0,60 \end{pmatrix} \quad \{19\}$$

zusammengefasst werden. Da die Elemente dieser Matrix spaltenweise zu $1 = 100\%$ aufaddieren, handelt es sich um eine stochastische Matrix, deren

die gesuchten Eigenwerte bestimmt werden können.

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= 1 \\ \lambda_2 &= 0,60 \\ \lambda_3 &= 0,50 \end{aligned} \quad \{25\}$$

Wesentlicher didaktischer Vorteil dieser Herangehensweise ist die Einbeziehung der geometrischen Deutung der charakteristischen Determinante als äußeres Produkt und somit geometrisch als Volumen eines charakteristischen Parallelepipeds.

Im nächsten Schritt werden die drei Eigenvektoren \mathbf{v}_k auf Grundlage der Streckungsgleichung {8}

$$\mathbf{a} v_{kx} + \mathbf{b} v_{ky} + \mathbf{c} v_{kz} = \lambda (v_{kx} \sigma_x + v_{ky} \sigma_y + v_{kz} \sigma_z) \quad \{26\}$$

bzw. $\{27\}$

$$(\mathbf{a} - \lambda \sigma_x) v_{kx} + (\mathbf{b} - \lambda \sigma_y) v_{ky} + (\mathbf{c} - \lambda \sigma_z) v_{kz} = 0$$

oder aber auf Grundlage des Grassmannschen Ansatzes {16}

$$\begin{aligned} (\mathbf{a} \wedge \mathbf{b} \wedge \mathbf{c}) v_{kx} &= \lambda \mathbf{v}_k \wedge \mathbf{b} \wedge \mathbf{c} \\ (\mathbf{a} \wedge \mathbf{b} \wedge \mathbf{c}) v_{ky} &= \lambda \mathbf{a} \wedge \mathbf{v}_k \wedge \mathbf{c} \\ (\mathbf{a} \wedge \mathbf{b} \wedge \mathbf{c}) v_{kz} &= \lambda \mathbf{a} \wedge \mathbf{b} \wedge \mathbf{v}_k \end{aligned} \quad \{28\}$$

beispielsweise zu

$$\begin{aligned} \mathbf{v}_1 &= 3 \sigma_x + 5 \sigma_y + 2 \sigma_z \\ \mathbf{v}_2 &= \sigma_x - \sigma_y \\ \mathbf{v}_3 &= \sigma_x - \sigma_z \end{aligned} \quad \{29\}$$

oder aber normiert zu

$$\begin{aligned} \mathbf{n}_1 &= \frac{1}{\sqrt{38}} (3 \sigma_x + 5 \sigma_y + 2 \sigma_z) \\ \mathbf{n}_2 &= \frac{1}{\sqrt{2}} (\sigma_x - \sigma_y) \\ \mathbf{n}_3 &= \frac{1}{\sqrt{2}} (\sigma_x - \sigma_z) \end{aligned} \quad \{30\}$$

bestimmt.

Konzeptuell und mathematisch-ästhetisch ist der Grassmannsche Ansatz {16} hier sicherlich tragfähiger. Wieder werden geometrische Größen (Volumina von Parallelepipeden, siehe Gl. {28}) algebraisch gedeutet und in sehr konkreter, nachvollziehbarer Weise in Relation zueinander gesetzt.

Handfest unterrichtspraktisch mag jedoch die Streckungsgleichung {26} ebenso gut für eine didaktische Umsetzung geeignet sein, da diese mit Hilfe des Falkschen Schemas für die Lernenden unter Umständen leichter zugänglich ist, weil hier zielgerichtet auf Bekanntes zurückgegriffen werden kann.

Insbesondere, wenn der rechnerische Aufwand beider Lösungsstrategien {26} und {28} verglichen wird, ergeben sich keine wesentlichen Unterschiede. Beide Ansätze sind mit einem gewissen Rechenaufwand verbunden, der in Abhängigkeit davon, welche Rechenstrategien zuvor von den Lernenden vertieft eingeübt wurden, schneller oder weniger schnell zu bewältigen sein wird.

Aus diesem Grund sind in den auch als Skript nutzbaren OHP-Folien beide Vorgehensweisen aufgeführt (siehe [24, S. 38 und S. 39] zur Ermittlung des Wertes für λ_1 , [24, S. 41 und S. 42] für λ_2 sowie [24, S. 44 und S. 45] für λ_3).

Aber gerade dies auch ein Ziel mathematischen Lehrens und Lernens: Eine Methodenvielfalt zu vermitteln, die die Lernenden befähigt, Problemstellungen unter Nutzung auch sehr verschiedener Ansätze auf verschiedene Weisen zu bewältigen und zu lösen.

6. Interpretation der Zwischenergebnisse

Da es sich bei der Matrix der Änderungsraten {19} um eine stochastische Matrix handelt, kann der mit dem höchsten Eigenwert $\lambda_1 = 1$ verknüpfte Eigenvektor \mathbf{v}_1 leicht interpretiert werden.

Zum einen zeigt Gl. {8}, dass dieser Eigenvektor ein Vielfaches des Vektor konstanter Marktanteile \mathbf{x}_1

$$\mathbf{x}_1 = \frac{1}{10} \mathbf{v}_1 = 0,30 \sigma_x + 0,50 \sigma_y + 0,20 \sigma_z \quad \{31\}$$

mit

$$\mathbf{A} \bar{\mathbf{x}}_1 = \bar{\mathbf{x}}_1 \quad \{32\}$$

sein wird. Der Eigenvektor \mathbf{v}_1 bzw. \mathbf{x}_1 beschreibt als Zustandsvektor somit den Gleichgewichtszustand des Marktes.

Zum anderen wird in diesem einfachen Modell das Marktverhalten durch Markov-Ketten [16, Kap. 9] modelliert. Ein beliebiger Marktzustand \mathbf{x}_{bel} strebt für hohe n

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \mathbf{A}^n \bar{\mathbf{x}}_{\text{bel}} = \bar{\mathbf{x}}_1 \quad \{33\}$$

und damit für große Zeitdauern gegen diesen Gleichgewichtszustand \mathbf{x}_1 konstanter Marktanteile. Der mit $\lambda_1 = 1$ verknüpfte Eigenvektor \mathbf{v}_1 bzw. \mathbf{x}_1 beschreibt somit das Langzeitverhalten.

Dies kann gezeigt werden [24, S. 67], indem der beliebige Zustandsvektor \mathbf{x}_{bel} in die Eigenvektorkomponenten (siehe z.B. [24, S. 63]) zerlegt wird und die Potenzen der anderen Eigenwerte λ_2^n bzw. λ_3^n , die für hohe n gegen Null streben, analysiert werden.

Die so motivierte Zerlegung von Zustandsvektoren spielt auch eine entscheidende Rolle, wenn alternative Zugänge zur Matrizenmultiplikation und zur Lösung Linearer Gleichungssysteme in den folgenden Abschnitten diskutiert werden.

7. Matrizenmultiplikation ohne Matrizen

Konzeptioneller Kern der mathematischen Analyse von Problemstellungen aller Art und aller Sachgebiete ist die Beschreibung, die Erklärung und – bei Hypothesenprüfung – auch die Vorhersage von Zustandsänderungen. Ein Zustand wird unter Einwirkung von Prozessen aller Art in einen weiteren Zustand überführt.

In der Linearen Algebra werden rein lineare Änderungen betrachtet, die üblicherweise mathematisch durch die Wirkung – also die linksseitige Prä-Multiplikation – einer Änderungsmatrix $\mathbf{A} = (a_{ij})$ auf einen Zustandsvektor $\bar{\mathbf{x}}$ nach Gl. {2} mit $\mathbf{A} \bar{\mathbf{x}} = \bar{\mathbf{r}}$ beschrieben werden, so dass ein neuer Zustand entsteht, der durch den resultierenden Zustandsvektor $\bar{\mathbf{r}}$ dargestellt wird.

Diese Art der mathematischen Darstellung linearer Änderungen wird in einführenden Kursen meist sehr, sehr ausführlich behandelt. Die Matrizenmultiplikation mit Matrizen ist wesentlicher Bestandteil der hochschulischen mathematischen Grundbildung.

Das gleiche Ziel – die mathematisch tragfähige Beschreibung linearer Änderungen und deren Wirkung auf Zustandsvektoren – kann jedoch auch in einer vollkommen matrizenfreien Mathematik erreicht werden, wenn die Eigenwertinformation zur Modifikation von Zustandsvektoren herangezogen wird.

Bei der Eigenwert-Mathematik handelt es sich somit im Kern um eine Mathematik, die ...

... Matrizenmultiplikationen
ohne Matrizen ...

Abb.2: Zentrale mathematische Motivation der Nutzung von Eigenwerten und Eigenvektoren.

... beschreibt. Es wäre also möglich, in einer alternativen Strukturierung der Mathematik vollkommen auf Matrizen zu verzichten und sich bei der Darstellung linearer Änderung alleine auf Eigenwerte und Eigenvektoren zu stützen.

Darüber hinaus sind die mathematische Eleganz und die strukturelle Schönheit von Eigenwertrechnungen überzeugend: Zahlreiche Rechnungen sind weniger kompliziert, wenn diese unter Zuhilfenahme der Eigenwertinformation durchgeführt werden.

Wie sieht die Matrizenmultiplikation ohne Matrizen nun aus? Wie im vergangenen Abschnitt bereits angedeutet, wird die Wirkung der Matrix \mathbf{A} auf den Vektor \vec{x} durch eine Zerlegung von \vec{x} in die Eigenvektor-Komponenten modelliert.

In der Sprache der Geometrischen Algebra kann die Zerlegung der Vektoren \mathbf{x} und \mathbf{r} (siehe Gl. {1})

$$\mathbf{x} = \sum_{i=1}^n x_i \sigma_i \quad \mathbf{r} = \sum_{i=1}^n r_i \sigma_i \quad \{34\}$$

in die Eigenvektorkomponenten mit den Eigenvektorkoeffizienten c_i und d_i

$$\mathbf{x} = \sum_{i=1}^n c_i \mathbf{v}_i \quad \mathbf{r} = \sum_{i=1}^n d_i \mathbf{v}_i \quad \{35\}$$

auf Grundlage des Grassmannschen Ansatzes [11, § 45] sehr einfach vorgenommen werden, wenn die Eigenvektoren \mathbf{v}_i bekannt sind.

$$(\mathbf{v}_1 \wedge \mathbf{v}_2 \wedge \dots \wedge \mathbf{v}_n) c_i = \mathbf{v}_1 \wedge \mathbf{v}_2 \wedge \dots \wedge \mathbf{v}_{i-1} \wedge \mathbf{x} \wedge \mathbf{v}_{i+1} \wedge \dots \wedge \mathbf{v}_n \quad \{36\}$$

$$\Rightarrow c_i = (\mathbf{v}_1 \wedge \mathbf{v}_2 \wedge \dots \wedge \mathbf{v}_n)^{-1} (\mathbf{v}_1 \wedge \mathbf{v}_2 \wedge \dots \wedge \mathbf{v}_{i-1} \wedge \mathbf{x} \wedge \mathbf{v}_{i+1} \wedge \dots \wedge \mathbf{v}_n) \quad \{37\}$$

und

$$(\mathbf{v}_1 \wedge \mathbf{v}_2 \wedge \dots \wedge \mathbf{v}_n) d_i = \mathbf{v}_1 \wedge \mathbf{v}_2 \wedge \dots \wedge \mathbf{v}_{i-1} \wedge \mathbf{r} \wedge \mathbf{v}_{i+1} \wedge \dots \wedge \mathbf{v}_n \quad \{38\}$$

$$\Rightarrow d_i = (\mathbf{v}_1 \wedge \mathbf{v}_2 \wedge \dots \wedge \mathbf{v}_n)^{-1} (\mathbf{v}_1 \wedge \mathbf{v}_2 \wedge \dots \wedge \mathbf{v}_{i-1} \wedge \mathbf{r} \wedge \mathbf{v}_{i+1} \wedge \dots \wedge \mathbf{v}_n) \quad \{39\}$$

Die Matrizenmultiplikation {2}

$$\mathbf{A} \vec{x} = \mathbf{A} \sum_{i=1}^n c_i \vec{v}_i = \sum_{i=1}^n c_i \lambda_i \vec{v}_i = \vec{r} \quad \{40\}$$

wird in der Geometrischen Algebra dann durch eine einfache Modifikation der Koeffizienten

$$d_i = c_i \lambda_i \quad \{41\}$$

errechnet, so dass der resultierende Vektor \mathbf{r} als

$$\mathbf{r} = \sum_{i=1}^n c_i \lambda_i \mathbf{v}_i \quad \{42\}$$

geschrieben wird.

8. Lösung Linearer Gleichungssysteme

Wesentliches Lernziel der einführenden Kurse in den Pool-Veranstaltungen zur Wirtschaftsmathematik an der HWR Berlin ist nicht, die Mathematik von Eigenwertproblemen zu vermitteln, sondern die bereits angesprochene Methodenvielfalt im Bereich der Lösung Linearer Gleichungssysteme umzusetzen.

Primäres Ziel des hier vorgestellten Unterrichtsansatzes muss deshalb sein, neben den zuvor mit den Studierenden behandelten Lösungsstrategien auf Grundlage von Cramer, Grassmann und Gauß Lineare Gleichungssystem mit Hilfe von Eigenwerten und Eigenvektoren zu lösen. Wenn Eigenwerte und Eigenvektoren bekannt sind, wird diese Lösung zu einer starken konzeptuellen Alternative.

Diese Situation ist gerade auch für den physikalischen Bereich interessant, wenn in Experimenten die einzelnen Änderungsraten (damit die konstituierenden Elemente der Matrix \mathbf{A} von Gl. {2}) nur schwer oder nur mit großen Fehlern behaftet bestimmt werden können, die Eigenwertinformation jedoch sehr genau und experimentell leicht zugänglich ermittelt werden kann.

Ist der resultierende Vektor \mathbf{r} gegeben und wird der Vektor \mathbf{x} gesucht, kann die Lösung dieses Linearen Gleichungssystems {40} in Analogie zu den Gleichungen {41} und {42} durch Division der Koeffizienten d_i durch die Eigenwerte λ_i

$$c_i = \frac{d_i}{\lambda_i} \quad \{43\}$$

sehr leicht errechnet werden. Der gesuchte Vektor \mathbf{x} ergibt sich dann zu

$$\mathbf{r} = \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{\lambda_i} \mathbf{v}_i \quad \{44\}$$

Sollten Eigenwerte und Eigenvektoren also nicht erst ermittelt werden müssen, sondern bereits bekannt sein, ist diese Art der Lösung Linearer Gleichungssysteme die bei Weitem einfachste.

9. Beispiel: Das Tankstellenproblem (Teil II)

Diese Situation ist nun im zweiten Teil des Tankstellenproblems gegeben. Eigenwerte {25} und Eigenvektoren {29} liegen vor (siehe Abschnitt 5) und

können zur Lösung der zweiten Teilaufgabe herangezogen werden.

Der gegebene Vektor \mathbf{y} der Marktanteile vier Monate nach der Werbekampagne lautet in der Geometrischen Algebra:

$$\mathbf{y} = 0,3773 \sigma_x + 0,4352 \sigma_y + 0,1875 \sigma_z \quad \{45\}$$

Mit Hilfe von Gl. {37} können die entsprechenden Eigenvektorkoeffizienten

$$d_1 = (\mathbf{v}_1 \wedge \mathbf{v}_2 \wedge \mathbf{v}_3)^{-1} (\mathbf{y} \wedge \mathbf{v}_2 \wedge \mathbf{v}_3) = 0,1000 \quad \{46\}$$

$$d_2 = (\mathbf{v}_1 \wedge \mathbf{v}_2 \wedge \mathbf{v}_3)^{-1} (\mathbf{v}_1 \wedge \mathbf{y} \wedge \mathbf{v}_3) = 0,0648 \quad \{47\}$$

$$d_3 = (\mathbf{v}_1 \wedge \mathbf{v}_2 \wedge \mathbf{v}_3)^{-1} (\mathbf{v}_1 \wedge \mathbf{v}_2 \wedge \mathbf{y}) = 0,0125 \quad \{48\}$$

ermittelt werden. Der Vektor der Marktanteile vier Monate nach der Werbekampagne kann somit als folgende Linearkombination der Eigenvektoren geschrieben werden:

$$\mathbf{y} = 0,1000 \mathbf{v}_1 + 0,0648 \mathbf{v}_2 + 0,0125 \mathbf{v}_3 \quad \{49\}$$

Gemäß Gl. {43} kann nun mittels einfacher Division der Eigenvektorkoeffizienten durch die 3. Potenz der Eigenwerte

$$c_1 = \frac{d_1}{\lambda_1^3} = \frac{0,1000}{1^3} = 0,1 \quad \{50\}$$

$$c_2 = \frac{d_2}{\lambda_2^3} = \frac{0,0648}{0,6^3} = 0,3 \quad \{51\}$$

$$c_3 = \frac{d_3}{\lambda_3^3} = \frac{0,0125}{0,5^3} = 0,1 \quad \{52\}$$

das Lineare Gleichungssystem $\mathbf{A}^3 \bar{\mathbf{x}} = \bar{\mathbf{y}}$ gelöst werden. Der Vektor \mathbf{x} der Marktanteile einen Monat nach der Werbekampagne lautet somit:

$$\begin{aligned} \mathbf{x} &= 0,1 \mathbf{v}_1 + 0,3 \mathbf{v}_2 + 0,1 \mathbf{v}_3 \\ &= 0,7 \sigma_x + 0,2 \sigma_y + 0,1 \sigma_z \end{aligned} \quad \{53\}$$

Einen Monat nach der Anzeigenkampagne von Tankstelle A hatte Tankstelle A einen Marktanteil von 70 %, Tankstelle B einen Marktanteil von 20 % und Tankstelle C einen Marktanteil von 10 %.

10. Umsetzung im Rahmen der HWR-Kursdurchführung

Da in den Wintersemestern an der HWR Berlin traditionell mehr Zeit für die Kursdurchführung zur Verfügung steht als in den Sommersemestern (es werden Lehraufträge über 76 Semesterstunden vergeben, während in Sommersemestern nur maximal 68 Stunden à 45 Min. vorgesehen sind), kann der Unterrichtsstoff in den zusätzlichen zwei Kursterminen zu je vier Semesterstunden um weitere Themengebiete ergänzt werden.

Wie bereits in der Einleitung dargelegt, wurde diese zusätzliche Vorlesungszeit im WS 2016/2017 genutzt, um im englischsprachigen Wirtschaftsmathematik-Kurs (Mathematics for Business and Economics, Modulbeschreibung siehe [22]) den hier vorgestellten Ansatz zur Eigenwert-Mathematik auf

Grundlage der Geometrischen Algebra mit den Studierenden zu erarbeiten.

Dabei wurden die Grundlagen der Geometrischen Algebra zuvor mit den Studierenden in jeweils ca. 20-minütigen Sequenzen zu Beginn der vorangegangenen Kurstermine in Form einer „Aufwärmphase mit moderner Mathematik“ erarbeitet. Diese knappen Einführungsphasen umfassten inhaltlich in etwa die didaktisch reduzierte „Geometrische Algebra im Schnelldurchgang“ des MSB-Kurses [7], [8] vom Sommersemester 2015.

Für die Erarbeitung der Eigenwert-Mathematik stand dann ein Kurstermin von vier Vorlesungsstunden zur Verfügung. Die Erarbeitung der Inhalte folgte in ihrer Struktur den beigelegten OHP-Folien [24].

Aus zeitlichen Gründen erfolgte dabei eine Konzentration auf die Eigenwert-Mathematik von (2 x 2)- und (3 x 3)-Matrizen. Im Kurstermin konnte so nur das Problem der Materialverflechtung an Halloween („Halloween Product Engineering Problem“) [24, S. 9 – 27, S. 83 – 86, S. 97 – 99] und das eben beschriebene Tankstellenproblem [24, S. 30 – 49, S. 52 – 60, S. 87 – 91, S. 100 – 105] ausführlicher mit den Studierenden durchgearbeitet werden, während die Eigenwert-Problematik der (4 x 4)-Dreiecksmatrix [24, S. 70 – 75, S. 92 – 95, S. 106 – 108] den Studierenden für eine vertiefende häuslichen Erarbeitung zur Verfügung gestellt wurde.

The Mathematical Significance of Eigenvalues and Eigenvectors

Why have mathematicians invented (or tried hard to discover) the mathematics of eigenvalues and eigenvectors?

The starting point was matrix algebra: We want to analyze and understand, how a vector \mathbf{x} changes or transforms and becomes a new vector \mathbf{y} :

$$\mathbf{x} \longrightarrow \mathbf{y}$$

This transformation can (often) be modeled by a matrix pre-multiplication:

$$\mathbf{A} \mathbf{x} = \mathbf{y}$$

Therefore we (and other mathematicians) are interested in the action of matrices on vectors.

But if we know all of the eigenvalue and eigenvector information about a matrix, we are able to determine its full behavior on any vector without knowing the matrix.

Abb.3: Seite 76 der OHP-Folien [24] zu Eigenwerten und Eigenvektoren im Rahmen der Geometrischen Algebra.

Das wesentliche Ergebnis dieser Erarbeitung lautet, dass eine solche Kursdurchführung problemlos möglich ist. Mit Fachhochschulstudierenden kann auch in Anfangssemestern eine anwendungsbezogene Mathematik der Eigenwerte und Eigenvektoren auf Grundlage der Geometrischen Algebra vertieft diskutiert werden. Voraussetzung dafür allerdings ist, dass

- bei den Studierenden Grundkenntnisse zur Linearen Algebra und insbesondere zur Matrizenrechnung vorhanden sind,
- die Geometrische Algebra zuvor mit den Studierenden behandelt und eingeübt wurde,
- entsprechende zeitliche Ressourcen zur Verfügung stehen.

Neben der Implementation geometrisch-algebraischer Denk- und Argumentationsmuster wurde dabei mit den Studierenden auch die konzeptuelle Positionierung und das innere logisch-strukturelle Zusammenspiel der Eigenwertproblematik im Gesamtgefüge der Mathematik hinterfragt, wie dies die eingesetzten Folien (Abb. 3 & 4) zeigen.

The Mathematical Significance of Eigenvalues and Eigenvectors

That's the main point:

If all of the eigenvalue and eigenvector information about a matrix is known, it is possible to determine its full behavior on any vector.

Whatever can be done mathematically by a matrix can be done without this matrix by using its eigenvalues and eigenvectors.

If a mathematician does not like matrices, he or she simply shifts to eigenvectors and eigenvalues. He or she can do all matrix calculations without matrices by using the eigenvalue and eigenvector information only.

In addition, the mathematical beauty and strength of eigenvector and eigenvalue calculations is convincing: Many calculations are less complicated if eigenvectors and eigenvalues are applied.

Modern Linear Algebra: Eigenvalues and Eigenvectors (OHP Slides M. HORN) 77

Abb.4: Seite 77 der OHP-Folien [24] zu Eigenwerten und Eigenvektoren im Rahmen der Geometrischen Algebra.

Obleich die dabei erreichte Argumentationstiefe nicht sonderlich herausfordernd scheint, ist doch zu erwähnen, dass nicht alle Studierenden dieses Fachhochschulkurses den Schritt von einer interessierten Kenntnisnahme zu einem tatsächlich selbständigen und aktiven mathematischen Umgang mit der Eigenwert-Problematik gegangen sind.

Ein Teil der Studierenden, die sich in den Anfangssemestern auch immer mit dem Problem der eigenen akademischen Selbst- und Zielfindung konfrontiert sehen, scheint es ausreichend, im Kontext der Linearen Algebra die Mindestanforderungen einer möglichen Klausur zu erfüllen. Mathematische Ansätze, die über diese Mindestanforderungen hinausgehen, bedingen eine gewisse akademische Neugier.

Und so ist es auch ein Ziel dieses Ansatzes zur geometrisch-algebraischen Fassung der Eigenwert-Problematik, diese akademische Neugier und eine kreative Offenheit für eine methodische Vielfalt zu wecken.

11. Literatur

- [1] Horn, Martin Erik (2015): Lineare Algebra in physikdidaktischer Ausprägung. In: PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung des Fachverbands Didaktik der Physik in Wuppertal 2015, Url [17.12.2015]: <http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/626>.
- [2] Horn, Martin Erik (2014): Modern Linear Algebra. A Geometric Algebra Crash Course. Part I: Basics & Introduction. OHP-Folien des Kurses „Mathematics for Business and Economics“ (Stand: 31. Dez. 2014), LV-Nr. 200 691.01, Hochschule für Wirtschaft und Recht Berlin / Berlin School of Economics and Law, Wintersemester 2014/2015. Veröffentlicht als Anhang des Beitrags [1], Url [17.12.2015]: <http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/626/794>.
- [3] Horn, Martin Erik (2014): Modern Linear Algebra. A Geometric Algebra Crash Course. Part II: Solving Systems of Linear Equations. OHP-Folien des Kurses „Mathematics for Business and Economics“ (Stand: 31. Dez. 2014), LV-Nr. 200 691.01, Hochschule für Wirtschaft und Recht Berlin / Berlin School of Economics and Law, Wintersemester 2014/2015. Veröffentlicht als Anhang des Beitrags [1], Url [17.12.2015]: <http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/626/795>.
- [4] Horn, Martin Erik (2015): Modern Linear Algebra. A Geometric Algebra Crash Course. Part III: The Direct Product & Solving Higher-Dimensional Systems of Linear Equations. OHP-Folien des Kurses „Mathematics for Business and Economics“ (Stand: 28. Jan. 2015), LV-Nr. 200 691.01, Hochschule für Wirtschaft und Recht Berlin / Berlin School of Economics and Law, Wintersemester 2014/2015. Veröffentlicht als Anhang des Beitrags [1], Url [17.12.2015]: <http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/626/796>.
- [5] Horn, Martin Erik (2016): Physikdidaktische Interpretation des Gaußschen Algorithmus. PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung in Hannover 2016. Url [17.12.

- 2016]: www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/727.
- [6] Horn, Martin Erik (2016): Modern Linear Algebra. A Geometric Algebra Crash Course. Part IV: Transformation of Coordinates & Gaussian Method of Solving a System of Linear Equations. OHP-Folien des Kurses „Mathematics for Business and Economics“ (Stand: 28. Jan. 2016), LV-Nr. 200 691.01, Hochschule für Wirtschaft und Recht Berlin / Berlin School of Economics and Law, Wintersemester 2015/2016. Veröffentlicht als Anhang des Beitrags [5], Url [17.12.2016]: <http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/727/892>.
- [7] Horn, Martin Erik (2016): Die Geometrische Algebra im Schnelldurchgang. Phy Did B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrs-tagung in Hannover 2016. Url [17.12.2016]: <http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/723>.
- [8] Horn, Martin Erik (2015): Moderne Lineare Algebra – Ein Überblick (Stand: 28. Juni 2015). OHP-Folien des Kurses „Mathematik und Statistik“, Modul M 22 des Studiengangs Medical Controlling and Management, Medical School Berlin – Hochschule für Gesundheit und Medizin, Sommersemester 2015. Veröffentlicht als Anhang des Beitrags [7], Url [17.12.2016]: <http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/723/866>.
- [9] Horn, Martin Erik (2016): Moderne Lineare Algebra im wirtschaftsmathematischen Kontext. In: Walther Paravicini, Jörn Schnieder (Hrsg.): Hanse-Kolloquium zur Hochschuldidaktik der Mathematik 2015. Beiträge zum gleichnamigen Kolloquium an der Universität zu Lübeck, S. 103-129. Münster: WTM-Verlag.
- [10] Horn, Martin Erik (2017): Lösung einer Aufgabe zu Linearen Gleichungssystemen aus der Han-Dynastie mit GAALOP als Taschenrechner-Ersatz. Zur Veröffentlichung vorgesehen in: BzMU – Beiträge zum Mathematikunterricht 2017. Münster: WTM-Verlag.
- [11] Grassmann, Hermann (1844): Die Wissenschaft der extensiven Größe oder die Ausdehnungslehre, eine neue mathematische Disciplin. Erster Theil, die lineale Ausdehnungslehre enthaltend. Leipzig: Verlag von Otto Wigand.
- [12] Peirce, Charles Sanders (1877): Note on Grassmann's Calculus of Extension. In: Proceedings of the American Academy of Arts and Sciences, Vol. 13 (gelesen am 10. Okt. 1877), S. 115-116.
- [13] Gull, Stephan; Lasenby, Anthony; Doran, Chris (1993): Imaginary Numbers are not Real – The Geometric Algebra of Spacetime. In: Foundations of Physics, Vol. 23, No. 9, S. 1175-1201.
- [14] Schmidt, Karsten; Trenkler, Götz (2015): Einführung in die Moderne Matrix-Algebra. Mit Anwendungen in der Statistik. 3. Auflage, Berlin, Heidelberg: Springer/Gabler.
- [15] Vince, John (2012): Matrix Transforms for Computer Games and Animation. London: Springer-Verlag.
- [16] Stöppler, Siegmund (1972): Mathematik für Wirtschaftswissenschaftler: Lineare Algebra und ökonomische Anwendung. Uni-Taschenbücher/UTB 186, Opladen: Westdeutscher Verlag.
- [17] Aleskerov, Fuad; Ersel, Hasan; Piontkovski, Dimitri (2011): Linear Algebra for Economists. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- [18] Lipschutz, Seymour; Lipson, Marc Lars (2009): Linear Algebra. Schaum's Outline Series, 4. Auflage, New York, Chicago: McGraw-Hill.
- [19] Dowling, Edward Thomas (2001): Introduction to Mathematical Economics. Schaum's Outline Series, 3. Auflage. Chap. 12: Special Determinants and Matrices and Their Use in Economics. 3. New York, San Francisco: McGraw-Hill.
- [20] Sterling; Mary Jane (2009): Linear Algebra for Dummies. Indianapolis, Indiana: Wiley.
- [21] Anton, Howard; Rorres, Chris (2010): Elementary Linear Algebra. 10. Auflage. Hoboken, New Jersey: Wiley.
- [22] HWR Berlin (2016): Elektronisches Vorlesungsverzeichnis der Hochschule für Wirtschaft und Recht Berlin, Wintersemester 2016/2017. Url [30. Okt. 2016]: <https://campus4u.hwr-berlin.de>.

Dem Beitrag beigefügte Dateien

- [23] Horn, Martin Erik (2017): Poster DD 02.01, ‚Eigenwerte und Eigenvektoren aus geometrisch-algebraischer Perspektive‘ vom 20. März 2017, siehe auch: Verhandl. DPG (VI) 52, 2 (2017), Url [01. März 2017]: www.dpg-verhandlungen.de/year/2017/conference/dresden/part/dd/session/2/contribution/1.
- [24] Horn, Martin Erik (2016): Modern Linear Algebra. A Geometric Algebra Crash Course. Part V: Eigenvalues and Eigenvectors. OHP-Folien des Kurses „Mathematics for Business and Economics“ (Stand: 28. Nov. 2016), LV-Nr. 200 691.01, Hochschule für Wirtschaft und Recht Berlin / Berlin School of Economics and Law, Wintersemester 2016/2017.

Physics by Inquiry – Ein Konzept zur Einführung in die Physik

Lutz Kasper

PH Schwäbisch Gmünd – Abteilung Physik
lutz.kasper@ph-gmuend.de

Kurzfassung

Unter dem Label *Inquiry-based* sind in den letzten Jahren diverse Lehrkonzepte entwickelt worden. Der hier vorgestellte Lehransatz hat sogar eine Entwicklungsgeschichte, die bis in die 1970er Jahre zurückreicht. Gleichwohl sind *Physics by Inquiry* wie auch Arnold Arons, auf dessen Grundideen der Ansatz beruht, im deutschsprachigen Raum wenig bekannt. Die klare Zielstellung besteht in der Verbesserung des konzeptuellen Physikverständnisses von Studienanfängern. Die hervorstechenden Merkmale sind eine Betonung operationalen Wissens, das Prinzip, physikalische Konzepte in experimenteller Arbeit und unter Verwendung von Alltagssprache zu entwickeln, um es erst dann in Fachtermini zu fassen (*ideas first, name later*) sowie die aus den Experimenten sich ergebende Notwendigkeit einer intensiven Auseinandersetzung mit Messunsicherheiten. Der vorliegende Artikel beschreibt beispielhaft Facetten dieses Lehrkonzeptes und versucht die Relevanz für die Hochschulausbildung insbesondere in den Lehramtsstudiengängen aufzuzeigen.

1. Einführung

Das hier beschriebene Konzept „Physics by Inquiry“ geht im Wesentlichen auf die Arbeiten des US-amerikanischen Physikers und Physikdidaktikers Arnold B. Arons zurück [1], [2], der sich wiederum in seiner didaktischen Entwicklung stark von Sokrates, Plato und Piaget beeinflussen ließ. Arons beklagte nach jahrelanger Lehrerfahrung ein mangelndes Verständnis physikalischer Konzepte bei Studierenden und führte es vor allem auf die „Normalform“ der Physikvermittlung zurück, welche traditionell durch den Stil des „teaching by telling“ geprägt ist. In diesem Modus findet ein zu geringer Anteil an verbaler Interpretation von Experimenten, Berechnungen oder grafischen Darstellungen durch die Studierenden selbst statt. Natürlich gibt es in Studiengängen mit oft dreistelligen Studierendenzahlen in den ersten Semestern nachvollziehbare Gründe für eine solche Form des Lehrens. Anders sieht es aber in den Lehramtsstudiengängen aus, deren Jahrgangsgrößen oft „handlich“ genug sind für eine zur reinen Vorlesung alternativen Lehrform. Eine solche Methode wird in diesem Artikel beschrieben und als geeignet gesehen für die fachwissenschaftlichen Einführungsveranstaltungen in der Ausbildung von Physik- und Naturwissenschaftslehrkräften insbesondere in den Lehramtsstudiengängen Primarstufe und Sekundarstufe I. Die vorrangige Zielstellung dieses Lehransatzes besteht darin, die von Arons beklagten Lücken im konzeptuellen Physikverständnis zu Beginn des Studiums erst gar nicht aufreißen zu lassen. Einen überzeugenden Erfolg von *Physics by Inquiry* kann der Autor hier lediglich auf der Basis der Lehrerfahrungen eines von ihm an einer US-Universität einsemestrig durchgeführten Kurses und der damit verbundenen Leistungsüberprüfungen und Lehrevaluation bestäti-

gen. Verallgemeinerungen der hier gemachten Aussagen wären insofern nicht angemessen.

2. Grundpfeiler des Lehrkonzeptes

Das Lehrkonzept *Physics by Inquiry* ist aus der Perspektive des Jahres 2017 längst keine didaktische Neuerung mehr. Seine prägnanten Merkmale sind – jedes für sich gesehen – wohlbekannte wie auch anerkannte Gütekennzeichen fachdidaktischer Arbeit. In der konsistenten und aufeinander abgestimmten Bündelung dieser Merkmale sowie ihrer konsequenten Umsetzung weist das Konzept dennoch eine didaktische Insellage auf. Das gilt sowohl für die Physikausbildung in den USA als auch in Deutschland.

Die das Lehrkonzept bestimmenden Merkmale werden aus der Zielstellung eines verbesserten konzeptuellen Verständnisses von Physik abgeleitet. Einen der tragenden Grundpfeiler bildet dabei die Betonung eines *operational knowledge*, zu dem die konsequente Verwendung *operationaler Definitionen* physikalischer Begriffe und Konzepte beiträgt. Zur Illustration kann hier das eher triviale Beispiel des (physikalischen) Konzeptes „Fläche“ dienen. Bei aller Einfachheit hat der Flächenbegriff in der Physik eine grundlegende Bedeutung für darauf aufbauende Konzepte wie Druck, Energiefluss, magnetischer Fluss, Systemgrenzen, etc. Das Flächenkonzept trägt weiterhin Bedeutung für die Interpretation grafischer Darstellungen wie z.B. die Bestimmung der Geschwindigkeit aus $a(t)$ -Diagrammen bis hin zum allgemeinen Integralbegriff. An Stelle der von Lernenden schnell hingesagten „Länge-mal-Breite-Definition“, die im Allgemeinen nicht weiterhilft, lässt sich für die Fläche eine allgemein taugliche operationale Definition erarbeiten.

Die Grundidee der operationalen Definitionen ist es, dass sie auf gemeinsam gemachten und reproduzierbaren Erfahrungen (z.B. Messungen) beruhen und zunächst in möglichst einfachen Worten formuliert werden. Im Abschnitt 4.2 wird darauf näher eingegangen. Auf fortgeschrittenen Stufen kann dann zunehmend eine veränderte Sprache gewählt werden, die wiederum auf anderen, bereits bekannten fachlichen Konzepten beruht. Das Wesen des zu definierenden Objektes steckt jedoch nicht in dessen Fachterminus. Ergibt sich auf diese Weise die Definition eines z.B. für experimentelle Vorhersagen geeigneten und damit nützlichen physikalischen Konstruktes, kann ihm ein Name gegeben werden, nachdem man es sich erarbeitet und verstanden hat. Mit dieser Vorgehensweise ist das Merkmal „*idea first, name later*“ verbunden (siehe Abschnitt 4.1).

Operationale Definitionen stellen im Allgemeinen Messvorschriften dar und führen deshalb schnell auf das prinzipielle Problem der *Messunsicherheit*, welches in diesem Lehrkonzept eine erkennbare Betonung erfährt (siehe Abschnitt 4.4). Darüber hinaus wird der verbalen und grafischen Interpretation funktionaler Zusammenhänge in der Physik (*proportional reasoning*) viel Raum gegeben (siehe Abschnitt 4.3).

Neben solchen fach-methodischen Merkmalen kennzeichnen das Lehrkonzept auch Merkmale allgemeindidaktischer Art. So werden aus dem Ziel der Förderung konzeptuellen Wissens die Notwendigkeit möglichst häufiger und vielfältiger verbaler Interpretationen (von Experimenten, mathematischen Zusammenhängen, etc.) sowie wechselseitige Übersetzungen zwischen verschiedenen Repräsentationsformen abgeleitet. Dafür bestehen einerseits Gelegenheiten für die Studierenden untereinander in den Gruppenphasen sowie zwischen den Studierenden und Lehrenden in den Feedbackphasen. Letztere orientieren sich im Idealfall an der Methode des *sokratischen Dialoges* und stellen damit hohe Anforderungen an die Lehrenden (siehe folgenden Abschnitt 3).

Die Umsetzung aller bis hierhin genannten Merkmale von *Physics by Inquiry* setzt voraus, dass das Lernen ohne übermäßigen inhaltlichen Druck erfolgt. Das kann nur gelingen, wenn im Vergleich zu traditionellen Einführungskursen in die Physik eine deutliche Reduzierung der Inhalte bzw. des Lerntempo erfolgt. Arons beschreibt sehr pointiert die Inhaltsfülle vieler Physikcurricula in folgendem Zitat [3]: „*The relativistic model of instruction is based on the premise that, if one starts with an enormous breadth of subject matter but passes it by the student at sufficiently high velocity, the Lorentz contraction will shorten it to the point at which it drops into the hole which is the student mind.*“

Für den durch Reduktion erlittenen Tempoverlust steht ein sicher kleineres, aber dafür solide begründetes konzeptuelles Grundgerüst in Aussicht, auf

dem in der Folge dann auch ein zügigerer Fortschritt erreicht werden kann.

3. Universitäre Praxis – ein Beispiel

Im Folgenden werden aus der Sicht eines Lehrenden einige Eckdaten der Umsetzung von *Physics by Inquiry* im Fallsemester (August bis Dezember) 2016 an der Grand Valley State University (GVSU) in Michigan vorgestellt. Der Autor hatte die Gelegenheit, im Rahmen einer Gastprofessur u.a. diesen Kurs zur Einführung in die Physik als kollaborativ durchgeführte Lehrveranstaltung gemeinsam mit einem Kollegen aus dem GVSU Physics Department durchzuführen.

Die Adressaten der Lehrveranstaltung sind hauptsächlich Studierende, die einen Abschluss als *Pre-College Teacher* in den Fächern Physik oder *Integrated Sciences* anstreben. Darüber hinaus nehmen auch einige wenige Studierende anderer Fachrichtungen im Rahmen eines *Liberal Arts* Studiums an diesem Kurs teil. Die Teilnehmer sind – bedingt durch die Laborraumgröße und vor allem wegen des besonderen Lehrkonzeptes – auf eine Anzahl von 24 begrenzt. Die außergewöhnlich umfangreiche Präsenzzeit beträgt wöchentlich drei mal 110 Minuten. Darüber hinaus müssen die Studierenden wöchentliche (benotete) Hausaufgaben bearbeiten, einen thematisch einschlägigen Essay verfassen sowie drei Tests absolvieren. Damit geht neben der Präsenzzeit auch ein erheblicher häuslicher Arbeitsaufwand einher.

Die Arbeit während der Lehrveranstaltung findet grundsätzlich immer in Gruppen zu drei oder vier Studierenden statt. Nach dem Prinzip *Guided Inquiry* erarbeiten sich die Studierenden anhand eines Textbooks [4] die zentralen Inhalte selbst. Dabei kommt den zahlreichen Experimenten mit oft einfachem Material eine Schlüsselrolle zu. Deren Planung und Interpretation findet in permanentem Austausch innerhalb der Gruppe statt. An den in regelmäßigen Abständen festgelegten so genannten *Checkouts*, die im Begleitmaterial gekennzeichnet sind, unterbrechen die Gruppen die Fortführung und es kommt zum Austausch mit einer Lehrkraft. An diesen Schlüsselstellen erfolgt ein fruchtbares Feedback in beiden Richtungen. Die Studierenden können ihr bis dahin erlangtes Verständnis im Dialog mit der Lehrkraft überprüfen und gegebenenfalls korrigieren. Die Lehrkraft erhält ihrerseits ein Bild vom Stand des Lernfortschritts in den einzelnen Gruppen. Diese Checkouts gehen jedoch über ein einfaches „Mini-Testat“ hinaus und erfolgen im Idealfall in sokratischer Weise. Typische und immer wiederkehrende Fragemuster und Impulse dieser Dialogphasen sind die Folgenden: „Beschreibe das Phänomen in deinen Worten!“, „Schätze die Größe des Effekts ab.“; „Wie können wir das wissen?“; „Warum glauben wir das?“; „Was würde geschehen, wenn ...?“; „Welche Informationen fehlen?“; „Kehre den Gedankengang einmal um.“

Neben dem Bereitstellen von Material und einer ggf. notwendigen Unterstützung beim experimentellen Arbeiten der Studierenden besteht die Arbeit der Lehrenden während der Präsenzzeit in genau diesen Checkout-Dialogen. Dies setzt eine gute Kenntnis von Studierenden-Präkonzepten, eine Antizipation möglicher Fallstricke des Lerninhaltes, eine gewisse Flexibilität bei der Bewertung unorthodoxer Lösungsvorschläge sowie die generelle Bereitschaft zur „Zurückhaltung“ im Lehrprozess voraus. Damit ist vor allem gemeint, im Anschluss an die Frageimpulse den Studierenden sorgfältig zuzuhören, ihnen „Denkpausen“ einzuräumen und selbst gegebene richtige Antworten zu vermeiden. Nur dann können von den Lehrenden tatsächlich auch latent vorhandene Fehlkonzepte und fehlerhafte Schlussweisen wahrgenommen werden.

In einem gewissen Rahmen bestimmen die Studierenden ihr Lerntempo selbst. Auch das gehört zum Konzept von *Physics by Inquiry*, erfordert dafür aber auch eine erhebliche Reduktion des Lehrstoffes. So wurden trotz des reichlichen Präsenzzeit-Aufwandes nur einige Themen aus der Mechanik und der Thermodynamik abgeschlossen. Allerdings wurden neben den konkreten Fachinhalten, und das ist gerade zu Beginn der Physikausbildung von besonderem Wert, auch fachmethodische Konzepte wie das Erstellen operationaler Definitionen (siehe 4.2), die Unterscheidung abhängiger und unabhängiger Variablen, die Interpretation funktionaler Zusammenhänge (siehe 4.3), der Umgang mit wissenschaftlichen Repräsentationen (Diagrammen, Tabellen, ...) und die Kenntnis prinzipiell vorhandener Messunsicherheiten (siehe 4.4) stark betont. Damit stehen die Studierenden auf einer konzeptuellen Basis, die sie sich anhand einfacher fachlicher Inhalte selbst erarbeitet haben und auf der sie im weiteren Verlauf ihres Studiums aufbauen können.

4. Beschreibung ausgewählter Prinzipien

4.1. „Ideas first – name later“

Dieses Prinzip wird im Folgenden beispielhaft in Anlehnung an die Einführung des Begriffs „Drehmoment“ (*turning effect*) an Balkenwaagen ($m \cdot r$) vorgestellt. Dabei steht m für die Masse von Probekörpern, r für deren Abstand vom Drehpunkt der Waage. Die Erweiterung des Begriffs führt schließlich zum Drehmoment ($F \cdot r$ bzw. $\mathbf{r} \times \mathbf{F}$).

Traditionell beginnt die Einführung eines neuen physikalischen Konzeptes mit der Nennung von Fachtermini (oft bereits in Überschrift). Es folgen dann mathematische Formulierungen sowie Anwendungen in verschiedenen Kontexten. Studierende haben auf diesem Weg jedoch oft Probleme mit einem grundlegenden Verständnis und auch mit einer Verknüpfung mit passenden Phänomenen. Im Fall des Drehmoments erfolgt die Einführung oft zu schnell, so dass eine Verbindung von Begriff und eigenen Erfahrungen der Studierenden fehlt (vgl. z.B. [1], S. 131). Für diese Studierenden erscheint

ein experimenteller Weg über die Beschreibung der Gleichgewichtsbedingung an Balkenwaagen als Verhältnisse der Art $m_1/m_2 = r_2/r_1$ und schließlich als Produkt $m_1 \cdot r_1 = m_2 \cdot r_2$ hilfreich. Das Produkt $m \cdot r$ kann dann als ein „Effekt“ (der Dreheffekt) interpretiert werden, der jeder Seite der Balkenwaage zugeordnet wird ([1], S. 132).

In der experimentellen Fortführung dieser Idee erscheinen dann mehrere verschiedene Massestücke in verschiedenen Abständen auf einer oder beiden Seiten der Balkenwaage. In der Ausführung als „Lochbalkenwaage“ (siehe Abb. 1) lassen sich problemlos viele Varianten umsetzen. Das Ziel ist dann die Erarbeitung der Gleichgewichtsbedingung in der verallgemeinerten Darstellung des Dreheffektes als

$$\sum (m_{\text{links}} \cdot r_{\text{links}}) = \sum (m_{\text{rechts}} \cdot r_{\text{rechts}}) \quad (1)$$

Haben die Studierenden die Nützlichkeit dieses Zusammenhangs – etwa für Vorhersagen des Gleichgewichts für verschiedene Konstellationen an der Balkenwaage – erfahren, erfolgt eine Anwendung auf Alltagskontexte. Ein Übergang von Massen zu Gewichtskräften erlaubt dann die Diskussion von Angriffspunkten von Kräften, weiterhin die Winkelabhängigkeit und schließlich den vektoriellen Charakter des „Effektes“. Aufgrund seiner Nützlichkeit für viele physikalische (und natürlich alltägliche) Anwendungen erhält auch dieser Effekt seinen Namen, das *Drehmoment*:

$$\mathbf{M} = \sum \mathbf{r}_i \times \mathbf{F}_i \quad (2)$$

In einem solchen Ansatz, in dem sich Lernende neue physikalische Konzepte erarbeiten, für die sie im Allgemeinen keine Vorerfahrungen mitbringen, steht die „Idee“ am Anfang. Die Benennung erfolgt – in Übereinstimmung zur historischen Entwicklung – im Anschluss. Die Betonung im Lernprozess sollte auf der Idee liegen, für die der Fachterminus nicht mehr als ein Symbol ist.

4.2. Operationale Definition vs. Lexikondefinition

Im Zusammenhang mit der Einteilung von fachlichem Wissen in die Klassen „prozedurales Wissen“ (*operational knowledge*) und „deklaratives Wissen“ (*figurative knowledge*) wird bereits früh, ab den 1970er Jahren eine Überbetonung des letzteren und damit ein unzureichendes echtes Konzeptverständnis beklagt. Eine knappe Übersicht hierzu ist in [1], S. 347 ff. gegeben. Mit einer ähnlichen Argumentation wird das Faktenwissen als „träges Wissen“ angesehen, das mit dem Ziel einer angestrebten Handlungskompetenz in „Handlungswissen“ zu überführen ist. Als Weg dorthin kann eine „fortgesetzte Prozeduralisierung“ gesehen werden, durch die (Fakten-)Wissen in „Können“ übergeht ([6], S. 76). Folgt man konsequent diesem Gedanken der Prozeduralisierung, gelangt man zu einer operationalisierten Beschreibung physikalischer Begriffe und Konzepte, bei der weniger die Eigenschaften eines Konzeptes im Fokus stehen (das wäre dann eine „Lexi-

kon-Definition“), sondern durchführbare Handlungen.

Die Betonung operationaler Definitionen im Rahmen von *Physics by Inquiry* wirft Fragen nach weiteren Eigenschaften dieses Definitionstypus auf. Bortz/Döring nennen mit Bezug auf die Physik die folgenden Merkmale ([7], S. 62):

(1) *Die operationale Definition ist synonym mit einem korrespondierenden Satz von Operationen. (Der Begriff „Länge“ beinhaltet nicht mehr und nicht weniger als eine Reihe von Operationen, mit denen eine Länge ermittelt wird.)*

(2) *Ein Begriff sollte nicht bezüglich seiner Eigenschaften, sondern bezüglich der mit ihm verbundenen Operationen definiert werden.*

(3) *Die wahre Bedeutung eines Begriffes findet man nicht, indem man beobachtet, was man über ihn sagt, sondern indem man registriert, was man mit ihm macht.*

Die unter (1) erwähnte „Reihe von Operationen“ lässt sich somit als Prozedur auffassen. Oft handelt es sich dabei um eine Mess-Prozedur. Durchaus in Analogie zu Computer-Prozeduren müssen somit auch operationale Definitionen bestimmte Kriterien erfüllen, wenn sie brauchbar sein sollen. Als einen Mindestkatalog lassen sich folgende Kriterien anführen: a) Ausführbarkeit (*executability*); b) Eindeutigkeit (*uniqueness*); c) Vollständigkeit (*completeness*) und d) Endlichkeit (*finiteness*) (vgl. [7], S. 1759).

Für das in der Einführung angesprochene einfache Beispiel des Flächenbegriffs gelingt eine allgemeingültige Definition mithilfe von „Länge mal Breite“ nicht. An diesem einfachen und allen Lernenden gut vertrauten Beispiel lässt sich das Prinzip der operationalen Definition sehr gut einführen mit der Frage: Wie gelangt man zum numerischen Wert für eine bestimmte Fläche? Das gelingt dadurch, dass man eine Einheitsfläche, etwa ein Einheitsquadrat, festlegt und die zu bestimmende Fläche vollständig mit den Einheitsflächen bedeckt. Anschließend werden die Einheitsflächen gezählt bzw. aufsummiert. Bei diesem Vorgehen wird ein weiterer grundlegender Aspekt sichtbar: Ein *restloses* Bedecken durch Einheitsflächen – so dass es „aufgeht“ – ist im Allgemeinen nicht möglich. Der Prozess erfordert ein Abschätzen von Bruchteilen der Einheitsfläche und zeigt den Lernenden, dass Messen immer mit Unsicherheiten verbunden ist. Auf diesen Aspekt wird im Abschnitt 4.4 näher eingegangen.

Das zweite Beispiel illustriert, wie die Studierenden im durchgeführten Kurs an die Thematik der operationalen Definitionen herangeführt wurden, nachdem sie in den ersten Tagen viel mit einer denkbar einfachen Loch-Balkenwaage (siehe Abb. 1) gearbeitet haben:

Geben Sie eine operationale Definition des Begriffs „Gleichgewicht“ (an einer Balkenwaage).

Nehmen Sie der Einfachheit halber an, dass den Adressaten Ihrer Definition das folgende Arbeitsmaterial zur Verfügung steht:

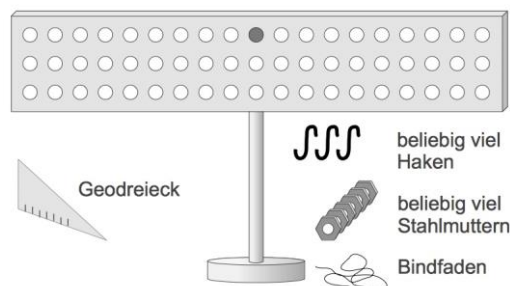


Abb.1: Material für Gleichgewichts-Definition

Wie zu erwarten, bereitet diese Aufgabe den Studierenden nur wenig Schwierigkeiten. Allerdings war die Allgemeingültigkeit ihrer Definitionen Gegenstand einiger Diskussionen und Korrekturen. Gilt die Definition auch dann, wenn man keine Informationen über die Ebenheit des Untergrunds hat? Die Notwendigkeit eines Lots musste teilweise in den Checkout-Dialogen herausgearbeitet werden.

Die operationale Definition des Gleichgewichts an der Balkenwaage kann im weiteren Verlauf als Bestandteil (als Teilprozedur) einer operationalen Definition für den Begriff der Masse dienen. Dieser wiederum wird benötigt, wenn später die Dichte von Körpern und Stoffen definiert wird, welche weiterhin eine Voraussetzung für die Definition des statischen Auftriebes ist. Auf diese Weise wird Studierenden bewusst, wie Fachbegriffen Bedeutung verliehen wird und dass Definitionen physikalischer Konzepte nicht „vom Himmel“ bzw. aus dem Lexikon fallen, sondern – zumindest prinzipiell – aus ausführbaren Operationen hervorgehen. Jeder Fachbegriff hat in diesem Sinn seine „Geschichte“, die zunächst in Alltagssprache „erzählt“ werden kann. Schließlich bildet das Verstehen um diese Zusammenhänge mithilfe einer Betonung operationaler Definitionen einen wesentlichen Teil von *Scientific Literacy*.

4.3. Denken in Verhältnissen (Proportionen)

Bereits seit den frühen 1970er Jahren wird in der US-amerikanischen physikdidaktischen Literatur beklagt, dass eine schwerwiegende Lücke in der kognitiven Entwicklung von Lernenden bis hin zum College-Eingangsniveau im Scheitern beim Schließen mithilfe von Proportionalitäten besteht. Einen knappen Überblick hierzu gibt Arons in [1], S. 4. Sehr aktuell ist auch die öffentliche Diskussion über das mathematische Niveau bundesdeutscher Studienanfänger. Die unbefriedigende Situation – es ist sogar von einer „Krise des Mathematikunterrichts“ die Rede – hat zu einem öffentlichen Brandbrief von 130 Experten geführt (vgl. [9]). Es kann demnach davon ausgegangen werden, dass auch deutschen Studienanfängern ein gründliches Arbeiten mit funk-

tionalen Zusammenhängen im Kontext der Physik nicht schadet. Proportionale Zusammenhänge tauchen in der einführenden Physik an sehr vielen Stellen auf, etwa beim Dichtebegriff, in den Bewegungsgesetzen, als Hooke'sche Federkonstante, etc.

Das Konzept von *Physics by Inquiry* begegnet diesen Schwierigkeiten durch explizite und sich durch den gesamten Lehrgang ziehende wiederholte Übungen zum verbalen Interpretieren und Begründen auf der Basis von Verhältnissen.

Ein sehr trivialer Fall einer solchen Interpretation ist die eines reinen Zahlenverhältnisses, also etwa: „Was bedeuten 522/3 oder 3/522? Nun ließe sich als Antwort die Rechenvorschrift anwenden und daraus der sich ergebenden Zahlenwert benennen. Für eine sorgfältigere Interpretation muss man sich aus den ersten Jahren des Mathematikunterrichts in Erinnerung rufen, dass wir zur Bestimmung von 522/3 eine „Abkürzung“ nehmen für das wiederholt nacheinander ausgeführte Subtrahieren der 3 von 522.

Von fast gleicher Einfachheit erscheint die Interpretation eines Verhältnisses zweier Größen, die mit der jeweils gleichen Einheit behaftet sind, also etwa $(522 \text{ cm}^3)/(500 \text{ cm}^3)$. Hierbei wird ein „Vergleich“ angestellt im Sinne von: Um wie viel ist das Volumen V_1 größer als V_0 ?

Schließlich haben wir es in der Physik häufig mit Verhältnissen von Größen zu tun, die nicht die gleiche Einheit tragen. Deren Interpretation ist jedoch insbesondere für Lernende nicht ohne Weiteres trivial. Was bedeuten $(17 \text{ g})/(5 \text{ cm}^3)$ oder $(5 \text{ m})/(2 \text{ s})$ oder $(9,81 \text{ m})/\text{s}^2$?

An diesen Stellen sind die Studierenden in *Physics by Inquiry* immer wieder explizit gefordert, klare und zunächst in Alltagssprache formulierte Interpretationen zu geben.

4.4. Are you certain? – Messunsicherheit von Anfang an

Dass der Thematik „Messunsicherheit“ eine wesentliche Bedeutung für eine empirische Wissenschaft innewohnt, ist unbestritten. Ist die Thematik aber auch von einer solchen Wichtigkeit, dass sie zu einem zentralen Anliegen in einer Physik-Anfängerveranstaltung wird?

Bei messenden experimentellen Arbeiten entstehen prinzipiell unvermeidbare und oft auch unvorhersehbare Messabweichungen. Das gilt umso mehr, wenn unerfahrene Studierende selbst experimentieren. Daraus ergibt sich ein Problemkomplex, der damit beginnt, dass die Lernenden in der Interpretation ihrer experimentellen Ergebnisse Schwierigkeiten haben, wahre Trends zu erkennen. Oder sie „erkennen“ in den Messreihen Trends dort, wo es sie nicht gibt. Dies führt zu Unsicherheiten und damit auch zu einem geringeren Maß an Selbstständigkeit beim experimentellen Arbeiten und begrenzt schließlich den eigentlich erreichbaren und beabsichtigten Entwicklungsfortschritt. Sind die Studie-

renden dagegen in der Lage, die von ihnen erzeugten Messreihen – in Kenntnis prinzipieller Messunsicherheit und unter Berücksichtigung konkreter, auf ihr Experiment bezogener Abschätzungen – angemessen zu beurteilen, ist mit einer Steigerung der Selbstständigkeit beim Experimentieren und auch des Autonomieerlebens der Studierenden zu rechnen.

Im Rahmen des Kurses *Physics by Inquiry* stoßen die Studierenden gleich zu Beginn auf die erforderliche Auseinandersetzung mit streuenden Messwerten. Nachdem die ersten operationalen Definitionen zum Gleichgewicht und anschließend daran zum Begriff der Masse anhand der simplen Loch-Balkenwaage erarbeitet sind, werden Massen mithilfe einer „kommerziellen“ Balkenwaage möglichst genau bestimmt. Dafür werden mithilfe einer lehrreichen Manipulation die Balkenwaagen aus dem Lehrmittelhandel in ihrer Anzeigenauigkeit deutlich verbessert. An einem ihrer Arme wird ein Reiter angebracht und mittels eines Kalibrierungsverfahrens lässt sich eine Messung dann in der Genauigkeit eines Bruchteils der ursprünglich vorhandenen kleinsten Wagemassen angeben (siehe Abb. 2).

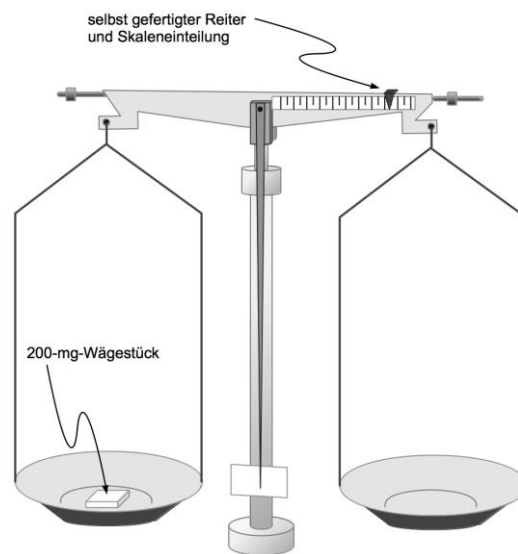


Abb.2: „Manipulierte“ Balkenwaage

Mithilfe dieser Eigenbau-„Präzisionswaage“ erhalten die Studierenden Messreihen mit einer deutlichen Streuung. Für Körper verschiedener Massen werden dann in statistisch vereinfachter Weise die Messunsicherheiten bestimmt und in der Form:

$$m = x \text{ g} \pm \Delta x \text{ g} \quad (3)$$

angegeben. Im weiteren Verlauf werden auch Volumina von Körpern möglichst genau und unter Berücksichtigung der für verschiedene Messzylinder ermittelten Messunsicherheiten bestimmt. Schließlich wird – wieder mithilfe einer operationalen Definition – die Dichte von Körpern bestimmt, deren „wahrer Wert“ als zwischen dem jeweils größtmöglichen und kleinstmöglichen Wert in (4) liegt.

$$\rho = (x \pm \Delta x) g / (y \pm \Delta y) \text{ cm}^3 \quad (4)$$

Die Studierenden erlangen im Verlauf der Auseinandersetzung mit Messunsicherheiten zunehmend mehr Sicherheit beim Interpretieren ihrer Messdaten. Auf dem Weg dahin eignen sie sich nützliche Strategien an: (1) das Erweitern (oder Maximieren) des Messintervalls der unabhängigen Variablen; (2) die Erfassung möglichst vieler Datenpunkte innerhalb dieses Messintervalls und (3) die in bestimmten Fällen erforderliche Durchführung wiederholter Messungen für jeweils einzelne Datenpunkte.

5. Wie bewerten Studierende das Konzept *Physics by Inquiry*?

Wie sehen die Studierenden selbst das Konzept? Im Folgenden werden einige Auszüge aus der Evaluation des Kurses gegeben, die zwar als repräsentativ für diesen Kurs gelten, jedoch keine verallgemeinerungsfähigen Aussagen darstellen sollen.

(1) Zum Prinzip „ideas first, name later“:

„[The 'idea first, name later' approach] allows the student to experiment and find out the information for themselves, and maybe even work for it ... When the name is finally given, that is the point where the mind can wrap it all together (sort of like putting all of the files about it in one folder).“

„If we were given a formula [for turning effect] from the beginning and the meaning of this effect, we would have simply followed formula and computed all of our results without talking about the idea and figuring it ourselves. Having the formula would only encourage us to memorize it and not go any further.“

(2) Zur Rolle der Begleitmaterialien (Textbook [4]):

„If we think of a [typical science] lab, the books provided in those labs can be seen as recipe books. They ... don't allow for the students to build their own physical concepts.“

„The bones of this instructional method is the textbook or modules provided. There are no definitions or terms but rather steps to be taken in order to discover them ... Students then build their own 'meat' of information in their notes ... The concepts, terms, and ideas are all recorded and explained by each individual during their learning experience.“

(3) Zur Funktion der „checkouts“

„Checking for understanding ... In most classes ... [instructors] ask if anyone has any questions and students are sometimes afraid to raise their hand and ask a question.“

„There is also the point of the extra questions that the professor asks that relate to the topic but aren't expressly asked in the book, so that he can get an idea of the students' complete comprehension.“

(4) Stärken und Grenzen des Gesamtkonzeptes

„Allowing students to discover how processes work can be much more time consuming than just provi-

ding that information ... It also requires [from instructors] a great deal of patience and shift of control. Current educators are comfortable with being the center of attention and fully in charge of the educational process.“

„One negative thing that could result ... if a group misunderstands a concept and there is no checkout with the teacher, they will learn that misconception.“

Die präsentierten Zitate stellen keineswegs eine „Positivauswahl“ dar, sondern spiegeln ein durchgängig positives Feedback der Studierenden. Eine Bestätigung dessen kann auch darin gesehen werden, dass es keinen „dropout“ in diesem Kurs gab und mit einer Ausnahme alle Studierenden die geforderten Mindestkriterien in den Examina erfüllten. Keiner der beiden letztgenannten Befunde ist für eine Anfängerveranstaltung in Physik selbstverständlich.

6. Ausblick: Potenzial von *Physics by Inquiry* für die Lehramtsausbildung

Insbesondere die angehenden Lehrerinnen und Lehrer in dem hier beschriebenen Kurs gaben in ihren Rückmeldungen an, nicht nur die Physik gelernt zu haben, sondern auch, dass sie hinsichtlich der erfahrenen Lehrmethode sehr für ihren zukünftigen Beruf profitieren konnten. Ein Befund, der als Impuls dienen soll, dieses Konzept in die Ausbildung von Physiklehrkräften auch an deutschen Hochschulen zu integrieren.

Angesichts oft überschaubarer Jahrgangsgrößen bei Physikstudierenden im Sekundarstufen-I-Lehramt sowie bei Studierenden des Primarstufenlehramtes mit naturwissenschaftlichem Schwerpunkt bietet sich der Einstieg in die Fachwissenschaft im Sinne von *Physics by Inquiry* geradezu an. Darüberhinaus erlaubt dieses Vorgehen eine sinnvolle Verzahnung fachwissenschaftlicher und fachdidaktischer Fragestellungen.

Eine beabsichtigte möglichst getreue Abbildung des Lehrkonzeptes erfordert die Erstellung eines zentralen Lehrmediums. Dieses leitet unter Berücksichtigung der hier vorgestellten Merkmale die Studierenden durch die jeweils vorgesehenen Fachinhalte und strukturiert diese durch die erforderlichen Experimente, Checkouts, etc. Für eine Orientierung lassen sich die Textbooks [4], [10] sowie z. B. die Tutorials [11], [12] nutzen. An der Pädagogischen Hochschule Schwäbisch Gmünd wird eine Implementierung in die Lehramtsausbildung erprobt, dafür werden zurzeit Materialien entwickelt. Bei Interesse steht der Autor gern für einen Austausch und Kooperationen zur Verfügung.

7. Literatur

- [1] Arons, Arnold B.: *Teaching Introductory Physics*. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1997.

- [2] Arons, Arnold B.: *A Guide To Introductory Physics Teaching*. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1990.
- [3] Arons, Arnold B.: Conceptual Difficulties in Science. In: Undergraduate Education in Chemistry and Physics: Proceedings of the Chicago Conferences on Liberal Education. (1986) No. 1, University of Chicago, 23-32
- [4] McDermott, Lillian C.: *Physics by Inquiry – An introduction to physics and the physical sciences*. Vol. I. John Wiley & Sons, Inc., 1996
- [5] Stein, Hana; Galili, Igal: The Impact of an Operational Definition of the Weight Concept on Students' Understanding. In: International Journal of Science and Mathematics Education (2015) 13: 1487-1515
- [6] Woitkowski, David: *Fachliches Wissen in der Hochschulausbildung*. Berlin: Logos (2015).
- [7] Bortz, J.; Döring, N.: *Forschungsmethoden und Evaluation*. Heidelberg: Springer (4. Aufl.), 2006.
- [8] Delaney, William: Limitation of Operational Definitions. In: International Journal of Theoretical Physics (1999) No. 6, Vol. 38, 1757-1762.
- [9] Agarwala, Anant: Abi für alle! In: Die ZEIT, No. 14 (2017), S. 13-15
- [10] McDermott, Lillian C.: *Physics by Inquiry*. Vol. II. John Wiley & Sons, Inc., 1996
- [11] McDermott, Lillian C.; Shaffer, Peter S.: *Tutorials in Introductory Physics*. New Jersey: Prentice Hall, 2002.
- [12] McDermott, Lillian C.; Shaffer, Peter S.: *Tutorials in Introductory Physics – Homework*. New Jersey: Prentice Hall, 2002.

Strukturbildende Phänomene im Schulunterricht

Lenka Bzduskova*

*Universität Siegen, Didaktik der Physik, Adolf-Reichwein Str. 2, 57068 Siegen
bzduskova@physik.uni-siegen.de

Kurzfassung

Auf unserer Erde, auf anderen Planeten, ja im gesamten Universum sind unterschiedliche Strukturmuster auffindbar. Die Oberfläche der Sonne weist eine Granulation auf, welche durch die thermische Konvektionsbewegung der Materie verursacht wird. Auch planetare Wolkensysteme können aus Konvektionszellen bestehen. Dies ist eine der möglichen Strukturen, die sich z.B. durch thermisches Ungleichgewicht ausbilden kann.

Ebenfalls zeigen auch Meereswellen Strukturmuster, welche entstehen, wenn Luft und Wasser aneinander vorbei gleiten. Diese Phänomene lassen sich ebenfalls in der Atmosphäre der Erde und auf Gasplaneten beobachten. Strukturmuster entstehen auch, wenn schwere Materie auf leichter Materie aufliegt. Durch dieses Phänomen hat etwa der Krebsnebel sein Aussehen erhalten. In diesem Beitrag sollen drei strukturbildende Phänomene und ihre Umsetzung in der Schule vorgestellt werden: Die Kelvin-Helmholtz Instabilität, die Rayleigh-Bénard Konvektion und die Rayleigh-Taylor Instabilität.

1. Die Kelvin-Helmholtz Instabilität

Bewegen sich zwei inkompressiblen Fluide relativ zueinander, dann entstehen unterschiedliche Drücke in den einzelnen Fluiden. Dies ist besonders gut an der Bernoulli-Gleichung abzulesen, die sich sehr leicht herleiten lässt.

Geht man davon aus, dass keine Reibung wirkt, dann gilt die Energieerhaltung der Mechanik. Strömungen haben im Allgemeinen eine kinetische und eine potentielle Energie, deren Summe in einem abgeschlossenen System konstant bleiben muss. Dividiert man diese Energiesumme durch das Teilvolumen V , so ergibt sich eine Druckgleichung (Drücke können im Prinzip als Energiedichten aufgefasst werden):

$$p_{ges} = \frac{\rho}{2}v^2 + \rho gh + p_{st} = \textit{konstant} \{1\}$$

Die Gleichung {1} nennt man Bernoulli-Gleichung. In {1} tritt neben den kinetischen und potentiellen Energieanteilen noch die Größe p_{st} auf, die einem äußeren statischen Druck entspricht, der auf dem Gesamtsystem lastet. Die Größe ρgh entspricht dem hydrostatischen Druck und die Größe $\frac{\rho}{2}v^2$ dem Staudruck.

Nachfolgend wenden wir die Gleichung {1} auf die Kelvin-Helmholtz-Instabilität an. An der Grenzschicht ist sowohl der hydrostatische als auch der Gesamtdruck in beiden Fluiden gleich. Hat das eine Fluid eine größere Geschwindigkeit als das andere,

dann muss sich der Staudruck vergrößern. Dem entsprechend wird unter Wegfall des hydrostatischen Druckes die Bernoulli-Gleichung {1} für zwei Fluide zu:

$$p_1 + \frac{\rho}{2}v_1^2 = p_2 + \frac{\rho}{2}v_2^2 \{2\}.$$

Ist die Geschwindigkeit des oberen Fluids größer als die des unteren, also $v_1 < v_2$, dann verhält sich der Druck nach {2} gerade entgegengesetzt, somit gilt: $p_1 > p_2$.

Aus diesem Grund entstehen ein Unterdruck in der oberen Schicht und ein Überdruck in der unteren Schicht. Es entwickelt sich in beiden Fluiden durch die Druckdifferenz ein nach oben gerichteter Sog. Dazu äquivalent kann mit Lernenden auch eine Argumentation über die entsprechenden Kräfte geführt werden.

Der Druck ist als der Betrag der Kraft definiert, der senkrecht auf eine Fläche wirkt. Deshalb gilt in diesem Fall:

$$p_1 = \frac{|F_1|}{A} \rightarrow A = \frac{|F_1|}{p_1} \{3\}$$

Die Fläche A (dies ist die Grenzfläche zwischen den Fluiden) ist bei beiden Fluiden identisch, deshalb

können der Druck und die Kraft der Fluide gleichgesetzt werden. Dann gilt:

$$\frac{|F_1|}{p_1} = \frac{|F_2|}{p_2} \quad \{4\}$$

$$\Rightarrow |F_1| \cdot p_2 = |F_2| \cdot p_1 \quad \{5\}$$

Somit ist der Betrag der Kraft $|F_1|$ größer als $|F_2|$. Der Betrag der Kraft $|F_1|$ ist von der Grenzschicht gesehen nach oben gerichtet und der Betrag der Kraft $|F_2|$ nach unten. Da der Betrag der Kraft $|F_1|$ größer ist als $|F_2|$, kann der Sog nach oben entstehen.

1.1 Konstruktion eines Modells der Kelvin-Helmholtz Instabilität für den Schulunterricht

Benötigte Materialien:

- 1 Ballsammelröhre für Tennisbälle aus Kunststoff (zu finden im Tennisbedarf)
- 1 Tube MS Polymer
- Olivenöl/ Sonnenblumenöl
- Wasser
- Flüssige Lebensmittelfarbe (blau, aber andere Färbungen sind auch möglich)
- 1 Metallschere
- 2 dünne Metallplatten 15 × 15 cm
- Zauberschwamm (findet man in der Drogerie)



Abb. 1: Ballsammelröhre

Die Ballsammelröhre für Tennisbälle ist ungefähr einen Meter lang. Sie muss vorbereitet werden, bevor sie zum Einsatz kommen kann. Auf einer solchen Röhre befindet sich meistens eine Aufschrift,

welche entfernt werden muss. Dazu werden die oben erwähnten Zauberschwämme verwendet.

Die Ballsammelröhre hat zwei vorgefertigte Deckel, welche von oben offen sind. Die Öffnungen müssen verschlossen werden. Dazu werden die zwei Metallplatten benötigt. Auf die Metallplatten werden zwei Kreise eingezeichnet, welche einen etwas größeren Radius haben sollen als die Öffnungen an den Deckeln. Anschließend werden die Kreise mit einer Metallschere ausgeschnitten.

Die Metallkreise werden dann mit der Hilfe des MS Polymerklebers in die Deckel geklebt. Der Kleber sollte von beiden Seiten aufgetragen werden und mindestens zwei Tage trocknen.



Abb. 2: Der aufgetragene Kleber von innen



Abb. 3: Der aufgetragene Kleber von außen

Danach sollte überprüft werden, ob beide Deckel dicht sind und keine Flüssigkeit durchlassen, sonst muss noch einmal der Kleber aufgetragen werden. Anschließend wird einer der Deckel auf die Ballsammelröhre geklebt und wieder darauf hin überprüft, ob keine Flüssigkeiten austreten.

Zum Schluss wird Wasser und Öl in die Röhre geschüttet (die Röhre sollte bis zum Rand gefüllt werden) und danach mit dem zweiten Deckel verschlossen (wieder geklebt). Die Röhre sollte zwei Tage trocknen. Sie sollte auch in einem Behälter oder

Waschbecken stehen, falls, trotz aller Vorsicht, die Flüssigkeiten austreten sollten [1].

1.1.1 Versuchsdurchführung

Die Versuchskonstruktion wird waagrecht auf einen Tisch gelegt. Die zwei Flüssigkeiten ordnen sich horizontal an. Das Öl befindet sich entsprechend seiner geringeren Dichte oben und das gefärbte Wasser unten (siehe Abb. 4). Danach wird die Röhre zur Seite gekippt (siehe Abb. 5).

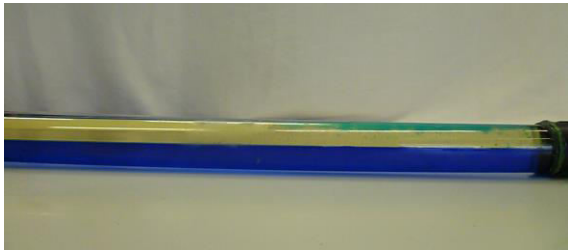


Abb. 4: Die fertige Versuchskonstruktion und ihre Ausrichtung

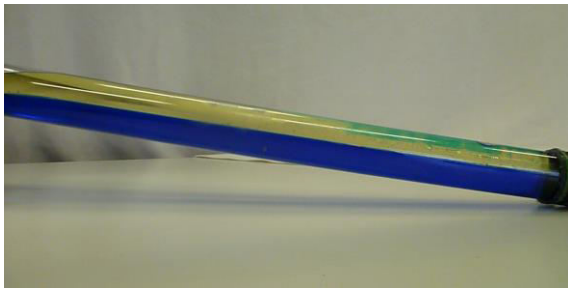


Abb. 5: Gekippte Versuchsanordnung



Abb. 6: Die Kelvin-Helmholtz Instabilität

2. Die Rayleigh-Bénard Konvektion

Die Rayleigh-Bénard-Konvektion ist ein Spezialfall der natürlichen freien Konvektion. Sie ist eine Ausgleichsbewegung einer von unten erwärmten, sehr dünnen und horizontal liegenden Fluidschicht und der damit verbundenen Dichteänderung, die einen Auftrieb zur Folge hat. Diese Art der Konvektion erzeugt bienenwabenähnliche Strukturen [5].

Die Rayleigh-Bénard-Konvektion bzw. die bienenwabenartigen Zellen können sich z.B. in der Granulation der Sonnenoberfläche oder in der Atmosphäre der Erde in Form von Wolkenstraßen ausbilden.

Die Konvektion entsteht erst bei wohl definierten Bedingungen. Womöglich findet die Wärmeübertra-

gung in der Schicht nur durch Wärmeleitung statt. Sobald die Konvektion aber einsetzt, entstehen auch Konvektionszellen. Diese haben eine walzenförmige Form, wenn beide Seiten des Fluids von unten und oben durch Platten begrenzt sind. Ist nur der untere Teil durch eine Platte begrenzt, dann bilden sich wabenförmige Strukturen aus. Nimmt der Temperaturgradient weiter zu, dann werden aus den hexagonalen Strukturen ungeordnete, chaotische Muster.

2.1 Konstruktion und Versuchsaufbau zur Rayleigh-Bénard Konvektion

Benötigte Materialien:

- 1 Marmeladenglas
- Deckel (aus Metall, sollte den Durchmesser des Marmeladenglases haben)
- Sonnenblumenöl
- Graphitpulver (entweder fertig kaufen oder selbst Bleistiftminen raspeln) oder Farbstoffpulver
- Wasser
- Wasserkocher

In das Innere des Deckels wird Öl gegeben, so dass sich eine dünne Ölschicht bildet. Das Öl wird mit Graphit/ Farbstoffpulver versetzt, damit man die Konvektionsbewegungen bzw. Konvektionszellen später sehen kann.



Abb. 7: Der verwendete Deckel



Abb. 8: Das verwendete Marmeladenglas



Abb. 9: Der Komplettaufbau

Anschließend wird Wasser im Wasserkocher erhitzt und das Marmeladenglas randvoll mit Wasser gefüllt. Dann wird der Deckel mit dem Öl auf das Marmeladenglas gesetzt. Nach kürzester Zeit lassen sich die ersten Konvektionszellen erkennen.

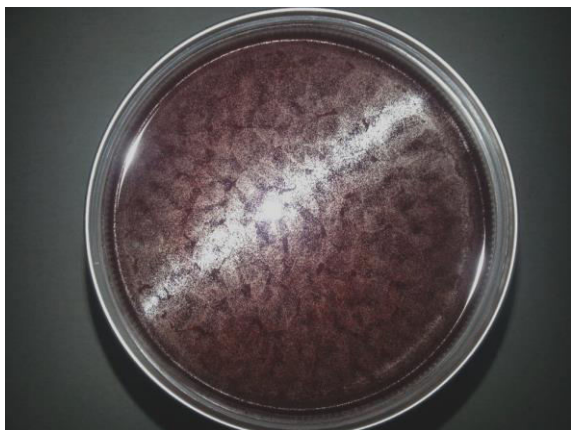


Abb. 10: Konvektionszellen

Die Größe der Konvektionszellen ist vom Volum bzw. von der Dicke der Ölschicht abhängig. Falls die Zellen zu klein sein sollten, um sie gut zu erkennen, sollte die Schichtdicke erhöht werden oder ein Deckel mit einem größeren Durchmesser bei gleicher Schichtdicke genommen werden.

3. Die Rayleigh-Taylor Instabilität

Die Rayleigh-Taylor Instabilität entsteht, wenn zwei Fluide mit unterschiedlichen Dichten gegeneinander beschleunigt werden. Ist zum Beispiel ein schwereres auf ein leichteres Fluid geschichtet und es wirkt die Schwerkraft, dann bezeichnet man diese Schichtung als Rayleigh-Taylor instabil. Ein Beispiel für diese Instabilität ist der Vorgang einer Supernovaexplosion, bei der sich die Materie aus dem Kern des Sterns an seiner Hülle vorbei schiebt, so dass die soeben angesprochenen Grenzschichten zwischen Fluiden unterschiedlicher Dichte im Schwerfeld auftreten. So hat auch der Krebsnebel im Sternbild des Stiers typische morphologische Strukturmuster erhalten. Auf Bildern erkennt man die fingerartigen

Gebilde, die eine Folge der Rayleigh-Taylor Instabilität darstellen. Ganz allgemein entsteht diese spezielle Form der Instabilität, weil die Schwerkraft der Auftriebskraft entgegenwirkt. Dadurch ergibt sich der folgende Druckunterschied an der Grenzfläche zwischen den beiden Fluiden:

$$\Delta p_1 = \frac{F}{A} = \frac{\Delta \rho \cdot g \cdot V}{A} = \Delta \rho \cdot g \cdot h \quad \{6\}$$

h = Vertikale Verschiebung an der Grenzfläche

$\Delta \rho$ = Dichtedifferenz

g = Gravitationsbeschleunigung

Wie wir gleich sehen, nimmt die Instabilität näherungsweise die Form einer Kugel an, deshalb gilt:

$$\Delta p_1 = \Delta \rho \cdot g \cdot 2R \quad \{7\}$$

R = Kugelradius

Dem entgegen wirkt die Oberflächenspannung, die versucht den Flächeninhalt der Oberfläche zu minimieren, weil auf die Oberflächenmoleküle lediglich eine nach unten gerichtete Kraft wirkt, im Gegensatz zu den Molekülen im Inneren des Mediums. Dadurch haben die Oberflächenmoleküle eine größere potentielle Energie als die inneren Moleküle. Das bedeutet, dass Arbeit verrichtet werden muss um die Oberfläche zu vergrößern oder anders ausgedrückt: das sich selbst überlassene System wird einen Zustand minimaler potentieller Energie annehmen. Dadurch wird die Oberfläche minimiert und es entwickelt sich ein kreisförmiger Tropfen. Die Oberflächenspannung erzeugt die stabilisierende Druckdifferenz:

$$\Delta p_2 = \frac{F}{A} = 2 \cdot \frac{\sigma}{R} \quad \{8\}.$$

R = Krümmungsradius der Grenzfläche

σ = Oberflächenspannung

Dividiert man die Drücke Δp_1 und Δp_2 miteinander, so ergibt sich ein Maß dafür, wie sich der durch Schwerkraft bedingte Druckunterschied relativ zum Druck, der durch die Oberflächenspannung bedingt ist, verhält:

$$\frac{\Delta p_1}{\Delta p_2} = \frac{\Delta \rho \cdot g \cdot R^2}{\sigma} \quad \{9\}$$

Der Wert dieses Verhältnisses bestimmt die Stabilität der Grenzfläche und die Form des Tropfens. Es wird auch als Bond-Zahl bezeichnet [2]. Ist die Bond-Zahl kleiner als eins, dann spielt die Gravitati-

on kaum eine Rolle und der Tropfen ist kugelförmig. Ist die Zahl größer als eins, dann wird die Gestalt eher ellipsenförmig. Es bildet sich ein tropfenartiges Gebilde, welches sich aus der kontinuierlichen Grenzschicht ablöst. Dabei kommt es zusätzlich zu Entstehung eines „Fadens“ bei der Ablösung des Tropfens durch Einschnürung. In hoch viskosen Medien können sich die Moleküle allerdings nicht in den Tropfen oder in die Grenzschicht zurückziehen, weil die Reibung die dazu erforderliche Bewegung „einfriert“. Die Einschnürungsregion und der Faden bleiben als eigenständiges Gebilde erhalten. Die Tropfen mit Einschnürung lassen sich sehr gut im Krebsnebel erkennen.

3.1 Konstruktion des Modells zur Rayleigh-Taylor Instabilität

Benötigte Materialien:

- 1 Gefrierbeutel
- Eiswürfel
- Becherglas (länglich)
- Kleiner Becher
- Lebensmittelfarbe
- Wasser
- Wasserkocher
- Spritze
- Dünne Metallplatte

Der Aufbau ist leicht nachvollziehbar. Zuerst wird Wasser im Wasserkocher erhitzt. Dieses Wasser wird danach mit Lebensmittelfarbe eingefärbt.

Das Becherglas wird mit Wasser (Zimmertemperatur) fast randvoll gefüllt. Das eingefärbte heiße Wasser kommt in die Spritze.

Mit der Spritze wird langsam das heiße über das kalte Wasser geschichtet. Um den Effekt besser sichtbar zu machen, kann auch das kalte Wasser mit Lebensmittelfarbe versetzt werden (siehe Abb. 10).



Abb. 11: Die gebildete Schichtung

Danach wird das Becherglas mit einer Metallplatte abgedeckt, auf die ein Beutel mit Eiswürfeln gelegt wird (die Platte dient nur der Stabilisierung des Beutels, muss aber eine hinreichend große thermische Leitfähigkeit besitzen).

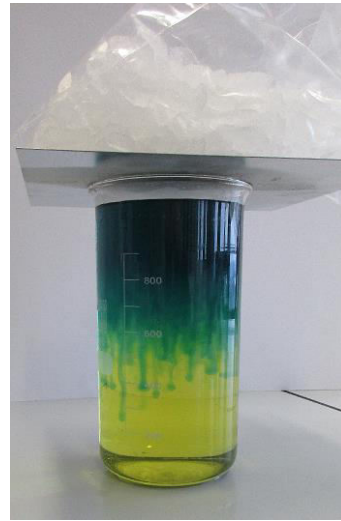


Abb. 12: Aufbau Rayleigh-Taylor Instabilität

Nach einigen Minuten kühlt sich das Wasser oben ab und sinkt nach unten. Dabei kann die Rayleigh-Taylor Instabilität beobachtet werden.



Abb. 13: Nach einigen Minuten bildet sich eine fingerartige Struktur, wie beim Krebsnebel

4. Zusammenfassung

Die drei Modelle können im Grundschulbereich, sowie im Sekundarbereich I & II eingesetzt werden. Im Grundschulbereich sollen die SuS nur diese strukturbildenden Phänomene kennen lernen. Eine genaue physikalische Erklärung ist in diesem Bereich nicht möglich. Das Interesse der Kinder an der Physik soll einfach durch solche optisch ansprechenden Modelle geweckt werden. In der Sekundarstufe I & II kann näher auf die Entstehungsgründe der strukturbildenden Phänomene eingegangen werden.

5. Literatur

- [1] Bzduskova Lenka, Ein Modell der Kelvin-Helmholtz Instabilität für den Unterricht, In: *Astronomie + Raumfahrt im Unterricht* (2/158) (2017), S. 20-24

- [2] Guyon Etienne, Hulin Jean-Pierre, Petit Luc; Hydrodynamik; Vieweg Verlag 1997, S. 40-43
- [3] Bzduskova Lenka(2015): The Kelvin-Helmholtz Instability at school. Astronomie Lehrerfortbildung. Astronomiedidaktisches Kolloquium für Promovierende, Universität Jena, 14.07.2015
- [4] Bzduskova Lenka (2015): The Kelvin-Helmholtz Instability at school. Tagung der Astronomischen Gesellschaft, Universität Kiel, 17.09.2015
- [5] Polifke Wolfgang; Kopitz Jan, Wärmeübertragung: Grundlagen, analytische und numerische Methoden; Pearson Verlag 2005; 10., überarbeitete Auflage. S. 239

Zertifikatsstudium Fächerübergreifendes Unterrichten in den Naturwissenschaften

Jasper Cirkel*, Sabina Eggert⁺, Susanne Bögeholz⁺ Susanne Schneider*

*Georg-August-Universität Göttingen, Didaktik der Physik, Friedrich Hund-Platz 1, 37077, Göttingen ⁺ Georg-August-Universität Göttingen, Didaktik der Biologie, Waldweg 26, 37073, Göttingen
jcirkel@gwdg.de, seggert1@gwdg.de, sboegeh@gwdg.de, sschnei@gwdg.de

Kurzfassung

Fächerübergreifender Unterricht in den Naturwissenschaften ist an vielen Schulen eine Realität, die mit gesteigerten fachlichen, organisatorischen und didaktischen Anforderungen an Lehrkräfte verbunden ist. Bisher berücksichtigt die erste Phase der gymnasialen Lehramtsausbildung dies nur unzureichend, da primär für die Unterrichtsfächer Biologie, Chemie und Physik ausgebildet wird. Über das Schlözer Programm Lehrerbildung wird an der Universität Göttingen ein Zusatzangebot zur Qualifizierung zum fächerübergreifenden Unterrichten von Naturwissenschaften geschaffen. Das entsprechende Zertifikat umfasst einen Studienumfang von 16 ECTS. Für eine Teilnahme am Zertifikatsprogramm ist das Studium einer Naturwissenschaft erforderlich. Innerhalb des Zertifikates werden zuerst die komplementären naturwissenschaftlichen Fächer in inhaltlich abgestimmtem fachwissenschaftlichen und fachdidaktischen Grundveranstaltungen unterrichtet. In einem anschließenden integrierten Praxismodul arbeiten die Studierenden in interdisziplinären Gruppen theoriegeleitet eine Unterrichtssequenz aus und erproben sie im schulischen Kontext. Ziel ist es, anhand von fachlichen und fachdidaktischen Grundlagen sowie exemplarisch ausgearbeiteten Unterrichtseinheiten, die in der Praxis erprobt und reflektiert werden, den Studierenden Perspektiven für das fächerübergreifende Unterrichten von Naturwissenschaften zu eröffnen.

1. Naturwissenschaften im Unterricht

Der gymnasiale Unterricht für die Klassen 5 bis 10 im Bereich der Naturwissenschaften ist in Deutschland unterschiedlich organisiert; In einigen Bundesländern werden die Disziplinen Biologie, Chemie und Physik in den Klassen 5 und 6 separat eingeführt, während in anderen ein Trend zum Verbundfach zu beobachten ist und zunehmend integrative Konzepte verfolgt werden. Dies gilt besonders für die Jahrgänge 5/6, es existieren aber auch Konzepte für höhere Klassen (für eine Übersicht siehe Busch & Woest, (2014)). Zu unterscheiden ist außerdem, ob es sich um Pflicht- oder Wahlpflichtangebote handelt.

Teilweise lässt sich auch eine Koexistenz der klassischen Disziplinen einerseits und integrativer Konzepte andererseits beobachten. In Niedersachsen gilt beispielsweise die Vorgabe für Gymnasien, den Unterricht „im 5. und 6. Schuljahrgang fachübergreifend und fächerverbindend anzulegen“ (MK, 2015), was allerdings (noch) nicht alle Schulen umgesetzt haben. Für Gesamtschulen gilt dies bis einschließlich des 10. Schuljahrgangs. Die Zusammensetzung der Fakultas des Kollegiums der jeweiligen Schule konstituiert einen maßgeblichen Faktor für die Umsetzbarkeit von integrativem naturwissenschaftlichem Unterricht (INU) auf organisatorischer Ebene.

Hinter dem Titel eines Faches Naturwissenschaften können sich unterschiedliche Organisationsformen verbergen. Von epochalem Unterricht einer oder mehrerer Lehrkräfte bis hin zu einem vollständig

integrativen Konzept sind viele Facetten denkbar (Labudde, 2014).

Bedarf es eines integrativen, fächerübergreifenden Unterricht in den Naturwissenschaften? Zentral ist die Frage, wie die naturwissenschaftlichen Kompetenzen der Schülerinnen und Schüler bestmöglich gefördert werden können. Argumente für INU finden sich beispielsweise mit Blick auf internationale Curricula und bildungstheoretische Fragen in Rehm et al. (2008) oder mit Fokus auf stärkere horizontale Vernetzung von Wissen und auf die bisherige empirischen Ergebnisse zu fächerübergreifenden Formen in Labudde (2014).

2. Lehrerbildung für die Naturwissenschaften

Klassischerweise besteht die gymnasiale Lehramtsausbildung in Deutschland aus einem Studium von zwei relativ frei gewählten Fächern, in denen sowohl fachwissenschaftliche als auch fachdidaktische Kompetenzen erworben werden. Bildungswissenschaftliche Inhalte und schulpraktische Anteile vervollständigen das Studium. Studierende können also im Regelfall maximal zwei naturwissenschaftliche Fächer belegen, ein Großteil studiert nur Biologie oder Chemie oder Physik und kombiniert dies beispielsweise mit einer Sprache oder Mathematik.

3. Zertifikatsstudium

Die Zusatzqualifikation „Unterrichten von Naturwissenschaften“ im Rahmen des Schlözer Programm Lehrerbildung an der Georg-August-Universität Göttingen richtet sich an Lehramtsstudierende für Gymnasien, die mindestens ein naturwissenschaftli-

ches Fach - Biologie, Chemie oder Physik - studieren. Das Angebot im Umfang von 16 ECTS ergänzt das reguläre Studium. In den „Säulen“ der Struktur des Zertifikats (siehe Abb. 1) werden fachwissenschaftliche und fachdidaktische Kompetenzen der verbleibenden zwei oder der verbleibenden Disziplin in eigens geschaffenen oder für „Zertifikatsstudierende“ geöffneten Veranstaltungen erworben. Im „Dach“ der Struktur werden die Kenntnisse in einem integrativen Praxismodul zusammengeführt und das Unterrichten von Naturwissenschaften im schulischen Handlungsfeld erprobt und reflektiert.

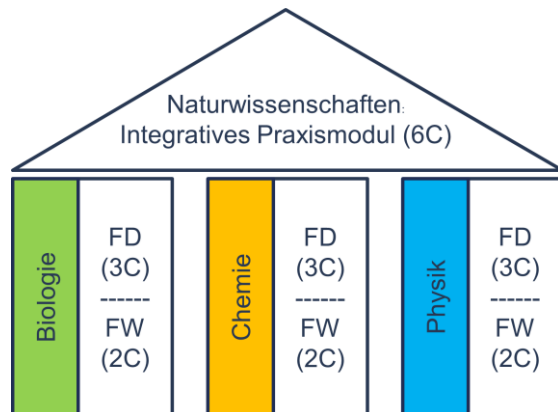


Abb.1: Struktur des Zertifikatsschwerpunktes Unterrichten von Naturwissenschaften: Fachwissenschaftliche (FW) und fachdidaktische (FD) Veranstaltungen. C=ECTS

Die Zielgruppe umfasst fortgeschrittene Bachelor- oder Masterstudierende, die das Zertifikat innerhalb eines Studienjahres absolvieren können.

3.1. Fachwissenschaftliche Grundlagen

Basis für das Unterrichten von Naturwissenschaften sind solide fachliche Grundkenntnisse. Der Gesamtumfang der Zusatzqualifikation ermöglicht es allerdings nicht annähernd die gleichen Grundlagen zu schaffen, wie das die fachwissenschaftliche Ausbildung in den primär studierten Fächern leistet. Dies kann demnach auch nicht das Ziel des Zertifikats sein; ein exemplarischer Einblick, der Möglichkeiten zur Vertiefung aufzeigt, ist unter den gegebenen Rahmenbedingungen das Ziel, für das je eine neue Veranstaltung konzipiert wurde, um den besonderen Anforderungen der Lernenden gerecht zu werden.

Eine Einführung in die Grundlagen der fachwissenschaftlichen Struktur der Fächer wird mit besonderem Fokus auf die Themen der Sekundarstufe I umgesetzt. Die Basiskonzepte der Fächer bieten hierfür einen geeigneten Rahmen, um die wichtigsten konzeptionellen Ideen und Denkweisen zu illustrieren. Flankierend wird den Studierenden die fachlich einschlägige Literatur aufgezeigt, die es ihnen auch später ermöglicht, bestimmte Bereiche vertiefend zu erarbeiten.

Fachliche Inhalte lassen sich stellenweise gewinnbringend mit experimentellen Aufbauten verknüpfen, um auch die praktischen Arbeitsweisen aufzu-

zeigen und Hemmschwellen beispielsweise beim Umgang mit Chemikalien abzubauen.

3.2. Fachdidaktische Veranstaltungen

Die fachdidaktischen Veranstaltungen fokussieren darauf, eine Aufbereitung und Vermittlung der fachlichen Inhalte professionell zu gestalten. Hierfür wurden sowohl bestehende Einführungsveranstaltungen geöffnet, wo dies trotz der unterschiedlichen Vorkenntnisse der Fach- und Zertifikatsstudierenden vertretbar erschien, als auch neue Veranstaltungen geschaffen. Die Abstimmung der fachlichen und fachdidaktischen Veranstaltungen ist dabei ein maßgeblicher Faktor, der die Integration der kürzlich erworbenen fachlichen Kompetenz in einen didaktischen Rahmen erlaubt.

Im Zentrum können dabei zum Beispiel Schülervorstellungen zu Themen der Sekundarstufe I und der Umgang mit ihnen stehen. Die Beschäftigung mit den curricularen Vorgaben verdeutlicht die Lernziele im späteren Unterricht und ermöglicht neben einem Überblick über das neue Fachgebiet auch bereits einen Vergleich mit den bereits bekannten Strukturen des eigenen Studienfachs.

Die fachwissenschaftlichen Veranstaltungen sollten den fachdidaktischen Veranstaltungen so weit voraus sein, dass eine sinnvolle Diskussion z.B. von Lernschwierigkeiten möglich ist. Eine enge Abstimmung der Kursinhalte ermöglicht auch eine quasi parallele zeitliche Struktur.

3.3. Integratives Praxismodul

Das integrative Praxismodul beinhaltet die Durchführung einer integrativen naturwissenschaftlichen Sequenz im schulischen Umfeld durch die Studierenden. Zur Vorbereitung auf dieses Ziel werden zunächst die Erfahrungen und heterogenen Voraussetzungen der Studierenden aufgegriffen und die Konzepte zu fächerübergreifendem Unterricht thematisiert.

In einem ersten Schritt werden dabei die unterschiedlichen Fachperspektiven und -kulturen der drei Disziplinen problematisiert und reflektiert. In einer nächsten Phase stehen integrative Konzepte im Zentrum; Argumente, Motivation und Forschungsstand zu fächerübergreifendem Unterricht wird ebenso behandelt wie die theoretische Klassifizierung und Formen fächerübergreifenden Unterrichts.

Die heterogenen Erfahrungen der Studierenden verschiedener Fächer werden in interdisziplinären Gruppen genutzt. Diese bereiten gemeinsam eine Unterrichtssequenz für den integrativen naturwissenschaftlichen Unterricht vor. Für die konkrete Planung und Gestaltung können sie beispielsweise auf bereits bestehende fächerübergreifende Sequenzen zurückgreifen, die im Rahmen von Masterarbeiten erarbeitet wurden.

Die Sequenzen werden in Abstimmung mit Lehrerinnen und Lehrern in Unterrichtssequenzen erprobt. Zur Vorbereitung auf diese Erprobung hospitieren

die Studierenden bei diesen Lehrkräften und lernen die Lerngruppe und -umgebung kennen. Die Abstimmung auf die Lerngruppe und die Konzeption der Unterrichtseinheit werden mit den Kommilitonen vor der Durchführung diskutiert und abgestimmt.

Im Anschluss an die Planung und Durchführung der Sequenzen kommen die Studierenden erneut zusammen; In einer abschließenden Reflexion lassen sie die Ausarbeitung und Erprobung ihres eigenen Unterrichts Revue passieren und diskutieren ihre Rolle als zukünftige Lehrkraft in den Naturwissenschaften.

4. Erste Erfahrungen und Ausblick

Im Sommersemester 2017 liefen die ersten Veranstaltungen des Zertifikatsschwerpunktes an, und somit lassen sich erste Rückschlüsse ziehen. Es hat sich beispielsweise gezeigt, dass sich auch auf die stellenweise eher basalen fachlichen Vorkenntnisse gut aufbauen lässt, weil die Studierenden durch die ihre Vorkenntnisse und Lernstrategien in anderen Bereichen gut vorbereitet sind. Darüber hinaus bereichern die fortgeschrittene Studierende anderer Fächer die einführenden Fachdidaktik-Veranstaltungen mit ihren Erfahrungen.

Mit Abschluss des Sommersemesters werden alle drei „Säulen“ des Zertifikatsschwerpunktes erstmals durchgeführt worden sein. Im Wintersemester 2017/2018 erfolgt der Auftakt für das Praxismodul.

Im Rahmen einer Begleitforschung dieses Projekts wird unter anderem ein Paper-Pencil-Test für die Selbstwirksamkeitserwartung (SWE) für Naturwissenschaften entworfen. Darüber hinaus werden Lernzuwächse per Selbsteinschätzung erfasst und Interviews mit den Studierenden im Praxismodul geführt.

Bereits jetzt lässt sich erkennen, dass diese Form der Zusatzqualifikation eine Bereicherung für die Studierenden und zukünftigen Lehrkräfte darstellt und ihnen neue Perspektiven für das Unterrichten von Naturwissenschaften eröffnet.

5. Literatur

- [1] Busch, M., & Woest, V. (2014). Potenzial und Grenzen von fächerübergreifendem NaWi-Unterricht - aus Perspektive der Lehrenden. In S. Bernholt (Hrsg.), *GDCP Jahrestagung 2013 Naturwissenschaftliche Bildung zwischen Science- und Fachunterricht* (S. 445–7). Münster: Lit. Url: http://www.gdcp.de/images/tb2014/TB2014_423_Busch.pdf (Stand 28.09.2017)
- [2] Labudde, P. (2014). Fächerübergreifender naturwissenschaftlicher Unterricht – Mythen, Definitionen, Fakten. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 20(1), 11–19. Url: <https://doi.org/10.1007/s40573-014-0001-9> (Stand 28.09.2017)

- [3] MK. Die Arbeit in den Schuljahrgängen 5 bis 10 des Gymnasiums, VORIS 22410 § (2015). Url: <http://www.nds-voris.de/jportal/portal/t/ba2/page/bsvorisprod.psm?doc.hl=1&doc.id=VVND-VVND000035840&documentnumber=1&numberofresults=11&doctype=vvnd&showdoccase=1&doc.part=F¶mfromHL=true#ivz14> (Stand 28.09.2017)
- [4] Rehm, M., Bündler, W., Hass, T., Buck, P., Labudde, P., Brovelli, D., ... Svoboda, G. (2008). Legitimationen und Fundamente eines integrierten Unterrichtsfachs Science. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 14, 99–123. Url: http://archiv.ipn.uni-kiel.de/zfdn/pdf/14_007_Rehm_et_al.pdf (Stand 28.09.2017)



Das Schlözer Programm Lehrerbildung wird im Rahmen der gemeinsamen „Qualitätsoffensive Lehrerbildung“ von Bund und Ländern aus Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gefördert.

Wirkungen des Formats Lehr-Lern-Labor

René Dohrmann, Daniel Rehfeldt und Volkhard Nordmeier

Freie Universität Berlin, Didaktik der Physik

rene.dohrmann@fu-berlin.de, danreh@zedat.fu-berlin.de, volkhard.nordmeier@fu-berlin.de

Kurzfassung

In den MINT-Fächern sind Lehrveranstaltungen im Format Lehr-Lern-Labor (LLL) an vielen Orten bereits zu integralen Bestandteilen der Lehrkräftebildung geworden. Im Rahmen der Qualitätsoffensive Lehrerbildung und anderen Projekten wie z. B. dem DTS-Entwicklungsverbund werden Lehr-Lern-Labore als praxisnahe Lernorte weiter entwickelt, intensiv beforscht und als innovatives Lehrformat auch auf andere Fächergruppen ausgeweitet. An der Freien Universität wurde das Format des LLL-Praxisseminars in der Physik bereits vor vielen Jahren eingeführt und seit dem in unterschiedlichen Varianten erprobt, auch in weiteren Fächern. Inzwischen sind LLL-Seminare (LLLS) sowohl im Bachelor- als auch im Masterstudium verankert. Über die tatsächlichen Wirkungen von LLL-Formaten ist allerdings noch wenig bekannt, auch darüber, welche Rolle Lehr-Lern-Labor-Seminare als Praxiselemente beim systematischen Kompetenzaufbau im Studium spielen können. Der vorliegende Beitrag liefert eine theoretische Rahmung für das Veranstaltungskonzept sowie erste Ergebnisse aus den oben genannten Projekten.

1. Ausgangslage

Als eine Voraussetzung für erfolgreiches, unterrichtliches Handeln ist neben der Aneignung von Professionswissen ebenfalls die Ausprägung professioneller Handlungskompetenz ein wichtiges Ziel der Lehrkräftebildung (vgl. Baumert & Kunter, 2006; Borowski, Neuhaus, Tepner, Wirth & Fischer, 2010). Dies gelingt insbesondere, wenn theoretische Wissensanteile in praxisorientierten Veranstaltungsformaten angewendet, umgesetzt und reflektiert werden (Weyland, 2014; Fischler, 2008; Nölle, 2002; Gudmundsdottir, 1995). In vielen Fällen schaffen es die Hochschulen jedoch nicht bzw. nur unzureichend, eine belastbare Handlungskompetenz bei den Lehramtsstudierenden anzubahnen bzw. zu sichern (Messner, 1999). Sodass sich die (angehenden) Lehrkräfte, ohne entsprechende praxisorientierte Ausbildungsanteile und die theoriegeleitete Reflexion der noch jungen Berufsbiographie, eher an schulischen Erfahrungen und der dort erlebten Praxis orientieren als an universitär erworbenem Wissen (Kraler, 2008; Niggli, 2002).

Es ist daher nicht verwunderlich, dass ein Teil der angehenden Lehrkräfte mit dem Eintritt in die zweite Phase der Lehrkräftebildung einen „Realitätsschock“ erfährt (Dicke, Holzberger, Kunina-Habenicht, Linniger, Schulze-Stocker & Seidel, 2016; Rabe, Krey & Meinhardt, 2013; Merzyn, 2006; Messner, 1999; Tschannen-Moran, 1998). Bei angehenden Physiklehrkräften beträgt der Anteil sogar nahezu ein Drittel (Merzyn, 2006). Ein Großteil der Referendar*innen fühlt sich nur unzureichend auf berufliche Anforderungen vorbereitet (vgl. Lersch, 2006). Deshalb fordern nicht nur Studierende (vgl. Weyland, 2014; Makrinus, 2013; Hascher, 2011; Hoppe-Graff et al., 2008), sondern auch Ausbildungslehrkräfte (vgl. Völ-

ker & Trefzger, 2010) sowie die Kultusministerkonferenz (vgl. KMK, 2004, 2008) eine verstärkte Praxisorientierung in den lehrkräftebildenden Studiengängen. Eine Studie an der Freien Universität Berlin ergab, dass 70 % der Masterstudierenden das Lehramtsstudium als zu theoretisch empfinden, wobei 40 % explizit eine fehlende Theorie-Praxis-Verknüpfung in der Lehre als Hauptkritikpunkt an ihrem Studium benannten (vgl. Thiel & Blüthmann, 2009, S. 23f.). Auch im Bachelor sind knapp 60 % der Studierenden mit der Verknüpfung von Theorie und Praxis unzufrieden (vgl. Thiel, Blüthmann & Richter, 2010, S. 30).

Ein größerer Praxisanteil im Studium allein kann jedoch nur dann zu den gewünschten Erfolgen führen, wenn er mit der Etablierung einer Reflexionskultur bei den angehenden Lehrerinnen und Lehrern einhergeht, denn nur dann sind Lern- und Entwicklungsschritte möglich (Weinberger, 2013). Ansonsten besteht die Gefahr, dass das der Reflexion inhärente Potential nicht genutzt und eine professionelle Entwicklung zur „guten Lehrkraft“ ggf. sogar verhindert wird. Reflexion muss dementsprechend bereits so früh wie möglich „geübt“ und als bewusst geförderte Meta-Kompetenz zu einem integralen Bestandteil des Lehramtsstudiums gemacht werden. Dies gelingt jedoch nur, wenn deren sinnstiftender Charakter durch die Studierenden erkannt und internalisiert wird. Folgt man der Professionalisierungsdebatte, so lässt sich festhalten, dass die Implikationen für die Lehrkräftebildung über den Erwerb abstrakten Wissens in der Hochschule hinausgehen müssen. Diese werden in (kollektiver) Reflexion über berufsnahe Praxissituation gesehen (vgl. Berkemeyer, Järvinen, Otto & Bos, 2012; Reh, 2004; Schneider, 2004), in denen Wissen in handlungsrelevanter Form durch die Studierenden erworben wird (vgl. Giesecke, 2009; Schelten, 2009).

Um der Forderung nach mehr Praxis im Studium nachzukommen, dürfen jedoch nicht nur die Praxisanteile erhöht werden. Ohne eine theoretische Fundierung bzw. eine theoriegeleitete Vorbereitung, Durchführung und Reflexion von schulorientierten Praktika besteht die Möglichkeit einer Deprofessionalisierung (vgl. Weyland, 2014; Hascher, 2011), d. h. dass in unterrichtlichen Entscheidungssituationen auf Erfahrungen zurückgegriffen wird, die die Lehramtskandidat*innen selbst während ihrer Schulzeit gesammelt haben oder dass ein rezeptartiges Wissen Anwendung findet. Ein solches Handeln verhält sich zur Professionalisierungsforderung diametral, denn eines der Merkmale von Professionalität spiegelt sich in der Anwendung wissenschaftlichen Wissens zur Lösung bzw. Entspannung konkreter intersubjektiver oder auch kollektiver Probleme wider, mit denen Lehrkräfte während ihrer Berufsausübung konfrontiert werden (vgl. Scherz, 2009; Schneider, 2004; Herzog & Felten, 2001; Tietgens, 1988). Um darüber hinaus dem „Realitätsschock“ vorzubeugen, ist es förderlich, praktische Ausbildungsanteile in ihrer Komplexität sukzessive zu steigern (vgl. Krofta, Fandrich & Nordmeier, 2013; Tschannen-Moran, 1998).

2. Lehr-Lern-Labor-Seminare (LLS)

Es wird angenommen, dass Lehr-Lern-Labor-Seminare (LLS) als Orte komplexitätsreduzierter, unterrichtsähnlicher Praxis die o. g. Bedingungsfaktoren erfüllen. Forschungstheoretisch werden die LLS über folgende gemeinsame Zielsetzungen gerahmt: Studierende sollen bereits früh im Studium komplexitätsreduzierte, jedoch qualitativ hochwertige Praxiserfahrungen erhalten (Makrinus, 2013; Steffensky & Parchmann, 2007), fachdidaktische Theorie über Reflexion mit Praxis verknüpfen (Abels, 2011, S. 48), einen forschenden Habitus auf Studierenden- und Schüler*innenseite anbahnen (Fichten & Meyer, 2014; Helsper & Kolbe, 2002), didaktische Reflexivität entwickeln (KMK, 2004) sowie ein hohes Maß an Selbstwirksamkeitserwartungen (SWE) ausprägen, damit dem „Realitätsschock“ vorgebeugt werden kann (vgl. Dohrmann & Nordmeier, 2017, 2016; Krofta et al., 2013).

Entsprechende Lehrveranstaltungsformate bietet die Freie Universität Berlin den Lehramtsstudierenden des Faches Physik seit einigen Jahren sowohl im Bachelor- als auch im Masterstudium an. Die Adaption durch die Fächer Englisch, Geschichte sowie die Grundschulpädagogik (Sachunterricht) wurde ebenfalls erfolgreich umgesetzt (vgl. Rehfeldt, Klempin, Seibert, Mehrstens & Nordmeier, 2017).

Im LLS 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 LLS insbesondere die professionelle Unterrichtswahrnehmung, die Reflexionskompetenz, der Erwerb von Professionswissen und Handlungskompetenz gefördert“ (Dohrmann & Nordmeier, 2015).

Abbildung 1 illustriert das LLS-Konzept und kann als „Blaupause“ zur Umsetzung einer solchen Veranstaltung betrachtet und genutzt werden.



Abb.1: Prozesselemente und zyklischer Verlauf eines Lehr-Lern-Labor-Seminars (Nordmeier et al. 2014)

3. Begleitforschung und Forschungsfragen

An der Freien Universität Berlin wird das LLS-Konzept in zwei Projekten intensiv beforscht.

Seit 2014 befasst sich das, durch die Deutsche Telekom Stiftung (DTS) geförderte, Projekt „Schülerlabore als Lehr-Lern-Labore: Forschungsorientierte Verknüpfung von Theorie und Praxis in der MINT-Lehrerbildung“ mit der Implementierung und der Evaluation von LLS (vgl. Dohrmann & Nordmeier, 2015, 2016, 2017; Nordmeier et al., 2014).

Im Rahmen der Qualitätsoffensive Lehrerbildung werden seit 2016 im Projekt „Know how to teach (K2teach) - Grundlegende Handlungskompetenzen für eine adaptive Unterrichtspraxis im Studium entwickeln (Teilprojekt 3: Lehr-Lern-Labore)“ das Veranstaltungskonzept auf weitere Fächer übertragen und die jeweiligen LLS u. a. fächerübergreifend untersucht.

Im DTS-Projekt wurden, in Verbindung mit o. g. Theorie, durch eine Vorstudie evidenzbasiert Forschungsfragen formuliert, die in einer Mixed-Methods-Hauptstudie mündeten, die mit kleinen Fallzahlen arbeitet. Im K2teach-Projekt wurde ein fächerübergreifender, quantitativ orientierter Ansatz für eine mittlere Kohortengröße gewählt.

Im Folgenden wird das methodische Vorgehen in Bezug auf ausgewählte Teilaspekte und die entsprechenden Forschungsfragen/-hypothesen für beide Studien vorgestellt.

A. DTS-Studie: Die quantitativen Erhebungen fanden zu Beginn und direkt im Anschluss an das LLS statt (Prä-Post), die Befragung via Interview lediglich am Ende der Veranstaltung.

H1: In einem „geschützten“ LLL-Setting kommt es nicht zum „Praxisschock“, sondern zu einer positiven Entwicklung der Selbstwirksamkeitserwartungen.

Die Skalen zu den Selbstwirksamkeitserwartungen (SWE) sind angelehnt an einen im DTS-Verbundprojekt entwickelten Fragebogen. Zusätzlich wurde ein Teil des Interviews zur qualitativen Erhebung von SWE in Bezug auf das Planen und Durchführen von Unterricht genutzt und anschließend inhaltsanalytisch skalierend über ein dreistufiges Kategoriensystem ausgewertet.

H2: Die Teilnahme am LLL-Seminar (LLLS) bewirkt einen Anstieg des fachdidaktischen Wissens bei den Teilnehmer*innen.

Die Erhebung zum fachdidaktischen Wissen erfolgte über offene Fragen via Fragebogen. Die Fragen sind Übersetzungen der CoRe-Fragen (vgl. Loughran, Mulhall & Berry, A, 2004), einem qualitativen Zugang zum fachdidaktischen Wissen. Um der Qualität der gegebenen Antworten gerecht zu werden, wurden die Antworten inhaltsanalytisch skalierend über ein vierstufiges Kategoriensystem ausgewertet. Die Kategorien orientieren sich dabei an der Bloom'schen Taxonomie kognitiver Lernziele (vgl. Krathwohl & Bloom, 1978).

Als weitere Forschungsfrage wurde formuliert:

F1: Welche Wahlmotive sind beim Belegen des LLLS ausschlaggebend?

Hier wurden die Einstiegsfragen des Interviews induktiv inhaltsanalytisch ausgewertet. Die Fragestellung wurde dabei direkt an das Material gestellt. Es wurden anschließend Kategorien herauspräpariert.

B. K2teach-Studie: Die relevanten Daten wurden in einer Prä- und Post-Erhebung erfasst. Die Prä-Erhebung fand dabei stets in der ersten und die Post-Erhebung in der letzten oder vorletzten Semesterwoche der LLLS statt.

F2: Für wie praxisrelevant halten die Teilnehmer*innen die theoretischen Inhalte der LLLS im Vergleich zum bisherigen Studium und Parallelveranstaltungen?

Die von den Studierenden wahrgenommene Relevanz der theoretischen, fachdidaktischen Inhalte der LLLS für die Praxis wurde über eine adaptierte Ratingskala nach Prenzel und Drechsel (1996) erfasst. Für die Datenauswertung erfolgte die Ersetzung fehlender Werte durch multiple Imputation (.R: mice). Auf Grund der bisher noch zu geringen Stichprobe für eine adäquate Kovarianzanalyse im Rahmen von latenten Strukturgleichungsmodellen ($N \ll 300$) wurde als erste Auswertungsmethode forschungspragmatisch der t-Test für verbundene Stichproben gewählt.

4. Ergebnisse

Die im Folgenden vorgestellten Ergebnisse sind vorläufiger Natur und sollten vorsichtig interpretiert werden. Sie zeigen jedoch erste Tendenzen in Bezug auf

die Wirksamkeit des Lehrveranstaltungsformats LLLS.

H1: Der komplexitätsreduzierte und geschützte Rahmen scheint nicht nur zur Stabilisierung der SWE, sondern sogar zu einer leichten Steigerung in Bezug auf die Planung und Durchführung von Unterricht zu führen (siehe Abb.2).

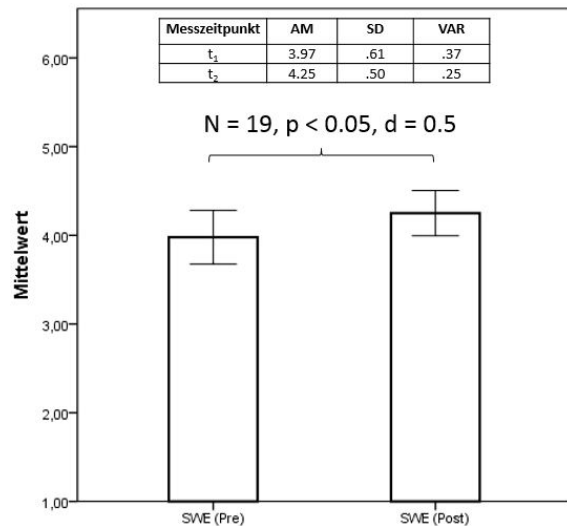


Abb.2: Entwicklung der Selbstwirksamkeitserwartungen

Dieses Ergebnis konnte durch die Auswertung der Interviews bestätigt werden. 87 % der Ratings fallen in die Kategorie „Zunahme der SWE“, 13 % entfallen auf „Keine Änderung der SWE“ und kein einziges Rating gibt es in der Kategorie „Abnahme der SWE“ (Cohen's Kappa: 0.68).

H2: Positive Ergebnisse konnten auch bezüglich des fachdidaktischen Wissens in Bezug auf die Veranstaltungsinhalte festgestellt werden. Insgesamt wurden 480 Antworten ausgewertet und mit einer nahezu vollständigen Übereinstimmung bei der Interkoder-Reliabilität kodiert (Cohen's Kappa: 0.91). Der T-

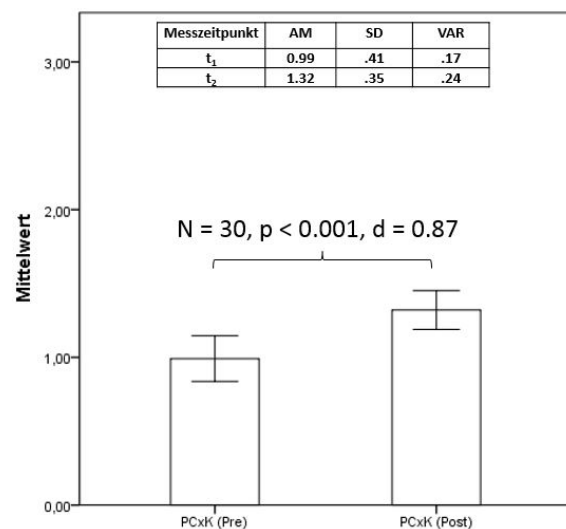


Abb.3: Entwicklung des fachdidaktischen Wissens

Test für abhängige Stichproben zeigt einen Mittelwertunterschied von 0.33 bei einer Effektstärke von 0.87 (hoher Effekt) (siehe Abb.3). Somit können H1 und H2 als mit hoher Wahrscheinlichkeit bestätigt angesehen werden.

F1: In Bezug auf die Wahlmotive konnten bisherige Forschungsergebnisse bestätigt werden. Der für die Teilnehmer*innen wichtigste Grund, das LLLS zu belegen, ist der Wunsch nach mehr Praxis, gefolgt von sozial-interpersonellen Gründen (z. B. Empfehlung, Freunde haben sich auch dafür entschieden) und strukturell-organisatorischen Gründen (z. B. zeitliche Passung, Seminarstruktur als Block).

F2: Abbildung 4 (siehe unten) zeigt die Ergebnisse für die wahrgenommene Relevanz der theoretischen Lerninhalte der LLLS für die Praxis ($N = 160$). Es zeigt sich, dass die Praxisrelevanz des bisherigen Studiums ($M = 3.69$, $SE = 0.07$) als signifikant geringer bewertet wird als die Praxisrelevanz der LLLS ($M = 4.58$, $SE = 0.06$). Dies entspricht mit Cohens $d = 1.05$ [CI: 0.86; 1.24] einem auch im Rahmen des Konfidenzintervalls großen Effekt. Die von Studierenden geforderte Praxisrelevanz der theoretischen Inhalte erreicht für LLLS deutlich höhere Ausprägungen als für die bisherige Studienerfahrung der teilnehmenden Lehramtsstudierenden. Die Praxisrelevanz der theoretischen Inhalte der LLLS übertrifft die Praxisrelevanz bisheriger Lehrformate bei weitem.

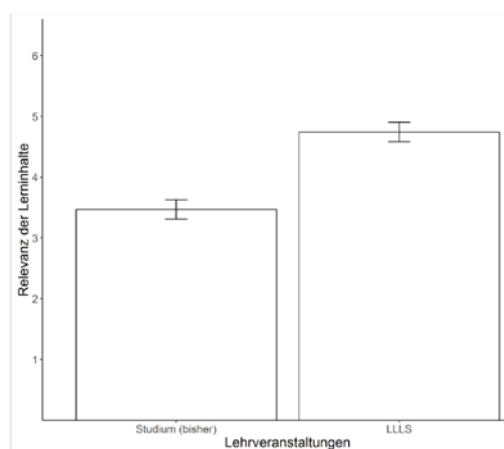


Abb.4: Praxisrelevanz der Lerninhalte

5. Diskussion und Ausblick

Die vorläufigen Forschungsergebnisse deuten auf erste Professionalisierungsschritte hin und zeigen erste Tendenzen in Bezug auf die Wirksamkeit des Veranstaltungskonzepts LLLS. Einschränkend ist zu sagen, dass die Stichprobe nicht zufällig bestimmt wurde und insbesondere beim DTS-Projekt noch sehr klein ist. Dies wird sich in der nächsten Erhebung verbessern ($N=50$). Hinzu kommt, dass die Ergebnisse nur eine geringe Reichweite haben, da sie lediglich Aussagen über den eigenen Standort zulassen. In den LLLS des K2teach-Projekts wird weiterhin semesterbegleitend erhoben. Aussagekräftige Ergebnisse zur

Reflexion stehen bisher in der Englisch-Didaktik zur Verfügung (vgl. Klempin & Sambanis, 2017). Resultate in den Erhebungen der Physikdidaktik in Bezug auf Einstellungen zur Reflexion, Reflexivität bzw. Theorie-Praxis-Reflexion werden derzeit aufbereitet.

6. Literatur

- Abels, S. (2011). *LehrInnen als „Reflective Practitioner“*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Baumert, Jürgen; Kunter, Mareike (2006): Stichwort: Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. In: *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft* 9 (4), S. 469–520.
- Berkemeyer, Nils; Järvinen, Hanna; Otto, Johanna; Bos, Wilfried (2011): Kooperation und Reflexion als Strategien der Professionalisierung in schulischen Netzwerken. In: Werner Helsper und Rudolf Tippelt (Hg.): *Pädagogische Professionalität*. Wien, Basel: Beltz ((*Zeitschrift für Pädagogik, Beiheft*; 57)), S. 225–247.
- Borowski, Andreas; Neuhaus, Birgit J.; Tepner, Oliver; Wirth, Joachim; Fischer, Hans E. (2010): Professionswissen von Lehrkräften in den Naturwissenschaften (ProwiN) – Kurzdarstellung des BMBF-Projekts. In: *ZfDN* 16, S. 341–349. Online verfügbar unter http://archiv.ipn.uni-kiel.de/zfdn/pdf/16_Kurzbericht_Borowski.pdf, zuletzt geprüft am 18.11.2014.
- Dicke, Theresa; Holzberger, Doris; Kunina-Habenschicht, Olga; Linninger, Christina; Schulze-Stocker, Franziska; Seidel, Tina et al. (2016): „Doppelter Praxisschock“ auf dem Weg ins Lehramt? Verlauf und potenzielle Einflussfaktoren emotionaler Erschöpfung während des Vorbereitungsdienstes und nach dem Berufseintritt. In: *Psychologie in Erziehung und Unterricht* 63 (4), S. 244–257.
- Dohrmann, René; Nordmeier, Volkhard (2017): Lehr-Lern-Labor und Professionalisierung im Lehramtsstudium Physik. In: Christian Maurer (Hg.): *Implementation fachdidaktischer Innovation im Spiegel von Forschung und Praxis*. Jahrestagung 2016. Zürich. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik. Universität Regensburg, S. 560–563.
- Dohrmann, René; Nordmeier, Volkhard (2016): Professionalisierung im Lehr-Lern-Labor Physik. In: Christian Maurer (Hg.): *Authentizität und Lernen - das Fach in der Fachdidaktik*. Jahrestagung 2015. Berlin. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik. Universität Regensburg, S. 581–583.
- 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:

- Volkhard Nordmeier und Helmuth Grötzebauch (Hg.): *PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung, Frühjahrstagung, Wuppertal. DPG, Berlin, S. 1–7.*
- Fichten, W. & Meyer, H. (2014). Skizze einer Theorie forschenden Lernens in der Lehrer_innenbildung. *Last oder Lust?: Forschung und Lehrer_innenbildung*, 10.
- Fischler, Helmut (2008): Physikdidaktisches Wissen und Handlungskompetenz. In: *ZfDN* 14, S. 27–49.
- Gieseke, Wiltrud (2009): Professionalisierung in der Erwachsenenbildung/ Professionalisierung in der Erwachsenenbildung/ Weiterbildung. In: Rudolf Tippelt und Aiga von Hippel (Hg.): *Handbuch Erwachsenenbildung/Weiterbildung*. 3., überarbeitete und erweiterte Auflage. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften / GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden (SpringerLink : Bücher), S. 385–403.
- Gudmundsdottir, Sigrun; Reinhartsen, Anne; Nordtomme, Nils P. (1995): Etwas Kluges, Entscheidendes und Unsichtbares. Über das Wesen des Pädagogischen Wissens über die Unterrichtsinhalte. In: *Zeitschrift für Pädagogik* (33 (Beiheft)), S. 163–174.
- Hascher, Tina (2011): Vom "Mythos Praktikum". ...und der Gefahr verpasster Lerngelegenheiten. In: *Journal für Lehrerinnen- und Lehrerbildung* (3), S. 8–14.
- Helsper, W. & Kolbe, F.-U. (2002). Bachelor/Master in der Lehrerbildung - Potential für Innovation oder ihre Verhinderung? *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 5 (3), 384–400.
- Herzog, Walter; Felten, Regula von (2001): Erfahrung und Reflexion. Zur Professionalisierung der Praktikumsausbildung von Lehrerinnen und Lehrern. In: *Beiträge zur Lehrerbildung* 19 (1), S. 17–28.
- Hoppe-Graff, S.; Schroeter, R. & Flagmeyer, D. (2008): Universitäre Lehrer-ausbildung auf dem Prüfstand: Wie beurteilen Referendare das Theorie-Praxis-Problem? In: *Empirische Pädagogik* 22 (3), S. 353–381.
- KMK (2008): *Ländergemeinsame inhaltliche Anforderungen für die Fachwissenschaften und Fachdidaktiken in der Lehrerbildung.*
- KMK (2004): *Standards für die Lehrerbildung: Bildungswissenschaften.*
- Kraler, Christian (2008): Professionalisierung in der Berufseingangsphase – Berufsbiografie und Kompetenzentwicklung. Entwicklungsaufgaben der ersten Berufsjahre und Unterstützungsmöglichkeiten. In: *SchVw Spezial* (1), S. 4–7.
- Krathwohl, David R.; Bloom, Benjamin Samuel; Dreesmann, Helmut; Masia, Bertram B. (1978): *Taxonomie von Lernzielen im affektiven Bereich*. 2. Aufl. Weinheim [u.a.]: Beltz (Beltz-Studienbuch, 85).
- Krofta, Helen; Fandrich, Jörg; Nordmeier, Volkhard (2013): *Fördern Praxisseminare im Schülerlabor* das Professionswissen und einen reflexiven Habitus bei Lehramtsstudierenden? In: Volkhard Nordmeier und Helmuth Grötzebauch (Hg.): *PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung, Frühjahrstagung, Jena. DPG, Berlin.*
- Lersch, R. (2006). *Lehrerbildung im Urteil der Auszubildenden. Eine empirische Studie zu beiden Phasen der Lehrerausbildung.* In C. Allemann-Ghionda (Hrsg.). *Kompetenzen und Kompetenzentwicklung von Lehrerinnen und Lehrern.* Weinheim u.a.: Beltz, 164–181.
- Loughran, J., Mulhall, P., & Berry, A. (2004). In search of pedagogical content knowledge in science: Developing ways of articulating and documenting professional practice. *Journal of research in science teaching*, 41(4), 370–391.
- Makrinus, Livia (2013): *Der Wunsch nach mehr Praxis. Zur Bedeutung von Praxisphasen im Lehramtsstudium.* Wiesbaden: Springer VS (Studien zur Schul- und Bildungsforschung, 49).
- Mayring, P. (2010): *Qualitative Inhaltsanalyse*. 11. Aufl. Weinheim, Basel: Beltz.
- Merzyn, G. (2006): *Fachdidaktik im Lehramtsstudium: Qualität und Quantität.* In: *MNU* 59 (1), 2006, S. 4–7.
- Messner, Helmut (1999): *Berufseinführung - ein neues Element der Ausbildung von Lehrerinnen und Lehrern.* In: *Beiträge zur Lehrerbildung* 17 (1), S. 62–70.
- Niggli, Alois (2002): *Welche Komponenten reflexiver beruflicher Entwicklung interessieren angehende Lehrerinnen und Lehrer? Faktorenstruktur eines Fragebogens und erste empirische Ergebnisse.* In: *Revue suisse des sciences de l'éducation* 26 (2), S. 343–364.
- Nordmeier, V.; Käpnick, F.; Komorek, M.; Leuchter, M.; Neumann, K.; Priemer, B.; Risch, B.; Roth, J.; Schulte, C.; Schwanewedel, J.; Upmeyer zu Belzen, A. & Weusmann, B. (2014): *Schülerlabore als Lehr-Lern-Labore: Forschungsorientierte Verknüpfung von Theorie und Praxis in der MINT-Lehrerbildung.* Unveröffentlichter Projektantrag zum durch die Deutsche Telekom Stiftung geförderten Entwicklungsverbund „Lehr-Lern-Labore“..
- Nölle, Karin (2002): *Probleme der Form und des Erwerbs unterrichtsrelevanter pädagogischer Wissens.* In: *Zeitschrift für Pädagogik* 48 (1), S. 48–67.
- Prenzel, M. & Drechsel, B. (1996). *Ein Jahr kaufmännische Erstausbildung: Veränderungen in Lernmotivation und Interesse.* *Unterrichtswissenschaft*, 24 (3), 217–234.
- Rabe, Thorid; Krey, Olaf; Meinhardt, Claudia (2013): *Physikdidaktische Selbstwirksamkeitserwartungen zukünftiger Physiklehrkräfte I.* In: Sascha Bernholt (Hg.): *Inquiry-based Learning - Forschendes Lernen. Jahrestagung in Hannover 2012.*

- Kiel: IPN (Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, 33), S. 635–637.
- Reh, Sabine (2004): Abschied von der Profession, von Professionalität oder vom Professionellen? Theorien und Forschungen zur Lehrerprofessionalität. In: *Zeitschrift für Pädagogik* 50, S. 358–372.
- Rehfeldt, Daniel, Klempin, Christiane, Seibert, David, Mehrrens, Tobias & Nordmeier, Volkhard (2017). Fächerübergreifende Wirkungen von Lehr-Lern-Labor-Seminaren: Adaption für die Fächergruppen Englisch, Geschichte und Sachunterricht. In: C. Maurer (Hrsg.), *Implementation fachdidaktischer Innovation im Spiegel von Forschung und Praxis*. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Zürich 2016. (S. 556). Universität Regensburg
- Klempin, Christiane; Sambanis, Michaela (2017): Die Förderung didaktischer Reflexionstiefe von Englischlehramtsstudierenden im Lehr-Lern-Labor Englisch. Berlin. Online verfügbar unter https://www.researchgate.net/publication/318014900_Klempin_Christiane_Sambanis_Michaela_2017_Die_Forderung_didaktischer_Reflexionstiefe_von_Englischlehramtsstudierenden_im_Lehr-Lern-Labor_Englisch, zuletzt geprüft am 23.10.2017.
- Schelten, Andreas (2009): Lehrerpersönlichkeit - ein schwer fassbarer Begriff. In: *Die berufsbildende Schule* 61 (2), S. 39–40.
- Scherz, Christina (2009): Zur Struktur professionellen Handelns im Lehrberuf. In: Ilse Schrittemer (Hg.): *Professionalität und Professionalisierung*. Einige aktuelle Fragen und Ansätze der universitären LehrerInnenbildung. Frankfurt a.M., Bern: P. Lang (Professionalisierung - Lernen in Netzwerken, Bd. 2), S. 37–60.
- Schneider, Edith (2004): Professionalität von Lehrerinnen und Lehrern. In: *ZDM* 36 (1), S. 1–2.
- Steffensky, Mirjam; Parchmann, Ilka (2007): The project CHEMOL: Science education for children - Teacher education for students! In: *Chemistry Education Research and Practice* 8 (2), S. 120–129.
- Thiel, F., Blüthmann, I. & Richter, M. (2010). *Ergebnisse der Befragung der Studierenden in den Bachelorstudiengängen an der Freien Universität Berlin - Sommersemester 2010*. Berlin: FU Berlin. Zugriff am 6.5.2013. Verfügbar unter: <http://www.fu-berlin.de/universitaet/entwicklung/qualitaetsmanagement/bachelorbefragung/bachelorbefragung-2010.pdf>
- Thiel, F. & Blüthmann, I. (2009). *Ergebnisse der Evaluation der lehrerbildenden Studiengänge an der Freien Universität Berlin Sommersemester 2009*. Freie Universität Berlin. Zugriff am 15.5.2017. Verfügbar unter: http://www.fu-berlin.de/sites/qm/verfahren/qualitaetssicherungsverfahren/zentrale-befragungen/lehramtsbefragung/Lehramtsmasterbefragung_2009.pdf
- Tietgens, Hans (1988): Professionalität für die Erwachsenenbildung. In: Wiltrud Gieseke (Hg.): *Professionalität und Professionalisierung*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt, S. 28–75.
- Tschannen-Moran, Megan; Woodfolk Hoy, Anita; Hoy, Wayne K. (1998): Teacher Efficacy: It's Meaning and Measure. In: *Review of Educational Research* 68 (2), S. 202–248.
- Völker, Matthias; Trefzger, Thomas (2010): „Verbesserung der Lehramtsausbildung“ – Ergebnisse einer Befragung unter Seminarlehrern. In: Nordmeier, V.; Grötzebauch, H. (Hg.): *PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG Frühjahrstagung*. Frühjahrstagung. Hannover.
- Weinberger, Alfred (2013): Einleitung. In: Alfred Weinberger (Hg.): *Reflexion im pädagogischen Kontext*. Forschungsberichte der Privaten Pädagogischen Hochschule der Diözese Linz. Wien, Berlin, Münster: LIT (Austria: Forschung und Wissenschaft: Erziehungswissenschaft, 19), S. 7–8.
- Weyland, Ulrike (2014): Schulische Praxisphasen im Studium: Professionalisierende oder deprofessionalisierende Wirkung. Fachhochschule Bielefeld (bwp@ Beruf- und Wirtschaftspädagogik - online, Profil 3). Online verfügbar unter http://www.bwpat.de/profil3/weyland_profil3.pdf, zuletzt geprüft am 04.09.2017.

Forschendes Lernen im im zyklischen Prozess

Hilde Köster, Martin Brämer, Jan Steger, Tobias Mehrrens

Freie Universität Berlin
hilde.koester@fu-berlin.de

Kurzfassung

Die Projekte „Schülerlabore als Lehr-Lernlabore: Forschungsorientierte Verknüpfung von Theorie und Praxis“ (gefördert durch die Deutsche Telekom Stiftung) sowie das durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderte Projekt „K2teach: Erprobung von Handlungsstrategien in Lehr-Lern-Laboren“, zielen darauf ab, die Lehrkräftebildung an Hochschulen zu optimieren und den Praxisbezug des Studiums zu verbessern. Ziel der im Beitrag beschriebenen Teilprojekte ist es, Lehr-Lern-Formate zu entwickeln und zu evaluieren, die Grundschulpädagogik-Studierenden Forschendes Lernen im zyklischen Prozess ermöglichen [1]. Dies wird umgesetzt durch die Entwicklung und Evaluation sogenannter Lehr-Lern-Labor-Seminare (LLLS).

Abstract

The projects “Student-laboratories as Teaching and Learning Laboratories: Research-Based Connection of Theory and Practice” (funded by Deutsche Telekom Stiftung) as well as the project “K2teach: Testing of Action Strategy in Teaching and Learning Laboratories” funded by BMBF are aimed to optimize teacher education at the university and to improve the connection between theory and practice. The projects’ aim is to design and evaluate learning environments based on Inquiry Based Science Learning in a cyclic process (vgl. [1]). Therefore, Teaching and Learning Laboratories (TLL) are developed, evaluated and adapted.

1. Theoretische Rahmung

Im Rahmen der Arbeiten zu den Projekten ‚K2teach‘ und ‚Schülerlabore als Lehr-Lern-Labore‘ wird ein Lehr-Lern-Format für angehende Grundschullehrkräfte entwickelt, das, im Studienkonzept als Pflichtveranstaltung verankert, auf eine stärkere Einbindung von Praxiselementen fokussiert und auf der Leitperspektive ‚Forschendes Lernen im zyklischen Prozess‘ [1] basiert. Die theoretische Rahmung des Formats ‚Lehr-Lern-Labor‘ (LLL) bildet einerseits das Modell des Professionswissens (mit den Facetten CK, PCK und PK) nach Shulmann [2] sowie andererseits das Konzept des Inquiry Based Science Learning (IBSL, vgl. [3]; [4]; [5]; [6]; [7]). Darüber hinaus gilt die Reflexionskompetenz als zentral für die Entwicklung von Lehrer*innenprofessionalität [8] und wird entsprechend berücksichtigt.

Im Sinne einer Ausprägung dieser Kompetenzfacetten erleben die Studierenden in dem hier beschriebenen Lehr-Lernformat das Forschende Lernen auf drei Ebenen: Erstens als eigene ‚Forschung‘ an einem physikalischen Phänomen und einer diesbezüglichen selbst gewählten Fragestellung im Sinne des IBSL auf dem Level des Open Inquiry (vgl. [3]; [9]) – zum Erwerb von Fachwissen und Methodenkompetenz. Zweitens als Entwicklungsforschung und zum Erwerb fachdidaktischer Kompetenz während der Gestaltung und Optimierung einer Lernumgebung für Grundschulkinder. Drittens als Unterrichts-

forschung und zum Erwerb pädagogischer Kompetenz während der Beobachtung von Grundschulkindern im Prozess der Erprobung der Lernumgebungen in komplexitätsreduzierten Lehr-Lern-Labor-Settings. Das eigene Handeln und Lernen wird durch zyklische Reflexionsphasen gerahmt und begleitet.

Die Konzeption und praktische Umsetzung des Lehr-Lern-Labor-Seminars folgt dem Leitbild des Forschenden Lernens, welches vorsieht, dass die Studierenden alle Phasen eines Forschungsprozesses, wie beispielsweise die Formulierung einer Forschungsfrage, die Entwicklung eines methodischen Designs, die Umsetzung sowie die Diskussion der Ergebnisse selbst vollziehen (vgl. [10] S. 187). Die Studierenden arbeiten hierzu in einer konstruktiv-unterstützenden Lernumgebung (Lernwerkstatt), die forschendes Handeln sowohl bezogen auf geeignete Medien und Materialien als auch auf den Zeitrahmen und die Unterstützung durch die Dozierenden ermöglicht (vgl. [11]).

Dem Forschenden Lernen im Lehr-Lern-Labor-Seminar (LLLS) im Studienfach Sachunterricht liegen zudem sowohl erkenntnis-, motivations- und interessentheoretische Überlegungen und diesbezügliche empirische Ergebnisse zugrunde als auch spezifisch auf den Sachunterricht bezogene didaktische und pädagogische Erkenntnisse und Modelle.

2. Organisation der LLLS

Die Studierenden erleben das Forschende Lernen in den LLLS auf drei Ebenen: Sie erwerben zunächst eigenes Fachwissen sowie Methodenkompetenz hinsichtlich eines lehrplanrelevanten naturwissenschaftlichen Themengebietes (z.B. Elektrizitätslehre, Magnetismus, Mechanik, Optik, Stoffe und ihre Eigenschaften u.a.). Ausgehend von einer selbst gewählten Fragestellung befassen sie sich in Gruppen zu drei bis vier Personen zunächst einige Wochen lang mit dem Erwerb fachlichen und methodischen Wissens zu dem von ihnen gewählten Themengebiet und/oder Phänomen. Das fachdidaktische Wissen insbesondere zum Forschenden Lernen erwerben die Studierenden über das Literaturstudium, Vorträge der Dozierenden sowie Beispiele, z. B. in Form von Videovignetten. In einer nun folgenden am Design-Based Research-Ansatz (vgl. [12]) orientierten Phase entwickeln die Studierenden aufgrund ihrer gewonnenen Kenntnisse und Kompetenzen eine dem eigenen gewählten Themengebiet entsprechende Lernumgebung für Grundschul Kinder, die diesen Forschenden Lernen im Sinne des IBSL im Sinne des ‚open inquiry‘ ([9], S. 26) ermöglichen soll. Pädagogische Kompetenz erlangen die Studierenden vor allem über die Unterrichtsforschung, die sie durch Beobachtung der Kinder während zweier Erprobungen der Lernarrangements in komplexitätsreduzierten Lehr-Lern-Labor-Settings durchführen und über die sie jeweils im Anschluss reflektieren.

Das Design-Based Research bezieht sich hierbei vor allem auf die „Entwicklung und Forschung [...] in kontinuierlichen Zyklen von Gestaltung, Durchführung, Analyse und Re-Design“ ([12], S. 62), da die Studierenden ihre individuelle Expertise aufgrund von zyklischen Praxis-, Lern- und Reflexionsphasen entwickeln. Als weiteres relevantes Merkmal nach Reimann [12] nimmt das ‚Design‘ in Zusammenhang mit der Erstellung und Überarbeitung von Lernarrangements für Grundschul Kinder innerhalb der LLLS einen zentralen Stellenwert ein (ebd. S. 61).

Die Lehr-Lern-Labor-Seminare lassen sich inhaltlich also in acht Teilaspekte unterteilen, die im Verlauf des Semesters acht Lehrveranstaltungen á 4 SWS entsprechen. (Die jeweils vierstündigen Seminare eignen sich in Hinblick auf alle acht Bestandteile besser als zweistündige.):

1. eigene fachbezogene Forschung an einem physikalischen Phänomen,
2. Vermittlung didaktischer Grundlagen zum Forschenden Lernen,
3. Planung und Gestaltung einer Lernumgebung für Grundschul Kinder,
4. Praxis-Test zur Evaluation der Lernumgebung in Hinblick auf die Kriterien des Forschenden Lernens unter Beobachtung der Denk- und Lernprozesse der Kinder,

5. kriteriengeleitete Reflexion der Lehr-Lern-Prozesse der Kinder sowie der eigenen Rolle im Hinblick auf gelingendes Forschendes Lernen,

6. ggf. Optimierung der Lernumgebung,

7. zweiter Praxis-Test zur Evaluation der Lernumgebung in Hinblick auf die Kriterien des Forschenden Lernens unter Beobachtung der Denk- und Lernprozesse der Kinder und schließlich

8. theoriegeleitete Reflexion der Lehr-Lern-Prozesse der Kinder im Hinblick auf gelingendes Forschendes Lernen und Reflexion der eigenen Lernprozesse im Seminar.

3. Fragestellungen, Forschungsdesign und Stichprobe

Im Rahmen der beiden Forschungsprojekte wird im Wesentlichen folgenden Fragen nachgegangen:

- Inwieweit sind die Studierenden in der Lage, ein selbst gewähltes naturwissenschaftsbezogenes Phänomen eigenständig zu erforschen und sich dabei relevantes Fachwissen anzueignen?
- Gelingt es den Studierenden durch die Transformation des Gelernten auf eine zu gestaltende und ggf. zu optimierende Lernumgebung fachdidaktische Kompetenzen im Hinblick auf das forschende Lernen zu erwerben und anzuwenden?
- Erwerben die Studierenden durch die Beobachtung der Aktivitäten von Kindern in der Lernumgebung pädagogische- sowie Reflexionskompetenzen, auch bezüglich des eigenen Lernens?

Die LLLS werden mithilfe des Design-Based Research – Ansatzes (vgl. [12]) entwickelt und evaluiert. Auch hierbei steht ein Vorgehen in einzelnen Forschungszyklen sowie eine zentrale Stellung des Designbegriffs im Hinblick auf die Konstruktion der LLLS im Zentrum.

Um das Fachwissen der Studierenden im Pre-Post-Design zu erheben, fertigen diese zu Beginn und zum Ende des eigenen Forschungsprozesses jeweils eine Concept Map des offenen Typs an (vgl. [13], S. 330). Der Einsatz von Concept Maps als Diagnose- und Forschungsinstrument wird seit langem als geeignete Methode zur Erfassung individueller Wissensstrukturen sowie ihrer Veränderung im Laufe des Wissenserwerbs angesehen (vgl. [14], S. 25f.). Für die Auswertung wird die qualitative Analyse der Concept Maps nach Kinchin et al. [15] angewandt, die auch eine Untersuchung der Qualität der Wissensstrukturen ermöglicht ([15]; [14], S. 39). Demnach entsprechen zunehmend integrierte und hierarchische Strukturen der Concept Maps einem tieferen Verständnis sowie einer komplexeren Betrachtungsweise des Konzepts (vgl. [15]).

Parallel zum Verlauf des LLLS erstellen die Studierenden Portfolios, die die Darstellung des For-

schungsprozesses der Studierenden, die didaktische Begründung für sowie die Beschreibung der konzipierten Lernumgebung, die didaktisch begründete Überarbeitung dieser sowie ein Reflexionsessay umfassen [16]. Anhand der Portfolios werden die Entwicklung der fachlichen und fachdidaktischen Kompetenzen bezüglich des IBSL sowie die Ausprägung der Stufen der Reflexionsfähigkeit (nach [17], 131f) erfasst. Die Auswertung der Portfolios erfolgt mit Hilfe der Qualitativen Inhaltsanalyse nach Kuckartz [18].

Ergänzend wird über die Dauer des gesamten Seminars eine Teilnehmende Beobachtung (vgl. [19]) durchgeführt.

Außerdem wurden in einem Pre-Post-Verfahren die Selbstwirksamkeitserwartung (u.a. auch hinsichtlich eines sog. Praxisschocks (vgl. [20]), die Einschätzung der Praxisrelevanz der theoretischen Anteile des Seminars sowie die präferierte Lernform der Studierenden erhoben.

Durchgeführt wurden bisher sechs Seminare im Rahmen des Bachelor-Studiums Grundschulpädagogik im Fach Sachunterricht und N=180 Studierende im 3. bzw. 5. Fachsemester untersucht. Drei Seminare fanden im Wintersemester 2016/17 und drei im Sommersemester 2017 statt. Erste Untersuchungsergebnisse und Erfahrungen aus dem ersten Durchgang konnten im zweiten Durchgang im Sinne einer formativen Evaluation zu Optimierungen im Seminarkonzept genutzt werden (s.u.).

Im Zuge der Erprobungen der Lernumgebungen nahmen insgesamt ca. 280 Schülerinnen und Schüler an den LLLS teil.

4. Erste Forschungsergebnisse

Die Auswertung erster Concept Maps (N = 12) entsprechend der Strukturanalyse nach Kinchin et al. [15] zeigt eine deutliche Veränderung von radial angeordneten Speichenstrukturen und vermeintlich hierarchisch organisierten Kettenstrukturen über Mischformen (bei anhaltend geringer Integration) in der ersten Concept Map hin zu stärker integrierten und hierarchisierten bzw. eher netzartigen Strukturen in der zweiten Concept Map. Dies lässt auf eine Zunahme und bessere Vernetztheit des Fachwissens bei den Studierenden schließen (vgl. [15], 46ff.).

Die Auswertung erster Portfolios (N = 12) zeigt, dass zu Beginn überwiegend deklarative Fachwissensanteile dokumentiert und nach Beendigung des Seminars eine Zunahme prozeduraler Anteile zu verzeichnen ist. In Hinblick auf den (exemplarischen) Erwerb von Fach- und Methodenwissen scheint das LLLS-Format grundsätzlich wirksam zu sein.

Aus den Portfolios geht auch hervor, dass einige Studierende im ersten Durchgang für die Formulierung einer eigenen Forschungsfrage recht viel Zeit benötigten (bis zu drei Semesterwochen). Auch der Zugang zu den im ersten Durchgang gewählten

Forschungsfeldern dauerte z.T. recht lange, z.B., da die Studierenden zunächst nur eine geringe Eigenaktivität zeigten, obwohl sie in der Lernwerkstatt, in der die Seminare stattfinden, vielfältige Anregungen und Materialien vorfinden. Da die Zeitspanne für eine effektive Aneignung des Fachwissens dadurch z.T. stark eingeschränkt war, wurde im Sinne des Design-Based Research Ansatzes eine Optimierung eingebracht, indem die Auswahl möglicher Themenfelder reduziert und zu diesen Themenfeldern bereits zu Beginn des Seminars umfangreiches Material und vielfältige Medien sichtbar auf Tischen zur Verfügung stehen. So können die Studierenden nun direkt mit Explorationen und der Entwicklung von Forschungsfragen beginnen. Die Erfahrungen im zweiten Durchgang zeigen, dass diese Optimierung den Einstieg stark beschleunigt und so mehr Zeit für das Forschende Lernen zu Verfügung steht.

Ein Ergebnis der teilnehmenden Beobachtung in den ersten beiden Durchgängen war, dass es den Studierenden, die (u.a. durch den Wegfall eines Unterrichtspraktikums im Bachelorstudium) im Studium erst sehr wenige Gelegenheiten für Praxiserfahrungen hatten, z.T. recht schwer fiel, die Kinder und deren ‚Forschungsprozesse‘ während der Erprobung der Lernumgebungen systematisch und theoriegeleitet zu beobachten. Dies führte zur Entwicklung eines Beobachtungsrasters, das im nächsten Durchgang eingesetzt werden soll.

Aufgrund der Ergebnisse der Teilnehmenden Beobachtung gab es außerdem Hinweise auf ein geringes Fähigkeitsselbstkonzept mancher Studierenden im Hinblick auf physikalische und chemische Inhalte. Um den eventuellen Einfluss der LLLS auf diese Konzepte zu operationalisieren, wurden das Pre-Post-Testinstrument um das entsprechende Konstrukt ergänzt [21].

5. Literatur

- [1] Nordmeier, V., Käpnick, F., Komorek, M., Leuchter, M., Neumann, K., Priemer, B., Risch, B., Roth, J., Schulte, C., Schwanewedel, J., Upmeier zu Belzen, A. & Weusmann, B. (2014): Schülerlabore als Lehr-Lern-Labore: Forschungsorientierte Verknüpfung von Theorie und Praxis in der MINT-Lehrerbildung. Unveröffentlichter Projektantrag.
- [2] Shulman, L. S. (1986): Those Who Understand: Knowledge Growth in Teaching. In: *Educational Researcher* 15 (2), 4-14.
- [3] Köster, H. & Galow, P. (2014): Forschendes Lernen initiieren. Hintergründe und Modelle offenen Experimentierens. *Unterricht Physik*, 25 (2014), 144, 24-26.
- [4] Labudde, P. & Börlin, J. (2013): Inquiry-Based Learning: Versuch einer Einordnung zwischen Bildungsstandards, Forschungsfeldern und PROFILES. In S. Bernholt (Hrsg.): *Inquiry-based Learning – Forschendes Lernen*, Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik

- (GDCP), Jahrestagung in Hannover 2012. Bd. 33. Kiel: Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften und Mathematik, 183-185.
- [5] Höttecke, D. (2010): Forschend-entdeckender Physikunterricht. Ein Überblick zu Hintergründen, Chancen und Umsetzungsmöglichkeiten entsprechender Unterrichtskonzeptionen. *Unterricht Physik*, 119, 4–12.
- [6] Höttecke, D. (2013): Forschend-entdeckenden Unterricht authentisch gestalten. Ein Problemaufriss. In: S. Berholt (Hrsg.), *Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik (GDCP), Tagungsband zur Jahrestagung in Hannover 2012 – Inquiry-based Learning – Forschendes Lernen*. Kiel: IPN, 32-42.
- [7] Pedaste, M.; Mäeots, M.; Siiman, L. A.; de Jong, T.; van Riesen, S. A.N.; Kamp, E. T.; Manoli, C. C.; Zacharia, Z. C.; Tsourlidaki, E. (2015): Phases of inquiry-based learning: Definitions and the inquiry cycle. *Educational Research Review*, 10, Vol. 14, 47-61.
- [8] Artmann, M., Herzmann, P., Hoffmann, M. & Proske, M. (2013): Wissen über Unterricht. Zur Reflexionskompetenz von Studierenden in der ersten Phase der Lehrerbildung. In: A. Gehrmann (Hrsg.), B. Kranz, S. Pelzmann & A. Reinartz (Hrsg.): *Formation und Transformation der Lehrerbildung. Entwicklungstrends und Forschungsbefunde*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt, 134-150.
- [9] Banchi, H., Bell, R. (2008): The Many Levels of Inquiry. *Science and Children*, 46 (2), 26-29.
- [10] Reitinger, J. (2013): *Forschendes Lernen. Theorie, Evaluation und Praxis in naturwissenschaftlichen Lernarrangements*. Immenhausen: Prolog-Verlag.
- [11] Reitinger, J. (2016): Die Lern- bzw. Studienwerkstatt als Raum für selbstbestimmtes forschendes Lernen. In: S. Schude, D. Bosse, J. Klusmeyer (Hrsg.) (2016): *Studienwerkstätten in der Lehrerbildung. Theoriebasierte Praxislernorte an der Hochschule*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, Springer Verlag, 37-53.
- [12] Reinmann, G. (2005): Innovation ohne Forschung? Ein Plädoyer für den Design-Based Research-Ansatz in der Lehr-Lernforschung. *Unterrichtswissenschaft* 33 (2005) 1, 52-69.
- [13] Graf, D. (2014): *Concept Mapping* als Diagnosewerkzeug. In: D. Krüger, I. Parchmann, H. Schecker (Hrsg.): *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung*. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum, 325-337.
- [14] Stracke, I. (2004): Einsatz computerbasierter Concept Maps zur Wissensdiagnose in der Chemie. Empirische Untersuchungen am Beispiel des chemischen Gleichgewichts. Münster: Waxmann.
- [15] Kinchin, I.; Hay, D.; Adams, A. (2000): How a qualitative approach to concept map analysis can be used to aid learning by illustrating patterns of conceptual development. In: *Educational Research*, Vol. 42, No.1, 43- 57.
- [16] Ziegelbauer, S., Ziegelbauer, C., Limprecht, S. Gläser-Zirkuda, M. (2013): Bedingungen für gelingende Portfolioarbeit in der Lehrerinnen- und Lehrerbildung- empiriebasierte Entwicklung eines adaptiven Portfolio-konzeptes. In: Koch-Priewe, B., Leonhard, P., Pinner, A., Störtländer, J. (Hrsg.) (2013): *Portfolio in der Lehrerbildung. Konzepte und empirische Befunde*. Bad Heilbrunn: Verlag Julius Klinkhardt.
- [17] Abels, S. (2011): *LehrerInnen als „Reflective Practitioner“*. Reflexionskompetenz für einen demokratieförderlichen Naturwissenschaftsunterricht. Wiesbaden: Springer VS.
- [18] Kuckartz, U. (2016): *Qualitative Inhaltsanalyse: Methoden, Praxis, Computerunterstützung*. 3., überarbeitete Auflage. Weinheim: Beltz Juventa.
- [19] Lüders, C. (2003): *Teilnehmende Beobachtung*. In: Bohnsach, R.; Marotzki, W.; Meuser, M. (Hrsg.): *Hauptbegriffe qualitativer Sozialforschung*. Wiesbaden: Opladen. S. 151-153.
- [20] Ulrich, G.; Massinger, P. (1980): *Praxischock, Einstellungswandel und Lehrertraining: Können innovative Orientierungen bei jungen Lehrern stabilisiert werden? Bildung und Erziehung*, 1980, Vol.33(6), pp.550-577.
- [21] Kleickmann, T. (2008): *Zusammenhänge fachspezifischer Vorstellungen von Grundschullehrkräften zum Lehren und Lernen mit Fortschritten von Schülerinnen und Schülern im konzeptuellen naturwissenschaftlichen Verständnis*. Inaugural-Dissertation. Münster: Westfälische Wilhelms-Universität.

Mathematikdidaktik in der Physiklehrerbildung?

- Projekte zur fachdidaktisch-verbindenden Lehrerbildung -

Eduard Krause*

*Herrengarten, Siegen
krause@mathematik.uni-siegen.de

Kurzfassung

Der Rolle der Mathematik in der Physik wird in der Physikdidaktik berechtigterweise ein reges Forschungsinteresse gewidmet. Neben rein fachlichen und erkenntnistheoretischen Aspekten sind auch mathematikdidaktische Gesichtspunkte in diesen Diskussionen relevant. Der fachdidaktisch-verbindende Ansatz der Universität Siegen sieht den gleichberechtigten Austausch über den Zusammenhang von Mathematik und Physik sowie den Vergleich didaktischer Theorien beider Fächer vor. Im Vortrag soll anhand von Projekten vorgestellt werden, warum und wie bereits in der ersten Phase der Lehrerbildung fachdidaktisch-verbindendes Arbeiten umgesetzt werden kann.

1. Einleitung

Dass die Mathematik ein wichtiger Bestandteil der Physik ist, schlägt sich auch in der Physiklehrerbildung nieder. Vor allem in der Lehrerausbildung müssen angehende Physiklehrerinnen und -lehrer Kurse zur mathematischen Bildung belegen. Diese Kurse, meist als „Mathematik für Physiker“ oder ähnlich bezeichnet, besuchen Lehramts- und Fachstudierende häufig gemeinsam. Dabei werden mathematische Grundlagen komprimiert behandelt und Anwendungen für die Physik vertieft. Eine mathematikdidaktische Veranstaltung für Studierende des Lehramts für Physik ist jedoch in den allerwenigsten Studienordnungen vorgesehen. Der vorliegende Artikel zeigt auf, wieso eine solche Lehrveranstaltung in der Physiklehrerbildung gewinnbringend ist und wie eine mögliche Umsetzung aussehen kann.

2. Zum Zusammenhang von Mathematik und Physik

2.1. Perspektiven auf den Zusammenhang von Mathematik und Physik

Dass Mathematik und Physik zahlreiche Verbindungen aufweisen, ist landläufig bekannt. Worin genau diese bestehen und welcher Art sie sind, kann aus unterschiedlichen Perspektiven geklärt werden. So besteht beispielsweise ein reges Interesse reiner fachhistorischer Forschung darin, herauszufinden, wie und wo genau sich beide Disziplinen in ihrer Genese befruchtet haben, um z. B. auch Prioritätenstreiten auf den Grund zu gehen. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, die Mathematik und Physik mit einem Meta-Formalismus zu beschreiben und über diese Beschreibung wissenschaftstheoretische Gemeinsamkeiten und Unterschiede zu diskutieren. Dabei wäre der Strukturalismus ein möglicher Meta-Formalismus, der um den Philosophenkreis von Stegmüller, Balzer und Sneed verfasst wurde [1] und

mit dem auch schon physikalische und mathematische Theorien rekonstruiert wurden [2].

Da der Zusammenhang beider Fächer beim Lernen und Lehren in der Schule eine wichtige Rolle spielt, haben sich auch die entsprechenden Fachdidaktiken diesem Thema gewidmet. So sind in jüngerer Vergangenheit Dissertationen zur Rolle der Mathematik in der Physik entstanden (z. B. [3] und [4]) sowie weitere fachdidaktische Beiträge verfasst worden, wie z.B. das Themenheft in der Zeitschrift Praxis der Naturwissenschaften - Physik [5]. Diese Arbeiten wurden im Wesentlichen aus der Perspektive einer Didaktik verfasst. Der Ansatz, der diesem Artikel und der vorgestellten Projekten zugrunde liegt, sieht einen interdisziplinären Austausch der Mathematik- und Physikdidaktik in gleichberechtigter Weise vor. Bevor genauer auf diesen Ansatz eingegangen werden kann, sollen zunächst die Kernpunkte des Zusammenhangs von Mathematik und Physik zusammengefasst werden.

2.2. Zur Rolle der Mathematik in der Physik

2.2.1. Mathematik als Werkzeug der Physik

Da die Physik an vielen Stellen die quantitative Auswertung von Daten vorsieht, fungiert die Mathematik in der Physik natürlich auch als Werkzeug (z. B. bei der Fehlerrechnung im Rahmen der Auswertung eines Experiments). Damit ist die Rolle der Mathematik aber noch lange nicht erschöpft.

2.2.2. Mathematik als Sprache der Physik

Mit der Mathematik lassen sich Inhalte sehr knapp und präzise ausdrücken. Gerne wird Galilei mit folgendem Zitat angeführt, um die Rolle der Mathematik als Sprache der Physik zu unterstreichen:

„Die Philosophie steht in dem großen Buch - ich meine das Universum - das stets offen vor uns liegt, aber wir können es erst verstehen, wenn wir die

Sprache und die Buchstaben verstehen, in denen es geschrieben ist. Es ist in der Sprache der Mathematik geschrieben und seine Buchstaben sind Dreiecke, Kreise und andere geometrische Figuren, ohne die es dem Menschen unmöglich ist, ein einziges Wort daraus zu verstehen“ [6].

So lässt sich z. B. das zweite newtonsche Axiom, das Newton noch verbalsprachlich auf Latein folgendermaßen formuliert hat:

“*Mutationem motus proportionalem esse vi motrici impressae, et fieri secundum lineam rectam qua vis illa imprimitur.*“ in der Sprache der Mathematik wesentlich kürzer ausdrücken: $\vec{v} \propto \vec{F}$.

Wenn die Syntax und Semantik dieser Sprache bekannt ist, kann man auch über Ländergrenzen hinweg problemlos kommunizieren.

So bedeutsam der Sprachaspekt ist, reicht er noch nicht aus, um die Rolle der Mathematik für die Physik hinreichend zu beschreiben. Die Mathematik ist auch erkenntnistheoretisch essentiell in der Physik, wie im nächsten Abschnitt ausgeführt werden soll.

2.2.3. Mathematik als Glied im Prozess der Erkenntnisgewinnung

Theoriebildungs- und Erkenntnisgewinnungsprozesse der Physik sind unter dem Schlagwort „Nature of science“ schon vielfach diskutiert worden. Dabei sind zahlreiche Modelle zu deren Beschreibung entstanden. Hier soll exemplarisch ein solches Modell angeführt werden, das Einstein in einem Brief an seinen Freund Maurice Solovine verfasst hat (eine ausführliche Betrachtung kann in [7] nachgelesen werden). Nach diesem Modell ist zwar noch die Empirie Ausgangspunkt des Theoriebildungsprozesses in der Physik, aber die Begriffe und Axiome sind als geistige Schöpfungen ad-hoc-Setzungen. Aus diesen lassen sich Sätze folgern, welche sich in der Empirie bewähren müssen (vgl. Abbildung 1).

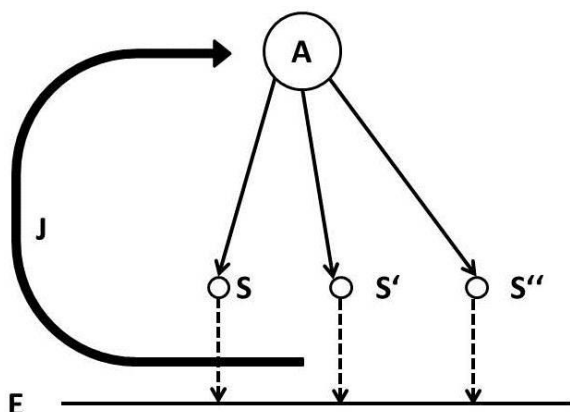


Abb. 1: Reproduktion von Einsteins Skizze zur Theoriebildung, die als EJASE-Modell bekannt geworden ist. E steht für (Sinnes-) Erfahrungen, J für Jump, A für Axiomen-System und S für gefolgerte Sätze [vgl. 8].

Dieser Deduktion von allgemeinen Begriffen und Axiomen zu konkreten überprüfbar Sätzen ent-

spricht in der Physik meist eine mathematische Herleitung. So kann z. B. aus dem fermatschen Prinzip

$$\delta t = \delta \int_A^B \frac{dl}{c} = 0 \tag{1}$$

das Brechungsgesetz hergeleitet werden. Entsprechend Abbildung 2 ergibt sich die Zeit zu:

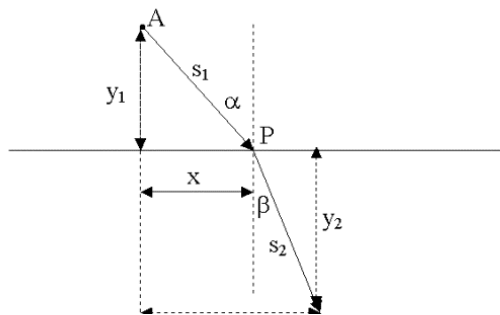


Abb. 2: Skizze zur Herleitung des Brechungsgesetzes.

$$t = \frac{s_1}{c_1} + \frac{s_2}{c_2} = \frac{1}{c_1} \sqrt{x^2 + y_1^2} + \frac{1}{c_2} \sqrt{(x_2 - x)^2 + y_2^2} \tag{2}$$

Damit kann das snelliussche Brechungsgesetz wie folgt hergeleitet werden:

$$\frac{dt}{dx} = \frac{x}{c_1 \sqrt{x^2 + y_1^2}} - \frac{x_2 - x}{c_2 \sqrt{(x_2 - x)^2 + y_2^2}} \tag{3}$$

$$\Leftrightarrow \frac{dt}{dx} = \frac{x}{c_1 s_1} - \frac{x_2 - x}{c_2 s_2} = 0$$

$$\Rightarrow \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{c_1}{c_2} = \frac{n_2}{n_1} \tag{4}$$

Durch wenige mathematische Deduktionen kann so neue physikalische Erkenntnis zu Tage gefördert werden, die sich allerdings noch in der Empirie bewähren muss. Es lässt sich sagen, dass die Mathematik ein essentielles Glied im Prozess der Erkenntnisgewinnung der Physik darstellt.

2.3. Zur Rolle der Physik in der Schulmathematik

Im vorherigen Abschnitt wurde gezeigt, wie wichtig die Mathematik für die Physik ist. Andererseits hat die Physik auch schon häufig zur Entwicklung der Mathematik beigetragen. Im Folgenden soll die Rolle der Physik beim Lernen von Mathematik in der Schule herausgestellt werden.

2.3.1. Physik als Anwendungspool der Mathematik

Mathematik soll in der Schule möglichst in authentischen Anwendungen in realem Sachkontext vermittelt werden [9]. Nach Heinrich Winter ist Mathematikunterricht dann allgemeinbildend, wenn er den Lernenden (u. a.) ermöglicht „Erscheinungen der Welt um uns, die uns alle angehen oder angehen sollten, aus Natur, Gesellschaft und Kultur, in einer spezifischen Art wahrzunehmen und zu verstehen“ [10]. Die Erscheinungen aus der Natur, die mittels Mathematik in einer spezifischen Art wahrgenommen und verstanden werden sollen, ergeben sich meist aus chemischen, biologischen oder auch phy-

sikalischen Kontexten. Zahlreiche stoffdiaktische Aufarbeitungen weisen auf den Mehrwert einer physikalischen Kontextualisierung beim Lernen von Mathematik auf. Als Beispiel kann die Kinematik beim Lernen des Ableitungsbegriffs genannt werden [11].

2.3.2. Schulmathematik als Quasi-Naturwissenschaft

Die Physik liefert der Schulmathematik aber nicht nur motivierende und illustrierende Kontexte, sondern die Schulmathematik als Ganzes weist durch die Kontextorientierung einige erkenntnistheoretische Parallelen zur Physik auf [12]. Während Lehrerinnen und Lehrer gerne eine abstrakt-formale mathematische Theorie geschickt veranschaulichen wollen, lernen ihre Schülerinnen und Schüler tatsächlich eine empirisch-gegenständliche Theorie über die Veranschaulichungsmittel ([13] und [14]). Hierzu die Schulgeometrie als Beispiel: Die Euklidische Geometrie wurde erstmals von David Hilbert 1899 vollständig axiomatisiert. Das Axiomensystem besitzt 20 Axiome. Im Geometrieunterricht aller Schulformen wird dieses abstrakt-formale Axiomensystem nicht an den Anfang gestellt. Stattdessen werden die Inhalte mit Hilfe von Figuren, die man auf Zeichenblättern oder an der Tafel konstruiert, „veranschaulicht“. Schülerinnen und Schüler erwerben dann aber nicht die abstrakt-formale Geometrie i.S.v. Hilberts Grundlagen, die mit Hilfe von Zeichenblattfiguren nur geschickt veranschaulicht wurde, sondern eine empirisch-gegenständliche Theorie von Zeichenblattfiguren [13]. Dies belegen u.a. empirische Untersuchungen von Alan Schoenfeld [15], der Schülerinnen und Schüler beim Lösen von geometrischen Problemen beobachtet hat und deren „belief system“, also deren Auffassung von Geometrie untersuchte. Er ordnet Schülern ein „empirical belief system“ zu, im Gegensatz zum „mathematical belief system“ von Mathematikern.

2.4. Konsequenzen aus dem Zusammenhang von Mathematik und Physik für die Fachdidaktiken

Physik und Mathematik haben sich nicht nur in ihrer geschichtlichen Genese mannigfach befruchtet. Auch beim Lernen beider Disziplinen gibt es vielfache Synergien. Neben der inhaltlichen Schnittmenge sind auch erkenntnistheoretische Parallelen Grund dieser engen Verbindung. Für beide Fachdidaktiken scheint demnach eine enge Zusammenarbeit verheißungsvoll. Im Folgenden soll eine solche interdisziplinäre Wissenschaftskooperation als fachdidaktisch-verbindend bezeichnet werden.

3. Fachdidaktisch-verbindendes Arbeiten

3.1. Begriffsbeschreibung

Fachdidaktisch-verbindende Vorhaben ersetzen nicht die Arbeit der einzelnen Fachdidaktiken, sondern ergänzen sie in einem abgesteckten thematischen Rahmen über einen begrenzten Zeitraum –

„von Fall zu Fall“. Der Vergleich fachdidaktischer Zugänge der beteiligten Disziplinen ist die Grundlage der Verbindung und kann neue didaktische Phänomene hervorbringen. Die personelle Zusammenarbeit von Forschern verschiedener Fachdidaktiken ist dabei zentral. Fachdidaktisch-verbindende Vorhaben folgen einer übergeordneten gemeinsamen Zielsetzung und berücksichtigen dabei neben dem geeigneten Thema als Ausgangspunkt der inhaltlichen Kooperation vor allem fachspezifische Auffassungen, Methoden, Arbeitsweisen, Denkhaltungen und Erkenntniswege. Die so eröffnete gemeinsame Perspektive ergänzt die beteiligten Fachdidaktiken durch die neuen Phänomene, was das Vorhaben gewinnbringend macht für alle Beteiligten [16].

3.2. Mögliche Inhalte fachdidaktisch-verbindenden Arbeitens

Um die inhaltliche Schnittmenge und die erkenntnistheoretischen Parallelen beider Fächer und die damit verbundenen Implikationen für beide Fachdidaktiken zu thematisieren, eignen sich z. B. folgende Themen:

3.2.1. Experimentieren

Da das Experimentieren einen wichtigen Aspekt der Methode der Physik ausmacht, hat sich auch die Physikdidaktik vielfach dazu geäußert, welche erkenntnistheoretische Rolle das Experiment beim Lernen von Physik spielt, wie es in den Unterricht eingebunden werden kann und wie man bei Lernenden die experimentelle Kompetenz fördern kann. In der Mathematikdidaktik wird seit einigen Jahren verstärkt das Experiment für den Unterricht betont. In jüngerer Vergangenheit wurden dazu einige Themenhefte herausgegeben [17] [18]. Dabei wird häufig zwischen innermathematischem Experimentieren [19] und material- und werkzeuggebundenem Experimentieren unterschieden. Vor allem letzteres weist einige Parallelen zur Physik auf. In einem fachdidaktisch-verbindenden Austausch könnte die Mathematikdidaktik von der Expertise der Physikdidaktik in diesem Thema profitieren und auch der Physikdidaktik kann so die Gelegenheit gegeben werden ihre Theorien zu reflektieren.

3.2.2. Modellieren und Umgang mit Modellen

Im Physikunterricht werden zahlreiche Modelle thematisiert, aber eher selten wird das Entwickeln von Modellen oder der rechte Umgang damit behandelt. Dieser Fokus auf inhaltsbezogene Aspekte und weniger auf prozessbezogene Kompetenzen beim Thema Modelle wird schon länger in der Physikdidaktik moniert. So meint Silke Mikelskis-Seifert beispielsweise: „Weil das Modellieren eher stiefmütterlich im Physikunterricht behandelt wird und um den naiven Realismus der Schüler bezogen auf die naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung überwinden zu können, sollte das Arbeiten mit Modellen anhand von vielfältigen Themen geübt werden.“ [21].

In der Mathematik ist Modellieren eine ausgewiesene prozessbezogene Kompetenz, die explizit für die Schule als Zielvorgaben gesetzt ist und vielfach von der Didaktik diskutiert wird [22]. Dabei berufen sich Mathematikdidaktiker gelegentlich auf Physiker, wie z.B. Heinrich Hertz [9]:

„Das Verfahren aber, dessen wir uns zur Ableitung des Zukünftigen aus dem Vergangenen und damit zur Erlangung der erstrebten Voraussicht stets bedienen, ist dieses: Wir machen uns innere Scheinbilder oder Symbole der äußeren Gegenstände, und zwar machen wir sie von solcher Art, dass die denotwendigen Folgen der Bilder stets wieder die Bilder seien von den naturnotwendigen Folgen der abgebildeten Gegenstände.“

In den Austausch zwischen der Mathematik- und Physikdidaktik zum Thema Modellieren und Umgang mit Modellen können durch das Einbringen unterschiedlicher Expertisen anregende Diskussionen entstehen.

4. Fachdidaktisch-verbundene Projekte der Universität Siegen

An der Universität Siegen werden auf Grundlage des fachdidaktisch-verbindenden Ansatzes mehrere Projekte durchgeführt, z.B. der Forscherverbund MINTUS, oder auch die Projekte Inter TeTra und C-STEM. Hier soll exemplarisch ein Projekt angeführt werden, das diesen Ansatz in der Lehrerbildung implementiert und den Namen „In ForM PLUS“ (Interdisziplinäres Forschungsseminar zur Mathematik- und Physikdidaktik in der Lehramtsausbildung an der Universität Siegen) trägt. Dieses Seminar besteht zunächst aus einem größeren Theorieblock, in dem für beide Fächer interessante Themen fachdidaktisch-verbundend diskutiert werden (wie z.B. in 3.2.1 und 3.2.2). Da es sich bei den Teilnehmern um Masterstudierende handelt, kann schon einiges an Vorwissen vorausgesetzt werden. Die Sitzungen bestehen demnach darin, dass die Mathematikstudierenden den Physikstudierenden mathematikdidaktische Theorien vorstellen und entsprechend andersrum. Die Aufgabe des Lehrenden in diesem Teil des Seminars besteht darin, diesen Austausch zu moderieren und vergleichende Diskussionen anzuregen.

In einem weiteren Block werden von den Studierenden Unterrichtsentwürfe mit Hilfe von Lehrern der Partnerschule konzipiert und in der Schule durchgeführt. Diese können auch fachübergreifend oder gar fächerverbindend sein. In dem wohl wichtigsten Teil des Seminars werden diese Unterrichtsstunden in Anlehnung an die Theorie reflektiert. Als Grundlage der Reflexion dient die Videoaufzeichnung der Stunde, die von dem Lehrenden und den Studierenden gemeinsam angesehen und besprochen wird. Dabei werden vor allem die Aspekte, die im ersten Teil in der Theorie behandelt wurden, fokussiert. So soll die Unterrichtsrelevanz der Theorie erkennbar

werden und andererseits soll aus der Praxis eine Rückkopplung zur Theorie ermöglicht werden.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Da die Mathematik im Physikunterricht einen wesentlichen Teil ausmacht, sollten Lehrende der Physik nicht nur fachmathematisch sicher sein, sondern sollten auch die Rolle der Mathematik in der Physik didaktisch reflektieren können. Darauf sollten Lehrkräfte bereits in der Phase ihrer Ausbildung (und später auch im Rahmen von Weiterbildungen) vorbereitet werden. Die Zusammenarbeit mit den Kolleginnen und Kollegen aus der Mathematikdidaktik ist dabei unabdingbar. Aus den Projekten in Siegen, die eine solche Zusammenarbeit umsetzen, kann berichtet werden, dass fachdidaktisch-verbindendes Arbeiten nicht nur in der Lehrerbildung wichtig ist, sondern auch zahlreiche interessante Forschungsfragen anregt.

6. Literatur

- [1] Stegmüller, W. (1979): Hauptströmungen der Gegenwartsphilosophie. Eine kritische Einführung. Band II (6. Auflage). Stuttgart: Kröner.
- [2] Sneed, J. (1971): The Logical Structure of Mathematical Physics. Second Edition. Dordrecht: Reidel Publishing Company.
- [3] Uhden, O. (2012): Mathematisches Denken im Physikunterricht – Theorieentwicklung und Problemanalyse. Dissertation an der Technischen Universität Dresden.
- [4] Krey, O. (2012): Zur Rolle der Mathematik in der Physik. Wissenschaftstheoretische Aspekte und Vorstellungen Physiklernender. Dissertation an der Universität Potsdam.
- [5] Pospiech, G.; Karam, R. (2016): Mathematik im Physikunterricht. Themenheft in: Naturwissenschaften im Unterricht – Physik. 153/154 (27).
- [6] Galilei, G.(1623): Saggiatore; z.B. Blumenberg, H.: Galileo Galilei. Siderius Nuncius. Nachricht von den Sternen. Frankfurt: Suhrkamp 1980.
- [7] Krause, E. (2017): Einsteins EJASE-Modell als Ausgangspunkt physikdidaktischer Forschungsfragen – Anregungen aus einem Modell zur Natur der Naturwissenschaft. In: Physik und Didaktik in Schule und Hochschule (PhyDid A), 1/16, S. 57-66.
- [8] Holton, G. (1981): Thematische Analyse der Wissenschaften – Die Physik Einsteins und seiner Zeit. Frankfurt am Main: suhrkamp Verlag.
- [9] Büchter, A. und Henn, H.-W. (2015): Schulmathematik und Realität Verstehen durch Anwenden. In: Bruder, R.; Hefendehl-Hebeker, L.; Schmidt-Thieme, B.; Weigand, H.-G. (Hrsg.): Handbuch der Mathematikdidaktik. Berlin Heidelberg: Springer Verlag.
- [10] Winter, H. (1996): Mathematikunterricht und Allgemeinbildung. In: Mitteilungen der Gesell-

- schaft für Didaktik der Mathematik Nr. 61, 3746.
- [11] Danckwerts, R. und Vogel, D. (2010): Analysis verständlich unterrichten. 5. Auflage. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- [12] Krause, E. (2016): Erkenntnistheoretische Parallelen zwischen Schulmathematik und – physik, In: Beiträge zum Mathematikunterricht. 49.
- [13] Struve, H., (1990): Grundlagen einer Geometriedidaktik. Mannheim et al.
- [14] Witzke, I. & Spies, S. (2016): Domain-Specific Beliefs of School Calculus. In: Journal für Mathematik- Didaktik 37(1), S. 131- 161.
- [15] Schoenfeld, A. H. (1985): Mathematical Problem Solving. San Diego: Academic press.
- [16] Witzke, I und Holten, K. (2017): Chancen und Herausforderungen von fachdidaktischverbindenden Elementen in der Lehramtsausbildung. In: Beiträge zum Mathematikunterricht. 50.
- [17] Ludwig, M. und Oldenburg, R. (2007): Experimentieren. In: Mathematiklehren 141, März 2007.
- [18] Goy, A. und Kleine, M. (2015): Experimentieren. In: Praxis der Mathematik in der Schule - Sekundarstufe I und II 65, Oktober 2016
- [19] Leuders, T. & Philipp, K. (2012). Innermathematisches Experimentieren – Empirie gestützte Entwicklung eines Kompetenzmodells und Evaluation eines Förderkonzepts. In: Rieß, W., Wirtz, M., Barzel, B. (Hrsg). Experimentieren im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht – Theoretische Fundierung und empirische Befunde. Münster: Waxmann. S.285-300.
- [20] Goy, A. und Kleine, M. (2015): Experimentieren – mathematische Zusammenhänge erforschen. Praxis der Mathematik in der Schule;65: S. 2-8.
- [21] Mikelskis-Seifert, S., Kasper, L. (2011): Modellieren in der Physik, im Alltag und im Unterricht. Hintergründe und unterrichtliche Orientierung zum Thema Modelle. In: Naturwissenschaften im Unterricht. Physik, 22 (2011), 122, S. 4-12.
- [22] Leuders, T. und Maaß, K.: Modellieren-Brücken zwischen Welt und Mathematik, Praxis der Mathematik, Heft 3, 2006, S.1-7.

Die Kompetenz von Studierenden, Schülerschwierigkeiten zu diagnostizieren

- Vorstellung eines Promotionsvorhabens -

Christopher Kurth, Rita Wodzinski

Universität Kassel, Didaktik der Physik, Heinrich-Plett-Straße 40, 34109 Kassel
kurth@physik.uni-kassel.de, wodzinski@physik.uni-kassel.de

Kurzfassung

Im Rahmen einer kürzlich abgeschlossenen Promotion (Draude, 2016) wurde gezeigt, dass es Lehrkräften im Allgemeinen nur unzureichend gelingt, Schülerschwierigkeiten beim eigenständigen Experimentieren vorherzusagen bzw. handlungsbegleitend zu erkennen. Anknüpfend daran wird in dem vorliegenden Promotionsvorhaben der Frage nachgegangen, wie diese diagnostischen Fähigkeiten in der Lehrerbildung gefördert werden können.

In einem ersten Schritt werden mögliche Ursachen für das Ge- oder Misslingen der Diagnose geklärt. Dazu werden Studierende in Interviews zu erwartbaren Schwierigkeiten beim Einsatz einer Experimentieraufgabe zum Hooke'schen Gesetz befragt. Um Zusammenhänge zu eigenen Schwierigkeiten herausarbeiten zu können, wird die Bearbeitung des Experimentierauftrags durch die Studierenden erfasst und analysiert. Zusätzlich wird der Frage nachgegangen, welche Situationen durch die Studierenden überhaupt als Schwierigkeit wahrgenommen werden. Als Auswertungsmethode wird die Qualitative Inhaltsanalyse nach Mayring verwendet.

1. Ausgangslage

Angehende Physiklehrkräfte sollten in der Lage sein, Schülerfehler, Schülerkonzeptionen und Lernschwierigkeiten bei der Bearbeitung von Experimenten diagnostizieren und vorherzusagen zu können (Gramzow et al., 2013, S. 23). Doch mit welchen Arten von Schwierigkeiten ist zu rechnen? Welche Merkmale entscheiden darüber, ob eine Schwierigkeit vorliegt oder nicht? Wie ist die Diagnosekompetenz von Lehrkräften ausgebildet?

Diesen Fragestellungen näherten sich bereits Draude (2016) und Kechel (2016). Beiden Untersuchungen liegt eine Experimentieraufgabe zu Grunde, in der die Schülerinnen und Schüler die Masse einer Bonbon-tüte mittels einer Stahlfeder und drei Gegenständen mit bekannter Masse experimentell bestimmen sollen. In der Aufgabenstellung wird explizit dazu aufgefordert, das Hooke'sche Gesetz zur Bestimmung der unbekannt Masse zu nutzen.

Schwarz et al. (2008, S. 779) definieren die Diagnosekompetenz als „ability and [...] readiness of an assessing person to assess or analyze people or their performance according to predefined categories and terms or conceptions“ (Schwarz et al., 2008, S. 779).

Draude konkretisiert diese Definition in seiner Studie, in der er die Schwierigkeiten untersuchte, die Lehrkräfte bei der Bearbeitung der Aufgabe durch Schülerteams erwarten bzw. erkennen, indem er zwischen prädiktiver und handlungsbegleitender Diagnosekompetenz unterscheidet. Prädiktive Diagnosekom-

petenz meint hier die Fähigkeit, mögliche Schwierigkeiten bereits auf Grundlage der Aufgabe vorherzusagen, wohingegen handlungsbegleitende Diagnose das Beobachten von Schwierigkeiten während des Lernprozesses meint.

Zur Erhebung der zweiten Facette präsentierte Draude den Lehrkräften ein Video, welches den gesamten Experimentierprozess zweier Schülerinnen zeigt. Auf dieser Grundlage sollten die Lehrkräfte die Schwierigkeiten benennen, welche bei diesem Schülerpaar auftreten.

Draude fand heraus, dass es vielen Lehrkräften große Probleme bereitet, Schwierigkeiten des Experimentierprozesses im Vorfeld einzuschätzen. Insbesondere lassen die Daten den Schluss zu, dass kein Zusammenhang zwischen der Lehrerfahrung und der Anzahl der prädiktiv diagnostizierten Schwierigkeiten besteht.

Bezüglich der handlungsbegleitenden Diagnosekompetenz stellte sich heraus, dass diese bei vielen Lehrkräften nur gering ausgeprägt ist. Deutlich wird dies vor allem daran, dass zentrale Schwierigkeiten, wie z.B. die Verwendung der Gesamtfederlänge anstatt der Längenänderung, nicht erkannt werden.

Kechel hat auf Grundlage einer Literaturanalyse eine Kategorisierung von Schülerschwierigkeiten vorgelegt, die er auf die konkreten Experimentierprozesse von zehn Schülerpaaren anwenden konnte. Nach Kechel liegt dann eine Schwierigkeit vor, wenn Lernende „ein für das erfolgreiche Bearbeiten der Experimentieraufgabe erforderliches Teilziel nicht, in unbefriedigendem Maße oder nur mit großer Mühe er-

reichen oder wenn der Experimentierprozess von unerwünschten Nebenwirkungen im (Sozial-)Verhalten oder beim Erleben (motivational, emotional, volitional) begleitet wird“ (Kechel 2016, S. 57). Ein Teilziel beschreibt hierbei eine Handlung, die zur erfolgreichen Bearbeitung des Auftrags notwendig ist. Bezogen auf die Phase „Daten aufbereiten“ bedeutet dies im Fall einer grafischen Auswertung, dass folgende Teilziele erfüllt werden müssen:

- Die Schülerinnen und Schüler zeichnen ein geeignetes Koordinatensystem und tragen hierin die Messwerte (Massen und Längenänderungen/Gesamtlänge) ein.
- Die Schülerinnen und Schüler fertigen eine Ausgleichsgerade an.
- Die Schülerinnen und Schüler lesen zur gemessenen Auslenkung die zugehörige gesuchte Masse ab.

Nach Kechel können für das Scheitern des Experimentierprozesses verantwortliche Schwierigkeiten in allen Phasen des Experimentierens auftreten und oftmals nur aus vermeintlichen Kleinigkeiten bestehen. Insgesamt ermittelte er 39 verschiedene Schwierigkeiten, wie zum Beispiel „Fehlendes Wissen über das Hooke’sche Gesetz“, „ungeeignete Auffassung von Messungenauigkeiten“, „Messen der Ausgangslänge der Feder im Liegen statt hängend“ oder „fehlendes Wissen zur Dreisatzrechnung“.

Studien zur Förderung der Diagnosekompetenz im oben beschriebenen Sinne sind im deutschsprachigen Raum kaum zu finden, da die diagnostische Kompetenz in den meisten Publikationen zu diesem Thema als „die Fähigkeit eines Urteilers, Personen zutreffend zu beurteilen“ (Schrader, 2010, S. 95) definiert wird (Praetorius et al., 2012, S. 116).

Einigen Publikationen liegen weiter gefasste Definitionen von diagnostischen Kompetenzen zu Grunde, bei denen der Lernprozess und die Schülersichtweisen stärker im Fokus stehen (vgl. Fischer & Sjuts, 2011; Groß, 2013; Rogalla & Vogt, 2008).

Fischer und Sjuts (2011) stellten fest, dass es Studierenden nach Besuch eines Mathematikseminars, in dem sie sich mit der Entwicklung von Diagnoseaufgaben, Methoden zur Analyse von Schülerbearbeitungen und Möglichkeiten für weiterführende Hilfestellungen auseinandersetzten, tendenziell besser gelang, die Schülersichtweise einzunehmen und detaillierte Wahrnehmungen und Urteile zu formulieren. Außerdem stellten sie fest, dass sowohl vor als auch nach dem Besuch des Seminars „unzureichende mathematische Kompetenzen zur Bewältigung der geometrischen Aufgabe und der mathematischen Herausforderungen, die die Schüleräußerungen stellen“ (Fischer & Sjuts, 2011, S. 46) die Diagnose behindern können.

2. Forschungsfragen

Diese Ergebnisse dienen als Ausgangspunkt der geplanten Untersuchung. Zunächst wird untersucht,

welche Schwierigkeiten Studierende bei dem Experiment zum Hooke’schen Gesetz diagnostizieren. Die Unabhängigkeit der Diagnosekompetenz von der Lehrerfahrung, die Draude feststellte, führt zu der Vermutung, dass Studierende ähnlich viele Schwierigkeiten wie die befragten Lehrkräfte diagnostizieren werden. Im Gegensatz zur Untersuchung von Draude soll hier zusätzlich der Frage nachgegangen werden, welche Ursachen einer ge- bzw. misslungenen prädiktiven (FF1) bzw. handlungsbegleitenden Diagnose von Schülerschwierigkeiten (FF2) zu Grunde liegen. Insbesondere erscheint dabei interessant, ob die geringe Anzahl an diagnostizierten Schwierigkeiten auf unterschiedliche Definitionen bzw. Vorstellungen einer Schwierigkeit zurückgeführt werden können und inwiefern fachliche Defizite der Studierenden die Diagnosekompetenz beeinflussen.

Auf Grundlage der dabei gewonnenen Ergebnisse soll im Anschluss der Frage nachgegangen werden, wie die Diagnosekompetenz von Studierenden gefördert werden kann (FF3).

3. Ablauf und Auswertung der Interviews zur Beantwortung der ersten Forschungsfrage

Um den Ursachen einer ge- bzw. misslungenen prädiktiven Diagnose auf den Grund zu gehen, werden Studierende ab dem vierten Fachsemester im Rahmen eines Interviews dazu befragt, welche Schwierigkeiten sie bei der Bearbeitung des Experimentierauftrags zum Hooke’schen Gesetz erwarten.

Das Interview besteht aus fünf Abschnitten: Zunächst machen sich die Studierenden mit dem Experimentierauftrag vertraut. Das konkrete Experimentiermaterial steht zu diesem Zeitpunkt noch nicht zur Verfügung um die Phase der Versuchsdurchführung, mit Hilfe derer die fachlichen Kenntnisse der Studierenden erhoben werden, von den Phasen der prädiktiven Diagnose abzugrenzen.

In der zweiten Phase machen sich die Interviewteilnehmer Notizen zu den Schwierigkeiten, die sie bei der Bearbeitung dieses Auftrags durch Schülerinnen und Schüler der 7. bzw. 8. Jahrgangsstufe erwarten. Diese Einschätzungen werden im Anschluss unter Verwendung eines Interviewleitfadens nochmals ausführlich thematisiert. Dabei werden die Studierenden dazu aufgefordert, zu jeder Schwierigkeit mindestens ein konkretes Beispiel zu nennen, was zum einen die Einordnung der Aussagen in ein deduktiv gewonnenes Kategoriensystem zur Beschreibung von Schülerschwierigkeiten vereinfacht und zum anderen Rückschlüsse darauf zulässt, wie sicher sich die Studierenden mit ihrer Einschätzung sind.

Im dritten Interviewabschnitt wird der Experimentierauftrag durch die Studierenden bearbeitet. Diese Phase erfüllt zwei Funktionen. Der Lösungsprozess gibt Aufschluss über die fachlichen Kompetenzen der Studierenden, die bei diesem Experiment benötigt werden. Des Weiteren kann der Einfluss von eigenen Erfahrungen mit dem konkreten Experiment auf die Wahrnehmung von möglichen Schülerschwierigkeiten untersucht werden. Um den Lösungsprozess im

Hinblick auf auftretende Schwierigkeiten besser analysieren zu können, werden die Teilnehmer dazu aufgefordert, ihre Handlungen durch verbale Beschreibungen zu begleiten.

Nach der Durchführung nehmen die Studierenden Änderungen oder Ergänzungen an ihren in der zweiten Phase getroffenen Einschätzungen vor, die erneut leitfadengestützt thematisiert werden. Dabei werden die Teilnehmerinnen und Teilnehmer insbesondere dazu aufgefordert, die Beweggründe und die Ursachen ihrer Änderungen bzw. Ergänzungen zu beschreiben.

In der letzten Interviewphase werden den Studierenden Handlungen von Schülerinnen und Schülern in Textform präsentiert, welche dahingehend beurteilt werden sollen, ob die Schülerinnen und Schüler gerade eine Schwierigkeit haben oder nicht. Dabei werden sowohl solche Handlungen beurteilt, in denen ein Teilziel verletzt wird, als auch solche, in denen laut der Definition nach Kechel keine Schwierigkeit vorliegt. Die Einordnungen der Studierenden liefern Indizien darüber, was die Interviewteilnehmer unter einer Schwierigkeit verstehen.

Die Auswertung der Interviews wird in mehreren Schritten vorgenommen.

Durch Vergleichen der Schwierigkeiten, welche die Studierenden im zweiten Abschnitt – also vor der Bearbeitung des Experimentierauftrags – nennen und denen, die bei der Bearbeitung des Auftrags durch die Studierenden beobachtet werden, können Rückschlüsse darauf gezogen werden, inwiefern eine unvollständige prädiktive Diagnose mit fachlichen Defiziten der Studierenden zusammenhängt. Die Schwierigkeiten werden dabei mittels qualitativer Inhaltsanalyse auf Grundlage eines deduktiv gewonnenen Kategoriensystems herausgearbeitet.

In gleicher Weise werden die prädiktiv diagnostizierten Schwierigkeiten des vierten Abschnitts – also die erwarteten Schwierigkeiten nach Bearbeitung des Experimentierauftrags – herausgearbeitet. Die Änderungen gegenüber den zuvor erwarteten Schwierigkeiten geben Aufschluss darüber, inwiefern das Durchlaufen des Experimentierprozesses einen Einfluss auf die Wahrnehmung von möglichen Schwierigkeiten und die Angabe von konkreten Beispielen hat.

Der letzte Interviewabschnitt wird unter zweierlei Gesichtspunkten ausgewertet. Zum einen wird überprüft, inwieweit die Definition einer Schwierigkeit mittels Teilzielen mit der subjektiven Wahrnehmung der Studierenden übereinstimmt. Zum anderen kann in Erfahrung gebracht werden, wie die Studierenden ihre Zuordnung begründen. Im Speziellen wird hier also untersucht: Auf welcher Grundlage argumentieren die Studierenden? Denkbar wären hier z. B. eigene Erfahrungen aus der Schule, eigene Erfahrungen beim Experimentieren oder die Aufgabenstellung. Da das Spektrum an möglichen Begründungen hier sehr breit ist und aus der Literatur kein geeignetes Kategoriensystem gewonnen werden konnte, wird diese Phase induktiv ausgewertet.

4. Ergebnisse der Vorstudie

Das Interview wurde mit sechs Studierenden (ab dem vierten Fachsemester) durchgeführt. Die Dauer betrug zwischen 60 und 90 Minuten.

Der grundsätzliche Aufbau der Interviews hat sich als sinnvoll erwiesen. Insbesondere die Kommentierung des Experimentierprozesses durch die Studierenden (Talk-Aloud) liefert einen hilfreichen Einblick in die Schwierigkeiten, welche die Studierenden bei der Bearbeitung des Auftrags haben. Die Einschätzungen im fünften Abschnitt werden sehr differenziert begründet, so dass Rückschlüsse auf die Vorstellungen über Schwierigkeiten möglich sind.

Ursprünglich war ein Vergleich zwischen den Antwortsicherheiten der zweiten und vierten Phase angedacht, um weitere Hinweise darüber zu erhalten, wie sich die Durchführung des Experiments auf die prädiktive Diagnose von Schwierigkeiten auswirkt. Eine Analyse der Sicherheit auf Grundlage der Transkripte ist jedoch nicht möglich, da diese zu wenig Informationen für eine objektive Einschätzung beinhalten.

Des Weiteren werden die Studierenden in der letzten Phase danach befragt, warum sie eine Schwierigkeit, die sie in dieser Phase erkennen, zuvor nicht benannt haben. Größtenteils gaben die Studierenden der Vorstudie an, dass ihnen die Schwierigkeit „einfach nicht in den Sinn gekommen“ sei, so dass sich diese Frage als nicht ergiebig erwiesen hat.

Die vollständige inhaltliche Auswertung steht noch aus. Dennoch werden an dieser Stelle einige Tendenzen genannt, die trotz des kleinen Stichprobenumfangs erkennbar sind.

Die Studierenden erwarten ähnliche Schwierigkeiten wie die in der Studie von Draude befragten Lehrkräfte. Auch die Anzahl der erwarteten Schwierigkeiten liegt in einer ähnlichen Größenordnung (die Lehrkräfte erwarteten im Durchschnitt 4,3 Schwierigkeiten ($n = 25$; $SD = 2,1$) und die Studierenden 4,5 Schwierigkeiten).

Des Weiteren erwarten die Befragten tendenziell bei dem Lösungsweg Schwierigkeiten, den sie selbst bei der Bearbeitung wählen. So benennen Studierende, welche die Aufgabe rechnerisch lösen, keine Schwierigkeiten, die bei einer grafischen Auswertung auftreten könnten. Sollte sich dieses Ergebnis in größeren Stichproben bestätigen, zeigt dies die Notwendigkeit auf, Studierende für verschiedene individuelle Schülerlösungswege zu sensibilisieren.

Eine erstaunliche Tendenz, die sich in der Vorstudie abzeichnet ist, dass lediglich zwei der sechs Studierenden nach der Durchführung des Experiments die zuvor erwarteten Schwierigkeiten abänderten bzw. ergänzten.

In der letzten Interviewphase erkannten alle Studierenden Schülerschwierigkeiten in den vorgegebenen Situationen, die sie zuvor nicht benannt hatten. Auch wenn die genaue Auswertung der Frage, inwiefern sich die Einschätzung der Studierenden mit der Definition einer Schwierigkeit mittels Teilzielen deckt, noch aussteht, lässt sich festhalten, dass die geringe Anzahl an prädiktiv diagnostizierten Schwierigkeiten

nicht allein auf Lücken im Fachwissen oder unterschiedliche Vorstellungen einer Schwierigkeit zurückgeführt werden können. Vielmehr ermutigt dieses Ergebnis dazu, genau zu untersuchen, in welchen Experimentierphasen Schwierigkeiten benannt werden und welche Schwierigkeiten häufig übersehen werden, um die prädiktive Diagnosekompetenz gezielt fördern zu können.

5. Ausblick

Zentrales Ziel des vorgestellten Promotionsvorhabens besteht in der Entwicklung von Maßnahmen zur Förderung der Kompetenz, Schülerschwierigkeiten beim eigenständigen Experimentieren zu diagnostizieren.

Dazu werden zunächst die Ursachen einer ge- bzw. misslungenen prädiktiven Diagnose herausgearbeitet, indem weitere Interviews in der oben beschriebenen Weise durchgeführt und detailliert ausgewertet werden. In ähnlicher Weise wird die handlungsbegleitende Diagnosekompetenz der Studierenden untersucht. Dazu erhalten die Interviewteilnehmer Videos, die den gesamten Experimentierprozess einer Schülergruppe zeigen. Die erkannten Schülerschwierigkeiten können im Anschluss mit den von den Lehrkräften in der Studie von Draude (2016) benannten und den mittels Teilzielen herausgearbeiteten Schwierigkeiten abgeglichen werden. Dies soll Hinweise darauf liefern, wie die handlungsbegleitende Diagnosekompetenz gefördert werden kann.

Beim bisherigen Vorgehen wurde auf das zuvor beschriebene Experiment zum Hooke'schen Gesetz zurückgegriffen, da auftretende Schwierigkeiten und deren Wahrnehmung durch Lehrkräfte in den Studien von Draude und Kechel detailliert untersucht wurden. Um in weiteren Interviews auf andere Experimente zurückgreifen zu können, werden die Schwierigkeiten bei der Bearbeitung von zwei weiteren Experimenten analog zu dem Vorgehen von Kechel (2016) erhoben. Das gewonnene Material kann außerdem im späteren Verlauf zur Förderung der diagnostischen Kompetenzen verwendet werden.

6. Literatur

Draude, Martin (2016): Die Kompetenz von Physiklehrkräften, Schwierigkeiten von Schülerinnen und Schülern beim eigenständigen Experimentieren zu diagnostizieren (Studien zum Physik- und Chemielernen).

Fischer, Astrid; Sjuts, Johann (2011): Entwicklung von Diagnose- und Förderkompetenz im Fach Mathematik. In: SEMINAR - Lehrerbildung und Schule 4, S. 31–47.

Gramzow, Yvonne; Riese, Josef; Reinhold, Peter (2013): Modellierung fachdidaktischen Wissens angehender Physiklehrkräfte. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften 19, S. 7–30.

Groß, Katharina (2013): Experimente alternativ dokumentieren. Eine qualitative Studie zur Förderung der Diagnose- und Differenzierungskompetenz in

der Chemielehrerbildung. Univ. Diss. 2013--Köln, 2013. Berlin: Logos (Studien zum Physik- und Chemielernen, 154).

Kechel, Jan-Henrik (2016): Schülerschwierigkeiten beim eigenständigen Experimentieren. Eine qualitative Studie am Beispiel einer Experimentieraufgabe zum Hooke'schen Gesetz. Berlin: Logos Berlin (Studien zum Physik- und Chemielernen, 214).

Praetorius, Anna-Katharina; Lipowsky, Frank; Karst, Karina; Lazarides, Rebecca; Ittel, Angela (2012): Diagnostische Kompetenz von Lehrkräften. Aktueller Forschungsstand, unterrichtspraktische Umsetzbarkeit und Bedeutung für den Unterricht. In: Rebecca Lazarides und Angela Ittel (Hg.): Differenzierung im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht. Implikationen für Theorie und Praxis. Bad Heilbrunn: Klinkhardt, S. 115–146.

Rogalla, Marion; Vogt, Franziska (2008): Förderung adaptiver Lehrkompetenz: eine Interventionsstudie. In: Unterrichtswissenschaft 36 (1), S. 17–36.

Schrader, Friedrich-Wilhelm (2010): Diagnostische Kompetenz von Eltern und Lehrern. In: D. H. Rost (Hg.): Handwörterbuch pädagogische Psychologie. 4. Aufl. Weinheim: Beltz, S. 95–100.

Schwarz, Björn; Wissmach, Björn; Kaiser, Gabriele (2008): "Last curves not quite correct": diagnostic competences of future teachers with regard to modelling and graphical representations. In: ZDM : the international journal on mathematics education 40 (5), S. 777–790.

Qualifizierung von Quereinsteiger*innen

– Professionelle Kompetenzen der Q-Master-Studierenden –

Julia-Josefine Milster und Volkhard Nordmeier

Freie Universität Berlin, Fachbereich Physik, Arnimallee 14, 14195 Berlin

julia.j.milster@fu-berlin.de, volkhard.nordmeier@fu-berlin.de

Kurzfassung

An der Qualitätsoffensive Lehrerbildung ist die Freie Universität Berlin mit dem Projekt „K2teach – Know how to teach“ beteiligt. Das Teilprojekt „Q-Master: Qualifizierung von Quereinsteiger*innen im Master of Education“ fokussiert auf das Thema des Quer- und Seiteneinstiegs für ausgewählte Mangelfächer wie z. B. Physik. Im Wintersemester 2016/17 startete dazu ein Modellversuch im Land Berlin.

Das Projekt verfolgt das Ziel, die Quereinsteiger*innen innerhalb eines viersemestrigen Master of Education ausreichend für den anschließenden Vorbereitungsdienst zu qualifizieren. Dabei soll ein adäquates Ausbildungsniveau im Vergleich zu regulären Lehramtsstudierenden erreicht werden. Ob dies gelingt, wird in der Begleitforschung und Evaluation des Studienganges untersucht. Hierbei liegt das Augenmerk auf der Entwicklung professioneller Kompetenzen von Lehrkräften. In einer ersten Erhebung wurden bei der ersten Studienkohorte (N=29) folgende Konstrukte erhoben: pädagogische Vorerfahrungen, Berufswahlmotive, Lehrer-Selbstwirksamkeitserwartung, Studien-erfolg und soziodemografische Daten. Im Fach Physik werden die Q-Master Studierenden studienbegleitend zu Fachdidaktischem Wissen, Fachwissen und ihren Überzeugungen zum Lehrberuf und ihren Fächern befragt.

1. Ausgangslage

Für das Unterrichtsfach Physik besteht schon seit vielen Jahren ein hoher Einstellungsbedarf, der nicht durch ausgebildete Lehrkräfte gedeckt werden kann (vgl. Lamprecht, 2011, S. 3; KMK, 2011, S. 19). Um diesen Mangel an Physiklehrer*innen auszugleichen, gibt es in nahezu allen Bundesländern die Möglichkeit sogenannter Quer- und Seiteneinstiege. Ausgebildete Physiker*innen können so ohne ein Lehramtsstudium zum Vorbereitungs- oder direkt zum Schuldienst zugelassen werden (vgl. Korneck, Lamprecht, Wodzinski & Schecker, 2010, S. 9ff.).

Eine bundesweite Studie der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (DPG) hat gezeigt, dass durch Quer- und Seiteneinstiege in den Jahren von 2002 bis 2008 etwa 3000 Physiklehrkräfte ohne Lehramtsstudium eingestellt wurden. Diese Lehrkräfte machten einen Anteil von 45% aller in Deutschland eingestellten Referendar*innen in dieser Zeitspanne aus (vgl. ebd., S. 6). Von einer Änderung der Situation seit 2008 ist nicht auszugehen. Die Kultusministerkonferenz (KMK) prognostiziert einen weiterhin hohen Bedarf an Physiklehrkräften. Diesem steht eine geringe Anzahl an Lehramtsstudierenden mit dem Fach Physik gegenüber, sodass die Besetzung der offenen Stellen mit ausgebildeten Lehrkräften weiter schwierig bleiben wird (vgl. ebd., S. 15; Heise, Sinzinger, Struck & Wodzinski, 2014, S. 23).

Eine weitere Problematik besteht darin, dass die bisherigen Quereinstiegsprogramme nicht die von der KMK festgelegten Standards zur Lehrer*innenausbildung berücksichtigen. Diese sehen Studienbestandteile zur Professionalisierung in den Bereichen Erziehungswissenschaft, Fachwissenschaft und Fachdidaktik in zwei Fächern und Schulpraktika vor (Korneck et al., 2010, S. 33; KMK, 2014; KMK, 2015). Aktuelle Zahlen¹ aus dem Land Berlin zeigen, dass von den ca. 1000 Quereinsteiger*innen (ohne Refendar*innen), welche an öffentlichen Schulen als Lehrer*innen arbeiten, rund 15% in nur einem Schulfach ausgebildet sind und sogar 20% keines der Schulfächer als Abschluss haben (Abgeordnetenhaus Berlin, 2017). „Diese fehlenden Studienanteile sind im Laufe des Referendariats nicht nachzuholen. Sie müssen vielmehr durch spezifisch auf die Situation von Quereinsteigern zugeschnittenen Qualifikationsangeboten kompensiert werden“ (Korneck et al., 2010, S. 33).

2. Projektvorstellung

Um dem Problem des Lehrer*innenmangels in Physik (sowie weiteren Mangelfächern) und fehlender Expertise von Quereinsteigenden zu begegnen, hat die Freie Universität Berlin das Projekt „Q-Master: Qualifizierung von Quereinsteiger*innen im Master of Education“ initiiert. Es ist Teil des Gesamtprojek-

¹ Stand: November 2016

tes „K2teach – Know how to teach“² der Qualitäts-offensive Lehrerbildung. Der Q-Master ist ein Qualifizierungsangebot für Quereinsteiger*innen vor dem Antritt des Referendariats. Das Projekt verfolgt das Ziel, die Quereinsteiger*innen innerhalb eines viersemestrigen Master of Education KMK-konform für den anschließenden Vorbereitungsdienst zu qualifizieren. Dabei soll ein ähnliches Ausbildungs-niveau wie die regulären Lehramtsstudierenden erreicht werden.

Der „Masterstudiengang für ein Lehramt an Gymnasien mit dem Profil Quereinstieg“ (Q-Master) startete erstmalig im Wintersemester 2016/17. Die mögliche Fächerauswahl richtet sich nach den Mangelfächern Physik, Mathematik, Informatik, romanische Sprachen und Englisch. Als Zweitfach können auch Deutsch und Geschichte gewählt werden. Als Zulassungsvoraussetzung müssen aus dem Erststudium fachwissenschaftliche Anteile von insgesamt 110 Leistungspunkten (LP) mitgebracht werden, davon mindestens 20 LP in einem zweiten Fach (Fach 2). Unter der Berücksichtigung dieser geforderten Leistungen und den KMK-Vorgaben werden im Q-Master Studienanteile im Umfang von

- 35 LP Fachwissenschaften im Fach 2,
- 44 LP Fachdidaktik in Fach 1 und Fach 2,
- 18 LP Erziehungswissenschaften,
- 8 LP Deutsch als Zweitsprache/Sprachbildung,

absolviert. Zusätzlich werden 15 LP für die Masterarbeit vergeben, die im Fach 2 geschrieben wird. Der Q-Master beinhaltet zudem das seit dem Wintersemester 2015/16 in Berlin neu eingeführte Praxissemester. Im ersten Durchlauf dieses Modellstudienganges hatten sich 31 Studierende eingeschrieben.

3. Forschungsstand

Seit Mitte der 1970er Jahre ist es in Deutschland gängige Praxis, Physiker*innen direkt in den Schuldienst einzustellen. Trotzdem beschränkt sich die Forschung auf einige wenige Studien aus Deutschland und der Schweiz (vgl. Engelage, 2013, S. 52). Als aktuelle Studien zum Quereinstieg sind u. a. die Dissertationen von Jan Lamprecht (2011) und Lars Oettinghaus (2015) von der Goethe-Universität in Frankfurt am Main zu nennen

Lamprecht befragte 200 zukünftige Physiklehrer*innen – davon 78 Quereinsteiger*innen – in vier Bundesländern am Anfang des Referendariats. Die Erhebung bezog sich auf *Berufswahlmotive, Überzeugungen, selbstregulative Fähigkeiten* und *Persönlichkeitsmerkmale* (vgl. Lamprecht, 2011, S. 191). Oettinghaus (2015) befragte 368 Physiklehrer*innen im Referendariat. Davon waren 146 Quereinsteiger*innen. Als Anschlussprojekt von Jan Lamprecht beinhaltet die Stichprobe von Lars Oet-

tinghaus auch die Personen aus der Vorgängerstudie. Zu den von Lamprecht erhobenen Konstrukten kamen in der Studie von Oettinghaus noch *Fachwissen* und *Fachdidaktisches Wissen* im Fach Physik hinzu.

Die Quer- und Seiteneinstiegsprogramme vieler Bundesländer entstanden aus der Not des Lehrkräftemangels. Diese Programme werden oft durch die Annahme legitimiert, dass Quereinsteiger*innen über ein hohes Maß an Berufs- und Lebenserfahrung verfügen und somit den Mangel im pädagogischen und didaktischen Bereich kompensieren können (vgl. Melzer, Pospiech & Gehrman, 2014, S. 10). Zudem wird davon ausgegangen, dass sie „idealistischer wie auch realistischer bei ihrer Berufsent-scheidung sind“ (Weinmann-Lutz, 2006, S. 13).

Die Ergebnisse der Studie von Jan Lamprecht stehen dem entgegen. Es zeigte sich, dass 45% der Quereinsteiger*innen im Fach Physik bei der Berufswahl hauptsächlich strukturell motiviert waren und 40% „rezeptartiges Lernen“ bevorzugen (vgl. Lamprecht, 2011, S. 194f.). Lars Oettinghaus stellte mit seiner Studie ergänzend fest, dass ein lehramtsorientiertes Studium kognitiv orientierte Überzeugungsaspekte fördert, Lehramtsstudierende also nicht in solch einem hohen Maß rezeptartiges Lernen befürworten (vgl. Oettinghaus, 2015, S. 184).

Eine dritte und aktuelle Studie stammt von der Technischen Universität Dresden aus dem Jahr 2014. Die TU Dresden hatte zuvor ein einmaliges Qualifizierungsprogramm („QUER“) für Quereinsteiger*innen im Lehramt durchgeführt. Nach einem umfangreichen Auswahlverfahren absolvierten 39 Teilnehmer*innen diese 19-monatige Maßnahme. Der Fokus lag dabei auf dem Grundschullehramt bzw. mathematisch-naturwissenschaftlichen Fächern an weiterführenden Schulen. Die Teilnehmer*innen mussten keine Fachwissenschaften mehr studieren, diese waren als Voraussetzung in ausreichendem Maße mitzubringen. Das QUER-Programm sah eine Qualifizierung im bildungswissenschaftlichen und (fach-)didaktischen Bereich mit anknüpfenden Praxiserfahrungen vor (vgl. Melzer et al., 2014, S. 57ff.). Die Schwerpunktsetzung in dieser Qualifizierungsmaßnahme erklärt auch die Auswahl der Konstrukte der durchgeführten Begleitforschung auf fächerübergreifende, berufsbezogene Facetten. In dieser Studie wurden *Lernvoraussetzungen, Berufswahlmotivation, berufsbezogene Überzeugungen, allg. kognitive Fähigkeiten, allg. Leistungsmotivation, Selbstwirksamkeitserwartung, Lehrer-Selbstwirksamkeitserwartung, Persönlichkeitsmerkmale* und *pädagogisches Unterrichtswissen* erhoben (vgl. ebd. S. 131ff.). Im Bereich der Berufswahlmotive, welche auch Lamprecht und Oettinghaus untersuchten, konnte für die Teilnehmer*innen eine hohe intrinsische Motivation für die Berufswahl festgestellt werden. Im Vergleich zu den regulären Lehramtsstudierenden der TU Dresden hatten die Quereinsteiger*innen günstigere kognitive und motivationale Lernvoraussetzungen. Zusätzlich hatten die

² Das Projekt **K2teach** (<http://www.fu-berlin.de/sites/k2teach>) wird im Rahmen der gemeinsamen „Qualitäts-offensive Lehrerbildung“ von Bund und Ländern aus Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gefördert.

QUER-Teilnehmer*innen am Studienende einen Wissensvorsprung im Vergleich zu den regulären Lehramtsstudierenden im Pädagogischen Unterrichtswissen (vgl. ebd. S. 154). Die Befunde der TU Dresden weisen darauf hin, dass Qualifizierungsmaßnahmen für Quereinsteiger*innen „ein vielversprechender Weg zur Rekrutierung und Ausbildung von Lehrkräften in Mangelfächern und Mangellehrämtern (sind)“ (ebd. S. 158).

Nach wie vor sind die Forschungsergebnisse zum Quereinstieg rar. Es konnte bisher noch nicht abschließend geklärt werden, inwiefern Personen ohne ein reguläres Lehramtsstudium für den Lehrberuf ‚geeignet‘ sind. Die bisherigen Forschungen zeigen Tendenzen, dass Quereinsteiger*innen im Referendariat in einigen Bereichen schlechtere Voraussetzungen mitbringen, diese aber durch geeignete Qualifizierungsmaßnahmen ausgeglichen werden könnten.

An diesem Punkt setzt auch die Begleitforschung zum Q-Master an, welche im Folgenden vorgestellt werden soll.

4. Forschungsdesign

4.1 Theoretischer Hintergrund

Mit der Evaluation und in den geplanten Promotionsvorhaben wird untersucht, ob die Qualifizierung der Quereinsteiger*innen innerhalb des Q-Masters für den anschließenden Vorbereitungsdienst gelingt.

Als theoretische Grundlage dient hierfür das Modell der Professionellen Kompetenzen von Baumert und Kunter (2006). Hier werden die vier Kompetenzbereiche *Überzeugungen*, *Professionswissen*, *motivationale Orientierung* und *selbstregulative Fähigkeiten* in einem nichthierarchischen, sich überlappenden Verhältnis strukturiert (vgl. Baumert & Kunter,

2006, S. 482). „Erst ein erfolgreiches Zusammenspiel von Professionswissen und professionellen Überzeugungen macht in dieser Konzeption also kompetente Lehrkräfte aus“ (Blömeke 2011, S. 395).

Dabei liegt der Schwerpunkt der Begleitforschung auf den Kompetenzfacetten *Fachwissen*, *Fachdidaktische Wissen* und *Überzeugungen*. Verschiedene Studien in den Naturwissenschaften deuten darauf hin, dass die eben genannten Facetten Einfluss auf die Unterrichtsgestaltung und Schüler*innenleistungen haben (vgl. Oettinghaus, 2015, S. 24ff.). Die Auswahl dieser Konstrukte schließt sich außerdem an die Studien von Jan Lamprecht und Lars Oettinghaus an.

Aus diesen genannten Gründen werden *Fachwissen*, *Fachdidaktisches Wissen* und *Überzeugungen* bei den Q-Master-Studierenden mit dem Fach Physik genauer untersucht.

4.2 Forschungsfrage und Vorgehen

Es soll der Frage nachgegangen werden, ob Unterschiede im *Fachwissen*, *Fachdidaktischen Wissen* und in den *Überzeugungen* zwischen den regulären Lehramtsstudierenden der Freien Universität und den Q-Master-Studierenden im Fach Physik zu finden sind.

Der Modellstudiengang Q-Master wurde zunächst für zwei Durchgänge bewilligt (Beginn WS 2016/17 und WS 2017/18). Die Stichprobe verteilt sich daher auf zwei Kohorten. Die erste Kohorte sind die Studierenden, die im Wintersemester 2016/17 mit dem Master of Education im Fach Physik begonnen haben. Hier waren 44 Personen – davon 6 Personen im Q-Master – eingeschrieben. Die zweite Kohorte sind die Studierenden, die im Wintersemester 2017/18 mit dem Master of Education im Fach Physik begin-

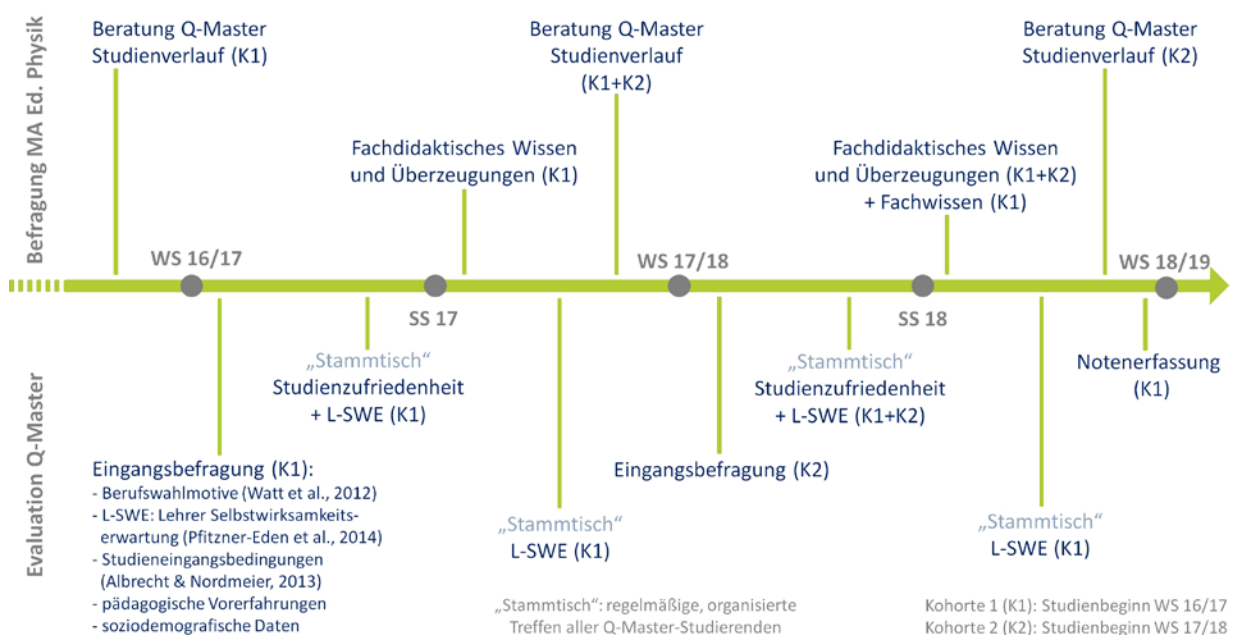


Abb. 1: Befragung der Q-Master-Studierenden im Fach Physik

nen werden.

Um mögliche Unterschiede zwischen den regulären Lehramtsstudierenden und den Q-Master-Studierenden feststellen zu können, werden bei der Befragung quantitative und qualitative Methoden eingesetzt. *Fachdidaktisches Wissen* (nach Riese 2009) und *Überzeugungen* (nach Lamprecht 2010) werden zu Beginn des zweiten Semesters und am Ende des Studiums mit Hilfe eines Fragebogens erhoben. Durch die zwei Erhebungszeitpunkte soll erfasst werden, ob sich in diesen beiden Facetten im Laufe des Studiums eine Veränderung feststellen lässt. Durch die geringe Anzahl der Studierenden im Fach Physik sind aussagekräftige Ergebnisse erst nach der Befragung der zweiten Kohorte zu erwarten. Daher werden noch zusätzlich Einzelinterviews zu *Überzeugungen* zum Lernen und Lehren im Fach Physik geführt. Diese werden ebenfalls am Anfang des zweiten Semesters und am Ende des Studiums stattfinden und sollen die quantitativ erhobenen Daten ergänzen. Am Ende des Studiums wird mit Hilfe eines Fragebogens das *Fachwissen* in Physik getestet. Da im Lehramtsmaster an der Freien Universität Berlin der Fokus stärker auf dem pädagogisch/didaktischem Bereich liegt, wurde auf eine zusätzliche Erhebung zum *Fachwissen* am Anfang des Masters verzichtet. Durch die wenigen fachwissenschaftlichen Anteile wird im Verlauf des Masterstudiums kein großer Anstieg erwartet. Somit soll nur der Endstand aller Studierenden erfasst werden. Außerdem wird eine Modulnotenerfassung der Studierenden am Ende des Studiums als weiteres Vergleichsmaß angestrebt. In Abbildung 1 ist eine grafische Darstellung der Erhebungszeitpunkte zu finden.

Zusätzlich findet eine Evaluation des Q-Masters mit den Q-Master-Studierenden aller Fächer (N=29) statt. In einer ersten Erhebung zu Beginn des Wintersemesters 2016/17 wurden folgende Konstrukte erhoben: *pädagogische Vorerfahrungen*, *Berufswahlmotive* nach Watt et. al. (2012), *Lehrer-Selbstwirksamkeitserwartung* (L-SWE) nach Pfizner-Eden et al. (2014), *Studieneingangsbedingungen* nach Albrecht & Nordmeier (2013) und soziodemografische Daten. Aus dieser Befragung gibt es schon erste Ergebnisse, die im Folgenden vorgestellt werden.

5. Erste Ergebnisse

Die ersten Ergebnisse beziehen sich auf die Eingangsbefragung der Q-Masterstudierenden (N=29), die im Wintersemester 2016/17 das Studium begonnen haben. Auf Grund der geringen Anzahl der Studierenden wurden bisher nur die Angaben zu den soziodemografischen Daten und den pädagogischen Vorerfahrungen ausgewertet und sollen hier vorgestellt werden:

Von den 29 befragten Personen waren 55% Frauen. Allerdings ist hier ein starker Unterschied im Vergleich der Fächer zu verzeichnen. In MINT-Bereich sind 83% männlich und in den Sprachen 82% weib-

lich. Das Durchschnittsalter der Q-Master-Studierenden beträgt 33 Jahre.

76% der Befragten geben an, neben dem Studium zu arbeiten. Die durchschnittliche Arbeitszeit beträgt dabei 15h pro Woche. Diese Tatsache ist vor allem wichtig für die Frage, ob und wie das Studium für die Studierenden zu schaffen ist. Die meisten Q-Master-Studierenden haben keinen Anspruch auf staatliche finanzielle Unterstützungen wie dem BAföG. Sie müssen daher arbeiten gehen, um ihr Studium zu finanzieren. Das stellt eine zusätzliche Belastung dar, die sich eventuell negativ auf den angestrebten Studienabschluss auswirken kann. Zudem haben ca. ein Drittel der Befragten ein oder mehrere Kinder im Haushalt, welches ebenfalls eine Herausforderung zum Absolvieren eines Studiums darstellt.

Etwa 80% der Q-Master-Studierenden verfügen über pädagogische Vorerfahrungen. Als häufigste Tätigkeiten³ wurden hierbei Nachhilfe einzelner Personen (74%), Hochschullehre (40%) und die Organisation und Betreuung von Freizeitaktivitäten (30%) genannt. Dabei haben 74% mehrjährige (also mindestens 2 Jahre) pädagogische Vorerfahrungen.

In einer offenen Frage wurden die Studierenden außerdem gefragt, was sie sich vom Q-Master erhoffen. Der Wunsch nach Praxis fiel hier sehr gering aus, dafür wurde häufig der Erwerb von fachdidaktischem, fachlichem oder pädagogischen Wissen genannt. Der hohe Anteil der Studierenden mit Erfahrungen in pädagogischen Tätigkeitsfeldern spiegelt sich hier anscheinend wider, in dem nicht Praxis, sondern entsprechendes theoretisches Wissen gewünscht wird.

6. Ausblick

Im Sommersemester 2017 werden Erhebungen zu *Überzeugungen* zum Lehren und Lernen und zum Fach Physik mit Hilfe eines Fragebogens und Interviews mit Q-Master-Studierenden und regulären Lehramtsstudierenden durchgeführt.

Langfristig sollen die Ergebnisse der Q-Master-Studierenden mit den im Abschnitt 3 vorgestellten Studien von Lamprecht, Oettinghaus und der TU Dresden verglichen werden, um die bisherigen Erkenntnisse zum Thema Quereinstieg zu erweitern und zu vertiefen.

³ Es waren Mehrfachnennungen möglich.

7. Literatur

- Abgeordnetenhaus Berlin (2017): Schriftliche Anfrage des Abgeordneten Joschka Langenbrinck (SPD) vom 19. Dezember 2016 (Eingang beim Abgeordnetenhaus am 16. Januar 2017 und Antwort „Lehrkräfte -Quereinsteigende in den Berliner Schulen“.
URL: <http://pardok.parlament-berlin.de/starweb/adis/citat/VT/18/SchrAnfr/S18-10261.pdf> (Stand: 04/2017)
- Albrecht, A., Nordmeier, V. (2013): Interventionsstudie im Lehramtsstudium der Physik – dem Erfolg auf der Spur. Physik und Didaktik in Schule und Hochschule 1/12, S. 62-72.
- Baumert, J.; Kunter, M. (2006): Stichwort: Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. In: Zeitschrift für Erziehungswissenschaft, Heft 4/2006, S. 469-520.
- Blömeke, S. (2011): Zum Verhältnis von Fachwissen und unterrichtsbezogenen Überzeugungen bei Lehrkräften im internationalen Vergleich. In: Stationen Empirischer Bildungsforschung. Hrsg.: Zlatkin-Troitschanskaia, O., Verlag für Sozialwissenschaften/Springer Fachmedien, Wiesbaden.
- Engelage, S. (2013): Die Bedeutung von Lebens- und Berufserfahrung für den Lehrberuf – Quereinsteigende und Regelstudierende im Vergleich. In: Lehrerbildung auf dem Prüfstand, Heft 6 (1), S. 50-69.
- 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. Deutsche Physikalische Gesellschaft.
- Korneck, F.; Lamprecht, J.; Wodzinski, R.; Schecker, H. (2010): Quereinsteiger in das Lehramt Physik - Lage und Perspektiven der Physiklehrrausbildung in Deutschland. Deutsche Physikalische Gesellschaft.
- Lamprecht, J. (2011): Ausbildungswege und Komponenten professioneller Handlungskompetenz. Vergleich von Quereinsteigern mit Lehramtsabsolventen für Gymnasium im Fach Physik. Logos Verlag (Studien zum Physik- und Chemielernen Band 125), Berlin.
- Melzer, W.; Pospiech, G.; Gehrman, A. (2014): Abschlussbericht Quer – Qualifikationsprogramm für Akademiker zum Einstieg in den Lehrberuf.
URL: https://tu-dresden.de/zlsb/ressourcen/dateien/weiterbildung/Expertise_QUER.pdf?lang=de (Stand: 4/2017)
- Oettinghaus, L. (2015): Lehrerüberzeugungen und physikbezogenes Professionswissen. Vergleich von Absolventinnen und Absolventen verschiedener Ausbildungswege im Physikreferendariat. Logos Verlag (Studien zum Physik- und Chemielernen Band 207), Berlin.
- Pfitzner-Eden, F.; Thiel, F.; Horsley, J. (2014): An adapted measure of teacher self-efficacy for pre-service teachers: Exploring its validity across two countries. In: Zeitschrift für Pädagogische Psychologie, Heft 28 (3), Hans Huber Verlag, S. 83-92.
- Riese, J. (2009): Professionelles Wissen und professionelle Handlungskompetenz von (angehenden) Physiklehrkräften. Logos Verlag (Studien zum Physik- und Chemielernen Band 97), Berlin.
- Ständige Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (2011): Lehrereinstellungsbedarf und Lehrereinstellungsangebot in der Bundesrepublik Deutschland Modellrechnung 2010-2020. URL: http://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/pdf/Statistik/Dokumentationen/Dok_194_LEB_LEA.pdf (Stand: 4/2017)
- Ständige Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (2014): Standards für die Lehrerbildung – Bildungswissenschaften. URL: http://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2004/2004_12_16-Standards-Lehrerbildung.pdf (Stand: 4/2017)
- Ständige Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (2015): Ländergemeinsame inhaltliche Anforderungen für die Fachwissenschaften und Fachdidaktiken in der Lehrerbildung. URL: http://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2008/2008_10_16-Fachprofile-Lehrerbildung.pdf (Stand: 4/2017)
- Watt, H. M. G.; Richardson, P. W.; Klusmann, U.; Kunter, M.; Beyer, B.; Trautwein, U. und Baumert, J. (2012): Motivations for choosing teaching as a career: An international comparison using the FIT-Choice scale. In: Teaching and Teacher Education, H. 28, S. 791-805.
- Weinmann-Lutz, B. (2006): Berufswechsel und Studium bei Erwachsenen am Beispiel angehender Lehrerinnen und Lehrer. Waxmann Verlag, Münster.

Physik für Kinder in schwierigen Lebenslagen

- Eine empirische Studie zur Erfassung und Beschreibung spezifischer Rahmenbedingungen und Herausforderungen aktueller Bildungsangebote -

Cristian David Ortiz Palacio, Manuela Welzel-Breuer

*Pädagogische Hochschule Heidelberg, Fakultät III – Fach Physik, Postfach 10 42 40, 69032 Heidelberg
ortiz@ph-heidelberg.de, welzel@ph-heidelberg.de

Kurzfassung

Weltweit fliehen Menschen vor Gewalt, Krieg und Verfolgung. Unter den Schutzsuchenden sind es Kinder und Jugendliche, die besonders gefährdet sind, insbesondere weil sie dadurch ein sicheres Lebensumfeld verlieren und nur noch einen begrenzten Zugang zur Bildung haben. Als Konsequenz findet eine hohe Anzahl von Kindern ihren Lebensmittelpunkt auf den Straßen großer Städte oder für eine längere Zeit in Flüchtlingsunterkünften. Um die Bildungsarbeit zu unterstützen, gibt es inzwischen vielfältige Bildungsangebote für solche Kinder - auch im Bereich der Naturwissenschaften. Zwei dieser Projekte sind: Patio 13, Physik für Straßenkindern (Kolumbien) und Physik für Flüchtlinge (Deutschland). Die jeweils beteiligten Lehrpersonen werden für die Arbeit mit den Kindern fortgebildet, um die hierfür notwendigen Kompetenzen zu erwerben. Diese Studie verfolgt zwei Ziele: 1. Der aktuelle Stand beider Projekte soll hinsichtlich der Zielstellungen, Bedingungen, notwendigen Kompetenzen und Aktivitäten aus der Sicht der beteiligten HelferInnen und Organisatoren erfasst und beschrieben werden. 2. wird untersucht, inwieweit die Fortbildungen als angemessen und hilfreich von den Betreffenden erlebt werden und ob es weitere, bisher kaum oder nicht beachtete Herausforderungen und Faktoren gibt, die beachtet werden sollten. Zu diesem Zweck werden die bei den jeweiligen Projekten Beteiligten interviewt.

1. Kinder in schwierigen Lebenslagen

Der Begriff „Kinder in schwierigen Lebenslagen“ kann unterschiedlich verstanden werden und sich auf eine sehr heterogene Gruppe beziehen. Im Rahmen dieser Arbeit umfasst dieser Begriff sowohl Flüchtlingskinder als auch Straßenkinder, welche nachstehend beschrieben werden.

Die Bezeichnung „Flüchtlingskind“ enthält die gesamte Gruppe von 0-18-Jährigen. Die im Jahr 2014 veröffentlichte Studie von Berthold „In erster Linie Kinder. Flüchtlingskinder in Deutschland“ charakterisiert den Begriff Flüchtlingskind als eine „Gruppe Menschen, deren Gemeinsamkeit sich rechtlich auf den angestrebten Aufenthaltstitel gründet. Allen gemeinsam ist, dass sie ihre Heimatländer verlassen haben, um Krieg, Gewalt, existenziellen Not, Diskriminierung oder einem Leben ohne Perspektive zu entfliehen“ (Berthold, 2014, S.12). Als weiteres Kriterium wurde die Asylantragstellung als Versuch festgelegt, den Aufenthalt in Deutschland zu legalisieren. Dieser Definition des Begriffs Flüchtlingskind schließen wir uns für diese Arbeit an.

Der Begriff „Straßenkind“ bezieht sich auf die Definition der Studie „Armut und Kindheit: Ein regionaler, nationaler und internationaler Vergleich“ von Butterwegge et al. aus dem Jahr 2004. Die Bezeichnung Straßenkinder umfasst folgende Gruppen: „Kinder und Jugendliche, die in einem Zeitraum bis

zum Alter von 18 Jahren auf der Straße leben bzw. gelebt haben; Kinder und Jugendliche, für die die Straße als primärer Sozialisationsort dient, was mit einer Abkehr von der Familie oder diese ersetzende Institutionen einhergeht; Kinder und Jugendliche, die zeitweise von einer faktischen Obdachlosigkeit betroffen sind oder waren, und zwar in dem Sinne, dass dauerhaft kein eigener Wohnraum von ihnen genutzt wird oder wurde. Sie leben überwiegend im öffentlichen Raum, eine Privatsphäre besteht oder bestand somit nicht. Ihre Hauptbezugsgruppe bilden die ‚Freunde‘ auf der Straße“ (Butterwegge, et al. 2004, S. 129-130)

Kinder in schwierigen Lebenslagen haben meist traumatisierende Erfahrungen und Erlebnisse hinter sich. Einige sind bereits Opfer von Gewalt oder sexuellem Missbrauch oder Zeugen grausamer Taten geworden. Die psychische Belastung der Kinder verhindert eine positive Zukunftsperspektive und damit die Gestaltung einer lebenswerten Existenz.

Einen rechtlichen Rahmen zum Schutz von Kindern und Jugendlichen bietet unter anderem die UN-Kinderrechtskonvention. Der Artikel 3 besagt: „Bei allen Maßnahmen, die Kinder betreffen, gleichviel ob sie von öffentlichen oder privaten Einrichtungen der sozialen Fürsorge, Gerichten, Verwaltungsbehörden oder Gesetzgebungsorganen getroffen werden, ist das Wohl des Kindes ein Gesichtspunkt, der

vorrangig zu berücksichtigen ist“. Zusätzlich erklärt Artikel 28, dass Bildung ein Menschenrecht ist. Sowohl Kolumbien als auch Deutschland haben die UN-Kinderrechtskonvention ratifiziert. Dementsprechend sind sie verpflichtet, das Kindeswohl als wichtigste Basis für alle Handlungen, die Kinder betreffen, zu schaffen. Im Fall von Flüchtlingskindern in Deutschland sollten daher alle Maßnahmen bezüglich Aufenthaltsgesetz und Asylverfahren das Kindeswohl und das anerkannte Menschenrecht auf Bildung berücksichtigen.

Bildung ist nicht nur wichtig für den späteren beruflichen Werdegang. Bildung ermöglicht ein eigenständiges und eigenverantwortliches Denken und Handeln. Darüber hinaus ist Bildung eine wesentliche Voraussetzung für eine erfolgreiche Integration in die Gesellschaft. Bedauerlicherweise können nicht viele Kinder in schwierigen Lebenslagen ihr Recht auf Bildung in Anspruch nehmen, welches durch unterschiedliche rechtliche Instanzen zugesichert ist. Deshalb sollte ein Zugang zu Bildungsangeboten geschaffen werden, insbesondere in den Bereichen frühkindlicher, schulischer und beruflicher Bildung.

1.1. Flüchtlingskinder in Deutschland

Von besonderer Bedeutung ist auch die Tatsache, dass im Jahr 2015 der Anteil von Kindern und Jugendlichen auf der Flucht oder in flüchtlingsähnlichen Situationen weltweit 51% betrug. Im gleichen Jahr wurden 98.400 neue individuelle Asylanträge von unbegleiteten minderjährigen Flüchtlingen eingereicht, davon 14.400 in Deutschland. Die Mehrheit der in Deutschland eingereisten unbegleiteten Minderjährigen stammt aus Afghanistan, gefolgt von Syrien. Auch Kinder aus Kenia, der Republik Kongo und dem Sudan sind vertreten (UNHCR, 2016).

Die Gründe, warum Minderjährige mit oder ohne Eltern fliehen, sind vielfältig. „In manchen Ländern müssen Eltern Angst davor haben, dass ihre Kinder zwangsrekrutiert und als Kindersoldaten eingesetzt werden. Es drohen Beschneidungen, Kinderhandel und Zwangsverheiratungen der Mädchen. Die Bildungswege sind verschlossen. Hinzu kommen Diskriminierung und gesellschaftliche Exklusion“ (vgl. Weber, 2016). Insgesamt wurden im Jahr 2015 137.479 Asylerstanträge von Minderjährigen durch das BAMF entgegengenommen. Das entspricht einem Anteil von 31,1% aller Asylanträge.

1.2. Zur Lage der Straßenkinder in Kolumbien

Die Problematik der Straßenkinder verdeutlicht sich besonders in den wichtigsten Städten Kolumbiens Bogotá und Medellín. Beide Städte stellen für einen großen Anteil der inneren Vertriebenen des Landes den Zufluchtsort dar. Die Ausgrenzung und der Mangel an wirtschaftlichen Mitteln zwingen die Flüchtlingsfamilien in die Slums. Dadurch „verlieren Flüchtlingskinder, zusammen mit der gewohnten Umgebung, Sicherheit und Schutz sowie die notwendige Orientierung und Perspektiven, um zu über-

leben“ (Übersetzung aus Weber & Jaramillo, 2005, S. 130). Viele Kinder sind deshalb zur Kinderarbeit verpflichtet und führen ein Leben auf der Straße. Daten der UNICEF besagen, dass in Kolumbien 9,7% der Kinder zwischen 5 und 14 Jahren arbeiten müssen (UNICEF, 2016). Das Leben auf der Straße bringt weitere Risikofaktoren für Kinder und Jugendliche mit sich, etwa Prostitution, Drogen und die dazugehörige Beschaffungskriminalität. Darüber hinaus ist die Lebenssituation der Straßenbewohner durch extrem eingeschränkte Lebensverhältnisse und fehlende Bildung stigmatisiert. Ohne Aussicht auf Arbeit und Beruf sind Straßenkinder auch in der Zukunft chancenlos (vgl. Schnebel, 2009).

2. Naturwissenschaftliche Bildungsangebote für Kinder in schwierigen Lebenslagen - zum Bildungswert der Physik

Der letzte UNESCO-Weltbildungsbericht (Global Education Monitoring Report) aus dem Jahr 2016 legt neue Daten vor, die darauf hinweisen, dass das Flüchtlingskindern zuzustehende Recht auf Bildung gravierend vernachlässigt wird. Festzustellen ist, dass nur 50% der Flüchtlingskinder die Grundschule besuchen und nur 25% der jugendlichen Flüchtlinge Zugang zu weiterführenden Schulen haben (UNESCO, 2016). Neben humanitärer Hilfe offerieren und gestalten soziale Einrichtungen, Stiftungen, Regierungs- und Nichtregierungsorganisationen also zunehmend unterschiedliche Bildungsangebote in der Absicht, die komplexen Bildungsbedürfnisse von Kindern in schwierigen Lebenslagen zu berücksichtigen. Solche Bildungsprojekte soll(t)en Straßen- und Flüchtlingskindern zunächst eine Ablenkung und Alternative in ihrem schwierigen Alltag bieten und sie bei einer Wiedereingliederung in einen passenden Bildungsweg unterstützen. Bildungsprojekte, maßgeschneidert für Kinder in schwierigen Lebenslagen, davon geht man aus, erhöhen die Chance dieser Kinder auf eine bessere und lebenswertere Zukunft. Sie starten in der Regel mit der Unterstützung des Schriftspracherwerbs, um die Alphabetisierung zu sichern, mit mathematischer Grundbildung und spielerisch-sportlichen und künstlerischen Aktivitäten (www.strassenkinderreport.de/). Themen und Inhalte der Naturwissenschaften sind (noch) recht selten im Angebot.

Welchen Stellenwert innerhalb des Bildungskanons haben naturwissenschaftliche Bildungsangebote, bzw. Bildungsangebote im Bereich der Physik?

Dies gehört zu den meistdiskutierten Themen der Physikdidaktik und bezieht sich auf die Frage, welchen Stellenwert Physikunterricht im Kontext der allgemeinen Bildung hat. Nach Jung (1999) wird Physikunterricht durch ökonomische und politische Bedarfsargumente (notwendiges Wissen über die Welt und inhärente systematische Zusammenhänge des Faches) sowie anthropologische und kulturelle Bedürfnisargumente legitimiert. Mit naturwissenschaftlichen Kenntnissen lassen sich viele Fragen

und Probleme des Alltags beantworten bzw. lösen. Sowohl gesellschaftliche als auch individuelle Ansprüche können mit naturwissenschaftlicher Bildung berücksichtigt werden. Unter anderem über die Kombination naturwissenschaftlicher Grundbildung mit (mutter-)sprachlicher Bildung lässt sich Wissen sinnvoll und anwendungsorientiert aufbauen und verknüpfen. Naturphänomene sind dazu noch interessant, wecken Neugier und bieten sinnvolle Sprechkanäle. Es ergibt sich auf längere Sicht die Chance für eine Bildung kritischer und freier Bürger, die genau beobachten können, logisch und systematisch denken und Wissen problemlöseorientiert anwenden und letztendlich im Idealfall zur Entwicklung eines hochindustrialisierten Landes beitragen können.

Die Frage nach der Relevanz von naturwissenschaftlichen Bildungsangeboten für Kinder in schwierigen Lebenslagen wird ebenso häufig gestellt und diskutiert. Da die betroffenen Kinder mit defizitären Lebensbedingungen konfrontiert sind, scheint die Auseinandersetzung mit naturwissenschaftlichen Phänomenen zunächst erst einmal keine Priorität darzustellen. Dennoch sind die Bemühungen unterschiedlicher Einrichtungen, solche Angebote zu konzipieren, ausgesprochen legitim, weil u.a. „naturwissenschaftliche Bildung dem Individuum eine aktive Teilhabe an gesellschaftlicher Kommunikation und Meinungsbildung über technische Entwicklung und naturwissenschaftliche Forschung ermöglicht und [...] deshalb wesentlicher Bestandteil von Allgemeinbildung [sein muss]“ (KMK, 2004, S.6).

Naturwissenschaftliche Kenntnisse sind in der modernen Lebenswelt unabdingbar, da die Anwendung dieser Kenntnisse für nahezu alle Lebensbereiche relevant wird (u. a. für die Gesunderhaltung von Mensch und Natur, zur individuellen Gefahrenabschätzung, für den Zugang zur Berufsausbildung in allen technischen und vielen sozialen Bereichen, für die Realisierung einer nachhaltigen Energieversorgung, die Entwicklung von Problemlösekompetenz und den verantwortungsvollen Umgang mit Ressourcen...). Zudem erlaubt der Zugang zur naturwissenschaftlichen Bildung mit ihren spezifischen (experimentellen) Methoden auch den Zugang zu einem systematischen und systematisierenden Wissenssystem. Unter diesem Blickwinkel kann eine allgemeine naturwissenschaftliche Grundbildung (bekannt auch als Scientific Literacy) die Integration von Kindern und Jugendlichen in schwierigen Lebenslagen in eine Gesellschaft, die stark von Naturwissenschaften und Technik geprägt ist, sehr sinnvoll und effektiv unterstützen.

Das Projekt Physik für Flüchtlinge (PfF) wurde von der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (DPG) und der Georg-August-Universität Göttingen ins Leben gerufen. Gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung startete das Projekt in Dezember 2015. Seitdem begeistern zahlreiche freiwillige HelferInnen Flüchtlingskinder in mehr als

20 Standorten deutschlandweit mit physikalischen Phänomenen. PfF definiert sich selbst als ein integratives Bildungsangebot mit dem Ziel, „Kindern und Jugendlichen in Flüchtlingsunterkünften und Erstaufnahmeeinrichtungen in ganz Deutschland Physik spielerisch und anhand einfacher Experimentieraufgaben näherzubringen. Das physikalisch-spielerische Experimentieren soll den Kindern und Jugendlichen in den Einrichtungen eine Ablenkung vom Alltag bieten und ihnen signalisieren, dass sie in Deutschland willkommen sind“ (https://www.dpg-physik.de/pff/ueber_pff/index.html).

„Patio 13 - Schule für Straßenkinder“ ist ein binationales Bildungsprojekt unter der Beteiligung deutscher und kolumbianischer Bildungseinrichtungen. Experten und Studierende der Pädagogischen Hochschule Heidelberg (Deutschland), der Escuela Normal Superior Maria Auxiliadora (Copacabana-Kolumbien) und der Universidad de Antioquia (Medellin-Kolumbien) engagieren sich hinsichtlich der Verbesserung der Situation und Lebensperspektive von Straßenkindern in Medellín (Kolumbien) durch Bildung. Das Hauptziel von Patio 13 ist „ein Bildungsprogramm mit Angeboten in unterschiedlichen Disziplinen, das in Patios und weiteren Einrichtungen für Kinder in schwierigen Lebenslagen angeboten wird“ (Welzel-Breuer & Breuer, 2015). Im Rahmen des Projekts Patio 13 wurde das fachdidaktische Bildungsangebot „Physik für Straßenkinder“ (PFS) als Teilprojekt konzipiert und umgesetzt. Kolumbianische Lehramtsstudierende, die in der Regel zunächst ein Primarstufenlehramt anstreben, werden hier im forschend-entdeckenden Zugang des naturwissenschaftlichen Unterrichts ausgebildet.

Beiden Projekten ist gemeinsam, dass sie naturwissenschaftliche Bildungsangebote für Kinder in schwierigen Lebenslagen unterbreiten und umfangreiche Erfahrungen in der Praxis gesammelt werden konnten. Sie gehen jeweils eigene Wege, die interessant und erfolgreich scheinen. Bedenkt man nun jedoch die Tatsache, dass in jüngster Zeit viele verschiedene schulische und außerschulische Bildungsprojekte zur Betreuung von Kindern in schwierigen Lebenslagen entstanden sind und trotz der Bemühungen die Mehrheit der Flüchtlings- und Straßenkinder keinen Schulabschluss schafft und somit fern von weiterführenden Bildungsangeboten bleibt (Corso, 2001, S.158-159), muss die konkrete Umsetzung solcher Projekte durch die Beteiligten genauer erfasst und untersucht werden.

3. Zum Kompetenzprofil von Lehrkräften für die Arbeit mit Kindern in schwierigen Lebenslagen im Bereich der Physikdidaktik

Für die Qualität der Umsetzung von Bildungsangeboten sind die Lehrkräfte mit ihren Kompetenzen, passgenaue Lernumgebungen zu gestalten, der Schlüssel. Es muss also zunächst geklärt werden,

welche Kompetenzen auf Seiten der Lehrkräfte notwendig sind, mit Kindern in schwierigen Lebenslagen zu arbeiten.

Kompetenzen werden - bezogen auf die Situation von Lehrkräften - als persönliche Voraussetzungen zur Bewältigung von professionellen Anforderungen aufgefasst, die grundsätzlich veränderbar und erlernbar sind (u.a. Klieme & Leutner, 2006, S.876-903). Das Modell von Heyse & Erpenbeck (2004) liefert als Grundlage hierfür einen berufsübergreifenden Überblick über wesentliche Kompetenzen für ein erfolgreiches Berufsleben, der sich hier gut anwenden lässt. Es werden vier Kompetenzbereiche definiert: personale, aktivitäts- und handlungsorientierte, fachlich-methodische und sozial-kommunikative Kompetenzen. Diese Bereiche sind nun konsequenterweise auf die pädagogische Arbeit mit Kindern in schwierigen Lebenslagen zu beziehen und zu konkretisieren. Genau dazu lassen sich die auf Shulmans Arbeit (1986, 1987) basierenden Standards erarbeiteten und nutzen. Dies bedeutet, dass die Kompetenz der Lehrkräfte für die Arbeit mit Kindern in schwierigen Lebenslagen auf die folgenden fünf Aspekte zu fokussieren ist:

- Die Lehrkräfte kennen die Spezifik, Bedürfnisse und das Vorwissen der Kinder in schwierigen Lebenslagen und können diese in ihre Unterrichtsplanungen einbeziehen.
- Die Lehrkräfte verfügen über die notwendigen fachlichen und fachdidaktischen Kenntnisse in den zu vermittelnden physikalischen bzw. naturwissenschaftlichen Themenbereichen.
- Die Lehrkräfte organisieren und begleiten Lernprozesse der Kinder in schwierigen Lebenslagen.
- Die Lehrkräfte denken systematisch über ihre Arbeit mit den Kindern in schwierigen Lebenslagen nach und lernen aus eigener Erfahrung.
- Die Lehrkräfte sind Mitglieder einer „learning community“.

4. Ziele dieser Studie

Die bisher erfasste Forschung im Bereich der Bildungsangebote für Kinder in schwierigen Lebenslagen stellt die Rolle des Lehrpersonals als entscheidenden Faktor für einen Erfolg bei der Kinderförderung dar. Nach der Flucht, nach traumatischen Ereignissen und nach dem möglichen Verlust von Familienangehörigen sind MitarbeiterInnen, LehrerInnen und HelferInnen die einzigen Bezugspersonen für diese Kinder. Aus diesem Grund ist eine wissenschaftliche Auseinandersetzung mit den vorhandenen und notwendigen Kompetenzen der Lehrpersonen auf dem jeweiligen soziokulturellen Hintergrund und deren Förderung von großer Bedeutung. In beiden hier betrachteten Projekten erhalten

Lehrkräfte Unterstützung und Fortbildungsangebote im Bereich der „Physik für Kinder in schwierigen Lebenslagen“. Es ist zu untersuchen, inwieweit diese Angebote zu den jeweils vorhandenen sowie theoretisch und praktisch erforderlichen Kompetenzen der Lehrkräfte und den von ihnen erlebten Herausforderungen der Praxis passen, damit darauf aufbauend Hinweise bzw. Merkmale für passgenaue Fortbildungsangebote entwickelt werden können.

Damit sollen wichtige Grundlagen für die Optimierung der Ausbildung, der fachlichen, fachdidaktischen, fachmethodischen und sozialpädagogischen Vorbereitung und Unterstützung des Lehrpersonals für die betrachteten Projekte geschaffen werden. Ganz sicher werden sich auch Kriterien für die wissenschaftliche Diskussion ergeben, die die Rahmenbedingungen solcher Angebote im Allgemeinen und die notwendigen individuellen Bedarfe an Fort- und Ausbildung betreffen.

Die zentralen Forschungsfragen dieses Projekts lauten:

- Unter welchen organisatorischen, materiellen und personellen Rahmenbedingungen werden die Projekte „Physik für Straßenkinder“ und „Physik für Flüchtlinge“ realisiert? Welche Gemeinsamkeiten und Unterschiede sind im Hinblick auf beide Projekte feststellbar?
- Welche fachlichen, fachdidaktischen und pädagogischen Kompetenzen bringen die beteiligten Lehrkräfte mit?
- Wie werden die jeweiligen Lehrkräfte bezüglich personaler, aktivitäts- und handlungsorientierter, fachlich-methodischer und sozial-kommunikativer Kompetenzen auf ihre Tätigkeit vorbereitet und bei der Betreuung der zu unterrichtenden Kinder unterstützt?
- Wie förderlich werden die vorhandenen Unterstützungsangebote zum Kompetenzerwerb (Kurse, Fortbildungen, Beratungen) von den beteiligten Lehrkräften wahrgenommen? Was von den Angeboten wird wie genutzt?
- Welche Erfahrungen sammeln die Lehrpersonen unter den gegebenen Rahmenbedingungen? Wie sind diese Erfahrungen einem theoretischen Kompetenzprofil zuzuordnen?
- Mit welchen Herausforderungen werden die Lehrpersonen konfrontiert? Wie gehen sie damit um? Werden bisher nicht betrachtete Kompetenzen oder Kompetenzbereiche notwendig?
- Inwiefern verändert die Teilnahme an den jeweiligen Projekten mit ihren Unterstützungsangeboten die erlebte Kompetenz und

den Alltag sowie die Lebensweise der Lehrpersonen?

5. Methodisches Vorgehen

Im Rahmen des Promotionsprojekts werden halbstrukturierte Interviews (vgl. Bortz & Döring, 2006) anhand eines Interviewleitfadens ausgeführt, der wiederum durch Informationsgespräche mit Experten entwickelt wird. Die Interviews bestehen aus nicht standardisierten offenen Fragen. Die Auswertung der Daten erfolgt nach der Transkription nach dem inhaltsanalytischen Ablaufmodell von Mayring (2007) und entlang der sieben zentralen Forschungsfragen kategoriengeleitet. Die in Kolumbien aufgeführten Interviews sollen zunächst in spanischer Sprache transkribiert und codiert werden. Die Ergebnisse werden danach ins Deutsche übersetzt und für die Interpretation und den Vergleich mit den in Deutschland erhobenen Daten aufbereitet.

Untersucht wird eine Zufallsstichprobe von ca. 20 Probanden aus allen HelferInnen in Deutschland. Idealerweise sollten mehrere Standorte ausgewählt werden. Dadurch können die Durchführungen der jeweiligen Projekte an den untersuchten Standorten gegenübergestellt werden. Die Verfügbarkeit der Probanden wird hier das ausschlaggebende Kriterium darstellen. Die Auswahl der zu interviewenden kolumbianischen Studierenden erfolgt über das gleiche Verfahren, das bei der Befragung zu dem Projekt Pff angewandt wird. Zudem sollten möglichst Probanden befragt werden, die innerhalb der letzten 5 Jahre im Projekt Pff aktiv waren.

Zusätzlich zu den Interviews wird eine Dokumentenanalyse (z.B. Websites, Projektunterlagen, Veröffentlichungen, Erfahrungsberichte) durchgeführt. Auf diese Weise sollen Informationen zu den Rahmenbedingungen ermittelt und Hinweise bzgl. der angebotenen Unterstützung für die Lehrpersonen formuliert werden.

6. Literatur

Berthold, Thomas. (2014): In Erster Linie Kinder. Flüchtlingskinder in Deutschland. Köln. Deutsches Komitee für UNICEF e. V. S. 12

Bortz, Jürgen & Döring, Nicola (2006): Forschungsmethoden und Evaluation: für Human- und Sozialwissenschaftler (4. überarb. Auflage). Heidelberg: Springer

Bundesamt für Migration und Flüchtlinge (2015): Aktuelle Zahlen zu Asyl. Ausgabe: Dezember 2015. Nürnberg.

Bundesamt für Migration und Flüchtlinge (2016): Aktuelle Zahlen zu Asyl. Ausgabe: August 2016. Nürnberg.

Butterwegge, Christoph; Holm, Karin; Imholz, Barbara; Klundt, Michael; Michels, Caren; Schulz, Uwe; Zander, Margherita & Zeng, Matthias (2004): Armut und Kindheit. Ein regionaler, nationaler und internationaler Vergleich (2. Auflage). Wiesbaden: VS-Verlag für Sozialwissenschaften. S.129-130

Corso, Silvia (2001): Kognitive Leistungen in kulturellen Kontexten des Lernens. Untersuchungen über kognitive Leistungen von Straßenkindern mit geringer Schulerfahrung in Brasilien. München: Herbert Utz Verlag. S. 158-159

Der Straßenkinderreport. Url: <http://www.strassenkinderreport.de/startseite.php> (Stand: 9/2016)

Heyse, Volker & Erpenbeck, John (2004): Kompetenztraining: 64 Informations- und Trainingsprogramme (1. Aufl.). Stuttgart: Schäffer-Poeschel.

Homepage der Deutschen Physikalischen Gesellschaft: https://www.dpg-physik.de/pff/ueber_pff/index.html (Stand: 9/2016)

KMK (2004): Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss. Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 16.12. 2004. S.6, Url: http://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2004/2004_12_16-Bildungsstandards-Physik-Mittleren-SA.pdf (Stand: 9/2016)

Jung, Walter (1999): Begründung und Zielsetzung. In: Fachdidaktik Physik. Köln. Bleichroth Wolfgang; Dahnke, Helmut; Kuhn, Wilfried; et al.

Klieme, Eckhard & Leutner, Detlev (2006): Kompetenzmodelle zur Erfassung individueller Lernergebnisse und zur Bilanzierung von Bildungsprozessen. Beschreibung eines neu eingerichteten Schwerpunktprogrammes der DFG. Zeitschrift für Pädagogik, 52 (6), S. 876-903.

Mayring, Philipp (2007): Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken (Auflage: 9.). Weinheim: Beltz.

Schnebel, Ute. (2009): „Straßenkinder“ ein weltweites Phänomen. Url: www.strassenkinderreport.de (Stand: 9/ 2016)

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

Shulman, Lee. S. (1987): Knowledge and teaching. Foundations of the new reform. Harvard Educational Review, 57, S.1-21.

UNESCO (2016): No more excuses: Provide education to all forcibly displaced people. Global Education Monitoring Report. Paris, France

UNICEF (2016): The State of The World's Children 2016. A fair chance for every child. New York, USA

United Nations High Commissioner for Refugees (UNHCR) (2016): Global Trends Forced Displacement in 2015. Geneva, Switzerland

United Nations (1989): Convention on the Rights of the Child. Url: <http://www.ohchr.org/en/professionalinterest/pages/crc.aspx> (Stand: 8/2016)

Weber, Hartwig. (2016): Flüchtlingskinder in Deutschland. Url: www.patio13.de. (Stand: 09/2016)

Weber, Hartwig & Sierra, Sara (2005): Cicatrices en mi Piel. Los niños de la calles se fotografía a si mismos. Bogotá: Universidad Externado de Colombia. S.130

Welzel-Breuer, Manuela & Breuer, Elmar (2015): Physik für Straßenkinder. In einem fachdidaktischen Projekt in Kolumbien erhalten Straßenkinder in Patios Physikunterricht. Physik Journal 14 Nr. 8/9. Weinheim: Wiley-VCH Verlag. S. 71-74

Wie fachspezifisch ist das Naturwissenschaftsverständnis?

- Eine Teilstudie des Projektes „Contemporary Science in der Lehrerbildung“ -

Rebekka Roetger, Rita Wodzinski

Universität Kassel, Didaktik der Physik, Heinrich-Plett-Straße 40, 34109 Kassel
roetger@physik.uni-kassel.de, wodzinski@physik.uni-kassel.de

Kurzfassung

Das naturwissenschaftsübergreifende Teilprojekt „Contemporary Science in der Lehrerbildung“ untersucht unter anderem das Wissenschaftsverständnis angehender Lehrkräfte der Fächer Physik, Biologie und Chemie. Zur übergreifenden Erfassung des Wissenschaftsverständnisses wurde in einem ersten Durchgang u.a. ein schriftlicher Test mit Items von Riese (2009) genutzt, die ursprünglich für das Fach Physik entwickelt worden sind. Bei der Anpassung der Items für die Fächer Biologie und Chemie wurden bereits unterschiedliche Verständnisse zentraler wissenschaftstheoretischer Begriffe (Theorie, Gesetz, Experiment) in den drei Naturwissenschaften deutlich.

Um zu klären, welche Vorstellungen Studierende der drei Naturwissenschaften mit bestimmten wissenschaftstheoretischen Begriffen verbinden und inwieweit sich diese fachspezifisch unterscheiden, wurde eine vertiefende Interviewstudie durchgeführt, die sich eng an den Items des schriftlichen Tests orientiert. Das Interview richtet den Fokus darauf, vor welchem Vorstellungshintergrund die Studierenden die Items bearbeiten. Dies ermöglicht eine bessere Einordnung der Testergebnisse. Gleichzeitig können so tiefere Einblicke in das Wissenschaftsverständnis der Studierenden gewonnen werden als dies mit dem ursprünglichen Testinstrument möglich ist.

1. Contemporary Science in der Lehrerbildung

Als Teilprojekt des Kasseler Projekts PRONET¹ verfolgt das Teilprojekt „Contemporary Science in der Lehrerbildung“ das Ziel, die Verzahnung von Fachwissenschaft und Fachdidaktik am Beispiel der Auseinandersetzung mit aktueller naturwissenschaftlicher Forschung zu fördern und die Wirkung entsprechender Lernumgebungen zu untersuchen. Hierzu wurde ein Seminarkonzept entwickelt, in dem der Fokus auf der Verknüpfung von fachwissenschaftlichen und fachdidaktischen Studienanteilen liegt. In jeder der drei naturwissenschaftlichen Lehramtsstudienfächer wird seit SS16 ein Wahlpflichtseminar gemäß dem Konzept durchgeführt.

Das Seminarkonzept sieht in einer ersten Phase die Auseinandersetzung mit aktuellen fachlichen Forschungsthemen und aktueller Forschungspraxis vor, bevor die Studierenden in einer zweiten Phase Ideen generieren, wie eine Begegnung mit moderner Forschung im Unterricht umgesetzt werden kann. Dies setzt eine didaktische Analyse zu Aspekten aktueller naturwissenschaftlicher Forschung voraus.

Es wird erwartet, dass die Verzahnung von Fach und Fachdidaktik insbesondere auf das Verständnis von Nature of Science (NOS) der Studierenden Einfluss nimmt (Roetger & Wodzinski, 2016). Ein Fokus der

fächerübergreifenden Begleitforschung liegt deshalb auf der Veränderung des Wissenschaftsverständnisses der Studierenden durch das Seminar. Zur Erfassung des Wissenschaftsverständnisses wird ein geschlossener Fragebogen mit zwölf Items von Riese (2009) eingesetzt. Die ursprünglich für die Physik entwickelten Items wurden dazu für die Biologie und Chemie entsprechend angepasst.

2. Problemstellung

Bei der Anpassung der Items an die Biologie und Chemie wurde deutlich, dass bestimmte wissenschaftstheoretische Begriffe in den Naturwissenschaften unterschiedlich verstanden werden. So ist aus physikalischer Sicht z.B. ein Gesetz ein „mathematisch ausgedrückter Zusammenhang generalisierter Regelmäßigkeit innerhalb physikalischer Systeme“ (Höttecke & Rieß, 2007, S.10). Aus biologischer Sicht gelten Gesetze nur unter bestimmten, idealen Bedingungen und stellen deshalb keine universellen Aussagen da (Elgin, 2006). Zudem hat in biologischen Kontexten der Begriff „Modell“ häufig eine sehr ähnliche Bedeutung wie der Begriff „Theorie“ in der Physik, z.B. wenn für ein Phänomen keine Theorie existiert, es aber mit einem Modell erklärt werden kann (Reinisch & Krüger 2014). Aus physi-

¹ Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben „Professionalisierung durch Vernetzung“ (PRONET) wird im Rahmen der gemeinsamen „Qualitätsoffensive Lehrerbildung“ von Bund und Ländern mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und

Forschung unter dem Förderkennzeichen 01JA1505 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

kalischer Sicht ist dies problematisch, da hier „Modelle“ „eine vereinfachte oder idealisierte Vorstellung eines Objektes, Systems oder Prozesses“ sind (Hopf, 2011, S.11).

Es ist deshalb davon auszugehen, dass Studierende fachspezifische Vorstellungen zu den naturwissenschaftlichen Begriffen aufbauen, die wiederum einen Einfluss darauf haben, wie einzelne Testitems beantwortet werden. Möglicherweise liegen unterschiedlichen Testergebnissen nur unterschiedliche Begriffsverständnisse zugrunde. Um dies genauer zu untersuchen, wurde in einer Interviewstudie der Frage nachgegangen, inwiefern sich das Naturwissenschaftsverständnis der Lehramtsstudierenden der Fächer Physik, Chemie und Biologie unterscheidet. Die Interviews sollen dazu beitragen, die Testergebnisse des schriftlichen Tests zu interpretieren und ermöglichen darüber hinaus tiefere Einblicke in das Naturwissenschaftsverständnis der Studierenden.

3. Interviewstudie

3.1 Konzeption des Interviews

Der Leitfaden der Interviewstudie wurde in Anlehnung an die Testitems von Riese (2009) (*Eigenschaften der Naturwissenschaften, wissenschaftstheoretische Begriffe und Bedeutung des Experiments bei der Erkenntnisgewinnung*) und in Anlehnung an die Struktur des offenen Fragebogens VNOS-C von Lederman et al. (2002) konzipiert.

Der Leitfaden ist für alle drei Disziplinen strukturell einheitlich, aber dennoch fachbezogen konkretisiert. Zu jedem Item wird im Interview jeweils der Vorstellungshintergrund erhoben, der der Beantwortung des Items (bezogen auf das studierte Fach) zugrunde liegt. Des Weiteren wird jeweils nach Unterschieden zu den anderen beiden nicht studierten Naturwissenschaften gefragt.

Das Interview thematisiert zunächst Eigenschaften und besondere Charakteristika der einzelnen Disziplinen. Die Studierenden werden aufgefordert, Naturwissenschaften von anderen Wissenschaften abzugrenzen und Besonderheiten ihrer eigenen naturwissenschaftlichen Disziplin (Biologie, Chemie oder Physik) zu nennen. Anschließend werden die naturwissenschaftlichen Begriffe Theorie, Gesetz und Experiment thematisiert, wobei immer zuerst nach dem Verständnis des Begriffes gefragt wird, bevor konkrete Beispiele genannt werden sollen. Für den Begriff „Theorie“ lauten die Interviewfragen beispielsweise wie folgt:

Was verstehen Sie unter einer Theorie? Können Sie Ihre Meinung mit einem Beispiel unterstützen? Trifft das, was Sie gesagt haben, Ihrer Meinung nach auch für die Chemie/Biologie zu?

Nach Klärung der Vorstellungen zu Theorien, Gesetzen und Experimenten, werden die befragten Studierenden gebeten, die Begriffe Gesetz, Theorie und Experiment in einem Schaubild zu verknüpfen. Dadurch

sollen die Vorstellungen der Studierenden zum Zusammenspiel der Begriffe deutlich werden, insbesondere auch zur Rolle des Experiments bei der Entwicklung von Theorien und Gesetzen.

Abschließend wird erhoben, wie sich die Studierenden die Existenz unterschiedlicher Theorien zu einem Phänomen erklären. Dazu wird jeweils ein konkretes Phänomen beschrieben, das über unterschiedliche Theorien gedeutet werden kann.

3.2 Untersuchungsgruppe

Die Untersuchungsgruppe besteht aus Studierenden, die an dem Wahlpflichtseminar teilgenommen haben. Insgesamt nahmen 18 Studierende freiwillig an der Erhebung teil, davon 6 aus jedem Fach. Der Erhebungszeitpunkt der Interviews lag am Ende des Semesters, in dem das Seminar abgeschlossen wurde (SoSe 16 bzw. WiSe16/17). Es ist angedacht, die Stichprobe im kommenden SoSe 2017 um weitere sechs Studierende aus jedem Fach zu ergänzen.

3.3. Auswertungsmethodik

Bisher wurden nur die Interviews der Physikstudierenden näher betrachtet. Die fächerübergreifende Auswertung steht noch aus.

Die Interviews der Physikstudierenden wurden in Anlehnung an die qualitative Inhaltsanalyse nach Mayring ausgewertet. Für die einzelnen Aspekte des Wissenschaftsverständnisses wurden induktiv Kategoriensysteme erstellt. Basierend auf den Ergebnissen vorliegender Untersuchungen insbesondere von Höttecke & Rieß (2007) sowie weiterer Quellen wurden die einzelnen Kategorien einer eher „alltagsnahen“ oder einer eher „wissenschaftstheoretisch angemessenen“ Vorstellung zugeordnet.

4. Vorstellungen zu den wissenschaftstheoretischen Begriffen

Im Folgenden wird ein erster Einblick in die Vorstellungen der Physikstudierenden zu naturwissenschaftlichen Theorien und Gesetzen gegeben.

4.1 Naturwissenschaftliche Theorien

Wissenschaftstheoretisch angemessene Vorstellungen zu Theorien sind, dass Theorien etablierte, gut begründete, in sich konsistente, Aussagensysteme sind, die unterschiedliche Phänomene und Beobachtungen erklären können (Lederman et al., 2002; Urhahne et al., 2011). Anhand von Theorien können Vorhersagen abgeleitet werden (Lederman et al., 2002; Urhahne et al., 2011). Im Alltagsverständnis wird etwas als theoretisch bezeichnet, wenn es ihm „an Konkretheit, Zuverlässigkeit oder Geltung“ fehlt (Höttecke & Rieß, 2007, S.9). Dies kann die Vorstellung von Theorien beeinflussen. Eine weitere Alltagsvorstellung ist, dass Theorien durch wiederholte Bestätigung irgendwann zu Gesetzen werden (Lederman et al., 2002; Urhahne et al., 2011). Die Studierenden der Physik äußerten im Interview überwiegend die Vorstellung, dass Theorien Aussagen sind, die noch bewiesen werden müssen. Damit werden

Theorien im Sinne hypothetischer Aussagen gedeutet. Einige sahen Theorien darüber hinaus als eine Vorstufe von einem Gesetz. Dies ist an Aussagen wie „Eine Theorie ist für mich erst mal eine Aussage oder eine Annahme, die es zu überprüfen gilt.“ (P04) oder „[Die Theorie] wäre eine Vorstufe von einem Gesetz.“ (P03) erkennbar. Gleichzeitig wird bei (P03) aber auch die Vorstellung deutlich, dass Theorien nicht beweisbar sind, wenn sie als Beispiel einer Theorie die Relativitätstheorie nennt mit der Begründung, dass dies eine Theorie sei, weil „so richtig beweisen kann man das ja gar nicht.“ (P03)

Für die Studierende (P02), sind Theorien teilweise „Erklärungsversuche“, die Abläufe in der Natur zu beschreiben. Jedoch ist sie sich unsicher, inwiefern Theorien sich von Gesetzen abgrenzen. Sie meint, dass „an sich [Theorien] (...) nur in Worten formuliert sind, was ein Gesetz mathematisch ausgedrückt sein kann oder ist.“

4.2 Naturwissenschaftliche Gesetze

Eine durch Alltagssprache geprägte Vorstellung von naturwissenschaftlichen Gesetzen ist, dass sie gesichertes und unabwiesbares Wissen über Zusammenhänge beschreiben (Höttecke & Rieß, 2007, S.9). Aus wissenschaftstheoretischer Sicht umfassen Gesetze mehr. So beschreiben Höttecke und Rieß (2009, S.10) Gesetze als einen „mathematisch ausgedrückten Zusammenhang generalisierter Regelmäßigkeit innerhalb physikalischer Systeme“. Auch Lederman et al. (2002) definieren naturwissenschaftliche Gesetze als anschauliche, beschreibende Verhältnisse von beobachteten Regelmäßigkeiten verschiedener Phänomene.

Auffällig ist, dass die untersuchten angehenden Physiklehrkräfte Gesetze zunächst auf einer alltagssprachlichen Ebene beschreiben. Dazu äußern sie, dass ein Gesetz etwas „Festgelegtes [ist] (...) was auch bewiesen wurde, beziehungsweise soweit bewiesen wurde, dass man halt sagen kann, (...) das ist halt wirklich so“ (P05). Erst bei der Benennung von Beispielen gehen die Studierenden auf die mathematische Ausdrucksform oder die generalisierte Regelmäßigkeit ein. Dabei werden Gesetze aus der Elektrizitätslehre (P04, P05, P06) oder das ideale Gasgesetz aus der Wärmelehre genannt. Nur eine Studierende geht gleich zu Beginn darauf ein, dass ein Gesetz eine „verallgemeinerte Aussage [ist], die aus Beobachtungen und aus mehrmaligen Bestätigungen festgelegt [wurde]“ (P02) und in der Physik meist eine „mathematische Ausdrucksform“ annimmt.

4.3. Beziehung zwischen naturwissenschaftlichen Gesetzen und Theorien

Grundsätzlich sind Gesetze und Theorien zwei unterschiedliche Arten von Wissen (Höttecke & Rieß, 2007; Lederman et al., 2002). Gesetze sind Theorien nicht hierarchisch übergeordnet (Urhahne et al., 2001) und das eine kann nicht in das andere übergehen (Lederman et al., 2002).

Auch hier haben die Lehramtsstudierenden der Physik eher alltagsnahe Vorstellungen. Die Studierenden haben die Vorstellung, dass Gesetze eine „überprüfte“ (P04) oder „aus dem jeweiligen Fach anerkannte Theorie“ (P06) oder eine „Theorie mit dem höchsten Wahrheitsgehalt“ (P01) ist.

Die Vorstellung der Physiklehramtsstudierenden spiegelt sich auch in den gelegten Schaubildern wieder. Grundsätzlich stellt für die Studierenden das Experiment immer eine Art „Wechselbeziehung“ (P03), „Wechselwirkung“ (P06) oder einen „Kreislauf“ (P04) mit der Theorie dar. Sobald ein Experiment eine Theorie „bestätigt“ oder „zufriedenstellt“ (P04), entsteht daraus ein Gesetz. Dies betont nochmals die alltagsnahen Vorstellungen der Studierenden, dass eine Theorie eine ungeprüfte Aussage ist und dass Theorien eine Vorstufe von Gesetzen sind. Schaut man sich die Schaubilder der Biologiestudierenden an, so ist ebenfalls erkennbar, dass hier ähnliche alltagsnahe Vorstellungen vorliegen: Experimente werden genutzt, um eine Theorie zu überprüfen, um anschließend nach genügend Überprüfung ein Gesetz aus der Theorie zu formulieren.

4.3 Unterschiede zwischen den Fächern aus Sicht der Studierenden

Bei der Frage, ob es Unterschiede in der Bedeutung der wissenschaftstheoretischen Begriffe in den drei Naturwissenschaften gibt, treffen die Studierenden jeweils vorsichtige und wenig konkrete Aussagen. Die Studierenden geben an, ihre Vorstellung zu den Begriffen „Theorien“ und „Gesetz“ auf die Biologie und Chemie zu „übertragen“ (P01, P05, P06) oder dass sie es „genauso“ (P02, P03, P04,) sehen. Lediglich eine Studierende (P02) äußert, dass Gesetze in der Physik immer Zusammenhänge „mathematisieren“ und dass das „wahrscheinlich in der Biologie und Chemie nicht unbedingt so [ist]“. Zudem fällt auf, dass die Studierenden bei ihren Aussagen eher vorsichtig sind und sich nicht festlegen wollen, da sie „keine Vorstellung“ (P02) oder „keine Ahnung“ (P05) haben oder sich „nicht so genau [auskennen]“ (P03, P02). Da die Studierenden angeben sich bei ihren Äußerungen zur Biologie und Chemie auf Wissen und Erfahrungen aus ihrer Schulzeit zu beziehen, deutet das vorsichtige Antwortverhalten darauf hin, dass die Studierenden während ihrer Schulzeit wenig Erfahrungen mit wissenschaftstheoretischen Begrifflichkeiten gesammelt haben und diese erst im Studium reflektieren.

5. Vorläufiges Fazit und Ausblick

Es wird deutlich, dass die Interviewstudie einen tieferen Einblick in die Vorstellungen der Studierenden zu Nature of Science gibt, als der geschlossene Test mit den Items von Riese (2009). Auf den ersten Blick scheinen die Physiklehramtsstudierende eher ein alltagsnahes Wissenschaftsverständnis zu haben. Erst durch die Nennung der Beispiele wird jedoch ersichtlich, dass durchaus Ansätze wissenschaftstheoretischer Vorstellungen vorliegen.

Die Physiklehramtsstudierenden erkennen keine konkreten Unterschiede der naturwissenschaftstheoretischen Begriffe in den jeweiligen Disziplinen. Dies könnte daran liegen, dass die Studierenden sich nicht gut genug in der Biologie oder Chemie auskennen. Inwieweit sich die Sichtweisen der Studierenden der drei Naturwissenschaften unterscheiden, muss noch näher untersucht werden.

Eine weitere unbeantwortete interessante Frage ist, inwieweit schulische oder universitäre Einflüsse das Wissenschaftsverständnis prägen. Ergänzend sollen auch Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus den jeweiligen Disziplinen nach dem gleichen Schema zu ihrem Wissenschaftsverständnis befragt werden. Dadurch sollen mögliche fachspezifische Unterschiede und Gemeinsamkeiten des Wissenschaftsverständnisses aus einer fachwissenschaftlichen Perspektive konkretisiert werden.

6. Literatur

- [1] Elgin, M. (2006): There may be strict empirical laws in biology, after all. In: *Biology & Philosophy*, 21, S.119–134.
- [2] Hopf, M. (Hrsg.), Schecker, H., Wiesner, M. (2011): *Physikdidaktik kompakt*. Köln: Aulis Verlag.
- [3] Höttecke, D., Rieß, F. (2007): Rekonstruktion der Vorstellungen von Physikstudierenden über die Natur der Naturwissenschaften - eine explorative Studie. In: *PhyDid A, Physik und Didaktik in Schule und Hochschule*, 1/6 (2007), S.1-14.
- [4] Lederman, N. G., Abd-El-Khalick, F., Bell, R. L., Schwartz, R. S. (2002): Views of nature of science questionnaire: Toward valid and meaningful assessment of learners' conceptions of nature of science. In: *Journal of research in science teaching*, 6/39, (2002), S.497-521.
- [5] Reinisch, B., & Krüger, D. (2014): Vorstellungen von Studierenden über Gesetze, Theorien und Modelle in der Biologie. In: *Erkenntnisweg der Biologiedidaktik*, 13, S. 41-56.
- [6] Riese, J. (2009): *Professionelles Wissen und professionelle Handlungskompetenz von (angehenden) Physiklehrkräften*. Berlin: Logos.
- [7] 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://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/702/836>
- [8] Urhahne, D., Kremer, K. and Mayer, J. (2011): Conceptions of the nature of science - are they general or context specific? In: *International Journal of Science and Mathematics Education*, 3/9 (2011): S.707–730.

Training der Präsentationskompetenz mit stummen Videos

Matthias Schweinberger*, Peter Mayer*, Raimund Girwidz*

*Ludwig-Maximilians-Universität München

M.Schweinberger1@lmu.de, Pe.Mayer@lmu.de, Girwidz@lmu.de

Kurzfassung

An der LMU München wird ein neues Übungskonzept erarbeitet, mit dem angehende Physiklehrkräfte auf den Einsatz von Demonstrationsexperimenten im Unterricht vorbereitet werden.

Wesentliche Bestandteile dieses Konzeptes sind die Verwendung von „stummen“, d.h. unvertonten Videos zu Experimenten der Schulphysik und ein webbasiertes Tool, mit dem diese Videos von den Studierenden nachvertont werden können. Durch die bereitgestellten Videos erhalten die Studierenden Informationen zum Aufbau und zum Ablauf der Versuchsdemonstrationen. Beim Vertonen mit dem bereitgestellten Tool üben die Studierenden die schüler- und fachgerechte, sprachliche Moderation von Experimenten. Mit Hilfe einer Kommentarfunktion, die in der Webplattform implementiert ist, bewerten und kommentieren dann Dozenten und Studierende im Seminar die nachvertonten Moderationen. Die Studierenden erhalten dadurch ein umfassendes Feedback. Dies soll Reflexionsprozesse anregen und die Präsentationskompetenz der Studierenden verbessern. Gleichzeitig lernen sie eine neue, kommunikative Nutzung digitaler Medien kennen, die sie auch selbst später in ihrem Unterricht einsetzen können.

1. Einleitung

Gefördert durch das Bund-Länder-Programm *Qualitätsoffensive Lehrerbildung* wird an der LMU München ein neues Übungskonzept erarbeitet, mit dem angehende Physiklehrkräfte auf den Einsatz von Demonstrationsexperimenten im Unterricht vorbereitet werden.

In diesem Beitrag werden zunächst Ausgangssituation, Grundlagen zur Demonstration von Experimenten und häufig beobachtete Schwächen bei Versuchspräsentationen kurz beschrieben. Darauf aufbauend folgt eine Charakterisierung der verwendeten *stummen* Videos und des Übungskonzepts. Anschließend werden die Kriterien der Moderation, der Einsatz des Software-Tools für die Arbeit mit den Videos sowie erste Erfahrungen aus den Seminaren dargestellt.

1.1. Ausgangssituation

Die Grundvorlesungen in der Physik decken die rein fachlichen Anforderungen ab, denen Lehramtsstudierende in ihrem späteren Beruf begegnen. Doch können in den Fachvorlesungen, die zum Teil zusammen mit den Bachelorstudierenden abgehalten werden, die Bezüge der Vorlesungsinhalte zur Schulphysik nicht ausreichend behandelt werden. Dies betrifft die Lehramtsstudierenden aller Schularten. Es besteht daher die Notwendigkeit, die Relevanz der Inhalte aus den Fachvorlesungen für die spätere Berufspraxis klarer deutlich zu machen. Dieser stärkere Berufsfeldbezug soll durch folgende Maßnahmen unterstützt werden:

- Demonstrationsexperimente aus den Vorlesungen werden mittels Videotechnik so aufbereitet, dass spezielle Übungen möglich werden, die auf den späteren Schulunterricht vorbereiten.
- Schul- und unterrichtsrelevante Ergänzungen und Handreichungen zu den gezeigten Experimenten werden bereitgestellt und in den Übungen bzw. in den didaktischen Seminaren besprochen.
- Spezielle Webseiten (digital und interaktiv) mit Querverweisen und Verknüpfungen zur Schulphysik werden konzipiert.
- Eine Sammlung von Schulexperimenten wird bereitgestellt, wobei insbesondere durch den Einsatz von Videos der jeweilige Aufbau und Ablauf deutlich gemacht wird. Im Fokus stehen insbesondere Demonstrationsexperimente, die im Rahmen der Fachvorlesungen vorgeführt werden.

1.2. Durchführung von Demonstrationsexperimenten

Das Demonstrieren von Experimenten ist ein wesentlicher Bestandteil des Unterrichts. Deshalb sollen angehende Physiklehrkräfte am Ende ihres Studiums einen breiten Überblick über physikalische Standardexperimente haben [1]. Die Studierenden sollen anhand folgender Punkte den Einsatz von Demonstrationsexperimenten verbessern und einüben [2], [3]:

- Einordnung des Experiments in die Unterrichtseinheit
- Funktion des Experiments im Unterrichtsablauf deutlich werden lassen

- Planung des Experiments (gemeinsam mit den Lernenden) üben
- Gestaltung des Versuchsaufbaus professionalisieren
- Durchführung des Experiments
- Sprachliche Moderation der Versuchsdurchführung.

1.3. Präsentationsfehler, die den Studierenden schnell deutlich werden

Rhetorische Fragen wie: „Seht ihr wie die elektrische Stromstärke steigt?“ entmündigen Lernende und hemmen sie, selbst präzise Beobachtungen anzustellen. Solche Hinweise sollten entfallen, damit die Beobachtenden ein Experiment aufmerksam verfolgen.

Häufig werden Ergebnisse eines Experiments vorweggenommen. Spannung und Aussagewert des Experimentes sinken.

Beobachtungen und Erklärungen sollten nicht vermischt werden. Untersuchungen und Datenerhebung sollten abgeschlossen sein (wenn möglich mit schriftlicher Fixierung der Ergebnisse), bevor die Erklärungsphase startet. Lernende sollten Beobachtungen und Erklärung nicht durcheinanderbringen.

Viele Problemfelder der Demonstration von Experimenten im Unterricht liegen aber im verbalen Bereich. Deshalb liegt in diesem Beitrag der Fokus auf Übungsmöglichkeiten, welche die verbalen Fähigkeiten der Studierenden beim Präsentieren von Experimenten fördern können.

2. Vorgehensweise

2.1. Stumme Videos

Bei den *stummen* Videos handelt es sich um unvertonete, ca. 2-minütige Aufnahmen von Experimenten zur Schulphysik. Zuerst wird in einem Überblick der gesamte Aufbau des Versuchs mit allen benötigten Hilfsmitteln gezeigt, wobei die in Abschnitt 1.2 genannten Punkte sowie die Gestaltgesetze nach Schmidkunz [4] berücksichtigt sind. Anschließend wird das Experiment präsentiert (inkl. aller notwendigen Handlungen und in realem Tempo). Bei den Aufbauten wurden bewusst Geräte und Gebrauchsmaterialien verwendet, die gewöhnlich in Schulphysiksammlungen vorzufinden sind. Bei den Videos stehen Einfachheit und Sichtbarkeit des Aufbaus klar im Vordergrund. Auf bildgestalterische Techniken wie Überlagerungen oder Hineinzoomen wurde weitgehend verzichtet. Grundsätzlich sollen die Experimente die Perspektive der Schülerinnen und Schüler in einem Klassenzimmer wiedergeben.

2.2. Übung zur sprachlichen Begleitung von Experimentalpräsentationen

Ähnlich der Vorführung eines Stummfilms, bei der ein Klavierspieler den Film begleitet, müssen die Studierenden das Video vertonen. Sie können sich voll auf die verbale Moderation konzentrieren und müssen sie sich weder um die Funktionssicherheit

des Experimentes, noch um die Disziplin im Klassenzimmer kümmern.

Die Studierenden erstellen eine Tonaufnahme zu einem ablaufenden, stummen Video. Dazu nutzen sie ein Notebook oder Smartphone und den am Lehrstuhl für Didaktik der Physik entwickelten Multimedia-Assistenten (PUMA@LMU, siehe Abschnitt 2.4). Alternativ kann man das Video aber auch mit Standardsoftware vertonen (z.B. Windows Movie Maker oder iMovie). Ebenso können die stummen Videos mit kostenlosen Apps auf allen Android-Geräten vertont und nachbearbeitet werden. Die moderierten Demonstrationsexperimente können dann von allen Teilnehmern des begleitenden Seminars abgespielt und bewertet werden. Die Moderationen werden noch im Seminar analysiert und besprochen. Die Studierenden planen darüber hinaus einen kompletten Unterrichtsentwurf, in den dann das jeweilige Experiment eingebettet wird.

2.3. Kriterien für die Besprechung

Die sprachliche Moderation der stummen Videos wird anhand folgender Kriterien mit den Studierenden besprochen [2]:

- Schülergerechte Erläuterung des Versuchsaufbaus
- Herstellen von Beziehungen zwischen den zuvor präzisierten Hypothesen
- Zeitlich abgestimmte und exakte Beschreibung der durchgeführten Aktivitäten
- Gezielter Einsatz sprachlicher Impulse zur Steuerung der Schülersaufmerksamkeit (z.B. durch mündliche Anweisungen oder Variation der Stimme und/oder der Sprechgeschwindigkeit)
- Angemessener Einsatz von Fachbegriffen
- Schaffen eines schüleraktivierenden Spannungsbogens, z.B. durch Anbindung an Situationen aus der Erfahrungswelt der Schülerinnen und Schüler
- Sammeln und Zusammenfassen der Beobachtungen
- Trennung zwischen Versuchspräsentation und Erklärungsphase.

2.4. Einsatz des Multimedia-Assistenten

In einem Seminar mit 40 Teilnehmern, die im Laufe des Semesters drei Experimente vertonen, entstehen 120 Aufnahmen. Diese müssen verwaltet und den Studierenden für eine Rückmeldung zugänglich gemacht werden. Um die Verwaltung und die Organisation des Feedbacks zu erleichtern, wurde die Webplattform *PUMA@LMU* entwickelt. Sie ermöglicht es dem Dozenten, Schwerpunkte auf bestimmte Aspekte einer Versuchspräsentation zu legen. Hierzu kann der Dozent entsprechende Kriterien aus dem umfangreichen Katalog des Multimedia-Assistenten auswählen und mit den jeweiligen Vertonungen verknüpfen. Alle Seminarteilnehmer und der Dozent evaluieren außerhalb der Seminarzeit die Vertonungen, markieren Problemstellen und formulieren Kom

Brechung I (Linsen) - Korrektur

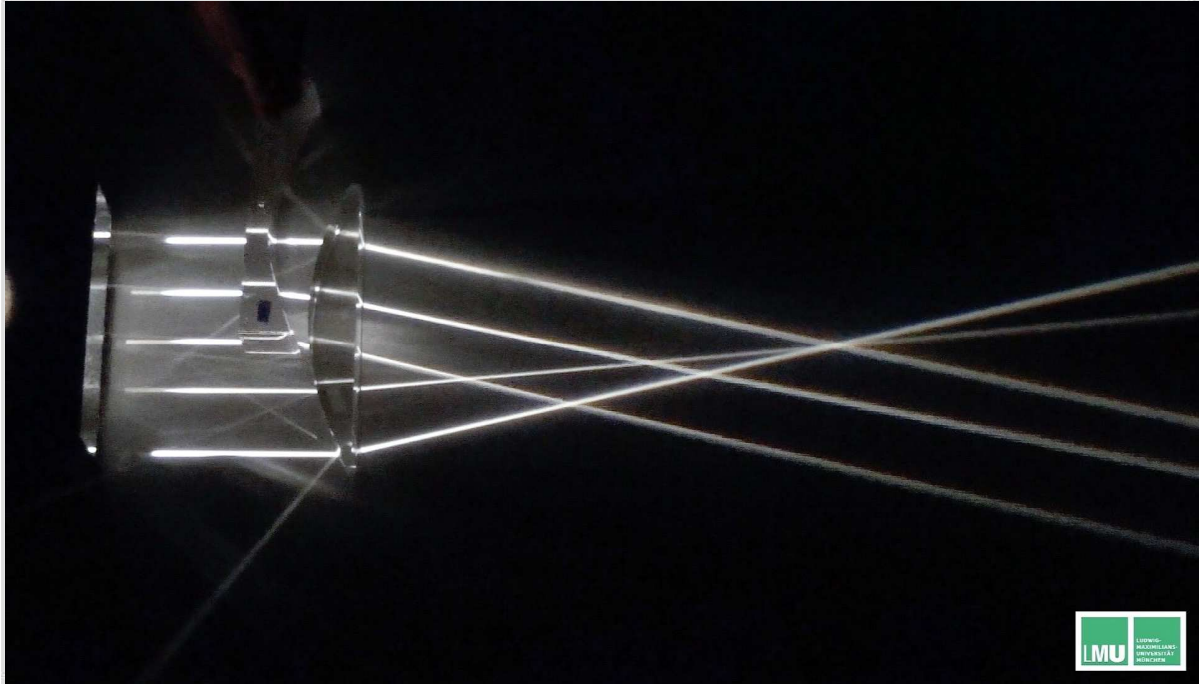
Nachfolgendes Video, das die Lichtbrechung an Linsen zeigt, wurde von einem Ihrer Kommilitonen vertronf. Bewerten und Kommentieren Sie die Qualität der Beschreibung. Verwenden Sie dazu nebenstehende Kriterien.

Ursprüngliche Aufgabe

Brechung I (Linsen)

Nachfolgendes Experiment zeigt die Lichtbrechung an Linsen.

- Beschreiben Sie schülergerecht den Aufbau und alle dazu nötigen Komponenten
- Recherchieren Sie für Ihr eigenes Verständnis die physikalischen Hintergründe für die Lichtbrechung an Linsen
- Vertonen Sie dieses Video so, dass Schülerinnen und Schüler dieses Experiment bzw. das Phänomen verstehen können.



STELLE MARKIEREN

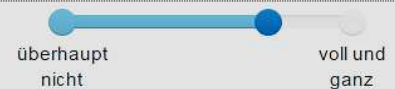
STARTEN

Fragen Kommentar Marker

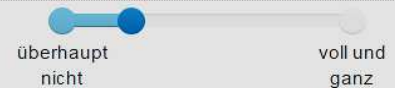
Eine folgerichtige Sequenzierung ist vorhanden.



Die Fachsprache wurde souverän und durchgehend eingesetzt.



Die verwendeten Geräte und deren Funktion wird geklärt.



Die Aufmerksamkeit der Schülerinnen und Schüler wurde immer auf den gerade aktuell wichtigen Aspekt gelenkt.



Abb. 1: Bewertung einer von Studierenden angefertigten Videovertonung

-mentare in Textform. Die Bewertung berücksichtigt die folgenden drei Bereiche: (1) Bewertung auf Basis vorgegebener, theoriebasierter Beobachtungskriterien (z.B. Einsatz von Fachbegriffen), (2) allgemeine Kommentare zum Verlauf (z.B. Span-

nungsbogen), (3) Hinweise und Verbesserungsvorschläge, die sich auf die Phasenstruktur beziehen (vgl. Abb. 1). Die Vertonenenden selbst geben auch eine Einschätzung ab und erhalten automatisch eine grafische Gegenüberstellung ihrer persönlichen

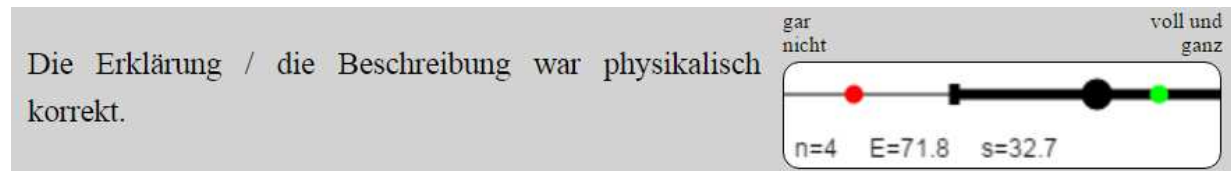


Abb. 2: Individuelles Feedback (Teilaspekt)

Einschätzung (grün), der Einschätzung der Kommilitonen (schwarz) und der Einschätzung des Dozenten (rot, vgl. Abb. 2). Zudem besteht die Möglichkeit, die markierten und kommentierten Stellen öfters abzuspielen und die Vertonung nochmals zu reflektieren.

2.5. Erfahrungen zur Arbeit mit stummen Videos

Bei den Befragungen zur Lehrveranstaltung bewerteten die Studierenden die Übungen mit stummen Videos überwiegend positiv. Sie gaben an, dass keine technischen Probleme bei der Bearbeitung der stummen Videos bzw. der Aufnahme der Tonspuren auftraten. Besonders positiv bewerteten die Studierenden die Möglichkeit, eine Aufnahme oder Teile davon so oft zu verbessern, bis sie selbst mit dem erzielten Ergebnis zufrieden sind.

Die Diskussion zeigte außerdem, dass die Analyse der Videovertonungen im geschützten Raum des Seminars, die Scheu der Studierenden vor eigenen Aufnahmen verringert.

Dank der Kommentarfunktion des Multimedia-Assistenten nahmen die Studierenden die Besprechung der Moderationsversuche als transparent und effektiv wahr.

Die Arbeit mit den stummen Videos ermöglichte den Studierenden eine intensive Phase der Selbstreflexion. Da die Tonspuren technisch leicht zu speichern sind, konnten die Studierenden ihre persönliche Entwicklung beim Moderieren von Experimenten auch zeitlich verfolgen.

Die sprachliche Qualität der eingereichten Bearbeitungen fiel sehr unterschiedlich aus. Die Spanne reichte von kaum verständlichem Dialekt bis hin zu viel zu intensivem Einsatz von Fremdwörtern und Fachausdrücken.

Auch passten die eingereichten Moderationen oft nicht zu der intendierten Funktion des Experiments im Unterricht.

Darüber hinaus lernen die Studierenden bei der Arbeit mit stummen Videos eine Vielzahl sinnvoller Experimente für den Unterrichtsalltag kennen. Das bereitgestellte Webangebot [5] liefert zusätzliche Informationen zum Lehrplan und Durchführungstipps. Zudem erhält man schulartspezifische und methodische Hinweise zum Unterrichtseinsatz. Zusätzlich gibt es Geräteinformationen, ergänzende Videos, nützliche Links und Simulationen.

3. Ausblick

Die Wirkung verbaler Impulse bei der Vertonung stummer Videos auf die Aufmerksamkeitssteuerung von Schülerinnen und Schülern soll mit Hilfe von Eye-Tracker-Untersuchungen analysiert werden.

Geplant ist auch, Lernende allgemein zugängliche Musterbeispiele mit besonderen Merkmalen anhand eines Kriterienkataloges bewerten zu lassen.

Die Studierenden sollen lernen, welche sprachlichen Impulse und SteuerCodes geeignet sind, um die Aufmerksamkeit der Schülerinnen und Schüler während eines Demonstrationsexperiments auf die relevanten Vorgänge zu lenken.

4. Literatur

- [1] Ländergemeinsame inhaltliche Anforderungen für die Fachwissenschaften und Fachdidaktiken in der Lehrerbildung. Beschluss der KMK vom 16.10.2008
- [2] Schweinberger, M. & Girwidz, R. (2017). Förderung angehender Physiklehrer durch die Arbeit mit stummen Videos. In C. Maurer (Hrsg.), *Implementation fachdidaktischer Innovation im Spiegel von Forschung und Praxis. Jahrestagung in Zürich*. http://www.gdcp.de/images/tagungsbaende/GD_CP_Band37.pdf
- [3] Girwidz, R. (2015). Medien im Physikunterricht. In E. Kircher, R. Girwidz & P. Häußler (Hrsg.), *Physikdidaktik* (Springer-Lehrbuch, 3. Aufl., S. 193–245). Berlin [u.a.]: Springer Spektrum.
- [4] Schmidkunz, H. (1983). Die Gestaltung chemischer Demonstrationsexperimente nach wahrnehmungspsychologischen Erkenntnissen. *NiU-P/C* Jg. 31, Heft 10, 360–366.
- [5] Homepage Lehrstuhl Didaktik der Physik der Ludwig-Maximilians-Universität München: http://www.didaktik.physik.uni-muenchen.de/lehrerbildung/lehrerbildung_lmuvideo/index.html

Dank

Das Projekt „Stumme Videos“ des Lehrstuhls für Didaktik der Physik der LMU München gehört dem Vorhaben Lehrerbildung@LMU vom Münchner Zentrum für Lehrerbildung an, das im Rahmen des Bund-Länder-Programms Qualitätsoffensive Lehrerbildung mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 01JA1510 gefördert wird.

Aktuelle Schülerrahmenkonzepte zur Energie

Julia Behle*, Thomas Wilhelm*

*Institut für Didaktik der Physik, Goethe-Universität Frankfurt, Max-von-Laue-Str.1, 60438 Frankfurt
behle@em.uni-frankfurt.de, wilhelm@physik.uni-frankfurt.de

Kurzfassung

Dass Präkonzepte relevant für den Unterricht sind, ist spätestens seit den großen Untersuchungen zu Schülervorstellungen in den 1980er Jahren bekannt. Zu Präkonzepten von Energie wurden damals sowohl die Sichtstruktur, die Assoziationen [1], sowie die Tiefenstruktur, die Rahmenkonzepte [2], analysiert. Dabei zeigte sich sowohl die bekannte Primärassoziation der Schülerinnen und Schüler von Energie als einer Art Treibstoff als auch eine häufig erwähnte anthropozentrische Sichtweise auf Energie im vorunterrichtlichen Rahmen. Neuere Untersuchungen von Schülerassoziationen zur Energie haben allerdings gezeigt, dass sich bei den Schülerinnen und Schülern im Laufe der letzten 30 Jahren ein Wandel vom Treibstoff als Primärassoziation hin zum elektrischen Strom vollzogen hat [3]. Daher liegt es nahe, dass auch in der Tiefenstruktur der Schülervorstellungen, den Rahmenkonzepten, ein ähnlicher Wechsel stattgefunden haben könnte. Im Rahmen der Entwicklung und Evaluation eines außerschulischen Workshops zum Thema Energie wurden dazu leitfadengestützte Schülerinterviews über die Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler zum Energiebegriff geführt. Diese Interviews wurden dann mit der Methode der qualitativen Inhaltsanalyse auf das Vorhandensein bestimmter Rahmenkonzepte untersucht. Im Zuge dessen ließen sich schließlich zwei neue Rahmenkonzepte beschreiben: Energie als Katalysator und Partiiell transferierte Energie.

1. Motivation

Schülervorstellungen oder Präkonzepte sind für das spätere Verständnis eines fachlichen Konzepts von großer Relevanz. Dies gilt vor allem dann, wenn Schülerinnen und Schüler das erste Mal mit einem Lerngegenstand in Berührung kommen, zum Beispiel im Anfangsunterricht oder aber auch bei einer außerschulischen Lerngelegenheit. Da im Rahmen des Projekts „MINT – die Stars von Morgen“ zur außerschulischen Berufsorientierung im Workshop „Neue Technologien“ als Zielsetzung unter anderem ein physikalisch anschlussfähiges Energiekonzept bei Schülerinnen und Schülern ohne Vorerfahrungen angeregt werden soll [4], erscheint hierfür die genauere Betrachtung der Tiefenstruktur von Schülervorstellungen zur Energie, den Rahmenkonzepten, als sinnvoll.

Die großen Untersuchungen zur Oberflächen- und Tiefenstruktur der Schülervorstellungen zur Energie fanden bereits in den 1980er Jahren statt und zogen sowohl in Deutschland, als auch international wohl bekannte Veröffentlichungen mit sich. Dabei stellte sich unter anderem heraus, dass viele Schülerinnen und Schüler mit dem Begriff „Energie“ eine Vorstellung eines universellen Treibstoffs assoziierten, der für den Antrieb verschiedener Vorgänge verbraucht werden kann. Ebenso zeigte sich, dass gerade jüngere Schülerinnen und Schüler eine anthropozentrische Vorstellung von Energie als „Lebensenergie“ oder einem „energetischen Gefühl“ besaßen und das physikalisch korrektere Konzept des Energietransfers mit einem universelleren, quantifizierbaren

Bilanzierungsbegriff der Energie erst mühsam erlernen mussten.

Eine Replikationsstudie des originalen Assoziations-tests von Duit aus dem Jahr 2009 ergab jedoch, dass zumindest im Bereich der Schülerassoziationen ein Wandel weg von der klassischen Treibstoffvorstellung hin zu einer starken Assoziation des Begriffs Energie mit dem elektrischen Strom stattgefunden hat. Ebenso legt das p-prims Konzept von diSessa [5] sowie weitere Untersuchungen von Rahmenkonzepten anderer physikalischer Bereiche (z.B. Mechanik [6] oder Druck und Wärme [7]) und eine spätere Untersuchung zu Energiequellen [8] nahe, dass mehrere Rahmenkonzepte oder Fragmente derselben nebeneinander existieren können. Dies wird auch Kompartimentalisation [9] oder Erklärungsvielfalt [10] genannt. Diese Erkenntnisse sprechen der ursprünglichen Annahme eines singulären, weit gefassten Rahmenkonzepts entgegen.

Es erscheint daher naheliegend, dass auch ein Wandel in den Rahmenkonzepten der Schülerinnen und Schüler im Vergleich zu den 1980er Jahren stattgefunden haben kann, was durch die starke mediale Verwendung des Begriffs „Energie“ auch nicht weiter verwunderlich erscheint. Aus diesen Gründen ist eine neuere Untersuchung der Schülerrahmenkonzepte sinnvoll, wenn zur Analyse möglicher Veränderungen in den Rahmenkonzepten der Schülerinnen und Schüler durch eine außerschulische Lerngelegenheit ein vollständiges Bild der aktuellen Schülervorstellungen zur Energie entwickelt werden soll. Ebenso naheliegend ist es, für diese Untersu-

chung auf eine analoge Methodik zurückzugreifen, wie sie bei den ursprünglichen Untersuchungen zu Schülervorstellungen Anwendung fand: Die qualitative Inhaltsanalyse von Schülerinterviews.

2. Das Basiskonzept Energie

Im Physikunterricht nimmt die Energie spätestens seit der Definition der vier Basiskonzepte eine zentrale Rolle ein. Dies ist aufgrund der weiten medialen Verbreitung des Begriffs Energie und der starken persönlichen Relevanz von (elektrischer) Energie für den Alltag der Schülerinnen und Schüler durchaus positiv zu werten im Sinne der Klafki'schen Prämisse, die Schülerinnen und Schüler dort abzuholen, wo sie stehen. Betrachtet man die wissenschaftliche Verwendung des Begriffs Energie und vergleicht sie mit der in den Medien (und somit auch in den Köpfen der Schüler) verbreiteten Nutzung desselben, so lässt sich allerdings häufig eine Dissonanz feststellen: Im wissenschaftlichen Umfeld der Physik, Chemie und Biologie wird die Energie oft als eine quantifizierende, abstrakte Bilanzierungsgröße verwendet, die in ihrer Reinform für viele Schülerinnen und Schüler schwer zu verstehen und zu gebrauchen ist. In den Medien, aber auch im Sprachgebrauch der Schülerinnen und Schüler findet man eine deutlich freiere Verwendung des Energiebegriffs. Zudem wird der Begriff seit den 2000er Jahren aufgrund der gesellschaftlichen Relevanz der „Energiewende“ so häufig verwendet, dass er allgegenwärtig erscheint [11]. Erschwerend hinzukommt, dass im Physikunterricht teilweise immer noch die (historische, fast 200 Jahre alte) Definition Poncelets von der Energie als „Fähigkeit, Arbeit zu verrichten“ verwendet wird – eine Definition, die bei Schülerinnen und Schülern schwerlich eine Assoziation zum Energiebedarf ihres Smartphones zulässt.

Dieser Diskrepanz zwischen alltäglicher und wissenschaftlicher Nutzung des Energiebegriffs wird von Seiten der Didaktik durch eine zielgerichtete didaktische Rekonstruktion Rechnung getragen. Eine sehr bekannte Rekonstruktion aus dem deutschsprachigen Raum stellt hier die Energiequadriga von Duit dar [1], die schon in den 1980er Jahren formuliert und seither regelmäßig kommentiert und angepasst wurde. In ihrer ursprünglichen Form beschreibt die Energiequadriga die Aspekte Energieumwandlung, Energietransport, Energieentwertung und Energieerhaltung als zentral für das Verständnis des Energiebegriffs in der Schule. Aufgrund der steigenden Wichtigkeit und Verfügbarkeit sowie des fächerübergreifenden Charakters (u.a. ist die Energiespeicherung Teil der Bildungsstandards für das Fach Chemie [12]) von Möglichkeiten zur Energiespeicherung wird auch dieser Aspekt inzwischen als zentral angesehen [13]. Ebenso zu erwähnen sind die Energieformen, die in den Medien häufig erwähnt werden und für Schülerinnen und Schüler so intuitiv verstehbar sind, dass sie zum Teil schon in der Grundschule behandelt werden können [11]. Das

Verständnis dieser sechs Aspekte ist inzwischen als allgemeines Ziel im Physikunterricht anerkannt [14].

3. Schülervorstellungen

Der Oberbegriff „Schülervorstellungen“ fasst all jene Vorkenntnisse, Vorstellungen und Vorerfahrungen zusammen, die Schülerinnen und Schüler zu einem bestimmten Lerngegenstand mitbringen. Viele der grundlegenden empirischen Studien zu Schülervorstellungen, zumindest im Bezug auf Energie, stammen aus den 1980er bis 1990er Jahren und diese setzten dabei oft unterschiedliche Schwerpunkte. Die Untersuchungen zu Schülervorstellungen über Energie, die sich auch auf den vorunterrichtlichen Bereich erstrecken, lassen sich grob in zwei Sphären unterteilen: Die Untersuchungen zu dem im deutschsprachigen Raum sehr bekannten Assoziationstest zur Energie von Duit [1] sowie verschiedene internationale Untersuchungen (in erster Linie qualitative Analysen von Schülerinterviews) zur Analyse der den Schülervorstellungen zugrunde liegenden Rahmenkonzepten [2+15+16]. Grundsätzlich untersuchen die Assoziationsanalysen dabei eher eine direkt einsehbare Sichtstruktur, während die Untersuchungen zu den Rahmenkonzepten eine Fokussierung der Tiefenstruktur der Schülervorstellungen vornehmen (siehe Abb. 1).



Abb. 1: Assoziationen und Rahmenkonzepte

Eine neuere Untersuchung von Lancor [17] verbindet diese beiden Ebenen über Metaphern, allerdings zielt dieser Ansatz darauf, das Verständnis und die Vorstellungen von Studierenden der Naturwissenschaften zu ergründen. Da die Untersuchungen zu möglichen Veränderungen der Schülervorstellungen aber vor allem mit Schülerinnen und Schüler ohne Vorerfahrungen durchgeführt werden sollen, erscheint eine analoge Herangehensweise hier nicht zielführend.

3.1. Assoziationen

Wie zuvor erwähnt legte die Analyse der Sichtstruktur der Schülervorstellungen eine der wichtigsten Grundlagen für unser heutiges Verständnis von Schülervorstellungen zur Energie. Die spontan geäußerten Assoziationen von Schülerinnen und Schülern gewähren einen Einblick in die Kontexte, in denen ein physikalisches Konzept in deren Alltagsvorstellungen verortet ist und lassen zudem Rückschlüsse auf die Natur der Vorstellungen zu. Duit benutzte 1985 für seine Untersuchungen unter anderem einen schriftlichen Assoziationstest [18], der 2008 von Crossley im Rahmen einer Replikationsstudie wieder eingesetzt wurde [3]. Beide Studien gingen dabei analog vor: Die Schülerinnen und

Schüler bekamen einen Fragebogen mit drei Fragen, die sie schriftlich beantworten sollten: Neben den spontanen Assoziationen zum Begriff Energie sollten sie zudem Beispiele für Energie nennen und versuchen, das, was sie sich unter Energie vorstellen, zu beschreiben. Dabei zeigte sich neben der zu erwartenden generellen Progression mit zunehmendem Alter hin zu physikalischeren Assoziationen zudem der eingangs erwähnte Unterschied in den Hauptassoziationen der Schülerinnen und Schüler weg von einer Treibstoffvorstellung hin zu einer Assoziation mit dem elektrischen Strom.

Da beide Untersuchungen im schulischen Rahmen stattfanden und der zu untersuchende Workshop im außerschulischen Rahmen stattfindet [4], wurde im Vorfeld der Interviews eine erste Erhebung durchgeführt, die unter anderem die Übertragbarkeit der Ergebnisse Crossleys auf die Teilnehmerinnen und Teilnehmer des Workshops in grober Näherung überprüfen sollte. Dabei wurde der Assoziationstest von Duit auf zwei Fragen reduziert, so dass die folgenden Fragen gestellt wurden:

1. Woran denkst du, wenn du das Wort „Energie“ hörst? Schreibe Begriffe auf, die dir dazu einfallen!
2. Bitte versuche in wenigen Worten zu umschreiben, was du unter Energie verstehst! Du kannst auch gerne Beispiele angeben.

Dieser Assoziationstest wurde im Rahmen des Workshops mit 82 Schülerinnen und Schülern der Jahrgangsstufen 8 und 9 durchgeführt. Das Alter der Schülerinnen und Schüler lag dabei zwischen 14 und 16 Jahre. Die Ergebnisse des Tests zeigen, dass die Nennungen grob mit denen der 9. Hauptschulklassen von Crossley vergleichbar sind (siehe Abb.2). Eine weitere Gemeinsamkeit mit der Studie von Crossley (im Gegensatz zu Duit [18]) ergibt sich in der Tatsache, dass keiner der Befragten eine Assoziation mit „Energie sparen“ äußerte. Auch Öl (keine Nennung) und Benzin (eine Nennung) spielten de facto keine Rolle mehr. Was allerdings auffällt ist, dass die

Schülerinnen und Schüler (vielleicht aufgrund des außerschulischen Rahmens?) kaum physikalische Termini für ihre Energieformen verwenden.

3.2. Rahmenkonzepte

Die meist als qualitative Inhaltsanalyse von Schülerinterviews durchgeführten Untersuchungen der Tiefenstruktur der Schülervorstellungen von Energie definierten in erster Linie Rahmenkonzepte zur Energie, die in im englischsprachigen Raum als „energy frameworks“ bekannt sind. Diese „Frameworks“ fassen häufig verwendete Argumentations-, Erklärungs- und Gedankenmuster von Schülerinnen und Schülern zu übergeordneten Rahmenkonzepten zusammen, die durch gemeinsame, verbindende Aspekte definiert werden. Seit den ersten Untersuchungen in den 1980er Jahren wurden einige unterschiedliche Konzeptkategorien definiert, die verschiedenen Zielsetzungen folgen. Da für den Rahmen der Untersuchung des außerschulischen Workshops, aber auch für den Anfangsunterricht, curricular orientierte Konzeptkategorien [19] als weniger passend angesehen werden und zudem im weiteren Rahmen der Untersuchungen zwischen gesellschaftlichen (z.B. Umweltproblematik) und fachbezogenen Konzepten unterschieden werden soll, wurden als Basis für die qualitative Inhaltsanalyse die Energy Frameworks von Watts [2] herangezogen. Watts beschrieb in seiner Arbeit sieben zentrale Rahmenkonzepte zur Energie, die von Schülerinnen und Schüler zur Beschreibung von Energie herangezogen werden:

- *Anthropozentrische Energie*: Energie ist eine Art Lebensenergie, die Lebewesen besitzen. Hierunter fällt auch das gefühlte „Energie haben“.
- *Funktionale Energie*: Energie tritt nicht auf natürlichem Weg auf. Sie ist von Menschen für Menschen gemacht und für ein modernes Leben unabdingbar.
- *Produzierte Energie*: Energie ist ein Nebenprodukt von Vorgängen. Sie wird zusätzlich zum eigentlichen Prozess emittiert, es kann zu einer Zu-

Klassenstufe 9, Gymnasium [3]		Klassenstufe 9, Hauptschule [3]		Vergleichsgruppe Workshop RS/HS 8/9	
Elektrischer Strom	52%	Elektrischer Strom	68%	Elektrischer Strom	71%
Mechanische Energie	32%	Kraft	36%	Licht	13%
Wärmeenergie	29%	Sonne	26%	Bewegung	13%
Wärme	23%	Wärme	26%	Solar(energie), Sonnenenergie	10%
Kraft	21%	Wasser	24%	Kraft	9%
Elektrische Energie	21%	Sport	16%	Erneuerbare Energie	9%
Chemische Energie	20%	Licht	8%	Sonne	9%
Licht	14%	Atomenergie	6%	Akku/Batterie	7%

Tab. 1: Übersicht über die acht häufigsten Assoziationen bei Crossley [3] im Vergleich zur Workshopgruppe

satzenergie kommen.

- *Energie als Aktivität*: Energie ist nur in Vorgängen vorhanden. Diese Aktivitäten werden Energie gleichgesetzt.
- *Energie als Zutat*: Energie ist ein inerte Inhaltsstoff von Dingen. Sie lässt sich nur durch Trigger (z.B. essen) aus den Dingen auslösen und nutzbar machen.
- *Gelagerte Energie*: Energie ist in Dingen vorhanden bzw. gespeichert. Sie kann in verschiedenen Formen auftreten und lässt sich verbrauchen, um etwas zu bewirken.
- *Transferierte Energie*: Energie kann unterschiedliche Erscheinungsformen haben, die jedoch gleichwertig und ineinander umwandelbar sind. Sie lässt sich von System zu System transferieren.

Von diesen Rahmenkonzepten lassen sich zwei als physikalisch anschlussfähig, beziehungsweise bedingt anschlussfähig betrachten: *Transferierte Energie*, die zu jenem Konzept von Energie äquivalent erscheint, das durch die (erweiterte) Energiequadriga im Unterricht vermittelt wird, sowie *Gelagerte Energie*, die lediglich mit der „Fehlvorstellung“ des Energieverbrauchs behaftet ist. Die sieben Rahmenkonzepte von Watts wurden im nächsten Schritt als Basis des Kodiermanuals für die hier durchgeführte qualitative Interviewanalyse herangezogen.

4. Eigene Erhebung

4.1. Stichprobe

Zur Untersuchung der aktuellen Schülervorstellungen zur Energie wurden mit Schülerinnen und Schülern aus dem Großraum Frankfurt leitfadengestützte Einzelinterviews zu verschiedenen Aspekten des Energiebegriffs durchgeführt. Anschließend wurden die 25-40 Minuten langen Interviews transkribiert und deren Inhalt einer qualitativen Inhaltsanalyse unterzogen. An den Interviews nahmen insgesamt 17 Schülerinnen und Schüler (sieben Mädchen und zehn Jungen) aus Gesamt-, Real- und Gymnasialklassen im Alter von 11-15 Jahren teil. Von dieser Gruppe hatten vier das Thema Energie bereits im Physik- und zwei im Nawi-Unterricht explizit behandelt

4.2. Interviewleitfaden

Der Leitfaden für die Schülerinterviews bestand aus sieben Kategorien, die in ihrer Reihenfolge festgelegt waren. Zunächst wurden die Schülerinnen und Schüler analog zu dem schriftlichen Assoziationstest von Duit nach ihren spontanen Assoziationen zum Begriff Energie befragt. Im nächsten Schritt sollten sie eine kurze Beschreibung ihrer eigenen Vorstellung von Energie geben, wobei Nachfragen seitens der Interviewenden erlaubt waren. Danach folgte eine kurze Einheit mit acht Symbolbildern, zu denen die Teilnehmenden Stellung nehmen sollten, inwiefern sie dieses Bild mit Energie assoziieren würden und, wenn ja/nein, warum (Beispiele siehe Abb. 2).

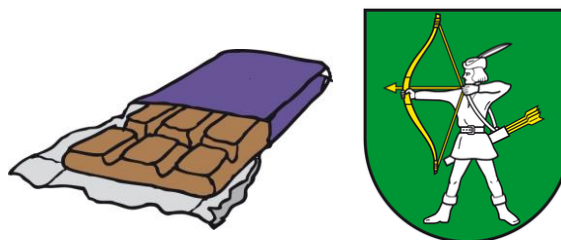


Abb. 2: Symbolbilder

Die Energie im spezifischen Kontext wurde im nächsten Schritt explizit beleuchtet: So sollten die Schülerinnen und Schüler auf verschiedene Arten erläutern, wie ein kleiner Tischventilator betrieben werden kann, beschreiben, an welchen Stellen sie Energie verorten würden und was mit dieser passiert. Danach wurden die Interviewten nach Möglichkeiten der Stromerzeugung und auch dort nach möglichen Verbindungen zur Energie gefragt. Als letztes sollten die Schülerinnen und Schüler zur aktuellen gesellschaftlichen Debatte über Energie und Energieversorgung sowie zu Aspekten des Energiesparens Stellung nehmen und erklären, welche Informationsquellen zum Thema Energie sie eigentlich selbst nutzen.

4.3. Inhaltsanalyse

Die transkribierten Interviews wurden in einem deduktiv-induktiven Vorgehen einer qualitativen Inhaltsanalyse unterzogen. Zunächst wurde ein Kodiermanual auf Basis der sieben Rahmenkonzepte von Watts [2] entwickelt. Danach wurden, soweit möglich, Ankerbeispiele für die Rahmenkonzepte aus den Interviews gewonnen und in das Kodiermanual eingepflegt. Danach wurden die restlichen Aussagen der Schülerinnen und Schüler über Energie anhand des Kodiermanuals dem passenden Rahmenkonzept zugewiesen. In einem weiteren Schritt wurden diese Kategorien dann, je nach Bedarf, weiter angepasst und ausgeschärft. Da sich in den Interviews nach den ersten beiden Kodierschritten noch vermehrt Aussagen zur Energie fanden, die sich in keines der Rahmenkonzepte von Watts einordnen ließen, wurden schließlich zu diesen Aussagen zwei weitere Rahmenkonzepte induktiv entwickelt und in das Kodiermanual aufgenommen. Im Folgenden sollen die final verwendeten Rahmenkonzepte des Kodiermanuals mit Beispielen aus Interviews vorgestellt werden.

4.3.1. Anthropozentrische Energie

Dieses Rahmenkonzept bezieht den Begriff Energie auf das biologische System „Mensch“. Schülerinnen und Schüler, die dieses Rahmenkonzept verwenden, argumentieren aus einer menschenzentrierten Sichtweise. Energie ist eine vitalistische Essenz, eine „Lebensenergie“, die Lebewesen benötigen, um zu leben oder um Dinge tun zu können. Der Begriff Energie wird beispielsweise als Synonym für Kondition, Ausdauer, körperliche Verfassung oder persönliches Befinden verwendet. Das anthropozentrische Energiekonzept beschreibt den Energiebegriff, der in

unserer Alltagssprache in Bezug auf den Menschen verwendet wird, zum Beispiel in der Aussage „ich habe gerade zu wenig Energie, um aufzustehen“. Randlelemente der Kategorie erweitern das Konzept vom Menschen auf Objekte, die dann animistisch beschrieben werden, beispielsweise als Dinge, die „etwas tun können“, „Kraft einsetzen wollen“ oder „Stärke haben“. Im Gegensatz zur *gelagerten Energie* wird bei anthropozentrischer Energie nicht nur mit Energieformen und -speicherung argumentiert, sondern auch mit Handlungen und Zuständen, die gar nichts mit Energie im physikalischen Sinne zu tun haben, sondern sich lediglich auf das körperliche Wohlbefinden auswirken, zum Beispiel Schlafen, Fitness oder das Alter.

Beispiel:

S: Manche Leute sind halt so, eher so „ja ich geh da jetzt hin und mach das zu Ende“ und andere sind mehr so schlapp und rennen da eigentlich noch so ganz langsam... hinterher [...].

S: Ich glaub, die hier vorne haben mehr Energie, aber auch weil die da mehr so positiver wirken, als die hinten.

I: Also du meinst, weil die jetzt noch so ein bisschen fitter da aussehen?

S: Ja.

4.3.2. Funktionale Energie

Die Energie hat in diesem Rahmenkonzept eine klar zielgerichtete Komponente. Sie wird absichtlich von Menschen produziert, um Arbeit oder andere, für den Menschen und seine Umwelt nützliche Dinge verrichten zu können. Sie wird als Bestandteil eines fortschrittlichen, bequemen und modernen Lebens wahrgenommen, während natürliche Vorgänge keine Energie benötigen. Energie wird als extern hergestellter Treibstoff (im übertragenen Sinne) angesehen, der für meist technische Vorgänge benötigt wird, um zum Beispiel Maschinen oder Geräte anzutreiben. Dieser (meist als elektrisch beschriebene) Treibstoff wird den Menschen dafür kontinuierlich zur Verfügung gestellt.

Beispiele:

S1: [...] Weil man benutzt ja schon, man... viele Leute können ohne Handy gar nicht mehr wirklich leben und dann, wenn die das ´mal irgendwie ausschalten müssen, dann ist das für die dann irgendwie sowas, aber jetzt das ist einfach so, dass, weil früher mussten die ganz ohne Energie leben und dann kann man sich das gar nicht mehr vorstellen.

I: Ist da bei dem Wind, der da weht, ist da auch Energie im Spiel oder ist der nur... halt zum Antreiben da?

S2: Da ist keine Energie im Spiel, das ist ja, das hat uns ja die Umwelt gegeben sozusagen, damit wir es nutzen können.

4.3.3. Produzierte Energie

Schülerinnen und Schüler, die aus dem Rahmenkonzept der produzierten Energie heraus argumentieren, beschreiben die Energie als eine Art Nebenprodukt, das bei Vorgängen produziert wird. Diese Produktion geschieht immer zusätzlich zu einem anderen Ereignis. Die Vorgänge selbst müssen nichts mit Energie zu tun haben, so dass der Eindruck entsteht, dass die Energie aus dem Nichts kommt. Ein von Watts genanntes Beispiel wäre, dass zwei Chemikalien, die miteinander reagieren, immer Energie produzieren, aber für die Reaktion selbst keine Aktivierungsenergie oder Reaktionsenergie benötigen und auch nicht selbst Energie „sind“ oder „haben“. Es kann bei Verwendung dieses Rahmenkonzepts auch beschrieben werden, dass verschiedene Produktionsprozesse zusammenspielen, um eine bestimmte Art von Energie zu produzieren oder entstehen zu lassen. Die Energie wird intern produziert und extern zur Verwendung frei, oft wird auch von überschüssiger Energie als Nebenprodukt gesprochen, die analog zu Emissionen ausgestoßen oder abgestrahlt wird.

Beispiel:

S1: Also weil, ähm wenn man's ja verbrennt, dann entsteht halt, ähm, ja Energie.

S2: Zum Beispiel [...] ´nen Motor, ´nen Automotor. Da wird der einmal mit Strom angemacht und dann [...] fließt das die ganze Zeit und erzeugt selber Energie, weil man damit selber Energie gewinnen kann. Dann [...] kann man länger Autofahren und gewinnt sogar Energie.

4.3.4. Energie als Aktivität

Energie ist in diesem Rahmenkonzept eine Form von manifestierter, offensichtlicher Aktivität. Durch die Aktivität lässt sich nicht nur erkennen, ob an einer bestimmten Stelle Energie im Spiel ist, die Aktivitäten selbst werden als Energie bezeichnet. Ohne sichtbare Aktivität wird einem Gegenstand oder System keine Energie zugeschrieben. Das prominenteste Beispiel ist hier die Bewegung, in der Energie vorhanden ist, die Energie produziert oder die Energie darstellt.

Dieses Rahmenkonzept wurde in den Interviews in seiner zentral beschriebenen Form gar nicht von den Schülerinnen und Schülern verwendet, so dass das folgende Beispiel als eher ungewöhnlich zu werten ist, da „die Energie“ selbst agiert:

S: Also die Bretter müssen ja die ganzen Sachen halten und wenn [...] man zu viele Sachen da drauf packt, dann biegt sich das dann irgendwann und wenn man dann nochmal ´ne Sache oder zwei Sachen drauf packt, dann bricht das. [...] Also dass ein Gewicht auf die Energie drückt und das Gewicht dann die Energie abbricht.

I: Also das heißt, da in dem Brett ist Energie drin und die hält das vorm Durchbrechen ab?

S: Mhm.[Zustimmung]

4.3.5. Energie als Zutat

In diesem Rahmenkonzept ist Energie ein im Hintergrund ruhender Inhaltsstoff oder Bestandteil von Objekten oder bestimmten Materialien, der einen katalysierenden Vorgang benötigt, um frei und aktiv zu werden oder benutzbar zu sein. Die Schülerinnen und Schüler, die Energie als Zutat beschreiben, differenzieren scharf zwischen der Energie selbst (die von ihnen nicht explizit als solche beschrieben oder benannt werden muss) und dem auslösenden Vorgang, der diese Energie frei setzt. Als häufiges Beispiel von Watts wird Essen genannt, das dem Menschen nur dann Energie gibt, wenn man es isst, aber ansonsten keine Energie „gespeichert“ hat. Sowohl Auslöser, als auch ruhende „Zutat“ sind nötig, um letztlich aktive, nutzbare Energie bereit zu stellen.

Beispiel:

I: Das hier sind Regalböden, da stehen verschiedene Sachen oben drauf.

S: Ich glaub, [...] es hat nix mit Energie zu tun.

I: Warum?

S: Weil es... in den Büchern ist ja keine Energie. Und in dem Holz ist ja zwar Energie, aber [...] die wird ja nicht genutzt.

I: Also ist da grad Energie da oder ist da keine Energie da?

S: Nein [keine Energie].

Auch dies ist auf den ersten Blick kein klassisches Beispiel für Energie als Zutat. Der Schüler sagt zwar, dass in dem Holz Energie sei, aber da diese nicht genutzt wird, spricht er ihr sozusagen den typischen „Energiecharakter“ ab. Die Energie wird für ihn erst dann zur „echten Energie“, wenn sie genutzt werden kann.

4.3.6. Gelagerte Energie

Das Rahmenkonzept der gelagerten Energie ist sehr breit und wird auch häufig von den Schülerinnen und Schülern genutzt. Unter gelagerte Energie fallen im Allgemeinen zwei Antwortkategorien:

1. Energie wird als etwas beschrieben, das als Bestandteil von Objekten existiert. Bestimmte Materialien oder Dinge haben ihre eigene „Energiequelle“, aus der resultiert, dass diese Objekte Energie besitzen.
2. Es werden verschiedene, distinktive Energieformen beschrieben, z.B. chemische Energie (die Energie in Chemikalien) oder elektrische Energie (die Energie im Strom), die sich in Dingen oder Vorgängen befinden. Diese Energieformen können „aufgebraucht“ werden, um Reaktionen in anderen Gegenständen hervorzurufen. Die Energieformen können auch mit unterschiedlichen Eigenschaften beschrieben werden.

Beiden Kategorien zugrunde liegt die Annahme, dass Energie als eine Art innere Kraftquelle angesehen wird, die entweder nur einmal konsumiert wird (fossile Brennstoffe, Essen) oder wieder aufladbar

ist (Menschen, Akkus). Energie wird auch als die „Kraft, die etwas hat, um Dinge tun zu können“ beschrieben. Im Gegensatz zur *transferierten* oder *partiell transferierten Energie* wird die benutzte Energie hier nicht explizit in eine andere Energieform umgewandelt, sondern ist nach Gebrauch weg und verschwindet.

Beispiele:

S1: Also bei der Kerze denke ich so ähnlich wie bei dem Feuer auch. Nur dass halt das Wachs diesmal halt sozusagen die Kraftquelle ist ... oder die Energiequelle. Und die Kerze brennt ja auch so lange, bis das Wachs weg ist [...].

S2: [...]in der Uhr ist Energie. Da ist Strom drin. Das wird halt verbraucht dann [...].

I: Wie funktioniert so 'ne Uhr dann deiner Meinung nach?

S: Der Strom gibt Saft, [...] wenn Batterien drin sind, geben sie Strom ab, damit sie tickt.

4.3.7. Transferierte Energie

Dieses Rahmenkonzept umfasst grob die Modellvorstellung von Energie, die in der didaktischen Rekonstruktion der Energiequadriga auch in der Schule gelehrt wird: Energie ist etwas, das verschiedene Formen annehmen kann, die ineinander umwandelbar sind (Metamorphose), und das wie eine Flüssigkeit von System zu System fließen und transferiert werden kann. Schülerinnen und Schüler beschreiben Energie als etwas, das an Energieträger gebunden sein kann, oder das sich „in ihnen“ oder „auf ihnen“ befindet. Diese Energieträger geben die Energie dann an andere Energieträger weiter. Die beschriebenen Energieformen müssen dabei nicht mit den aus dem Physikunterricht bekannten Formen übereinstimmen, sondern sind oft auf den jeweiligen Energieträger bezogen (zum Beispiel Windenergie). Die Umwandlung oder auch „Verwandlung“ der Energieformen wird explizit angesprochen. Im Gegensatz zur *partiell transferierten Energie* werden hier im Verlauf des Interviews zum Teil längere Umwandlungsketten beschrieben, teilweise auch auf Energieerhaltung oder Quantifizierung eingegangen. Ein weiteres Unterscheidungskriterium ist der einigermaßen stringent formulierte Energiefluss.

Beispiele:

S1: [...] zum Beispiel ein Wasserkraftwerk, ähm, wo [...] Wasser gestaut wird, also Hebeenergie, dann wird es durch ein Rohr, ähm, durchgeflossen, wo dann eine Art Ventilator ist, ähm, das dann durch die Bewegungsenergie, also den Wasserdruck, angetrieben wird, und diese Bewegungsenergie kommt dann zu einem Generator, der dann die Bewegungsenergie in elektrische Energie umwandelt und diese wird dann weiter an die Hochspannungsleitung geleitet.

S2: Energie kann auf jeden Fall nicht vernichtet werden und neu erschaffen werden und es wandelt nur seine Form. In, in sozusagen Elektroenergie,

[...] zum Kauen brauchen Menschen das und zum Bewegen halt.

4.3.8. Energie als Katalysator

Dieses neue, induktiv gefundene Rahmenkonzept beschreibt Energie als Antrieb oder Katalysator für Vorgänge oder Aktivitäten, jedoch nicht als Inhaltsstoff von Körpern oder Objekten. Die Energie wird meist abstrakt oder als Antrieb beschrieben, sie initiiert Vorgänge, die ohne ihre Anwesenheit nicht möglich wären (zum Beispiel in Form von Aktivierungsenergie bei chemischen Reaktionen). Die Energie kann ohne Träger existieren, sie kann jedoch durchaus eine für den Interviewten beschreibbare Form besitzen, zum Beispiel Feuer, Licht oder Wärme. Die *Energie als Katalysator* stellt somit den Gegensatz zur *Energie als Zutat* dar. Im Gegensatz zur *funktionalen Energie* fehlt die Beschränkung auf den menschlichen Komfort und der Fokus auf den menschengemachten Charakter der Energie für einen bestimmten Zweck.

Beispiele:

S1: Ähm... also ich glaub, in dem Bild... ja halt, aber die Zwiebel, die wächst ja von der Sonnenenergie, weil die wird ja dann so... ja, aber... ob die Zwiebel jetzt selbst Energie hat? Glaube nicht.

I: Aber sie braucht Energie zum Wachsen, hast du gesagt.

S1: Ja, von der Sonne.

S2: zum Beispiel bei Reaktionen, [...] da wird ja auch Energie benötigt, [...] beim Erhitzen, da wird praktisch Energie freigelassen und diese Energie ist praktisch ein Antrieb, mit dem man etwas bewirken kann, zum Beispiel bei der chemischen Reaktion, dass sich der Stoff verändert.

4.3.9. Partiiell transferierte Energie

Das ebenfalls neue Rahmenkonzept der *partiiell transferierten Energie* befindet sich konzeptuell

zwischen der *gelagerten* und der *transferierten Energie*. Schülerinnen und Schüler, die sich dieses Rahmenkonzepts bedienen, argumentiert mit lokalem Energietransfer. Energie kommt in verschiedenen, explizit benannten Formen vor (analog zur *gelagerten Energie*). Die Formen müssen ebenso nicht den aus dem Physikunterricht bekannten Formen entsprechen (z.B. Windenergie, Nahrungsenergie oder Sonnenenergie). Manche Formen von Energie lassen sich ineinander umwandeln. Beispielsweise wird die Energie des Windes umgewandelt in elektrische Energie. Im Gegensatz zur *transferierten Energie* wird hier aber kein Konzept zum durchgängigen Fluss von Energie durch verschiedene Systeme erklärt, beispielsweise kann der durch verschiedene Energieumwandlungen „hergestellte“ Strom immer noch „verbraucht“ werden. Auch Argumentationen von Energie, die verbraucht, aber dann zur Produktion einer anderen Energieform genutzt wird, fallen unter die Kategorie der *partiiell transferierten Energie*.

Beispiel:

S: In der Steckdose kommt ja Energie raus. Und somit wird der Ventilator betrieben.

I: Wie funktioniert das genau? Wie würdest du dir das vorstellen, dass der betrieben wird?

S: Also da ist ja Elektrizität. Und die Elektrizität betreibt dieses kleine Windrad. [...]

I: Und was passiert dann mit der Energie?

S: Die wird verbraucht.

I: Und dann? Der Ventilator, der dreht sich...

S: Und erzeugt damit auch Energie. Also Bewegungsenergie.

I: Das heißt, die eine Energie geht weg und die andere Energie kommt?

S: Ja.

		Interview																
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Alter		15	15	15	15	13	11	11	11	12	12	12	12	12	12	12	13	14
Transferierte Energie																		
Partiiell transferierte Energie																		
Gelagerte Energie																		
Energie als Katalysator																		
Anthropozentrische Energie																		
Funktionale Energie																		
Produzierte Energie																		
Energie als Zutat																		
Energie als Aktivität																		
		SchülerInnen mit Vorwissen								SchülerInnen ohne Vorwissen								

 Physikalisch anschlussfähiges Konzept	 Schwach ausgeprägtes Rahmenkonzept: seltene Argumentation (1-2 Nennungen) in einzeltem Kontext	 Stark ausgeprägtes Rahmenkonzept: häufige Argumentation in verschiedenen Kontexten
 Bedingt anschlussfähiges Konzept		

Abb. 3: Übersicht über die verwendeten Rahmenkonzepte nach Interview

[...]

I: Und was ist dann mit dem [...] Wind, wenn sich der Ventilator dreht? Wo kommt der denn her?

S: [...] Der Ventilator dreht sich ja durch den Strom und dadurch wird die Luft ja halt umhergewirbelt, also entsteht Wind.

[...]

I: Das heißt, die Luft bewegt sich halt auch einfach?

S: Ja, die bewegt sich dann.

I: Hat die Luft dann auch Energie?

S: Nein.

Man sieht bei diesem Beispiel, dass der Schüler zunächst von Energieverbrauch spricht, aber offensichtlich Energieumwandlung beschreibt. Erst zum Schluss verschwindet die Energie, da der bewegten Luft keine Energie zugeschrieben wird.

5. Ergebnisse

Im Vergleich zu der von Watts durchgeführten Interviewstudie [2], aber auch zu anderen Untersuchungen der 1980er und 1990er Jahre [13+14] zeichnet sich bei den aktuellen Schülerrahmenkonzepten durchaus eine Veränderung ab. Galt früher *anthropozentrische Energie* (oder deren Äquivalente in anderen Publikationen) als häufigstes Rahmenkonzept bei jüngeren Schülerinnen und Schülern, so argumentieren selbst 11- und 12-jährige heute durchaus schon aus dem Rahmenkonzept der *gelagerten Energie*. *Anthropozentrische Energie* wird zwar noch durchaus häufig im biologischen oder sportlichen Kontext genannt – immerhin verwenden 65% aller Schülerinnen und Schüler in diesen Kontexten Aussagen, die sich der anthropozentrischen Energie zuordnen lassen – außerhalb dieses Kontextes spielt sie allerdings für kaum eine Schülerin oder einen Schüler eine zentrale Rolle. Ebenso auffällig ist die starke (aufgrund der Arbeit von diSessa [5] durchaus erwartete) Fragmentierung der verwendeten Rahmenkonzepte, vor allem bei Schülerinnen und Schülern ohne Vorkenntnisse durch den Physik- oder Nazi-Unterricht (siehe Abb. 3).

Wie bereits erwähnt waren viele der Schüleräußerungen keinem der Rahmenkonzepte von Watts zuzuordnen, weswegen die beiden neuen Rahmenkonzepte *Energie als Katalysator*, sowie *partiell transferierte Energie* definiert werden mussten. Ebenso erstaunlich wie erfreulich ist die Tatsache, dass viele der Interviewten durchaus physikalisch anschlussfähige Vorstellungen von Energie formulieren, auch wenn sie dabei nicht unbedingt die fachlich korrekten Termini benutzen oder durch sprachliche Präzision glänzen. Dies zeigt sich besonders bei jenen Interviewten, die schon über Vorkenntnisse verfügen: Hier argumentierte jede Person mindestens aus dem Rahmenkonzept der partiell transferierten Energie als zentralem Konstrukt. Interessant ist zudem, dass die Rahmenkonzepte *Energie als Zutat* und *Energie als Aktivität* nur noch durch drei bezie-

hungsweise zwei eher randständige Beispiele über alle Interviews repräsentiert sind. Am häufigsten verwendet wurde hingegen *gelagerte Energie*, *transferierte Energie* und *partiell transferierte Energie* mit Nennungshäufigkeiten zwischen 45 und 70 Nennungen über 17 Interviews.

6. Fazit und Ausblick

Schülerinnen und Schüler verfügen heute über ein anderes Spektrum an Rahmenkonzepten zur Energie als dies noch vor 30 Jahren der Fall war. Dies ist aufgrund der medialen Verbreitung des Energiebegriffs durchaus zu erwarten gewesen und nicht weiter verwunderlich. Zu beachten ist die durchaus häufige Koexistenz und kontextabhängige Verwendung unterschiedlicher Rahmenkonzepte bei den Schülerinnen und Schülern, weswegen man bei der Formulierung von „der“ singulären Schülervorstellung eines Schülers oder einer Schülerin vorsichtig sein sollte. Ebenso lässt sich vorsichtig formulieren, dass viele Schülerinnen und Schüler durchaus physikalisch sinnvolle Gedanken zur Energie äußern, diese aber in unterrichtlichen Situationen schnell als fachlich falsch gewertet werden könnten, da ihnen schlicht das Fachvokabular und die sprachliche Präzision fehlt. Auch lässt sich der vorsichtige Appell an die anderen naturwissenschaftlichen Fächer Biologie und Chemie ausdrücken, bei der Verwendung des Energiebegriffs Vorsicht walten zu lassen, um nicht jene Rahmenkonzepte zu verstärken, die physikalisch weniger anschlussfähig sind, als bereits vorhandene (*Anthropozentrische Energie* im biologischen Kontext und *Energie als Katalysator* im chemischen).

Zu klären ist in einem nächsten Schritt, wie stark jedes der aktuellen Rahmenkonzepte zur Energie tatsächlich bei den Schülerinnen und Schülern repräsentiert ist, da die Interviewstudie über quantitative Gewichtung noch keine verlässliche Aussage treffen kann, sondern lediglich Trends aufzeigt. Hier ist auch zu klären, ob die Rahmenkonzepte *Energie als Zutat* und *Energie als Aktivität* noch hinreichend repräsentativ abgebildet werden können, oder ob diese beiden Konzepte inzwischen irrelevant geworden sind. Die neu entwickelten und ausgeschärften Rahmenkonzepte sowie die Aussagen der Schülerinnen und Schülern aus den Interviews sollen zu diesem Zweck zur Entwicklung von Items für ein Testinstrument dienen, das die vorhandenen Rahmenkonzepte der Probanden bestimmen soll. Mit Hilfe dieses Testinstruments soll dann in einer weiteren Untersuchung im Prä-Post-Design geklärt werden, inwiefern eine außerschulische Lerngelegenheit (zum Beispiel der eingangs erwähnte Workshop) dazu in der Lage ist, Veränderungen in den Rahmenkonzepten der Teilnehmenden auszulösen.

7. Literatur

- [1] Duit, R. (1986): Der Energiebegriff im Physikunterricht. Habilitationsschrift. Universität Kiel.
- [2] Watts, D. (1983): A study of alternative frameworks in school science. Dissertation, University of Surrey.
- [3] Crossley, A.; Hirn, N.; Starauschek, E. (2009): Schülervorstellungen zur Energie – Eine Replikationsstudie. In: Nordmeier, V., Grötzebauch, H. (Hrsg.), Didaktik der Physik - Bochum 2009, Lehmanns Media – LOB.de, Berlin
- [4] Behle, J.; Wilhelm, T. (2016): Energie für die Insel – Ein Experimentierworkshop mit „Neuen Technologien“. In: PhyDid B
- [5] diSessa A. (1988): Knowledge in pieces. In: Forman, G.; Pufall, P., Constructivism in the Computer Age, Hillsdale, NJ: Erlbaum, S. 49–70
- [6] Fischbein, E; Stavy, R.; Ma-Naim, H. (1989): The psychological study of naive impetus conceptions. In: Science Education, 66, 4, S. 623-633.
- [7] Clough, E.E.; Driver, R. (1986): A study of consistency in the use of student's conceptual frameworks across different task contexts. In: Science Education 70, 4, S.473-796.
- [8] Boyes, E.; Stanisstreet, M. (1990): Pupil's ideas concerning energy sources. International Journal of Science Education Vol.12, Iss. 5
- [9] Mandl, H.; Gruber, H.; Renkl, A. (1993a). Lernen im Physikunterricht - Brückenschlag zwischen wissenschaftlicher Theorie und menschlichen Erfahrungen. In: Kuhn, W. (Hrsg.): Didaktik der Physik, Vorträge Physikertagung 1993 Esslingen (Deutsche Physikalische Gesellschaft (DPG), Fachausschuß Didaktik der Physik), S. 21 - 36
- [10] Hartmann, S. (2004). Erklärungsvielfalt, Studien zum Physiklernen, Band 37, Logos-Verlag, Berlin
- [11] Schmidkunz, H.; Parchmann, I. (2011): Basis-konzept Energie. In: Unterricht Chemie, 22, 121, S. 2-7.
- [12] KMK, Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (Hrsg.): Bildungsstandards im Fach Chemie für den Mittleren Schulabschluss. Luchterhand, München 2005
- [13] Rincke, K. (2015): (Elektrische) Energie – Unterrichten zu einem schwierigen Begriff mit großer Bedeutung. In: Unterricht Physik 146, Jg 26, S.2-10
- [14] Duit, R. (2007): Energie: Ein zentraler Begriff der Naturwissenschaften und des naturwissenschaftlichen Unterrichts. Naturwissenschaften im Unterricht Physik, 18(5), S. 4-7
- [15] Solomon, J. (1983): Learning about energy: How pupils think in two domains. In: European Journal of Science Education, 5, S.49-59.
- [16] Trumper, R. (1993): Children's energy concepts: a cross-age study. International Journal of Science Education, 15:2, S. 139-148
- [17] Lancor, R. A. (2014): Using Student-Generated Analogies to Investigate Conceptions of Energy: A multidisciplinary study. In: International Journal of Science Education, 36, 1, S. 1-23
- [18] Duit, R. (1986): Energievorstellungen. In: Naturwissenschaften im Unterricht - Physik/Chemie, 34 (13), S. 7-9.
- [19] Liu, X.; McKeough, A. (2005): Developmental growth in students' concept of energy: Analysis of selected items from the TIMSS database. In: J. Res. Sci. Teach., 42: S. 493-517

Flipped Classroom im Physikunterricht der Oberstufe

Frank Finkenberg, Thomas Trefzger

Universität Würzburg, Lehrstuhl für Physik und ihre Didaktik,
Emil-Hilb-Weg 22, 97074 Würzburg

frank.finkenberg@physik.uni-wuerzburg.de, thomas.trefzger@physik.uni-wuerzburg.de

Kurzfassung

Der Flipped Classroom ist eine methodische Großform, die häusliches eLearning mit schulischem Präsenzlernen kombiniert. Dabei bereiten sich Schülerinnen und Schüler durch online verfügbare Lernvideos zuhause auf den Unterricht vor. In der Schule steht dann die Anwendung und Vertiefung des neu erworbenen Wissens im Zentrum. Somit wird mehr Freiraum für die Festigung und Anwendung des Wissens im Unterricht geschaffen. Die Studie untersucht im quasi-experimentellen Pre-/Post-Design mit Kontrollgruppe (N = 151) die Anwendung des Flipped Classrooms im Physikunterricht der Sekundarstufe II. Die Forschungsfragen richten sich auf die Lernwirksamkeit des Flipped Classrooms, ihre Auswirkung auf Interesse und Motivation der Schülerinnen und Schüler sowie auf modulierende Faktoren. Über einen Zeitraum von acht Schulwochen wurde die Unterrichtsreihe „Induktion und elektromagnetischer Schwingkreis“ von mehreren Lehrkräften konventionell und in enger Synchronisation unter Erteilung regelmäßiger Hausaufgaben unterrichtet. Der Treatmentgruppe dienten 16 von den Lehrkräften erstellte Lernvideos, die eng an die Inputphasen des konventionellen Unterrichts angelehnt waren, als häusliche Vorbereitung. Mit Hilfe eines Pre-/Post-Fragebogens und eines Pre-/Post-Fachwissenstests wurden die relevanten Daten erhoben.

1. Stand der Forschung

Mit der Allgegenwart internetfähiger Endgeräte und dem flächendeckenden Ausbau von Breitbandinfrastrukturen haben digitale Bildungsangebote Einzug in den Schulunterricht gehalten. Die recht junge Unterrichtsmethode Flipped Classroom (oder auch Inverted Classroom) vertauscht klassische häusliche und schulische Aktivitäten, indem sich Schülerinnen und Schüler mit Hilfe kurzer, online verfügbarer Lernvideos auf den Unterricht vorbereiten und dort unter Begleitung der Lehrkraft ihr Wissen selbstständig anwenden und vertiefen. Hierfür ist ein leicht verfügbares Internetangebot technische Voraussetzung. Pioniere des Flipped Classroom sind Bergmann & Sams (2012), die im Jahr 2007 begonnen haben, an der Woodland Park High School ihren Chemieunterricht „umzudrehen.“

Eine Reihe empirischer Studien haben sich bereits mit dem Flipped Classroom beschäftigt, für die Estes, Ingram & Liu (2014), O’Flaherty & Phillips (2015) und DeLozier & Rhodes (2016) einen Überblick geben. Die Mehrzahl der Studien fand im US-amerikanischen Bildungssektor statt, dort sowohl im Highschool- und College- als auch im Universitätsbereich. Nur wenige andere Länder – etwa Australien, England, Taiwan, Singapur oder die Türkei – können vereinzelte Studien zur landestypischen Anwendung des

Flipped Classrooms aufweisen (O’Flaherty & Phillips, 2015; Aşıksoy, 2016). Die Ergebnisse hinsichtlich der Wirksamkeit der Methode sind teilweise widersprüchlich, doch überwiegend positiv. Martin, Farnan & Arora (2013) sowie Munson & Pierce (2015) fanden keine Hinweise darauf, dass der Flipped Classroom hinsichtlich des Lernerfolgs effektiver als konventionelle Methoden ist. Lape et al. (2014) fanden ebenfalls Hinweise, dass sich die Leistungen in Abschlussprüfungen von Studierenden, die im Flipped Classroom unterrichtet wurden, nicht von denen in traditionellen Kursen unterscheiden, sich die Studierenden sogar weniger motiviert und schlechter vorbereitet fühlten. Hingegen sehen McLaughlin (2014) und Aşıksoy (2016) eine deutliche Verbesserung von studentischen Leistungen und Kompetenzen nach Anwendung des Flipped Classrooms. Im deutschen Sprachraum zeigte lediglich Cieliebak (2014) an der PH Zürich, dass der Einsatz des Flipped Classroom im Informatikstudium zu leicht besseren Notenergebnissen und zu Verbesserungen von Non-Tech-Skills bei Studierenden führt.

2. Motivation zur Studie

Der Einsatz des Flipped Classrooms an Schulen in Deutschland, zumal im naturwissenschaftlichen Bereich, ist von der fachdidaktischen Forschung bislang nicht begleitet worden. Besondere Aufmerksamkeit verdient hier die Qualifikationsphase in der Sekundarstufe II im Fach Physik. In der Schulpraxis zeigt sich,

dass es zu einem starken Notenabfall von vielen Schülerinnen und Schülern beim Übergang von der 10. in die 11. Jahrgangsstufe im Fach Physik kommt. Im Rahmen der hier vorgestellten Studie wurden von allen teilnehmenden Schülerinnen und Schülern die Endzeugnisnote der 10. Klasse mit der Halbjahresnote der 11. Jahrgangsstufe verglichen. Dabei sank der Gesamtnotenschnitt von $M = 2.36$ ($SD = .89$) auf $M = 2.79$ ($SD = 1.11$) ab, was einem Wert von $t = -6.25^{***}$ ($p = .000$) entspricht, der hochsignifikant ist. Die Notenpunkte 0-15 der Oberstufe wurden für diesen Mittelwertsvergleich auf das Notenschema 1-6 der Mittelstufe übertragen. Die höhere Lehrplan- und Stoffdichte in der Sekundarstufe II führt erfahrungsgemäß zu einem stärker instruierenden, lehrerzentrierten Unterricht, in dem die Phasen der Anwendung und Vertiefung des Wissens weniger häufig und kürzer als in der Mittelstufe sind. Die daraus resultierende Auslagerung der Anwendungsphase in die Hausaufgaben kollidiert mit einer oftmals unterentwickelten Hausaufgabendisziplin in der Oberstufe. In der Studie gaben 24,5% der Schülerinnen und Schüler an, selten oder nie Hausaufgaben zu machen. 36,4% erledigen sie hin und wieder, 25,8% häufig und lediglich 13,2% fertigen immer die Hausaufgaben an. Zwar ist die Korrelation zwischen der Hausaufgabendisziplin und der Halbjahresnote 11/1 mit $r = .189^*$ ($p = .021$) nicht hochsignifikant, aber doch deutlich genug, um die Schiefe zu quantifizieren, die sich im Physikunterricht der Oberstufe ergibt. Die Frage ist, ob der Flipped Classroom geeignet ist, den Schülerinnen und Schülern in den veränderten Bedingungen in der Oberstufe entgegenzukommen, ohne daraus eine methodische Monokultur ableiten zu wollen.

2. Forschungsfragen

Bisher zum Flipped Classroom veröffentlichte Studien weisen eine große Diversität bezüglich Umsetzung der Methode, fachlicher Ausrichtung und Zielgruppe auf, so dass verallgemeinernde Aussagen über die Wirkungen der Methode schwierig sind. Die Forschungsfragen der Studie sind daher auf einen bestimmten Bereich zugeschnitten. Sie betreffen die Anwendung des Flipped Classrooms im Physikunterricht der schulischen Oberstufe (Sekundarstufe II) und zielen auf die Lernwirksamkeit sowie die Auswirkung auf Motivation und Interesse der Schülerinnen und Schüler am Unterricht ab. Ebenso wird eine mögliche Änderung des physikspezifischen Fähigkeitsselbstkonzepts untersucht. Wichtig ist dabei, dass es nicht um den Vergleich der Instruktionsformen „Video versus klassisch“ und damit nicht um einen – eher problematischen – Medienvergleich geht (Clark, 1994), sondern um einen Methodenvergleich. Zentrale Voraussetzung der Studie ist, dass der Flipped Classroom nur als Einheit von häuslicher Videoinstruktion und schulischer Aktivierung der Schülerinnen und Schüler gesehen werden kann. Konkret geht die Studie zwei Fragen nach:

a) Wie beeinflusst die Methode des Flipped Classrooms im Physikunterricht der Oberstufe die Lern-

wirksamkeit, das Fachinteresse und das Fähigkeitsselbstkonzept von Schülerinnen und Schülern im Vergleich zum konventionellen Unterricht?

b) Gibt es Personenmerkmale, die den Einfluss des Flipped Classrooms auf die abhängigen Variablen modulieren?

3. Beschreibung der Interventionsmethode

Da Flipped Classroom als Oberbegriff für sämtliche Methoden fungiert, bei denen häusliche und schulische Aktivitäten getauscht werden, soll hier definiert werden, welche Form des Flipped Classrooms für die Studie angewendet wurde. Dazu wurde eine Art Basisform gewählt, die die gemeinsame Wurzel vieler Variationen bildet (Faculty Innovation Center/Texas, 2017; Flipped Learning Network, 2017; Schmidt, 2017; Leibniz-Institut für Wissenschaftsmedien, 2017). In fünf- bis achtminütigen Lernvideos werden Instruktionsinhalte aus dem Unterricht ausgelagert. Sie zeigen videografierte und kommentierte Demonstrationsexperimente sowie Bildschirmaufzeichnungen von Folienpräsentationen. Es handelt sich also nicht um Unterrichtsmitsschnitte, sondern um von den unterrichtenden Lehrern selbst produzierte und den Schülerinnen und Schülern über ein Videoportal online zur Verfügung gestellte Lernvideos. Die Hausaufgabe besteht darin, die Videos anzusehen, sich mögliche Verständnisfragen zu notieren und die letzte Einstellung des Videos – eine spezielle Sicherungsfolie mit den wichtigsten Ergebnissen – ins eigene Heft zu übertragen.

Der Unterricht in der Schule wird eröffnet durch ein interaktives Verständnisquiz mit Clickern. Diese Phase dient den Schülerinnen und Schülern zur Wissensüberprüfung und der Lehrkraft als Evaluationsinstrument. Wird eine Single- oder Multiple-Choice-Frage von weniger als 75% der Kursteilnehmer richtig beantwortet, erfolgt eine kurze Phase der *peer instruction* (Mazur, 2014), in der sich die Schülerinnen und Schüler mit ihren Nachbarn über die Frage verständigen sollen. Anschließend wird die Quizfrage erneut zur Beantwortung gestellt und gegebenenfalls von der Lehrkraft aufgelöst. Im Anschluss werden gezielte Verständnisfragen der Schülerinnen und Schüler beantwortet, ohne jedoch die Inhalte des Videos zu wiederholen.

An diese etwa zehnminütige Phase schließt sich eine Partner- oder Gruppenarbeit an, in der Anwendungs- und Vertiefungsaufgaben bearbeitet werden. Die Schülerinnen und Schüler arbeiten dabei weitgehend selbstgesteuert, können binnendifferenzierende Aufgaben unterschiedlichen Schwierigkeitsgrads auswählen, ihre Lösungen mit den ausliegenden Musterergebnissen vergleichen oder zentrale Aufgaben im Plenum mit der Lehrkraft besprechen. Die Lehrkraft selbst hat helfend-unterstützende und individualisierende Funktion. Als Lernbegleiter kann sie bei Schwierigkeiten Impulse und Anregungen geben. Durch ihr Coaching ist die Lehrkraft in der Lage, den Lernfortschritt und Leistungsstand der Schülerinnen

und Schüler gut einzuschätzen und entsprechende Forder- und Förderangebote zu machen.

Der methodische Dreischritt ‚Lernvideo – Quiz – Schüleraktivität‘ bildet damit die Grundlage der in der Intervention eingesetzten Flipped Classroom Methode.

4. Design

Im Rahmen schulinterner Evaluationen konnte die Studie in acht Physikkursen der 11. Jahrgangsstufe an zwei Würzburger Gymnasien durchgeführt werden. Die Stichprobengröße betrug $N = 151$. Um diese Stichprobe zu erhalten, wurde die Studie asynchron durchgeführt: Die Kontrollgruppe bestand aus vier Kursen, die im Schuljahr 2015/16 konventionell unterrichtet wurden. Die Treatmentgruppe hingegen bestand aus vier Kursen, die im Schuljahr 2016/17 im Flipped Classroom unterrichtet wurden. Kontroll- und Treatmentgruppe waren etwa gleich groß (80 zu 71). In einem Kurs gab es einen Wechsel der Lehrkraft, sonst wurden die Kurse des Kontroll- und des Treatmentjahrgangs von denselben Lehrern unterrichtet.

Die Intervention erfolgte über einen Zeitraum von acht Schulwochen, welcher ebenso lang war wie für die Kontrollgruppe im Vorjahr. Die Ferien eingeschlossen, erstreckte sich die Unterrichtsreihe für beide Gruppen über einen Zeitraum von drei Monaten und war zu vergleichbaren Zeitpunkten im zweiten Halbjahr angesiedelt. Mögliche Neuheitseffekte sollten bei einem Zeitraum dieser Länge zu vernachlässigen sein (Clark, 1983). Thema der Unterrichtsreihe waren die Induktion und der elektromagnetische Schwingkreis. Die Lehrkräfte wurden für den Einsatz des Flipped Classrooms eigens durch eine Lehrerfortbildung geschult. Sie standen permanent im engen Austausch miteinander und bemühten sich um größtmögliche Parallelität der Unterrichtsabläufe, welche sie zusätzlich dokumentierten. Die Lehrkräfte produzierten arbeitsteilig für die Treatmentgruppe ein Set von 16 Lernvideos. Ein Pool von etwa 160 Aufgaben wurde vorab festgelegt, aus dem sich die Lehrkräfte sowohl für die Kontroll- als auch für die Treatmentgruppe bedienten – bei der Kontrollgruppe für Unterricht und Hausaufgabe, bei der Treatmentgruppe ausschließlich für den Unterricht.

Wenn der Flipped Classroom gegenüber dem konventionellen Unterricht abgegrenzt werden soll, muss noch erläutert werden, worin der konventionelle Unterricht besteht, den die Kontrollgruppe erfahren hat. Der typische Physikunterricht wird beherrscht durch das Lernen am Demonstrationsexperiment, durch die Instruktion der Lehrkraft und durch das fragend-entwickelnde Unterrichtsgespräch (Seidel & Meißner, 2004). Das Üben und Vertiefen nimmt erfahrungsgemäß in der Oberstufe aufgrund der hohen Stoffdichte und des gesteigerten Schwierigkeitsgrads nur einen marginalen Teil ein und wird üblicherweise in die Hausaufgabe verlagert. Das bildete der konventio-

nelle Unterricht für die Kontrollgruppe ab. Im Mittelpunkt standen Demonstrationsexperimente, die für alle Kurse dieselben waren, und das Lehrer-Schüler-Gespräch. Die Rolle der Lehrkraft bestand aus Erklären, Herleiten, dem Stellen von Fragen und der Beantworten von Schülerfragen sowie der Ergebnissicherung an der Tafel. Aus dem festgelegten Pool wählte die Lehrkraft passende Aufgaben aus, die im Unterricht bearbeitet wurden. Aus diesem Pool wurde außerdem Hausaufgaben aufgegeben, deren Bearbeitung einen Zeitumfang von etwa 10-15 Minuten in Anspruch nehmen sollte.

Im Folgenden werden die Messinstrumente erläutert, mit deren Hilfe mögliche Unterschiede in der Lernwirksamkeit, im Fachinteresse und im Selbstkonzept erhoben werden sollen. Vor und nach der Unterrichtsreihe wurden in der Kontroll- wie in der Treatmentgruppe ein einer Oberstufenklausur ähnlicher Fachwissenstest und ein Fragebogen eingesetzt.

5. Messinstrumente

Der Pre-Fragebogen besteht aus 82 Items, von denen 71 aus dem PISA-Test 2015 (OECD, 2015) entnommen wurden, die restlichen wurden gemeinsam mit Experten gebildet. Die Skalen aus dem PISA-Test sind mehrfach erprobt und weisen eine hohe Reliabilität auf. Als abhängige Variablen wurden das *Selbstkonzept* im Bereich Physik, die *Motivation* bezüglich der Naturwissenschaft Physik, das *Interesse am Unterrichtsfach Physik* und die wahrgenommene *Lehrerunterstützung* erhoben. Als Personenmerkmale, die möglicherweise die Wirkung des Flipped Classrooms beeinflussen, wurden die aktuellen und vorjährigen Notenleistungen im Fach Physik und Mathematik, die Leistungsmotivation, Selbstorganisation, Prokrastination, Teamaffinität, Hausaufgaben-Disziplin, Hausaufgabendauer, Internetnutzung, IT-Begeisterung, digitale Kompetenz und das Geschlecht erhoben. Eine Reihe dieser Persönlichkeitsmerkmale hat Studien zufolge einen Einfluss auf die schulische Leistung (Steinmayr & Meißner, 2013; Csikszentmihalyi & Wong, 2014) und damit verbunden auf die Wirksamkeit von Unterrichtsmethoden. Im Post-Fragebogen wurden die um die Personenmerkmale reduzierten Items des Pre-Tests eingesetzt, ergänzt durch eine Skala für das Selbstkonzept im Unterbereich Induktion und Schwingkreis.

Um die *Lernwirksamkeit* des Flipped Classrooms mit dem konventionellen Physikunterricht der Oberstufe vergleichen zu können, wurde gemeinsam mit Experten – Physiklehrkräften und Mitarbeitern am Lehrstuhl für Physik und ihre Didaktik der Universität Würzburg – eine auf 70 Minuten ausgelegte Klausur konzipiert, wie sie typischerweise zur Leistungserhebung eingesetzt wird. Die darin enthaltenen Aufgaben besitzen nur zum geringen Teil ein geschlossenes Format, vielmehr sind es offene Aufgaben, die gängigen Schulbüchern entnommen sind oder ehemaligen Abituraufgaben entstammen. Ein strenges Bewertungsschema ermöglicht dabei eine objektive Leistungsfeststellung.

6. Erste Ergebnisse

Zum jetzigen Zeitpunkt liegen nur über die Kontrollgruppe endgültige Daten vor. Hier lassen sich einige Erkenntnisse gewinnen, die gerade im Vergleich mit den Daten der Treatmentgruppe interessant sein werden.

Der Fachwissenstest weist bei der Kontrollgruppe eine zufrieden stellende interne Reliabilität von $\alpha = .725$ (pre) bzw. $\alpha = .762$ (post) auf. Aufgrund des reziproken Zusammenhangs zwischen dem fachlichen Selbstkonzept und der fachlichen Leistung (Wylie, 1979; Valentine, DuBois & Cooper, 2004) sollten die Ergebnisse des Fachwissenstests hoch mit dem physikbezogenen Selbstkonzept korrelieren. Kendalls τ -Werte von $\tau = .514^{**}$ für die Korrelation der Ergebnisse im Fachwissenstest (post) mit dem Fähigkeits-selbstkonzept Physik, $\tau = .535^{**}$ mit dem Fähigkeits-selbstkonzept Induktion/Schwingkreis, und $\tau = .486^{**}$ mit dem Interesse am Unterrichtsfach Physik belegen eine konvergente Validität. Das Interesse an anderen Unterrichtsfächern (Deutsch $\tau = -1.68$; Biologie: $\tau = .143$), dem Geschlecht ($\tau = .031$), der Kurszugehörigkeit ($\tau = .081$) oder der Schulzugehörigkeit ($\tau = .068$) zeigt keine Korrelation mit den Ergebnissen im Fachwissenstest. Damit ist der konzipierte Fachwissenstest als valides und reliables Instrument zur Messung der Lernwirksamkeit des Unterrichts anzusehen. Der Vergleich der Ergebnisse von Pre- und Post-Test zeigt einen deutlichen Lernzuwachs in der Kontrollgruppe während der Unterrichtsreihe ($M_{pre} = 5.49$, $SD_{pre} = 4.32$, $M_{post} = 17.70$, $SD_{post} = 7.45$; $t = -18.05^{***}$, $p = .000$, $df = 79$).

Beim weiteren Blick auf die Kontrollgruppe fällt auf, dass das Interesse an allen Schulfächern, für die es erhoben wurde, im Laufe der drei Monate (März-Juni 2016) abfällt. Das Interesse am Unterrichtsfach Physik sinkt von $M = 1.96$ ($SD = .79$) auf $M = 1.76$ ($SD = .75$), was einem Wert von $t = 2.96^{**}$ ($p = 0.004$, $df = 79$) entspricht. Das Interesse an Mathematik sinkt ($t = 2.25^*$, $p = .27$, $df = 78$) ebenso wie das in den Fächern Deutsch, Chemie und Biologie. Der Abfall ist in den drei letztgenannten Fächern allerdings nicht signifikant. Eine mögliche Erklärung ist ein Zweites-Halbjahr-Effekt, der für ein generelles Nachlassen des Interesses in Schulfächern verantwortlich sein könnte. Die Daten der Treatmentgruppe werden diesbezüglich weiteren Aufschluss geben können.

Während das physikbezogene Selbstkonzept über die drei Monate hinweg stabil bleibt ($t = .53$, $p = .598$, $df = 79$), ist bemerkenswert, dass die Schülerinnen und Schüler sich nach der Unterrichtsreihe eine schlechtere Note für diesen Zeitraum geben würden als für den vorangegangenen ($M_{pre} = 9.30$, $SD_{pre} = 3.11$, $M_{post} = 8.69$, $SD_{post} = 3.56$; $t = 2.46^*$, $p = .016$, $df = 79$), die notenmäßige Einschätzung der eigenen Leistung also negativer wird.

Am deutlichsten von allen Variablen lässt jedoch die Motivation, die die Schülerinnen und Schüler zur

Physik besitzen, in den drei Monaten nach ($M_{pre} = 1.69$, $SD_{pre} = .69$, $M_{post} = 1.51$, $SD_{post} = .74$; $t = 3.82^{***}$, $p = .000$, $df = 79$). Eine Effektstärke von $r = .395$ für das Nachlassen an Motivation zeigt eine deutliche Problemlage.

Zusammenfassend lässt sich nach der Auswertung der Daten für die Kontrollgruppe sagen, dass der konventionelle Unterricht zur Reihe „Induktion und elektromagnetischer Schwingkreis“ im zweiten Schulhalbjahr zwar einen deutlichen Wissenszuwachs brachte, aber verbunden war mit einem hochsignifikanten Nachlassen an physikbezogener Motivation und einem sehr signifikanten Abfall des Interesses am Unterrichtsfach Physik. Das physikbezogene Selbstkonzept blieb in der Zeit unverändert, jedoch schätzten die Schülerinnen und Schüler ihre eigene Leistung notenmäßig zunehmend schlechter ein. Erst die Auswertung der Daten für die Treatmentgruppe wird zeigen, ob die Unterrichtsmethode des Flipped Classrooms an diesen Entwicklungen etwas zu ändern vermag.

Literatur

- [1] Aşıksoy, G., & Özdamlı, F. (2016). Flipped Classroom adapted to the ARCS Model of Motivation and applied to a Physics Course. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 12(6), 1589-1603. <http://www.ejmste.com/pdf-61041-11648?filename=Flipped%20Classroom%20adapted.pdf> (Stand: 10/2017)
- [2] Bergmann, J., & Sams, A. (2012). *Flip your classroom: Reach every student in every class every day*. International Society for Technology in Education
- [3] Cieliebak, M. (2014). Einfluss von Flipped Classroom auf Fachwissen und Kompetenzen von Studierenden. Zusammenfassung einer Studie der Pädagogischen Hochschule Zürich. http://dreamboxx.com/mark/data/ZHAW_FlippedClassroom15.pdf (Stand 10/2017)
- [4] Clark, R. E. (1983). Reconsidering research on learning from media. *Review of educational research*, 53(4), 445-459. <https://doi.org/10.3102/00346543053004445>
- [5] Clark, R. E. (1994). Media will never influence learning. *Educational technology research and development*, 42(2), 21-29. <https://doi.org/10.1007/BF02299088>
- [6] Csikszentmihalyi, M., & Wong, M. (2014). Motivation and academic achievement: The effects of personality traits and the quality of experience. *Applications of flow in human development and education*. Springer Netherlands, 2014. 437-465. https://doi.org/10.1007/978-94-017-9094-9_22
- [7] DeLozier, S.J. & Rhodes, (2017), Flipped Classrooms: a Review of Key Ideas and Recommendations for Practice. *M.G. Educ Psychol*

- Rev 29: 141, Url: <https://doi.org/10.1007/s10648-015-9356-9>
- [8] Estes, M., Ingram, R., & Liu, J. (2014). *A review of flipped classroom research, practice, and technologies*. Url: <https://www.hetl.org/a-review-of-flipped-classroom-research-practice-and-technologies/> (Stand 10/2017)
- [9] Faculty Innovation Center. University of Texas at Austin. Url: <https://facultyinnovate.utexas.edu/how-to-flip> (Stand: 10/2017)
- [10] Flipped Learning Network: <https://flippedlearning.org/> (Stand: 10/2017)
- [11] Lape, N. K., et al. (2014). Probing the Inverted Classroom: A Controlled Study of Teaching and Learning Outcomes in Undergraduate Engineering and Mathematics. *121st ASEE Annual Conference & Exposition*. 24, 1. Url: <https://peer.asee.org/probing-the-inverted-classroom-a-controlled-study-of-teaching-and-learning-outcomes-in-undergraduate-engineering-and-mathematics.pdf>
- [12] Leibniz-Institut für Wissenschaftsmedien: <https://www.e-teaching.org/praxis/iwm> (Stand: 10/2017)
- [13] Martin, S. K., Farnan, J. M., & Arora, V. M. (2013). Future: new strategies for hospitalists to overcome challenges in teaching on today's wards. *Journal of hospital medicine*, 8(7), 409-413. Url: <https://doi.org/10.1002/jhm.2057>
- [14] Mazur, E. (2014), *Peer instruction: A Users' manual*
- [15] McLaughlin, J. et al. (2014). The flipped classroom: a course redesign to foster learning and engagement in a health professions school. *Academic Medicine*, 89(2), 236-243. Url: <https://doi.org/10.1097/ACM.0000000000000086>
- [16] Munson, A., & Pierce, R. (2015). Flipping Content to Improve Student Examination Performance in a Pharmacogenomics Course. *American Journal of Pharmaceutical Education*, 79(7), 103. Url: <https://doi.org/10.5688/ajpe797103>
- [17] OECD (Ed.), *PISA 2015 Assessment and Analytical Framework: Science, Reading, Mathematics and Financial Literacy*. Paris: OECD Publishing. Url: <https://doi.org/10.1787/9789264255425-en>
- [18] O'Flaherty, J., & Phillips, C. (2015). The use of flipped classrooms in higher education: A scoping review. *The Internet and Higher Education* 25, 85-95: Url: <https://i.unisa.edu.au/sitesets/staff/tiu/documents/the-use-of-flipped-classrooms-in-higher-education-a-scoping-review-oflaherty-and-phillips.pdf>
- [19] Schmidt, Sebastian. Url: <https://www.flipped-mathe.de/fc-community> (Stand: 10/2017)
- [20] Seidel, T., & Prenzel, M. (2004). Muster unterrichtlicher Aktivitäten im Physikunterricht. Bildungsqualität von Schule. In: *Lehrerprofessionalisierung, Unterrichtsentwicklung und Schülerförderung als Strategien der Qualitätsverbesserung*, 177-194
- [21] Steinmayr, R., & Meißner, A. (2013). Zur Bedeutung der Intelligenz und des Fähigkeits-selbstkonzeptes bei der Vorhersage von Leistungstests und Noten in Mathematik. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*. 27, 273-282. Url: <https://doi.org/10.1024/1010-0652/a000113>
- [22] Valentine, J. C., DuBois, D. L. & Cooper, H. (2004). The relations between self-beliefs and academic achievement: A systematic review. *Educational Psychologist*, 39, 111-133. http://dx.doi.org/10.1207/s15326985ep3902_3
- [23] Wylie, R. C. (1979). *The self-concept: Theory and research on selected topics* (Vol. 2). U of Nebraska Press

Interesse an Physik in Salzburgs Neuen Mittelschulen

Markus Herbst*, Marcus Georg Hochwarter*, Alexander Strahl*

*Universität Salzburg, School of Education, AG Didaktik der Physik
markus.herbst@sbg.ac.at, hochwarterma@stud.sbg.ac.at, alexander.strahl@sbg.ac.at

Kurzfassung

Interesse stellt einen der entscheidenden Prädiktoren für den Erfolg in den MINT-Fächern (Mathematik, Informatik, Naturwissenschaft und Technik) dar, welche in den letzten Jahren vermehrt versucht wurden zu fördern, dar. Doch wie ist das aktuelle Interesse von Schülerinnen und Schülern an Physik?

In dieser Teilstudie wurden an vier Neuen Mittelschulen in Salzburg (Österreich) 301 Schülerinnen und Schüler ($n_{\text{f}}=151$, $n_{\text{m}}=150$; 7. und 8. Schulstufe) befragt und folgende Bereiche erhoben: Interesse an Physik, Tätigkeiten im Physikunterricht, Experimente im Physikunterricht, Interesse an verschiedenen Unterrichtsfächern, Physik in den Medien, Selbsteinschätzung und Einflussfaktoren im Unterrichtsfach Physik, Berufswunsch, Relevanz des Physikunterrichts und Genderthematik in den Naturwissenschaften.

Die Ergebnisse dieser Studie korrelieren in vielen Punkten mit der Pilotstudie des Vorjahres [1] und erweitern diese um einige Ergebnisse. So konnte unter anderem bestätigt werden, dass vor allem handwerklich-aktive Tätigkeiten das Interesse fördern, wohingegen physikalisch-wissenschaftliche Tätigkeiten weniger beliebt sind. Es zeigt sich, dass es von der 7. bis zur 8. Schulstufe zu einem allgemeinen Rückgang des Interesses kommt, wobei Schüler ein größeres Interesse an den MINT-Fächern zeigen als Schülerinnen. Die hohe Beliebtheit des Unterrichtsfaches aus dem Vorjahr konnte jedoch nicht erneut erreicht werden.

1. Einleitung

Interesse ist sowohl Garant für Aufmerksamkeit als auch für die Motivation am Lernen. Je mehr über die Interessen von Lernenden bekannt ist, desto besser ist es möglich, beispielsweise im Rahmen curricularer Entwicklung (Bsp.: Einbettung fachlicher Konzepte in Kontexte [2]), auch die motivationalen Ausgangsbedingungen der Schülerinnen und Schüler aufzugreifen, einzubinden und somit die Qualität des Lernens zu verbessern [3].

Die, hier vorgestellte, Folgestudie beschäftigt sich deshalb mit dem Interesse von jungen Schülerinnen und Schülern (7. und 8. Schulstufe) an bestimmten Bereichen des Physikunterrichts und mit der grundsätzlichen Frage, ob die Physik wirklich so unbeliebt ist, wie es laut älteren Studien [4-9] zu sein scheint.

2. Grundlagen

Konzepte, welche sich um den Interessensbegriff gebildet haben, sind einer langen historischen Entwicklung unterworfen, und es gibt dazu viele mögliche Betrachtungsweisen aus diversen wissenschaftlichen Richtungen. Die Konzepte der 1990er- und 2000er-Jahre befassen sich mit denjenigen Formen von Interesse, die als allgemein und länger anhaltend angesehen werden, sowie mit den speziellen Formen, die als vorübergehend erscheinen [10].

2.1. Definition "Interesse"

Für die Definition des Begriffs "Interesse" setzte sich, aus Sicht der Pädagogik, Mitte der 1980er-Jahre im deutschsprachigen Raum die "Person-Objekt-Theorie" (POI-Theorie) durch.

Forscher und Forscherinnen rund um H. Schiefele [11] entwickelten die POI-Theorie als eine pädagogische, deskriptive Interessentheorie. Deren Ziel ist es, verschiedene Formen des Interesses beschreiben und erklären zu können. Laut dieser Theorie kann es eine Entwicklung von Interesse nur geben, wenn ein Individuum eine Beziehung zum Gegenstand des Interesses aufgebaut hat [12]. Die POI-Theorie differenziert das individuelle Interesse eines Menschen in drei Bereiche: den emotionalen, den wertbezogenen und den kognitiven Bereich – wobei der zuletzt genannte Bereich in späteren Konzepten nicht mehr Teil des Konstrukts war, sondern eine abhängige Variable. Der emotionale Bereich bezieht sich auf die Ebene der Gefühle rund um den Gegenstand des Interesses, während die Wertbezogenheit die persönliche Bedeutsamkeit des Gegenstands meint [10]. Die Entwicklung des Interesses hängt laut der POI-Theorie eng mit der Umwelt des Menschen zusammen: Die Sozialisation führt dazu, dass es durch ständig neue Eindrücke zu einer Erweiterung des Selbstkonzepts und damit des Interesses kommt. Die Entstehung individueller Interessen ist auf die Be-

dürfnisse des Menschen und das Person-Gegenstands-Erleben sowie die differenzierten emotionalen Einwirkungen zurückzuführen. Dabei wird auch davon ausgegangen, dass aus mehrfach positiv erlebtem, situationalem Interesse ein individuelles Interesse entsteht [12].

Situationales Interesse ist per Definition ein einmaliger, situationsspezifischer, motivationaler Zustand und somit nicht von einer persönlichen Neigung für einen bestimmten Gegenstand abhängig, sondern wird durch äußere, "interessante" Anreize hervorgerufen [13].

Individuelles Interesse hingegen ist ein persönlichkeitspezifisches Merkmal des Lernens [13]. Die persönliche Präferenz für einen Gegenstand, welche die Person aufgrund einer Internalisierung von zuvor aufgetretenem situationalem Interesse aufweist, ist hierbei langfristig und unabhängig von äußeren Anreizen [14].

2.2. Interessensgenese

Nach empirischen Untersuchungen kann die Entstehung und Veränderung von Interesse auch entwicklungspsychologisch betrachtet werden. Es kann folgende Einteilung vorgenommen werden: Ein universelles Interesse zeigt sich bei Kindern bis zirka vier Jahren, wobei in der folgenden Phase schon eine Identifizierung mit Geschlechtern stattfindet und es zu einer ersten Stereotypisierung kommt. Das bedeutet, dass sich hier bereits geschlechtsspezifische Interessen entwickeln. Ab sieben Jahren entwickeln Kinder ein Konzept über ihre eigenen Fähigkeiten, und dies geschieht vor allem im Bereich der Schule, wo sich erste Leistungskonzepte bilden. Daraus folgt, dass sich das schulische Interesse auf Fächer konzentriert, in denen die Kinder positive Rückmeldungen erhalten. Mit etwa zehn Jahren bedenken Kinder ihre Stellung in der Gesellschaft und ihre zukünftige Position darin, daher entwickeln sich Berufsinteressen nach der jeweiligen sozialen Stellung. Im Jugendalter kommt es zu einer Betrachtung der individuellen Identität und die Jugendlichen versuchen ein Selbstbild aufzubauen. Diese Ergebnisse zeigen deutlich, dass das universelle Interesse von verschiedenen Faktoren, wie etwa Geschlechterbildern, Sozialisation und Ansehen, beeinflusst wird und eine Akzentuierung hin zu einem individuellen Interesse folgt [15].

Da sich diese Folgestudie mit Schülerinnen und Schülern im Alter von 12 bis 15 Jahren beschäftigt, ist es unumgänglich, nachfolgend die Thematik von Interesse im Unterricht, genauer naturwissenschaftlichen Unterricht, zu behandeln.

2.3. Interesse im naturwissenschaftlichen Unterricht

Grundsätzlich kann im Bereich der naturwissenschaftlichen Unterrichtsfächer zwischen dem Sachinteresse und dem Fachinteresse unterschieden werden.

Das *Sachinteresse* bedient hierbei die Form des Interesses an den jeweiligen naturwissenschaftlichen Bereichen, während das *Fachinteresse* direkt das Unterrichtsfach des Gegenstandes meint. Dabei ist vor allem beim Sachinteresse zu präzisieren, dass es oftmals weniger die wissenschaftliche Disziplin an sich ist, die Interesse hervorruft, als ihre Anwendung und der Nutzen daraus. Daraus folgt, dass es für das Sachinteresse wichtig ist, welche Anwendungsbereiche Interesse hervorrufen. Woher das Sachinteresse bei Schülerinnen und Schülern stammt, ist auf mehrere Faktoren zurückzuführen, wie etwa auf das Geschlecht, die Leistungsfähigkeit, das Selbstkonzept oder auch die persönliche Wertbezogenheit sowie die vorausgegangene elterliche Unterstützung.

Für das Zustandekommen eines *Fachinteresses* muss ein Sachinteresse vorausgehen, wobei weitere Faktoren, wie beispielsweise die Kompetenzen der Lehrkraft sowie die Unterrichtsgestaltung, von hoher Bedeutung sind [6, 16, 17].

Es ist davon auszugehen, dass kindliche Freizeitaktivitäten auch in die Jugend hineinwirken. Dies zeigt sich im Bereich der Technik: Wenn Kinder etwa technische Spielerfahrungen haben und an technikkulturellen Aktivitäten teilgenommen haben [18], folgt daraus im Jugendalter ein höheres Interesse an technischen Themen sowie ein positiveres Selbstkonzept. Dies trifft vor allem auch auf Mädchen zu. Ein wichtiger Einflussfaktor auf das Selbstkonzept der Kinder und Jugendlichen sind die Eltern [19], wobei grundsätzlich der Mutter mehr Bedeutung zukommt als dem Vater. Wichtig für das technische Selbstkonzept von Kindern und Jugendlichen sind dabei die Berufe der Eltern [20]. Ein weiterer wichtiger Einflussfaktor sind die Freunde (Peers), welche mit steigendem Alter immer mehr an Bedeutung gewinnen. Festzuhalten ist dabei auch, dass die Lehrkraft als Bezugsperson eine untergeordnete Rolle einnimmt [21].

Insbesondere für den Physikunterricht sind folgende Interessensbereiche von Bedeutung.

- "*Physik und Technik*" ist jener thematische Schwerpunkt, der sich nicht mit diversen Anwendungen befasst, sondern mit der reinen Physik beziehungsweise der Technik.
- Der Bereich "*Mensch und Natur*" behandelt die Darstellung von Phänomenen aus dem Bereich Natur, darunter fällt auch die Auseinandersetzung mit dem Körper des Menschen.
- Der Interessensbereich "*Gesellschaft*" behandelt die Zusammenhänge von Physik und Technik und deren Einfluss auf die Gesellschaft.

Aus diesen drei Bereichen lassen sich folgende Interessentypen ableiten [1, 16].

- *Typ A (naturwissenschaftliche Typus)*, meist männlich, interessiert sich grundsätzlich für alle drei genannten Bereiche und kann sich auch für mathematische Berechnungen begeistern.

- Ein spezielles Interesse zeigt *Typ B (undifferenzierte Typus)* hinsichtlich des Bereiches Mensch und Natur; die beiden anderen Schwerpunkte sind für ihn weniger interessant, hier lässt sich eine Ausgewogenheit der Geschlechter feststellen.
- *Typ C (geisteswissenschaftliche Typus)*, meist weiblich, interessiert sich für den Interessensbereich Gesellschaft, wobei ein grundlegendes Interesse auch im Bereich Mensch und Natur vorhanden ist; uninteressant ist hingegen der Bereich "Physik und Technik".
- *Typ D (interessenslose Typus)*, wurde 2016 erstmals publiziert [1], beide Geschlechter vertreten, interessiert sich nur wenig bis kaum für Physik und hat schlechte Noten in Physik.

Abbildung 1 gibt einen Überblick der Zusammenhänge zwischen den Interessensgebieten und -typen.

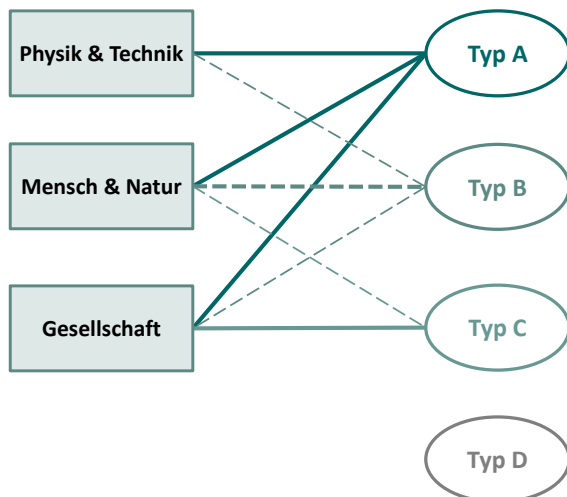


Abb. 1: Zusammenhänge der Interessensgebiete und -typen.

Dem Bereich Mensch und Natur kommt dabei eine besondere Rolle im Unterricht zu, da mit diesem die meisten Schülerinnen und Schüler erreicht werden.

Eine Steigerung des Interesses, insbesondere am Physikunterricht, kann erreicht werden, wenn im Unterricht Tätigkeiten durchgeführt werden, welche auch dem Interesse der Schülerinnen und Schüler entsprechen [6].

Einen positiven Einfluss auf die Interessensentwicklung der Schülerinnen und Schüler hat der Zeitpunkt des ersten Kontakts mit einem naturwissenschaftlichen Unterricht. Dies zeigt z.B. das Projekt NaWi-aktiv in Schleswig-Holstein [22]. Daraus lässt sich schließen, dass ein früh beginnender Physikunterricht das Interesse der Schülerinnen und Schüler positiv beeinflussen würde.

Darüber hinaus wären noch zahlreiche weitere Einflussfaktoren auf das Interesse der Lernenden zu nennen, wie die Unterrichtsgestaltung, die Note [23], das Schulklima [24] uvm.

3. Untersuchung

Das Hauptaugenmerk der Studie lag auf der Überprüfung und Erweiterung der Ergebnisse der Interessensstudie 2015 [1]. Dabei wurde besonders auf die Tätigkeiten und die Kontextabhängigkeit im Physikunterricht eingegangen. Im Zentrum standen dabei die Unterschiede zwischen den Geschlechtern und als neuer Aspekt kam die Entwicklung des Interesses mit höherer Schulstufe hinzu. Eine weitere Zielsetzung der Studie war es, zu bestimmen, welche Unterrichtsfächer die Schülerinnen und Schüler als interessant empfinden und welche sie als weniger interessant wahrnehmen.

3.1. Messinstrument

Bei der empirischen Untersuchung handelte es sich um eine Querschnittsstudie mit einem Fragebogen als Erhebungsinstrument.

Der Fragebogen gleicht in weiten Teilen dem Fragebogen der Interessensstudie 2015 [1] und wurde nur in wenigen Punkten abgeändert bzw. ergänzt.

Die Fragenkomplexe enthalten hauptsächlich quantitative Items (136 geschlossene Items, 3 offene Items), deren Beantwortung durch eine aufsteigende fünfstufige Ordinalskala erfolgte, wodurch jeder Antwort ein reihbarer Zahlenwert zugeordnet werden konnte. Die Skala wurde durch die Option "weiß nicht" ergänzt, um eine Tendenz zur Mitte zu vermeiden.

Die Themenkomplexe setzen sich wie folgt zusammen:

- a) "*Fragen zu deinem Interesse*": Anhand von 48 Items, welche auf acht Themengebiete und die drei genannten Themenkomplexe ("Physik und Technik", "Mensch und Natur" sowie "Gesellschaft") eingingen, wurde das Interesse an den Themengebieten und die Abhängigkeit vom Kontext überprüft.
- b) "*Fragen zu Tätigkeiten im Physikunterricht*": Mit 19 Items wurde das Interesse an den unterschiedlichen Tätigkeitsbereichen überprüft.
- c) "*Fragen zu Experimenten im Physikunterricht*": Anhand von zwölf Items wurden die Schülerinnen und Schüler zur Experimentiertätigkeit und -häufigkeit befragt.
- d) "*Interesse an verschiedenen Unterrichtsfächern*": Bei diesem Themenkomplex wurden die Schülerinnen und Schüler zu ihrem Interesse an verschiedenen Unterrichtsfächern befragt.
- e) "*Physik in den Medien*": In einem ersten Schritt wurden die Schülerinnen und Schüler gefragt, ob sie in letzter Zeit in den Medien etwas gesehen hätten, was mit Physik zu tun hatte. Bei einer positiven Antwort sollten sie noch die offene Frage nach dem Wo und Was beantworten.
- f) "*Fragen zur Selbsteinschätzung und Einflussfaktoren*": Dieser Themenkomplex bestand aus zwei Teilen. Im ersten Teil wurden die Schülerinnen

und Schüler zur Selbsteinschätzung der Leistungsfähigkeit in Physik befragt. Im zweiten Teil wurden Fragen zu externen Einflussfaktoren auf das Interesse gestellt.

- g) "*Fragen zum Berufswunsch*": Anhand von zwei Items wurde geprüft, wie gerne die Schülerinnen und Schüler einen physikalischen oder technischen Beruf ergreifen wollen.
- h) "*Fragen zur Relevanz des Physikunterrichts*": Mit sechs Items wurde die Relevanz des Physikunterrichts für die Schülerinnen und Schüler überprüft.
- i) "*Fragen zum Genderaspekt*": Anhand von acht Items wurde die Gendersensibilität der Schülerinnen und Schüler, vor allem mit Bezug auf Physik, überprüft.

3.2. Stichprobe

Die Befragung wurde am Beginn des Schuljahres 2016/17 (September) durchgeführt. Dabei nahmen vier Neue Mittelschulen des Landes Salzburg (siehe Tabelle 1) an der Untersuchung teil.

Schule	N	Prozent
<i>Bruck</i>	47	15,4
<i>Lofer</i>	54	17,6
<i>Maishofen</i>	84	27,5
<i>Saalfelden Bahnhof</i>	121	39,5
Gesamt	306	100,0

Tab. 1: Stichprobenverteilung nach Schulen – Studie 2016.

Die in Tabelle 1 dargestellte Stichprobenanzahl an Schülerinnen und Schülern teilte sich, wie in Tabelle 2 ersichtlich, auf die 7. und 8. Schulstufe auf.

Schulstufe	N	Prozent
7	146	47,7
8	160	52,3

Tab. 2: Stichprobenverteilung nach Schulstufe – Studie 2016.

Es ergab sich die in Tabelle 3 dargestellte Altersverteilung.

Alter	N	Prozent
12	99	32,4
13	139	45,4
14	60	19,6
15	7	2,3
Gesamt	305	99,7
<i>Fehlend</i>	1	0,3

Tab. 3: Stichprobenverteilung nach Alter – Studie 2016.

Abschließend ist in Tabelle 4 die Stichprobenverteilung nach dem Geschlecht dargestellt.

Geschlecht	N	Prozent
♀	151	49,3
♂	155	50,7

Tab. 4: Stichprobenverteilung nach Geschlecht – Studie 2016.

Für die Auswertung wurden die ausgefüllten Fragebögen auf Vollständigkeit und "verwendbare" Antworten geprüft. Im Zuge dieser Überprüfung mussten 44 Fragebögen aus der Analyse ausgeschlossen werden. Dabei stammten 31 Fragebögen von Schülern und 13 Fragebögen von Schülerinnen. Betrachtet man die ausgeschiedenen Fragebögen unter Berücksichtigung der Schulstufe, so zeigt sich, dass 20 Fragebögen in der 7. Schulstufe und 24 Fragebögen in der 8. Schulstufe ausgeschlossen wurden. Somit standen letztlich 262 Fragebögen zur Verfügung.

4. Auswertung und Analyse

4.1. Themenkomplex 1 – Fragen zu deinem Interesse

Zu den acht Themengebieten wurden die Skalenwerte gebildet und es wurde eine Reihung durchgeführt. Die geschlechtsspezifischen Unterschiede sind in Tabelle 5 dargestellt, das Gesamtranking ist in Abbildung 2 demonstriert.

Themengebiet	♀	♂
<i>Optik</i>	3,31	2,99
<i>Elektrizität u. Magnetismus</i>	3,13	3,44
<i>Astronomie</i>	3,09	3,16
<i>Physik allgemein</i>	3,04	3,02
<i>Schwingungen u. Wellen</i>	3,00	2,86
<i>Kern- u. Moderne Physik</i>	2,97	3,27
<i>Mechanik</i>	2,95	3,15
<i>Wärmelehre</i>	2,86	2,68

Tab. 5: Themengebiete – Studie 2016. Interessantheit nach Mittelwerten; Ranking nach weiblich.

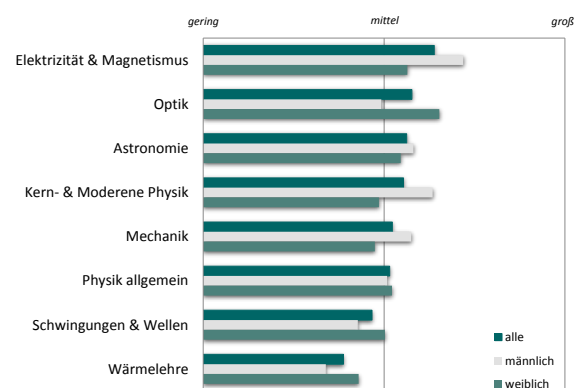


Abb. 2: Themengebieten – Studie 2016.

Dabei zeigt sich, dass vor allem "Elektrizität und Magnetismus" sowie "Astronomie" bei den Schülerinnen und Schülern beliebt sind. Insgesamt konnte "Optik" den 2. Rang erreichen, wobei Unterschiede zwischen den Geschlechtern auftraten. Bei Schülerinnen war "Optik" das beliebteste Themengebiet, während es bei Schülern nur den 6. Rang belegte. Am wenigsten interessant finden sowohl Schülerinnen als auch Schüler die "Wärmelehre".

Im Vergleich von Schülerinnen und Schülern der 7. Schulstufe und der 8. Schulstufe konnte in allen Gebieten ein Rückgang des Mittelwerts beobachtet werden. Der geringste Rückgang wurde dabei beim Themengebiet "Optik" (0,35) beobachtet. Der höchste Rückgang wurde im Themengebiet "Elektrizität und Magnetismus" (0,69) festgestellt.

In einem weiteren Schritt wurde aus allen 48 Items der Skalenwert "Gesamtinteresse" gebildet. Dabei zeigte sich ein geringfügiger Unterschied zwischen den Geschlechtern. Schüler erreichten einen Mittelwert von 3,06 und Schülerinnen einen dazu geringfügig abweichenden Mittelwert von 3,03. Ein wesentlich größerer Unterschied wurde zwischen einzelnen Schulstufen festgestellt (siehe Abb. 3). Dabei ist vor allem klar ersichtlich, dass die Schülerinnen und Schüler, welche das 1. Jahr Physik als Unterrichtsfach hatten, die höchsten Mittelwerte erreichten konnten.

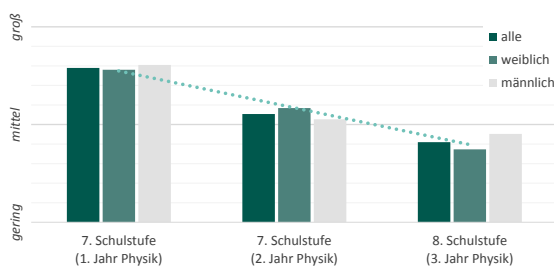


Abb. 3: Entwicklung des Gesamtinteresses nach Schulstufe – Studie 2016. Die Trendlinie bezieht sich auf "alle".

Abschließend wurden im Themenkomplex 1 die Interessensbereiche im gesamten sowie bezüglich Genderunterschiede betrachtet.

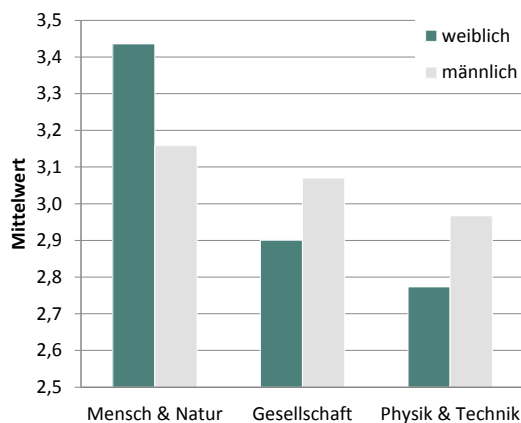


Abb. 4: Interessensbereiche nach Geschlecht – Studie 2016.

Wie in Abbildung 4 dargestellt, bestätigten sich die Ergebnisse der vorangegangenen Studie [1].

Der Interessensbereich "Mensch und Natur" ist der beliebteste Bereich. Vor allem Schülerinnen sind an diesem Interessensbereich besonders interessiert. Den 2. Platz belegte der Interessensbereich "Gesellschaft" und den 3. Platz der Interessensbereich "Physik und Technik", wobei in diesen beiden Bereichen die Schüler bei den Mittelwerten vor den Schülerinnen lagen.

4.2. Themenkomplex 2 – Tätigkeiten im Physikunterricht

Bei der Untersuchung des Interesses an unterschiedlichen Tätigkeiten im Physikunterricht konnte festgestellt werden, dass vor allem handwerklich-aktive Tätigkeiten sowie kognitiv-aktive Tätigkeiten sowohl bei Schülerinnen als auch Schülern auf großes Interesse stoßen (siehe Abb. 5).

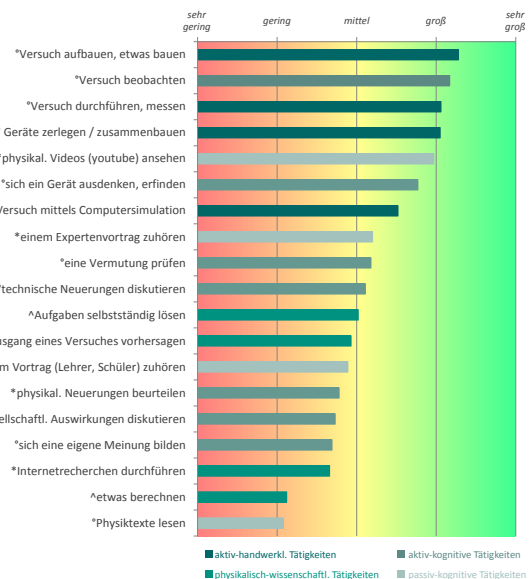


Abb. 5: Interesse an Tätigkeiten im Physikunterricht – Studie 2016. Die mit ° gekennzeichneten Items stammen unverändert aus der IPN-Interessensstudie [7], die mit ^ markierten wurden leicht abgeändert und die Fragen mit * sind neu.

Dies deckt sich mit den Ergebnissen der vorangegangenen Studie (siehe Abb. 6) [1].

Wirft man einen genauen Blick auf die Abbildungen 5 und 6 so lässt sich erkennen, dass sowohl die Reihung der Tätigkeiten als auch deren Interessenswerte zum Großteil gleich sind, trotz der verschiedenen Altersgruppen. Physikalisch-wissenschaftliche Tätigkeiten, wie "Internetrecherchen durchführen" sowie "Berechnungen" oder "das Lesen von Physiktexten" ernten nur geringes Interesse und befinden sich abgeschlagen ganz hinten.

Die Auswertung der diesjährigen Befragung in Bezug auf geschlechterspezifische Unterschiede in den Interessen an den Tätigkeiten wies keine signifikanten Unterschiede auf. Lediglich gesamt betrachtet

erreichen die Schüler geringfügig höhere Mittelwerte als die Schülerinnen.

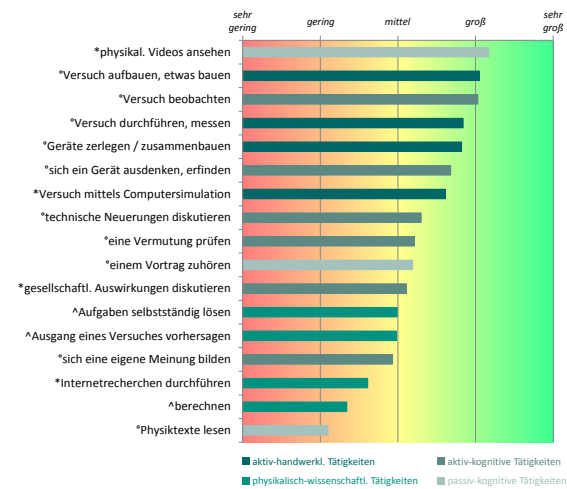


Abb. 6: Interesse an Tätigkeiten im Physikunterricht – Studie 2015 [1]. Die mit ° gekennzeichneten Items stammen unverändert aus der IPN-Interessensstudie [7], die mit ^ markierten wurden leicht abgeändert und die Fragen mit * sind neu.

4.3. Themenkomplex 3 – Experimente im Physikunterricht

Die Analyse dieses Fragenkomplexes ergab, dass die Schülerinnen und Schüler bei Experimenten im Unterricht häufiger die passive Rolle des Zusehens einnehmen als die aktive Rolle des selbstständigen Experimentierens. In ihrer Freizeit experimentieren nur wenige Befragte.

Werden Experimente durchgeführt, so kommen öfter Alltagsgegenstände zum Einsatz als spezielle Laborgeräte.

In einem weiteren Schritt wurde der Zusammenhang zwischen dem Gesamtinteresse und den experimentellen Tätigkeiten betrachtet. Dazu wurden die Skalenwerte für aktives und passives Experimentieren sowie für das Experimentieren zuhause gebildet mit anschließender Pearson-Korrelation. Dabei zeigte sich, dass eine positive Korrelation zwischen den experimentellen Tätigkeiten und dem Gesamtinteresse besteht.

4.4. Themenkomplex 4 – Interesse an versch. Unterrichtsfächern

In diesem Themenkomplex sollten vor allem die Ergebnisse der Studie 2015 [1] überprüft werden, in welcher es zu Ergebnissen gekommen war, die stark von jenen in der Literatur abweichen (siehe Abb. 7). So konnte "Physik" im Ranking aller Befragten sowie den Schülern auf Platz 2 landen.

In der Studie 2015 wurde nur nach den "3 Lieblingsfächern (ohne Reihung)" gefragt, wohingegen im aktuellen Fragebogen alle Unterrichtsfächer tabellarisch angeführt sind und man somit eine Relation zu anderen Unterrichtsfächern bekommt (siehe Abb. 8).

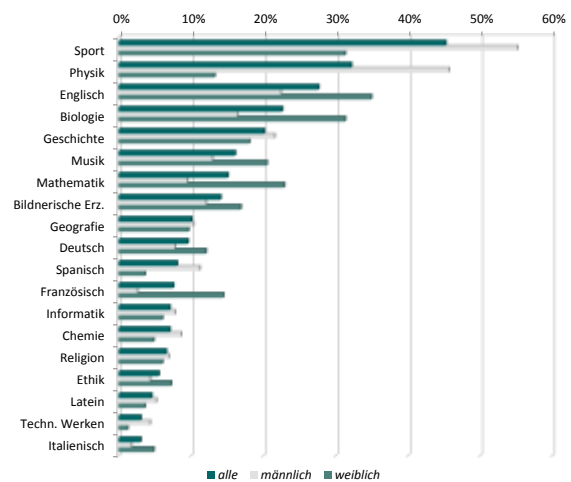


Abb. 7: Lieblingsunterrichtsfächer – Studie 2015 [1].

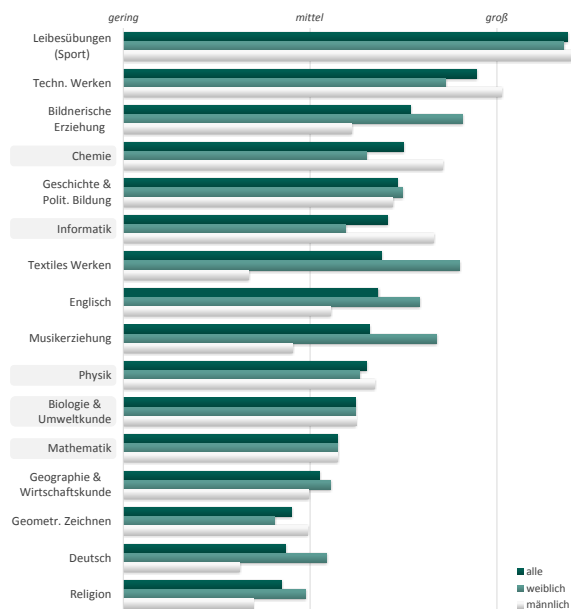


Abb. 8: Interesse an verschiedenen Unterrichtsfächern – Studie 2016. Die MINT-Fächer sind hervorgehoben.

Als interessantestes Fach empfinden die Schülerinnen und Schüler "Leibesübungen", am wenigsten interessant ist für sie "Religion". Bei den MINT-Fächern ist "Chemie" am beliebtesten, gefolgt von "Informatik". "Physik" liegt im hinteren Mittelfeld, aber vor "Biologie und Umweltkunde" sowie "Mathematik".

Wie aus Tabelle 6 deutlich ersichtlich wird, gibt es in der exklusiven Betrachtung der MINT-Fächer Unterschiede zwischen den Geschlechtern.

	CH	Inf.	PH	Bio.	M.
♀	8	11	9	10	12
♂	3	4	6	7	9
Gesamt	4	6	10	11	12

Tab. 6: Platzierung der MINT-Fächer – Studie 2016.

Es zeigt sich, dass Schüler prinzipiell die MINT-Fächer als interessanter empfinden als Schülerinnen dies tun. Die Abbildung 9 zeigt, dass die Unterschiede bei den Geschlechtern nicht in allen Fächern gleich hoch ausfallen. In den Fächern "Chemie" und "Informatik" sind sie jedoch besonders groß. Hier liegen die Schüler weit vor den Schülerinnen. Weniger groß fällt die Differenz im Fach "Physik" aus: Hier zeigen zwar Schüler mehr Interesse als Schülerinnen, der Unterschied ist jedoch nicht mehr signifikant. In "Biologie und Umweltkunde" sowie in "Mathematik" sind kaum noch Unterschiede zwischen den Geschlechtern feststellbar.

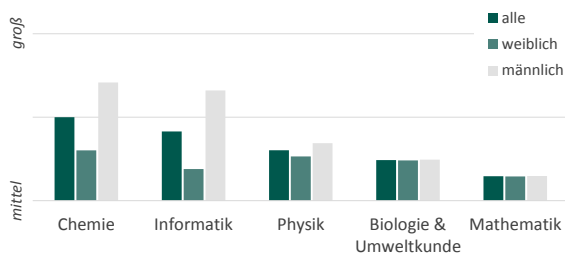


Abb. 9: Unterschiede am Interesse der MINT-Fächer – Studie 2016.

Im Vergleich von Schülerinnen und Schülern der 7. Schulstufe und der 8. Schulstufe konnte in allen Fächern – außer in "Deutsch" – ein Rückgang des Mittelwerts beobachtet werden. Auch hier gab es wieder Unterschiede zwischen den einzelnen Unterrichtsfächern. So ging das Interesse in den Fächern "Geometrisch Zeichnen", "Chemie" und "Physik" am stärksten zurück.

4.5. Themenkomplex 5 – Physik in den Medien

Hier zeigte sich, dass der Großteil der Schülerinnen und Schüler keinen Bezug zwischen "Medien und Physik" herstellen konnte. Von den insgesamt 262 ausgewerteten Fragebögen antworteten nur zehn Schülerinnen und Schüler mit einem "Ja" auf die Frage, "ob sie in letzter Zeit etwas über Physik in den Medien wahrgenommen hätten". Bei diesen zehn Antworten wurde YouTube mit drei Nennungen am häufigsten genannt. Niemand stellte einen direkten Bezug der Physik zur Sitcom "The Big Bang Theory" her. So ergänzte eine Schülerin, welche bei der Antwortmöglichkeit "Nein" wählte, im Textfeld: "Nur the Big Bang Theory".

4.6. Themenkomplex 6 – Selbsteinschätzung & Einflussfaktoren

Im Bereich der Selbsteinschätzung erreichten insgesamt betrachtet die Schülerinnen höhere Mittelwerte als die Schüler. Jedoch lagen die Schüler bei den "Key-Items", wie der Frage zur Schwierigkeit des Physikunterrichts sowie Fragen zum Stoffverständnis, vor den Schülerinnen.

Interessant ist hierbei, dass die Frage "wie sich die Leistungsfähigkeit in Physik entwickeln wird" bei beiden Geschlechtern, vor allem aber bei den Schülerinnen mit einem Wert von 4,27, einen sehr hohen

Mittelwert erreichte. Im Bereich der Selbsteinschätzung wurde im Vergleich von Schülerinnen und Schülern der 7. Schulstufe und der 8. Schulstufe ebenfalls ein Rückgang der Mittelwerte beobachtet. Zwischen der Selbsteinschätzung und dem Gesamtinteresse ergab sich eine positive Korrelation nach Pearson von 0,41, wobei die Irrtumswahrscheinlichkeit unter 1% lag.

Bei den externen Einflussfaktoren stellte sich heraus, dass vor allem Schülerinnen glauben, dass sie Physik nicht für ihre berufliche Zukunft brauchen (Mittelwert <2), aber auch Schüler maßen dem wenig Bedeutung zu (Mittelwert <2,5). Ähnlich niedrig fielen die Mittelwerte bei beiden Geschlechtern (<2) bezüglich der Frage aus, ob die Eltern das Interesse für Physik geweckt hätten. Zwischen dem Gesamtinteresse und den externen Einflussfaktoren wurde eine Korrelation nach Pearson von 0,53 mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von unter 1% ermittelt.

4.7. Themenkomplex 7 – Berufswunsch

Bei der Frage nach den Berufswünschen zeigte sich, dass weder Schüler noch Schülerinnen einen Beruf ergreifen wollen, welcher direkt mit Physik zu tun hat. Lediglich 33 Schüler und zehn Schülerinnen antworteten im Bereich "sehr gerne" bis "gerne" (siehe Abb. 10). Bei den Berufswünschen, welche mit Technik zu tun haben, ergab sich, wie in Abbildung 11 zu sehen ist, ein anderes Bild. Während bei Schülerinnen die Antworten "gar nicht gerne" und "nicht gerne" überwiegen, möchte die Mehrheit der Schüler "sehr gerne" beziehungsweise "gerne" einen Beruf ergreifen, welcher mit Technik zu tun hat.

Dazu ist anzumerken, dass einige Schülerinnen und Schüler noch nicht wissen, welchen Beruf sie ergreifen wollen.

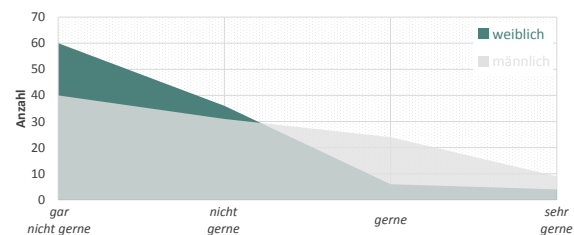


Abb. 10: Berufswunsch mit Physik – Studie 2016.

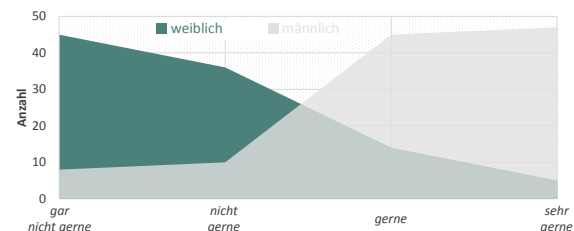


Abb. 11: Berufswunsch mit Technik – Studie 2016.

4.8. Themenkomplex 8 – Relevanz des Physikunterrichts

Bei der Einstufung der Relevanz des Physikunterrichts für die Schülerinnen und Schüler gab es keine nennenswerten Unterschiede zwischen den Ge-

schlechtern. So herrscht der Konsens, dass jeder Physik in der Schule lernen soll, dass der Physikunterricht Neugierde wecke und dass der Unterricht in Physik interessant sei. Ebenso denken die Lernenden, dass sie der Physikunterricht weder kritischer noch skeptischer gemacht hat sowie dass ihnen der Unterricht eher nicht die Augen für neue spannende Berufe geöffnet hat.

Im Vergleich von Schülerinnen und Schülern der 7. Schulstufe und der 8. Schulstufe kam es wieder zu einem Rückgang der Mittelwerte, lediglich bei der Frage "ob der Physikunterricht kritischer und skeptischer gemacht hat" erhöhte sich der Mittelwert minimal. Zwischen dem Gesamtinteresse und der Relevanz ergab sich eine Korrelation nach Pearson von 0,62 mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von unter 1%.

4.9. Themenkomplex 9 – Genderaspekt

Beim Genderaspekt fiel stark auf, dass sich die Lernenden bei der Beantwortung der Fragen unsicher waren. So lag die Unsicherheit bei einem Großteil der Items im Bereich von 20% bis 40%.

Insgesamt erreichten Schülerinnen in diesem Themenkomplex im Schnitt höhere Mittelwerte als Schüler. Jedoch liegt durch die fünfstufige Antwortskala eine Besonderheit bei diesem Themenkomplex vor. Je nach Item ist entweder nur die Antwort "trifft sehr gut zu" oder "trifft gar nicht zu", welche mit fünf Punkten bewertet wurden, richtig. Daher können weder die erreichten Mittelwerte der Schülerinnen (Mittelwert 3,63) noch jene der Schüler (Mittelwert 3,30) als aussagekräftig betrachtet werden. Lediglich vier Schülerinnen und drei Schüler erreichten den optimalen Mittelwert von 5,0.

Im Vergleich von Schülerinnen und Schülern der 7. Schulstufe und der 8. Schulstufe kam es zu einer Erhöhung des Mittelwerts von 3,40 auf 3,57.

In einem weiteren Schritt wurden die Mittelwerte der Schülerinnen im Bereich des Genderaspektes in Korrelation zur Selbsteinschätzung gesetzt. Dabei ergab sich eine positive Korrelation nach Pearson von 0,28 mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von weniger als 1%.

5. Fazit

Mit der Interessensstudie 2016 wurden die Ergebnisse der Interessensstudie 2015 [1] in Teilen überprüft und erweitert.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass im Themenkomplex 1 (Fragen zu deinem Interesse) die starke Kontextabhängigkeit des Interesses an Physik – wie auch in vorangegangenen Studien – bestätigt wurde. Darüber hinaus zeigten sich Unterschiede zwischen den Geschlechtern. Die Ergebnisse der Interessenskurve über die einzelnen Schulstufen hinweg, zeigten – mit der Literatur übereinstimmend – dass das Interesse mit steigender Schulstufe abnimmt. Dabei ist vor allem hervorzuheben, dass Schülerinnen und Schüler, welche das 1. Jahr Physik

als Unterrichtsfach hatten, die höchsten Mittelwerte erreichen konnten. Dieser Umstand spricht dafür, dass bei den Schülerinnen und Schülern ein großes Sachinteresse vorhanden ist, welches aber nach kurzer Zeit von einem geminderten Fachinteresse gedämpft wird. Nichts desto trotz zeigt es sich auch in dieser Studie, dass Schüler grundsätzlich interessierter an der Physik sind als Schülerinnen.

Bei den interessanten Tätigkeiten im Physikunterricht sind die handwerklich-aktiven und kognitiv-aktiven Tätigkeiten bei den Schülerinnen und Schülern sehr beliebt, während sie kognitiv-passive und physikalisch-wissenschaftliche Tätigkeiten eher weniger schätzen. Vergleicht man die Studien 2015 [1] und 2016 miteinander, so fällt auf, dass die Reihung der Tätigkeiten bzw. deren Interessenswerte zum überwiegenden Teil gleich sind, trotz der verschiedenen befragten Altersgruppen.

Die Ergebnisse zeigen auf, dass Experimente im Unterricht immer noch vermehrt von der Lehrperson vorgezeigt werden. Dabei zeigte sich, dass diese vor allem mit Alltagsgegenständen durchgeführt werden. Ein Indiz dafür, dass Freihandexperimente weiterhin auf dem Vormarsch sind. Als entscheidendes Ergebnis stellt sich heraus, dass Schülerinnen und Schüler, welche vermehrt experimentieren – ob in der Schule oder zuhause, ob aktiv oder passiv –, ein höheres Gesamtinteresse an Physik zeigen.

Als wesentliches Ergebnis lässt sich festhalten, dass es im Bereich der Fächerbeliebtheit im Vergleich zum Vorjahr [1] zu einer Änderung kam. "Physik" ist insgesamt betrachtet nicht mehr bei den beliebtesten Fächern vertreten. Bei der diesjährigen Interessensstudie 2016 liegt es mit dem zehnten Gesamtrang lediglich im hinteren Mittelfeld, aber noch vor "Biologie und Umweltkunde" sowie "Mathematik". Wobei es zu beachten gilt, dass sich die Studien nicht nur in der Altersgruppe, sondern auch im Fragebogen bezüglich dieses Punktes unterscheiden.

In Bezug auf Physik und Medien scheint es, als ob die Schülerinnen und Schüler keinen bewussten Bezug zwischen beispielsweise der populären TV-Sitcom "The Big Bang Theory" und der Physik an sich herstellen.

Bei der Selbsteinschätzung liegen beide Geschlechter im mittleren bis guten Bereich, wobei insgesamt betrachtet Schülerinnen einen etwas höheren Mittelwert erreichen als Schüler, welche hingegen bei den Fragen zur Schwierigkeit und zum Stoffverständnis vorne liegen.

Zwischen den experimentellen Tätigkeiten, der Selbsteinschätzung, den externen Einflussfaktoren und der Relevanz besteht ein Zusammenhang mit dem Interesse der Schülerinnen und Schüler an Physik.

Bei Betrachtung des Berufswunsches zeigt sich, dass Schüler zwar einen Beruf ergreifen wollen, welcher (in-/direkt) mit Physik zu tun hat, sie sich dieser

Tatsache aber nicht bewusst sind, da sie zur Technik "ja", aber zur Physik "nein" sagen.

Erneut zeigte sich, dass Schülerinnen und Schüler dem Physikunterricht eher wenig Relevanz zumessen. Dennoch sprechen sie sich dafür aus, dass jeder in der Schule Physik lernen sollte.

Viele Schülerinnen, vor allem aber Schüler, sind im Bereich der Genderthematik unsicher oder denken in klassischen Geschlechterstereotypen. Vor allem bei den Schülerinnen wurde eine Korrelation zwischen der Gendersensibilität und der Selbsteinschätzung in Physik festgestellt. Es wäre daher wichtig, dass die Schülerinnen und Schüler in diesem Bereich stärker sensibilisiert werden.

6. Literatur

- [1] Herbst, M.; Fürtbauer, E. M., & Strahl A. (2016): Interessensforschung Physik - die Salzburg-Studie. PhyDid B - Didaktik der Physik, 2016.
- [2] Bayrhuber, H.; Bögeholz, S.; Elster, D.; Hammann, M.; Höble, C.; Lücken, M.; Mayer, J.; Nerdel, C.; Neuhaus, B.; Prechtel, H. & Sandmann, A. (2007): Biologie im Kontext – Ein Programm zur Kompetenzförderung durch Kontextorientierung im Biologieunterricht und zur Unterstützung von Lehrerprofessionalisierung. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, 60 (5), 282–286.
- [3] Jenkins, E.W. (2005): The Student Voice in Science Education: Research and Issues. *Journal of Baltic Science Education*, 7, 22–30.
- [4] Lehrke, M. (1988): Interesse und Desinteresse am naturwissenschaftlich-technischen Unterricht. Kiel.
- [5] Gunacker, E. & Lex, E. (1998): Der Physik- und Chemieunterricht aus der Sicht des Schülers. Bericht einer Untersuchung an steirischen Hauptschulen. In: *Plus Lucis*, 1, S. 7–12.
- [6] Häußler, P.; Bünder, W.; Duit, R.; Gräber, W. & Mayer, J. (1998): Naturwissenschaftsdidaktische Forschung Perspektiven für den Unterricht. Kiel.
- [7] Hoffmann, L.; Häußler, P. & Lehrke, M. (1998): Die IPN-Interessensstudie Physik. Kiel.
- [8] Merzyn, G. (2008): Naturwissenschaften Mathematik Technik - immer unbeliebter? Hohengehren: Schneider Verlag Hohengehren.
- [9] Sasol-Studie (2005): Zu den beliebtesten Schulfächern. Durchgeführt im November 2004 vom IJF Institut für Jugendforschung München.
- [10] Daniels, Z. (2008): Entwicklung schulischer Interessen im Jugendalter. Zugl.: Potsdam, Univ., Diss., 2004.
- [11] Schiefele, U. (1992): Topic interest and levels of text comprehension. In: Renninger, K.A.; Hidi, S. & Krapp, A. (Hrsg.): *The Role of Interest in Learning and Development*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum, S. 151–182.
- [12] Ferdinand, H.D. (2014): Entwicklung von Fachinteresse: Längsschnittstudie zu Interessenverläufen und Determinanten positiver Entwicklung in der Schule. Münster, New York: Waxmann (Pädagogische Psychologie und Entwicklungspsychologie, 89).
- [13] Krapp, A. (1992): Konzepte und Forschungsansätze zur Analyse des Zusammenhangs von Interesse, Lernen und Leistung. In: Krapp, A. & Prenzel, M. (1992): *Interesse, Lernen, Leistung: Neuere Ansätze der pädagogisch-psychologischen Interessensforschung*, S. 9–40, Aschendorff Verlag, Münster.
- [14] Krapp, A. (2003): Interest and human development: An educational-psychological perspective. *British Journal of Educational Psychology, Monograph Series II, Part 2 (Development and Motivation: Joint Perspectives)*, 2003, S. 57–84.
- [15] Korte, S. (2015): Die Grenzen der Naturwissenschaft als Thema des Physikunterrichts. Berlin: Logos Verlag Berlin (Studien zum Physik- und Chemielernen).
- [16] Strahl, A. & Preußler, I. (2014): Fachdidaktik der Naturwissenschaften unter besonderer Berücksichtigung der Physik. *BoD-Books on Demand*, Braunschweig.
- [17] Gardner, P. (1987): Schülerinteressen an Naturwissenschaften und Technik. In: Lehrke, M. & Hoffmann, L.: *Schülerinteressen am Naturwissenschaftlichen Unterricht*. Köln: Aulis Verlag Deubner, S. 13–39.
- [18] Löwe, B. (1992): Biologieunterricht und Schülerinteresse an Biologie. Weinheim: Deutscher Studien Verlag.
- [19] Rathunde, K. (1992): Serious Play: Interest and adolescent talent development. In Krapp, A. & Prenzel, M. (Hrsg.). *Interesse, Lernen, Leistung*. Münster: Aschendorff, S. 137–164.
- [20] Upmeyer zu Belzen, A.; Vogt, H.; Wieder, B. & Christen, F. (2002): Schulische und außerschulische Einflüsse auf die Entwicklungen von naturwissenschaftlichen Interessen bei Grundschulkindern. In: Prenzel, M. & Doll, J. (Hrsg.): *Bildungsqualität von Schule und außerschulischen Bedingungen mathematischer, naturwissenschaftlicher und überfachlicher Kompetenzen*. Beiheft zur Zeitschrift für Pädagogik 45. Weinheim/Basel: Beltz, S. 291–307.
- [21] Wensierski, H.J. (2015): Technik und Naturwissenschaft im Jugendalter: Techniksozialisation und Fachorientierungen im Geschlechtervergleich – eine empirische Schülerstudie. Opladen, Berlin, Toronto: Verlag Barbara Budrich (Studien zur Technischen Bildung, 3).
- [22] Höffler, T.N.; Lüthjohann, F. & Parchmann, I. (2014): Welche Wirkungen erzielt ein naturwissenschaftlicher Anfangsunterricht? *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 20(1), 87–99.

- [23] Dietze, J.; Gehlhaar, K.H. & Klepel, G. (2005): Untersuchungen zum Entwicklungsstand von Biologieinteressen bei Schülerinnen und Schülern der Sekundarstufe II. In: Klee, R., Sandmann, A. & Vogt, H. (Hrsg.). Lehr- und Lernforschung in der Biologiedidaktik. Band 2. Innsbruck/Wien/Bozen: Studienverlag (2005), S. 133–145.
- [24] Eder, F. (1992): Schulklima und Entwicklung allgemeiner Interessen in der Schule. In: Krapp, A. & Prenzel, M. (Hrsg.). Interesse, Lernen, Leistung. Münster: Aschendorff (1992), S. 165–194.

Cognitive Load und Aufgabenmerkmale

- Verwendung von Zusatzfragen bei authentischen Problemen -

Dennis Jaeger*, Christos Itsios⁺, Torsten Franz*, Rainer Müller*

*Technische Universität Braunschweig, Institut für Fachdidaktik der Naturwissenschaften, Abteilung Physik und Physikdidaktik

⁺Universität Duisburg-Essen, Fakultät für Mathematik, Didaktik der Mathematik
dennis.jaeger@tu-bs.de, christos.itsios@uni-due.de, torsten.franz@tu-bs.de, rainer.mueller@tu-bs.de

Kurzfassung

Ziel der vorgestellten Vorstudie ist es, einen Beitrag zu der Frage zu liefern, ob es durch Angabe von allgemeinen Lösungsstrategien möglich ist, den Erfolg von Schülerinnen und Schülern beim Lösen von Physikproblemen zu beeinflussen. Hierzu haben wir eine Studie mit 84 Schülerinnen und Schülern durchgeführt, die ein Problem in einem authentischen Kontext entweder mit, oder ohne unterstützender Zusatzfragen lösen sollten. Neben der Leistung beim Lösen erheben wir die kognitive Belastung sowie die aktuelle Motivation und untersuchen, ob diese Mediatorfunktionen bezüglich des Erfolgs ausfüllen. Um trotz der geringen Anzahl an Probanden Aussagen treffen zu können, wurden die Gruppen bezüglich zwölf Personenvariablen (u.a. Vorwissen, Leseverständnis, Vornoten) parallelisiert. In unserer Studie ergeben sich keine signifikanten Einflüsse der Verwendung von Zusatzfragen. Die verwendeten kurzen Maße für die kognitive Belastung und aktuelle Motivation konnten überprüft werden. Zudem zeigte sich, dass die kognitive Belastung einen wichtigen Einflussfaktor auf die Leistung im Problemlöseprozess darzustellen scheint.

1. Einleitung

Nicht erst seit den vergleichenden Schulstudien (PISA, TIMSS etc.) interessiert man sich in der Fachdidaktik dafür, welche Merkmale einen Einfluss auf das erfolgreiche Lösen von Problemen durch Schülerinnen und Schüler haben. Hierbei ist es auch Aufgabe des Unterrichts, Schülerinnen und Schülern erfolgreiche Lösestrategien zu vermitteln.

In dieser Arbeit stellen wir Ergebnisse einer Untersuchung vor, inwieweit das explizite Vermitteln von Lösestrategien in Form von Zusatzfragen einen Einfluss auf den Erfolg beim Lösen eines Problems hat. Wir untersuchen dabei Probleme, die in einen authentischen Kontext eingebettet sind. Hierbei sind wir insbesondere daran interessiert, den Einfluss der Zusatzfragen auf die kognitive Belastung der Lernenden und auf die Leistung beim Lösen des Problems und zudem eine potentielle Mediatorrolle [10] der kognitiven Belastung zu untersuchen. Die Auswertung basiert auf Daten, die im Rahmen einer Masterarbeit [3] erhoben wurden.

1.1. Hintergrund der Cognitive Load Theory

Die Cognitive Load Theory beschäftigt sich mit der kognitiven Belastung des Menschen. Als solche wird jede Art von Anforderung an das Arbeitsgedächtnis interpretiert. Es wird davon ausgegangen, dass das menschliche Gedächtnis in ein sehr limitiertes Arbeitsgedächtnis und ein nahezu unbeschränktes Langzeitgedächtnis eingeteilt werden kann. Um

neue Anforderungen zu verarbeiten, werden mit Hilfe der Sinnesorgane gewonnene Informationen, sowie Informationen aus dem Langzeitgedächtnis in das Arbeitsgedächtnis geladen. Man unterscheidet zwischen intrinsischen Belastungen und extrinsischen Belastungen. Die Cognitive Load Theory legt nahe, dass eine Überlastungssituation eintritt, falls die Summe aus beidem die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses überschreitet. Die Aufgabe ist dann nicht mehr lösbar. Auf der anderen Seite darf die Aufgabe nicht zu leicht sein, um eine Unterforderungssituation zu vermeiden [14].

Mit Blick auf das Bearbeiten einer physikalischen Problemstellung führen Anforderungen, die mit dem Material verknüpft und intendiert sind, zu einer intrinsischen Belastung, während eine ungünstige Art und Weise der Gestaltung des Materials, sich in einer extrinsischen Belastung widerspiegelt [15]. Anhand dieser Unterscheidungen wird ersichtlich, dass eine zentrale Forderung der Cognitive Load Theorie für Instruktionsmaterialien die Reduktion der extrinsischen Belastung darstellt. Ist das Lern- und Übungsmaterial auf diese Weise adäquat an die Bedürfnisse der Lernenden angepasst, kann eine sinnvolle Beschäftigung mit dem Problem stattfinden. Prozesse, die allgemein als lernförderlich gelten, wie der Aufbau semantischer Netze [1], die bewusste Anwendung von Strategien, Abstrahierungen von Schemata, Umstrukturierungen von Repräsentationen des Problems, sowie metakognitive Prozesse können dann ermöglicht werden [14].

1.2. Zusatzfragen als Hilfe beim Lösen von Problemen

Die Frage, welche Strategien beim Lösen von Problemen erfolgreich sind, wurde von verschiedenen Seiten untersucht. Ein Standardwerk der Mathematik zu diesem Thema stammt von G. Polya aus dem Jahr 1944. In diesem Buch beschreibt Polya, wie mathematische Probleme strukturiert, organisiert und systematisch durchdacht werden können. Er empfiehlt hier unter anderem, sich an bestimmten Leitfragen zu orientieren.

Ob der Einsatz solcher Zusatzfragen auch beim Lösen von Problemen im Fach Physik hilfreich ist, wurde in einer vorherigen Studie bereits untersucht [20]. Hier wurde ein leicht negativer Effekt der Zusatzfragen auf die Lösung der Aufgaben beobachtet, jedoch wurden in dieser ersten Untersuchung kaum Personenvariablen kontrolliert und es wurde auch keine Verbindung zur kognitiven Belastung untersucht.

In unserer Studie haben wir einem Teil der Probanden Zusatzfragen zu ihrem Problem gegeben, welche sie beantworten sollten. Diese basieren auf den Originalfragen von [21] und den Fragen aus [20]. Eine Beispielfrage lautet:

Versuche die Aufgaben in eigenen Worten im Kopf wiederzugeben. Finde heraus, welche Informationen gegeben sind und welche bestimmt werden müssen.

1.3. Hintergrund zur Verwendung authentischer Kontexte

Die Forderung nach der Verwendung authentischer Kontexte im Physikunterricht wird schon seit langer Zeit erhoben. Man verspricht sich hier einerseits zusätzliche Motivation beim Bearbeiten, da die Lernenden den Problemen mehr Bedeutung zuschreiben und ihre Interessen besser angesprochen werden und andererseits einen verbesserten Erwerb der Kompetenz, das Gelernte auf alltägliche Situationen anzuwenden, anstatt lediglich träges Wissen zu generieren [9].

Unter authentisches Material verstehen wir Material, welches folgende Kriterien erfüllt: 1. Das Thema des Problems ist real existent und nicht für die Aufgabe konstruiert. 2. Das Material entstammt einer realen Quelle, beispielweise einer Zeitungsnachricht und ist möglichst unverändert entnommen. 3. Das Thema soll für viele Menschen bedeutsam sein.

1.4. Spannungsfelder

Betrachtet man die Verwendung von Zusatzfragen und ebenso den Einsatz von authentischen Kontexten aus der Sicht der Cognitive Load Theory, ergeben sich verschiedene Spannungsfelder.

So sollte sich die Verwendung von strukturierenden Fragen positiv auf die Wahrscheinlichkeit auswirken, ein gegebenes Problem zu lösen, da durch die strukturierte Herangehensweise mentale Ressourcen geschont werden. Gleichmaßen müssen Ressourcen aufgewendet werden, um die Zusatzfragen zu verstehen und zu beantworten. Ob die Verwendung solcher Fragen netto eine Verbesserung oder Verschlechterung darstellt, lässt sich a priori nicht vorhersagen.

Ein ähnliches Spannungsfeld existiert bei der Verwendung authentischer Kontexte: Die erwartete Motivationssteigerung sollte zu einer Mobilisierung zusätzlicher Ressourcen des Arbeitsgedächtnisses führen und eine effizientere Verarbeitung durch mögliches Anknüpfen an bekannte Informationen aus dem Langzeitgedächtnis führen, was die Lösewahrscheinlichkeit eher erhöht. Gleichzeitig wird das Arbeitsgedächtnis aber durch die zusätzlichen und potentiell ablenkenden Rahmeninformationen des Kontextes belegt, was zu einer Verringerung der Lösewahrscheinlichkeit führen sollte. Erste Hinweise zur Untersuchung dieses Spannungsfeldes sind in [6] und [7] zu finden.

2. Fragestellung

Wir untersuchen den Einfluss von strukturierenden Zusatzfragen auf die kognitive Belastung und die Leistung beim Lösen eines physikalischen Problems aus einem authentischen Kontext. Unser Problem ist dem Themenbereich Mechanik und hier dem Bereich „gleichförmige Bewegung“ zugeordnet.

Wir untersuchen folgende Unterschiedshypothesen bezüglich der Verwendung von Zusatzfragen:

H1) Es gibt einen Unterschied in der Leistung beim Problemlöseprozess.

H2) Es gibt einen Unterschied in der kognitiven Belastung.

H3) Es gibt einen Unterschied in der aktuellen Motivation.

Darüber hinaus wird der Frage nachgegangen, ob sich die kognitive Belastung und die aktuelle Motivation als Mediator der Aufgabenvariable (hier die Existenz von Zusatzfragen) und der Personenvariablen modellieren lassen (vgl. Abbildung 1).

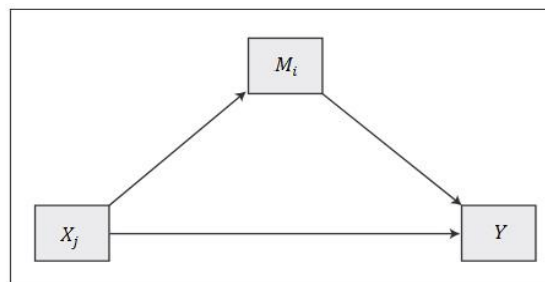


Abb. 1 Pfadmodell zur Mediatorhypothese – angelehnt an [18]. Die X_j stellen die Aufgabenvariable sowie die Personenvariablen dar, während die M_i die möglichen Mediatoren Cognitive Load und aktuelle Motivation und Y die Leistung im Problemlöseprozess darstellen.

3. Studiendesign

An der Untersuchung nahmen drei Schulklassen der Jahrgangsstufe 8 mit insgesamt 43 Schülerinnen und 40 Schülern im Alter von 12 bis 15 Jahren an zwei Gymnasien teil. Alle Schulklassen haben die Thematik „gleichförmige Bewegung“ bereits behandelt. Während dies in einer Klasse zum Erhebungszeitpunkt I ca. ein Jahr zurückliegt, haben zwei Klassen fünf Wochen zuvor die „gleichförmige Bewegung“ thematisiert.

Die Studie umfasste zwei Erhebungstermine Anfang bis Mitte Dezember 2016, zwischen denen genau eine Woche Zeit lag. Jeder Termin nahm eine Schulstunde (45 Minuten) in Anspruch. Zu Erhebungstermin I wurden für den Problemlöseprozess möglicherweise relevante Personenvariablen erhoben. Diese Daten wurden für eine Parallelisierung der beim zweiten Termin eingeteilten zwei Gruppen verwendet. Während die Gruppen identisches Instruktionsmaterial bekamen, unterschieden sie sich in den Arbeitsaufträgen dahingehend, dass Gruppe 1 diese mit Zusatzfragen erhielt und Gruppe 2 diese nicht erhielten. In Tabelle 1 ist ein Überblick über das Studiendesign und die betrachtete Variablen zu finden.

Variablen	Quelle
Abhängige Variable (in Abbildung 1: Y)	
Leistung im Problemlöseprozess (Anzahl der Punkte nach Manual)	[3]
Mediatorvariablen (in Abbildung 1: M_i)	
Kognitive Belastung	[13],[5], [11]
Aktuelle Motivation	[8]
Unabhängige Variablen (in Abbildung 1: X_j)	
Aufgaben mit und ohne Zusatzfragen	[3], [21]
Geschlecht	-
Alter	-
Mathematiknote	-
Physiknote	-
Deutschnote	-
Intrinsische Motivation	[6]
Selbstkonzept	[6]
Alltags- und Realitätsbezug des Physikunterrichts	[6]
Kognitiver Fähigkeits-Test (Q2)	[2]
Leseverständnis	[17]
Lesegeschwindigkeit	[17]
Vorwissenstest zur gleichförmigen Bewegung	[3]

Tab.1 Überblick Studiendesign und Variablen

3.1. Messinstrumente zum Zeitpunkt I

Die zum Zeitpunkt I erhobenen personenspezifischen Variablen sind in Tabelle 1 unter „unabhängige Variablen“ zu finden. Bis auf den Vorwissenstest handelt es sich dabei um bereits aus der Literatur bekannte bewährte Testinstrumente. Um das Vorwissen zu erheben wurde im Rahmen der Untersuchung ein entsprechender Vorwissenstest entwickelt [itsios], der jedoch nach Streichung ungenügender Items eine nicht ausreichende Reliabilität von $\alpha \approx 0,4$ aufwies und im Folgenden keine Bedeutung haben wird.

3.2. Parallelisierung

Die Parallelisierung fand in der Woche zwischen den Erhebungsterminen statt und erfolgte klassenweise. Dazu wurden die Schülerinnen und Schüler einer Klasse so auf zwei Gruppen verteilt, dass diese sich in allen Variablen statistisch nicht unterscheiden. Die über die Variablen minimale asymptotische Signifikanz des Mann-Whitney Testes betrug $p_{\min} = 0,3$.

Die klassenweise Parallelisierung passt in natürlicher Weise zum Studiendesign und hat den Vorteil, dass unbeobachtete, klassenspezifische Variablen (wie z.B. Lehrervariable oder Umgebungsvariablen) auf die Gruppen gleichverteilt werden.

Sollten sich entsprechend der Hypothesen Unterschiede in den Gruppen zeigen, sind diese mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht auf die zwölf personenspezifischen Variablen, sondern tendenziell eher auf das unterschiedliche Instruktionsmaterial zurückzuführen.

3.3. Untersuchungsmaterial zum Zeitpunkt II

Das Untersuchungsmaterial des Erhebungstermins II besteht aus dem Instruktionsmaterial und den zugehörigen vier Arbeitsaufträgen. Bei der Konstruktion wurden verschiedene Anforderungen an das Material gestellt. Es sollte die oben genannten Kriterien der Authentizität erfüllen, aus motivationalen Gründen dem Interessensbereich „Mensch und Natur“ [9] zuzuordnen sein und eher ein Problem als eine Aufgabe im Sinne von [12] darstellen. Das verwendete Material bestand aus einem verkürzten Zeitungsartikel über den Taifun „Haiyan“ [22], welcher die extremen Auswirkungen des Sturmes auf den Philippinen beschreibt und die Notwendigkeit einer verlässlichen Vorhersage motivieren soll. Weiterhin erhalten die Schülerinnen und Schüler eine Karte der Region (inklusive Maßstab) mit den originalen Positionsdaten des Taifuns [23]

Einer von vier sich anschließenden Arbeitsaufträgen sei hier exemplarisch genannt:

Aufgabe 3

Erstelle eine Vorhersage, wann der Taifun die Küste der Philippinen erreicht.

Nach jedem Arbeitsauftrag werden die Schülerinnen und Schüler gebeten, eine Einschätzung der kognitiven Belastung und ihrer Motivation abzugeben. Um die kognitive Belastung zu messen, verwenden wir insgesamt drei Items mit siebenstufiger Skalierung. Unsere Items basieren auf den in [11] und in älteren Studien [5], [11] verwendeten Items.

Alternative Möglichkeiten, die kognitive Belastung zu messen, finden sich beispielsweise in [6], wo die Belastung durch Textschwierigkeit mit sieben Items untersucht wird. In [11] werden elf Items zur Messung des Cognitive Loads verwendet, während in [24] lediglich zwei Items isoliert und in [4] nur ein Item betrachtet wird. Für unsere Studie war eine zeit-ökonomische Messung der Belastung wichtig und es sollten verschiedene Aspekte des Konstrukts erfasst werden, weswegen wir uns für eine Messung mit drei Items entschieden haben.

Nach [13] ist bei der Verwendung solcher Items zur kognitiven Belastung insbesondere die aktuelle Motivation, bzw. die Bereitschaft, sich in dem Moment mit der Aufgabe zu beschäftigen von Bedeutung. Daher wurden zudem drei Items als Indikator für die aktuelle Motivation nach [8] nach jeder Aufgabe eingesetzt.

In dieser Studie zeigten sich zufriedenstellende Reliabilitäten der Skalen zur kognitiven Belastung und zur aktuellen Motivation $\alpha = 0,7$ bis $\alpha = 0,9$ mit Trennschärfen größer 0,4.

Zudem zeigte sich im Rahmen einer Faktorenanalyse mit diesen sechs Items eine Eindimensionalität der Skalen, die zudem stark entlang zweier unabhängiger Faktoren laden (vgl. Abbildung 2).

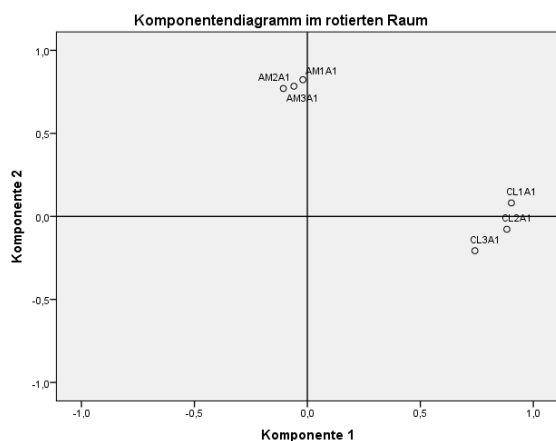


Abb. 2 Ladungsdiagramm zur Faktorenanalyse der Items zur aktuellen Motivation (AM-Items) und zum Cognitive Load (CL-Items) exemplarisch bei Aufgabe 1.

4. Ausgewählte Ergebnisse

Von den insgesamt 83 Teilnehmenden waren nur 69 Lernende an beiden Untersuchungszeitpunkten

anwesend. Je nach Fragestellung konnte also bei der Auswertung eine Stichprobengröße von minimal 69 und maximal 83 berücksichtigt werden.

4.1. Unterschiedshypothesen

Zur Untersuchung der Hypothesen wurden die aktuelle Motivation und die kognitive Belastung je Aufgabe aus den jeweils drei Items mittels konfirmatorischer Faktorenanalyse ermittelt.

Mit Hilfe des Mann-Whitney U-Test lassen sich weder über alle Aufgaben, noch bei Betrachtung der einzelnen Aufgaben signifikante Unterschiede in der Leistung im Problemlöseprozess zwischen den beiden Gruppen finden ($p \approx 0,58$). Ein Effekt entsprechend der Hypothese ist damit sehr unwahrscheinlich, sodass Hypothese 1 verworfen wird.

Bezüglich Hypothese 2 lassen sich Tendenzen der Mittelwerte dahingehend erkennen, dass das Material mit Zusatzfragen mit einem höheren Load einherzugehen scheint. Jedoch ist dieser Mittelwertunterschied nicht über alle Aufgaben hinweg konsistent und statistisch nicht signifikant (p -Werte zwischen 0,4 und 0,8).

Auch Hypothese 3 wird auf Grund fehlender signifikanter Unterschiede verworfen. Hier lässt sich jedoch über alle Aufgaben hinweg die Tendenz erkennen, dass die Existenz von Zusatzfragen mit einer geringeren aktuellen Motivation einherzugehen scheint (p -Werte zwischen 0,06 und 0,8).

Abschließend lässt sich festhalten, dass keine Unterschiede in der Leistung, der aktuellen Motivation und der kognitiven Belastung bei der Verwendung oder Nichtverwendung von Zusatzfragen, wie sie hier eingesetzt wurden, festzustellen sind. Tendenziell geht ihre Verwendung jedoch mit einer eher geringeren Motivation einher, sich mit der Thematik zu befassen.

4.2. Pfadanalyse

Im Folgenden soll ein grober Einblick in das in Abbildung 1 dargestellte Pfadmodell gewonnen werden. Es sei jedoch erwähnt, dass die Stichprobengröße mit $N = 69$ hier für eine sinnvolle Schätzung nur bedingt ausreichend ist. Während die Stichprobengröße für mittlere Mediatoreffekte nahezu hinreichend erscheint [19], ist diese für eine multiple Regression mit 13 Variablen bei weitem zu gering. Mit GPower lässt sich die notwendige Stichprobengröße auf ca. 190 schätzen. Daher können hier im Allgemeinen nur Hinweise und Tendenzen gefunden werden. Der Vollständigkeit halber und mit Ausblick auf kommende Studien soll dies hier dennoch kurz geschehen.

Zur Untersuchung der Mediatorhypothese im Sinne des Pfadmodells in Abbildung 1 wird das Macro Process [18] verwendet.

Nach Streichung nicht signifikanter Pfade verbleiben die Mathematiknote (Noten von 1 bis 5), das Geschlecht (1: männlich, 2: weiblich) und die kognitive Belastung im Modell vgl. Abbildung 3.

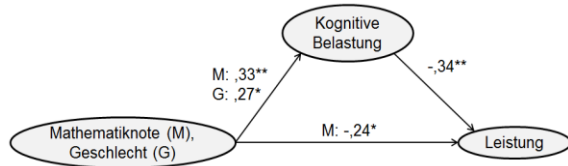


Abb. 3 Pfadmodell zur Mediatoranalyse vgl. Abbildung 1. * stellt signifikante Pfade ($p < 0,05$) dar, während ** hochsignifikante Pfade ($p < 0,01$) meint.

In Abbildung 3 finden sich jeweils die standardisierten Regressionskoeffizienten. Exemplarisch bedeutet das, dass für die kognitive Belastung zweier Lernenden, die sich in ihrer Mathematiknote um eine Standardabweichung unterscheiden, ein Unterschied von 0,33 Standardabweichungen vorhergesagt wird.

Es zeigt sich, dass eine schlechtere Vorleistung im Fach Mathematik (größere Note) mit einer größeren kognitiven Belastung einhergeht. Weiter zeigt sich, dass Mädchen tendenziell eine höhere kognitive Belastung angeben. Zudem ist der recht große negative Einfluss der kognitiven Belastung auf die Leistung im Problemlöseprozess bemerkenswert. Die zu untersuchende Mediationsrolle der kognitiven Belastung von Zusatzfragen auf die Leistung konnte hier nicht gefunden werden. Ein solcher indirekter Effekt lässt sich hier, wie in Abbildung 3 angedeutet, für die Mathematiknote mit Hilfe des Bootstrap-Verfahrens finden.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Wir haben in dieser Studie untersucht, inwieweit Zusatzfragen das Problemlösen beeinflussen. Hierbei konnte bezüglich unserer Hypothesen kein signifikanter Unterschied festgestellt werden. Tendenziell scheinen sie eher leicht demotivierend zu wirken, weswegen wir keinen Grund sehen, die Zusatzfragen in untersuchter Form zum Einsatz zu empfehlen.

Dies könnte unter anderem darin begründet sein, dass die Zusatzfragen im Sinne Polyas nicht für vergleichsweise kleine Probleme wie sie in dieser Studie vorkommen, konstruiert wurden, sondern für mathematische Probleme, die erheblich komplexer sind und mit denen man dementsprechend mehr Zeit verbringt. Ein entsprechend positiver Effekt würde sich dann erst bei komplexeren Problemen zeigen.

Im Rahmen dieser Studie konnten weiterhin die Items zur Messung der kognitiven Belastung und der aktuellen Motivation für die Verwendung nach jeder Aufgabe untersucht werden. Die Eindimensionalität der hier verwendeten Items und hinreichende Reliabilitäten konnten gezeigt werden.

Die mit Hilfe von konfirmatorischen Faktorenanalysen aus diesen Items erhaltene kognitive Belastung

scheint einen wichtigen Einflussfaktor auf die Leistung im Problemlöseprozess darzustellen. Es scheint daher lohnend, dies näher mit Hilfe einer größeren Stichprobe im Rahmen eines Strukturgleichungsmodells genauer zu untersuchen und dabei den Fokus auf das Spannungsfeld kognitive Belastung versus Authentizität des Problems zu legen.

6. Literatur

- [1] Friege, G., Lind, G., Reinhold, P. (1999). Wissenszentriertes Problemlösen in der Physik. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, Jg. 5, Heft 1, S.41-62.
- [2] Heller, K., Perleth, C. (2000). KFT 4-12+R, Kognitiver Fähigkeiten-Test für 4. Bis 12. Klassen: Revision-Materialien-Koffer. Göttingen: Beltz Test.
- [3] Itsios, C. (2017). Aufgabenschwierigkeit und Cognitive Load – unterstützende Zusatzfragen beim Lösen einer authentischen Physikaufgabe. Masterarbeit, TU Braunschweig.
- [4] Jaeger, D., Müller, R., Franz, T. (2016). Aufgabenschwierigkeit und Cognitive Load. GDGP Tagungsband (eingereicht)
- [5] Kalyuga, S., Chandler, P., Sweller, J. (1999). Managing Split-attention and Redundancy in Multimedia Instruction. Applied Cognitive Psychology, (13), 351-371.
- [6] Kuhn, J. (2010). Authentische Aufgaben im theoretischen Rahmen von Instruktionen- und Lehr-Lern-Forschung: Effektivität und Optimierung von Ankermedien für eine neue Aufgabekultur im Physikunterricht. Wiesbaden: Vieweg+Teubner.
- [7] Kuhn, J., Müller, A., Müller, W., Vogt, P. (2010). Kontextorientierter Physikunterricht. Konzeptionen, Theorien und Forschung zu Motivation und Lernen. PdN-PhiS 5/59.
- [8] Maynard, D. C., Hakel, M. D. (1997). Effects of objective and subjective task complexity on performance. Human Performance, 10(4), 303-330.
- [9] Müller, R. (2006). Physik in interessanten Kontexten. Handreichung für die Unterrichtsentwicklung.
- [10] Nesbit, J.C., Hadwin, A.F. (2006). Handbook of Educational Psychology. Methodological Issues in Educational Psychology. Routledge.
- [11] Kuensting, J. (2007). Effekte von Zielqualität und Zielspezifität auf selbstreguliert-entdeckendes Lernen durch Experimentieren. Dissertation Universität Duisburg-Essen. Fachbereich Bildungswissenschaften.
- [12] Funke, J. (2003). Problemlösendes Denken. Stuttgart: Kohlhammer.
- [13] 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.
- [14] Schnotz, W., Kürschner, C. (2007). A Reconsideration of Cognitive Load Theory.

- Educational Psychology Review, 19 (4), 469-508.
- [15] Sweller, J. (1994). Cognitive load theory, learning difficulty, and instructional design. *Learning and Instruction*, 4 (4), 295-312.
- [16] Sweller, J., Ayres, P., Kalyuga S. (2011). *Cognitive Load Theory*. Springer New York Dordrecht Heidelberg London.
- [17] Schlagmüller, M., Ennemoser, M., Schneider, W. (2007). LGVT 6-12 Lesegeschwindigkeits- und -verständnistest für die Klassen 6-12
- [18] Hayes A.F. (2013). *Introduction to Mediation, Moderation, and Conditional Process Analysis. A Regression –Based Approach*. The Guilford Press.
- [19] Baltes-Götz, B. (2015). *Mediator- und Moderatoranalyse per multipler Regression mit SPSS*. Universität Trier. Zentrum für Informations-, Medien- und Kommunikationstechnologie (ZIMK)
- [20] Franz, R., Strahl, A., Henning, T., Franz, T. (2015). Probleme lösen mit begleitenden Zusatzfragen. *PhyDid. B*, DD 06.01
- [21] Polya, G. (1949). *Schule des Denkens*. Berlin.
- [22] Spiegel Online Artikel:
<http://www.spiegel.de/panorama/taifun-haiyan-wirbelsturm-wuetet-auf-den-philippinen-a-932622.html>
- [23] Typhoon Center (2013). *Annual Report on the Activities of the RSMC Tokyo. TY Haiyan*. Japan Meteorological Agency.
- [24] Koenen, J. (2014). *Entwicklung und Evaluation von experimentunterstützten Lösungsbeispielen zur Förderung naturwissenschaftlich-experimenteller Arbeitsweisen. Studien zum Physik- und Chemielernen: Vol. 171*. Berlin: Logos.

Diagnostik experimenteller Strategien: Validierung eines prozessorientierten Instruments

Norman Joußen, Stephan Fraß, Heidrun Heinke

RWTH Aachen University

joussen@physik.rwth-aachen.de, frass@physik.rwth-aachen.de, heinke@physik.rwth-aachen.de

Kurzfassung

Bei der Untersuchung experimenteller Prozesse standen in der Vergangenheit Prozessaspekte während der Durchführung von Realexperimenten nur selten im Mittelpunkt. Einer der Hauptgründe hierfür liegt darin, dass bislang meist Instrumente fehlten, um die während dieser Phase stattfindenden experimentellen Handlungsabfolgen in geeigneter Weise abbilden zu können. Deshalb wurde exemplarisch für die optische Justage bei einem Versuch zum Photoeffekt, den Studierende im Rahmen eines Physikpraktikums an der RWTH Aachen absolvieren, ein vorstrukturiertes Smartpen-Verlaufsprotokoll entwickelt. In diesem sind alle im vorliegenden Experimentierraum möglichen Handlungen abgebildet und in Schritte gegliedert. Durch schrittweises Ankreuzen solcher Handlungen dokumentieren die Studierenden bei diesem probandenfokussierten Ansatz ihre Justage mit dem Protokoll. Durch die Datenaufnahme mit Smartpens ist im Anschluss die zeitliche Schrittabfolge rekonstruierbar. Die so erhobenen Handlungsabfolgen können dann die Grundlage für eine Untersuchung der strategischen Aspekte bilden, die im Kontext der experimentellen Aufgabe auftreten. Für eine konvergente Validierung des entwickelten Smartpen-Verlaufsprotokolls werden die gewonnenen Schrittabfolgen mit denen aus einem objektfokussierten Ansatz verglichen, bei dem dieselben Handlungen indirekt mittels einer am Aufbau implementierten Sensorik erfasst werden. Im Beitrag wird ein erster Einblick in den Vergleich der beiden Datensätze aus probanden- und objekt-fokussierter Erfassung gegeben.

1. Motivation

Die Diagnostik experimenteller Prozesse hat in den letzten Jahren, nicht zuletzt auch durch die Manifestierung des Erwerbs von experimentellen Kompetenzen in den Bildungsstandards durch die Kultusministerkonferenz der Länder [1], eine zunehmende Bedeutung in Deutschland erfahren. Eine ähnliche Entwicklung findet sich aber auch beispielsweise im US-amerikanischen Raum [2]. Die Untersuchung der experimentellen Prozesse während der Durchführung von Experimenten stand bislang dennoch nur selten im Mittelpunkt. Einer der Hauptgründe hierfür liegt darin, dass meist Instrumente fehlten, um den experimentellen Prozess bei der Durchführung von Realexperimenten auch bei größeren Probandengruppen hinreichend vollständig und genau bei vertretbarem Aufwand für die Auswertung der Daten abbilden zu können.

Um dieses Ziel zu erreichen wurden unter anderem vorstrukturierte Protokolle entwickelt, mit deren Hilfe der experimentelle Prozess im Eigenrapport dokumentiert und insbesondere zeitlich aufgelöst werden soll, indem sie während oder nach der experimentellen Durchführung ausgefüllt werden [3, 4, 5]. Jedoch hängt die Qualität dieser Protokolle, insbesondere die darin gegebene zeitliche Auflösung des experimentellen Prozesses, stark von der Kooperation der ausführenden Probanden ab.

Vor diesem Hintergrund wurde exemplarisch für den Prozess der optischen Justage bei einem Praktikumsversuch ein vorstrukturiertes Smartpen-Verlaufsprotokoll entwickelt, das die Studierenden während der optischen Justage ausfüllen [3, 6]. Um die zeitliche Auflösung dieses Formates weiter zu optimieren wurde das Smartpen-Verlaufsprotokoll für eine möglichst niederschwellige Nutzung weiterentwickelt. In der neuen Version sind die im vorliegenden Experimentierraum realisierbaren relevanten experimentellen Handlungen vollständig abgebildet und in Schritte unterteilt. Die Studierenden füllen dabei das Verlaufsprotokoll durch Ankreuzen einer der möglichen Schrittoptionen aus. Durch die Datenaufnahme mit einem Smartpen ist im Anschluss die zeitliche Abfolge der experimentellen Handlungen rekonstruierbar. Dieses Smartpen-Verlaufsprotokoll wurde im Wintersemester 2016/17 erstmalig bei einer größeren Probandengruppe (N = 128) eingesetzt.

Um eine Aussage über die Qualität der mit dem neuen Protokollformat erfassten Prozessdaten zu ermöglichen wurden bei 30% der Probanden die Handlungsabfolgen zusätzlich mit Hilfe der sogenannten objekt-fokussierten Erfassung aufgezeichnet [7, 8].

Konkret wurde der Versuchsaufbau bei diesen Probanden in geeigneter Weise so mit Laserdioden versehen, dass aus den Positionen der Laserspots auf einem hinter dem Versuchsaufbau befindlichen halbtransparenten Schirm auf die Manipulationen am Versuchsaufbau geschlossen werden kann. Hierzu

wird ein Video der zeitabhängigen Laserspots auf dem Schirm aufgezeichnet, dessen Bildmaterial teilautomatisiert ausgewertet wird, bevor die extrahierten Daten weiterverarbeitet werden [7, 8].

Der Einsatz beider Erhebungsinstrumente an einem Versuchsaufbau auf einer optischen Bank ist in Abbildung 1 schematisch dargestellt.

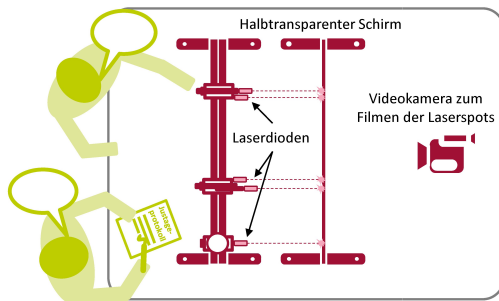


Abb. 1: Schematische Darstellung der probanden- (grün) und objektfokussierten Erfassung (rot) im vorliegenden experimentellen Aufbau. Bei der probandenfokussierten Erfassung wird die Abfolge der relevanten experimentellen Handlungen in einem Smartpen-Verlaufsprotokoll durch die Studierenden aufgezeichnet (Details siehe Abschnitt 4). Die Abfolgen der experimentellen Handlungen werden bei der objektfokussierten Erfassung durch eine am Versuchsaufbau implementierte Sensorik aufgenommen (Details siehe Abschnitt 5).

Beide Erhebungsinstrumente werden im vorliegenden Beitrag in Kapitel 4 und 5 detaillierter vorgestellt. Im anschließenden Abschnitt wird die Grundlage der angestrebten konvergenten Validierung dargestellt und ein Einblick in einen ersten Vergleich der Daten aus probanden- und objektfokussierter Erfassung gegeben.

Zunächst wird jedoch die Auswahl des Experiments für die Untersuchungen begründet und es werden die sonstigen Rahmenbedingungen der Studie beschrieben.

2. Auswahl des Experiments

Für die Entwicklung eines Erhebungsinstrumentes zur Untersuchung von experimentellen Prozessen während der Durchführung eines realen Experiments wurde exemplarisch die optische Justage ausgewählt [3, 7], die einen integralen Bestandteil vieler Versuche aus dem Bereich der Optik darstellt. Dies wurde konkret für einen Versuchsaufbau auf einer optischen Bank umgesetzt. Die Auswahl dieses experimentellen Beispiels lässt sich durch verschiedene Aspekte begründen:

- Versuche auf der optischen Bank sind typische Vertreter von Experimenten aus dem Bereich der Optik.
- Die Justage des Versuchsaufbaus ist ein inhärenter Bestandteil solcher Versuche.

- Die Montage und Justage eines Versuchsaufbaus steht notwendigerweise am Beginn der experimentellen Durchführung und ist dabei dem Bereich des Aufbaus des Versuchs zuzuordnen [9]. Durch die Verortung am Beginn eines Versuchs lassen sich zwanglos identische Ausgangsbedingungen für alle Probanden realisieren.
- Es kann erwartet werden, dass sich die Handlungsabfolgen bei der Justage optischer Versuchsaufbauten zwischen Novizen und Experten unterscheiden. Auch das für experimentelle Prozesse typische *trial-and-error*-Verfahren wird beobachtbar sein.
- Ein Erhebungsinstrument zur Erfassung der bei der optischen Justage ablaufenden Handlungsschritte muss schnelle Abfolgen von Schritten erfassen können.
- Die Handlungsschritte sind teilweise nur mit kleinen Änderungen am experimentellen Aufbau verbunden.
- Kleine Änderungen am experimentellen Aufbau können zu großen Wirkungen in dem von den Probanden beobachtbaren experimentellen Zwischenergebnis führen.
- Die Erfassung der relevanten Handlungsschritte wird in der Kombination der Aspekte e) bis g) besonders hohe Ansprüche an das Erhebungsinstrument stellen. Somit dient das Instrument bei erfolgreicher Umsetzung als Beispiel für die Erfassung komplexer, schnell ablaufender Prozesse bei der Manipulation eines Realexperiments, die sich bisherigen Untersuchungsverfahren entzogen haben.
- Die Erhebungsinstrumente für die Phase der Justage eines optischen Aufbaus werden nach erfolgreicher Umsetzung einfach auf die Phase der Aufnahme der Messdaten und, sofern relevant, der Fehlersuche am experimentellen Aufbau anwendbar sein.

Die Erhebungsinstrumente werden in ihren Grundprinzipien auch auf (ausgewählte) andere experimentelle Fragestellungen übertragbar sein, auch wenn dieser Transfer eine Adaption der konkreten Umsetzung der Instrumente auf die jeweilige experimentelle Situation erfordert.

3. Sonstige Rahmenbedingungen der Studie

Im Rahmen des „Messtechnischen Labors“, das Maschinenbau-Studierende im dritten Semester an der RWTH Aachen absolvieren, ist die optische Justage fester Bestandteil des Praktikumsversuchs zum Photoeffekt. Bei diesem Versuch stehen den Studierenden neben einer Hg-Dampflampe eine Irisblende (nachfolgend kurz Blende genannt), eine Linse, ein Filterrad mit Filtern für Licht verschiedener Wellenlängen (auch kurz Filter genannt) und eine Photozelle zur Verfügung. Die Bauteile können dabei mit Objektträgern auf einer optischen Bank montiert und jus-

tiert werden [7, 8]. Weitere Materialien zur Durchführung des Versuchs sind an dieser Stelle nicht von Belang. An einem Praktikumstag experimentieren in der Regel jeweils 16 Studierende in einer Gruppe mit Unterstützung von zwei Betreuern, wobei die Studierenden jeweils in Zweier-Gruppen an einem Versuchsaufbau arbeiten. Die Praktikumszeit von 2¼-Stunden umfasst eine etwa 30-minütige Vorbesprechung, den Aufbau des Versuchs und die Aufnahme der Messdaten ebenso wie deren Dokumentation und Auswertung in einem vor Ort erstellten etwa 1½ Seiten kurzen Versuchsbericht. Insgesamt haben 128 Studierende bzw. 64 Zweier-Gruppen an der Studie im Wintersemester 2016/17 teilgenommen.

4. Probandenfokussierte Erfassung

In diesem Abschnitt wird das entwickelte Smartpen-Verlaufsprotokoll (siehe Abb. 2) vorgestellt. Ziel der Entwicklung dieses Erhebungsinstrumentes war es die Abfolge der relevanten experimentellen Handlungsschritte der Studierenden bei der optischen Justage des zuvor beschriebenen Praktikumsversuches möglichst aussagekräftig zu erfassen.

Das Bild zeigt ein Smartpen-Verlaufsprotokoll mit dem Titel 'Justageprotokoll'. Oben sind Felder für Datum, Gruppe, SMARTPEN-Nr. und Tisch-Nr. vorgesehen. Darunter steht eine Anweisung: 'Mit dem vorliegenden Protokoll sollen die Einstellungen, die an einem Bauteil vorgenommen werden, mit Kreuzen ☒ gezählt werden. Hat der Betreuer Euch bei einer Einstellung geholfen, bitte das Kästchen umkreisen ☒'. Eine wichtige Anmerkung lautet: 'Achtung: Damit der Smartpen auch Eure Handlungsreihenfolge aufzeichnen kann, ist es wichtig, dass direkt nach jeder Einstellungs-handlung an entsprechender Stelle ein Kreuz gesetzt wird.' Das Protokoll selbst ist in vier Hauptbereiche unterteilt: Filter, Blende, Linse und Photozelle. Jeder Bereich enthält eine kleine Illustration des Bauteils, eine Liste möglicher Handlungen (z.B. 'Auf-/Absetzen', 'Filter', 'Öffnung', 'Vertikale', 'Horizontale') und eine 10x10-Matrix von Kästchen für die Dokumentation.

Abb. 2: Smartpen-Verlaufsprotokoll. Die Studierenden dokumentieren ihre optische Justage durch Ankreuzen einer der möglichen Schrittoptionen im vorstrukturierten Verlaufsprotokoll. Durch das Ausfüllen des Protokolls mit einem Smartpen ist im Anschluss die zeitliche Abfolge der experimentellen Handlungen rekonstruierbar. (Verwendung von Abbildungselementen mit freundlicher Genehmigung von ©Leybold® / LD Didactic GmbH; www.leybold-shop.de.)

Das Protokollformat bildet hierfür alle im Experimentierraum gegebenen experimentellen Aktionen gegliedert nach Bauteilen und Justagehandlungen ab.

Hierfür ist es in vier Bereiche unterteilt, die jeweils einem der optischen Bauteile zugeordnet sind, die den Studierenden im vorliegenden Praktikumsversuch zur Verfügung stehen: einer Blende, einer Linse, einem Filterrad und einer Photozelle. Die im Praktikumsversuch zusätzlich verwendete Hg-Dampflampe wurde für die vorliegenden Untersuchungen fest an einem Ende der optischen Bank montiert und kann von den Studierenden nicht verstellt werden. Diese Entscheidung wurde auf der Basis der Ergebnisse früherer Untersuchungen getroffen, bei denen fast alle Probanden die Hg-Dampflampe als erstes Bauteil montiert und später praktisch nie wieder manipuliert haben [6]. Für jedes optische Bauteil sind zudem im Verlaufsprotokoll die möglichen Justagehandlungen aufgeführt und beispielhaft in Abb. 3 für das Filterrad dargestellt.

Bauteil	Handlung	Protokoll
Filter	Auf-/Absetzen	<input type="checkbox"/>
	Filter	<input type="checkbox"/>
	Öffnung	<input type="checkbox"/>
	Vertikale	<input type="checkbox"/>
	Horizontale	<input type="checkbox"/>

Abb. 3: Exemplarische Darstellung des Ankreuzbereiches für das Filterrad im Smartpen-Verlaufsprotokoll. Die möglichen Justagehandlungen im vorliegenden Praktikumsversuch sind unter „Handlung“ aufgelistet. Die Justage am Filterrad kann durch Ankreuzen einer der möglichen Schrittoptionen im Bereich „Protokoll“ durch die Studierenden dokumentiert werden. (Verwendung von Abbildungselementen mit freundlicher Genehmigung von ©Leybold® / LD Didactic GmbH; www.leybold-shop.de.)

Die Studierenden dokumentieren ihre einzelnen Handlungsschritte bei der optischen Justage durch Ankreuzen einer der möglichen Schrittoptionen. Dabei ist es nicht relevant, welches Kästchen innerhalb einer Zeile von den Studierenden angekreuzt wird. Durch das Ausfüllen des Justageprotokolls mit einem Smartpen ist die Reihenfolge der angekreuzten Justagehandlungen im Anschluss rekonstruierbar [3]. Dabei wird die spezielle Funktionalität der Smartpens ausgenutzt [10], die zunächst als herkömmlicher Kugelschreiber funktionieren. Neben der Kugelschreibermine befindet sich jedoch noch eine Infrarotkamera, durch die anhand eines feinen Punkterasters, das gemeinsam mit dem Protokollformular auf das Papier gedruckt wird, die Stiftposition detektiert werden kann. Dem Smartpen ist es dadurch möglich ein digitales Abbild des Schriftbildes zu erstellen. Zusätzlich erfasst der Smartpen jeweils den Zeitpunkt, wann etwas aufgeschrieben wurde, sodass auch die zeitliche Entwicklung des Schriftbildes aufgezeichnet wird. Ebenfalls besitzt der Smartpen ein eingebautes Mikrofon, sodass synchron zum Schriftbild auch eine Audioaufnahme aufgenommen wird. Anhand der Smartpen-Daten kann somit die zeitliche Abfolge der Justagehandlungen einschließlich der dabei von den Probanden geführten Gespräche rekonstruiert werden. Zur weiteren Auswertung werden die Justageschritte kodiert. Eine Übersicht der Codierung ist in Tab. 1 dargestellt. Die Codierung besteht dabei aus

zwei Buchstaben. Der erste Buchstabe repräsentiert das Bauteil und der zweite Buchstabe die Justagehandlung. Eine analoge Codierung wird später auch bei der objektfokussierten Erfassung erfolgen.

Tab. 1 kann entnommen werden, dass bei allen vier der im Smartpen-Verlaufsprotokoll erfassten Bauteile ein Auf- bzw. Absetzen auf der optischen Bank dokumentiert werden kann. Darüber hinaus gibt es spezielle Freiheitsgrade, die nicht bei allen Bauteilen verändert werden können. Dies sind die Einstellung einer anderen Wellenlänge beim Filterrad (dw), die Veränderungen der Blendenöffnung bei der Irisblende (bo) bzw. beim Filterrad (do) und eine Manipulation des Gehäuses mit einem Tubus entlang des Strahlengangs an der Photozelle (et).

Bauteil	Justagehandlung					
	Auf-/Absetzen	Filter	Öffnung	Vertikal	Horizontal	Kappe
Blende	bm		bo	bv	bh	
Linse	cm			cv	ch	
Filterrad	dm	dw	do	dv	dh	
Photozelle	em			ev	eh	et

Tab. 1: Übersicht über die Codes für alle relevanten Justagehandlungen für jedes Bauteil. Der erste Buchstabe gibt jeweils das Bauteil an, der zweite Buchstabe die Justagehandlung. In grün dargestellt sind Justagehandlungen, die nur beim probandenfokussierten Ansatz, jedoch nicht beim objektfokussierten Ansatz erfasst werden.

Aus den Smartpen-Daten wird nun zunächst die Abfolge der Justagehandlungen in codierter Form extrahiert. Jedem der in Tab. 1 für die verschiedenen Justagehandlungen eingeführten Codes wird dabei zusätzlich eine zweistellige Ziffernfolge zur Codierung der jeweiligen Schrittnummer angehängt. Für jede Probandengruppe erhält man anhand der beschriebenen Codierung somit eine Zeichenkette, die die Ab-

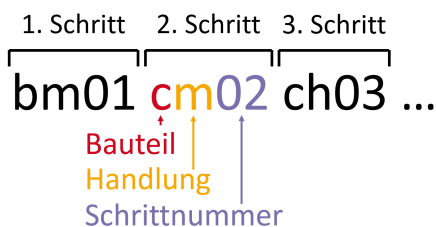


Abb. 4: Darstellung einer beispielhaften Zeichenkette. Ein Justageschritt wird jeweils durch einen Block aus vier Zeichen repräsentiert. Das jeweilige Bauteil wird durch den ersten Buchstaben dargestellt. Der zweite Buchstabe zeigt die Justagehandlung an. Jeder Justageschritt erhält zusätzlich eine Schrittnummer aus zwei Ziffern.

folge der Justagehandlungen repräsentiert und für die weitere Auswertung der Daten herangezogen werden

kann. Ein beispielhafter Ausschnitt einer solchen Zeichenkette ist in Abb. 4 dargestellt.

5. Objektfokussierte Erfassung

Mit der objektfokussierten Erfassung wird hier ein weiterer Ansatz vorgestellt, mit dem der experimentelle Prozess während der Durchführung von Experimenten erfasst werden kann [7, 8, 11, 12].

Bei diesem Ansatz wird im Gegensatz zur probandenfokussierten Erfassung experimenteller Prozesse ein Perspektivwechsel vollzogen. Bei der im vorherigen Abschnitt beschriebenen probandenfokussierten Erfassung dokumentieren die Probanden ihren experimentellen Prozess selbst, was hier durch ein niederschwelliges Ankreuzen einer der Schrittoptionen in einem vorstrukturierten Smartpen-Verlaufsprotokoll realisiert wurde. Bei der objektfokussierten Erfassung erfolgt die Aufzeichnung des experimentellen Prozesses hingegen durch eine am Versuchsaufbau implementierte Sensorik. Diese Sensorik muss apparativ derart an den Versuchsaufbau angepasst werden, dass alle relevanten Freiheitsgrade mit ausreichender zeitlicher Auflösung und Genauigkeit der von den Probanden gewählten Einstellungen erfasst werden können. Erste Beispiele für die Umsetzung dieses Ansatzes finden sich in den Ref. [7, 8, 11, 12]. Die Funktionsweise der genutzten Sensorik für die Erfassung der Manipulation der optischen Bauelemente auf einer optischen Bank wird im Folgenden nochmals skizziert.

Eine objektfokussierte Erfassung des Justageprozesses wurde bei der Studie im vergangenen Wintersemester 2016/17 zur konvergenten Validierung des weiterentwickelten Smartpen-Verlaufsprotokolls bei 30% der Probanden zusätzlich zur probandenfokussierten Erfassung eingesetzt. In einer Laborstudie hat sich dabei gezeigt, dass die objektfokussierte Erfassung den Justageprozess nahezu vollständig und hinreichend genau abbildet [13]. Für die konvergente Validierung des entwickelten Smartpen-Verlaufsprotokolls wird daher angenommen, dass die Validität der objektfokussierten Erfassung auch in einer Feldstudie gegeben ist.

Zur Erfassung des Justageprozesses sind bei diesem objektfokussierten Ansatz an den optischen Bauteilen Blende, Linse und Photozelle zwei oder drei Laserdioden so angebracht, dass Manipulationen an den optischen Bauteilen durch die Verschiebung des Lichtspots von den Laserdioden auf einem halbtransparenten Schirm, der sich hinter dem Experiment befindet, abgebildet werden [7, 8]. Auf der Rückseite des Schirms ist eine Kamera positioniert, die den halbtransparenten Schirm filmt und damit die Bewegung der Lichtspots aufzeichnet. Eine schematische Darstellung dieser Umsetzung einer objektfokussierten Erfassung des experimentellen Prozesses ist in Abb. 5 zu sehen. Als Referenzpunkt bei der späteren

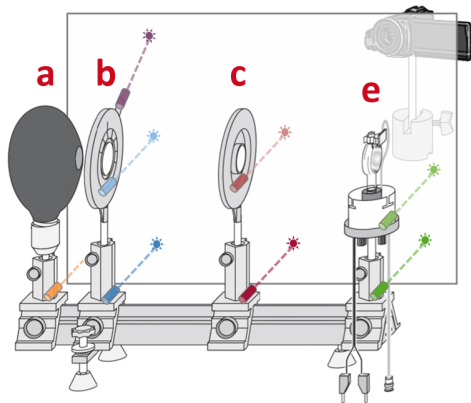


Abb. 5: Schematische Darstellung der objektfokussierten Erfassung bei einem Versuchsaufbau auf einer optischen Bank. Die optischen Bauteile Blende (b), Linse (c) und Photodiode (e) sind je mit zwei oder drei Laserdioden versehen, die Manipulationen an den optischen Bauteilen auf einem hinter dem Experiment befindlichen halbtransparenten Schirm sichtbar machen. An der Lampe (a), die fest auf der optischen Bank positioniert ist, befindet sich für die spätere Auswertung eine Referenzdiode. Die Bewegung der Laserspots auf dem halbtransparenten Schirm wird mit einer rückseitigen Kamera gefilmt. (Verwendung von Abbildungselementen mit freundlicher Genehmigung von ©Leybold® / LD Didactic GmbH; www.leybold-shop.de.)

Auswertung der Videodaten ist an der fest auf der optischen Bank positionierten Lampe ebenfalls eine Laserdiode befestigt.

Die Auswertung der Videodaten erfolgt teilautomatisiert, was in Abb. 6 schematisch dargestellt ist.

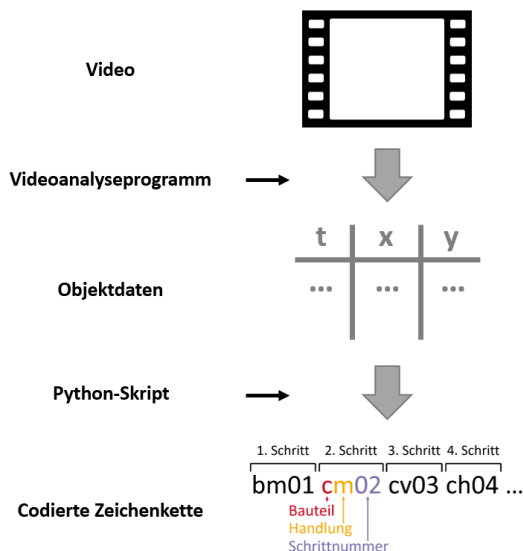


Abb. 6: Schematische Darstellung der teilautomatisierten Auswertung der Videodaten (Details siehe Text).

Mit Hilfe eines Videoanalyseprogramms werden aus den aufgenommenen Videodaten zunächst die Objektdaten für jede Einstellung an einem optischen Bauteil (repräsentiert durch die Bewegung der entsprechenden Lichtspots auf dem halbtransparenten

Schirm) generiert. Für jeden Lichtspot erhält man somit einen zeitlichen Verlauf der x-y-Positionsdaten auf dem halbtransparenten Schirm (siehe auch Ref. [7, 8]). Die so gewonnenen Daten werden anschließend durch ein Python-Skript weiterverarbeitet und für eine automatische Unterteilung in einzelne Handlungsschritte bei der Justage aufbereitet. Ein solcher Handlungsschritt wurde hierfür als durchgängige Einstellung eines Freiheitsgrades (z.B. die horizontale Verschiebung) oder als Auf-/Absetzen eines optischen Bauteils auf die optische Bank definiert. Die Erkennung der Handlungsschritte erfolgt ebenfalls automatisiert durch das Python-Skript [7, 8]. Das Skript gibt schließlich codierte Zeichenketten analog zur in Abschnitt 4 beschriebenen probandenfokussierten Erfassung aus.

6. Vergleich der Daten aus probanden- und objektfokussierter Erfassung

In der in Abschnitt 3 beschriebenen Studie wurden parallel sowohl die probandenfokussierte als auch die objektfokussierte Erfassung der experimentellen Prozesse bei der Justage des optischen Aufbaus zur Untersuchung des Photoeffekts eingesetzt. Beide Erhebungsinstrumente liefern, wie in Abschnitt 4 und 5 beschrieben, codierte Zeichenketten, die die Abfolge der Handlungsschritte bei der Justage repräsentieren. Diese codierten Zeichenketten bilden die Grundlage für eine konvergente Validierung des vorgestellten Smartpen-Verlaufsprotokolls.

Ziel hierbei ist es zu identifizieren, welche Aspekte der Handlungsabfolgen durch das Instrument des Smartpen-Verlaufsprotokolls valide abgebildet werden können.

Der hierfür erforderliche Vergleich einer aus der probanden- und aus der objektfokussierten Erfassung resultierenden Zeichenkette wird exemplarisch in Abb. 7 gezeigt. Dieser Vergleich liefert beispielsweise mit cv03 einen Handlungsschritt, der bei der objektfokussierten Erfassung detektiert wurde, aber durch die Probanden im Smartpen-Verlaufsprotokoll nicht protokolliert wurde (siehe Abb. 7).

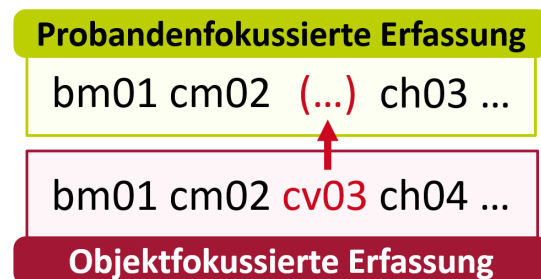


Abb. 7: Exemplarischer Vergleich zweier codierter Zeichenketten aus probanden- und objektfokussierter Erfassung. In diesem Beispiel wurde der dritte Justageschritt bei der probandenfokussierten Erfassung nicht protokolliert.

Im Folgenden wird ein Einblick in die Auswertung von vier Datensätzen gegeben. Erwartungskonform

zeigt sich, dass bei allen vier Datensätzen die objekt-fokussierte Erfassung verglichen mit der probanden-fokussierten Erfassung gleich viele oder mehr Justageschritte aufgezeichnet hat. Insgesamt wurden über die vier Datensätze in der probandenfokussierten Erfassung 65 Justageschritte protokolliert. Die objekt-fokussierte Erfassung hat hingegen 96 Justageschritte aufgezeichnet. Betrachtet man die Justageschritte der probandenfokussierten Erfassung, so zeigt sich, dass sich für 77% der Justageschritte (50 von 65) aus der probandenfokussierten Erfassung eine Entsprechung in den aufgezeichneten Justageschritten der objekt-fokussierten Erfassung finden lässt. Für 15 Justageschritte lässt sich jedoch keine Entsprechung in den Datensätzen der objekt-fokussierten Erfassung finden. Bei 5 dieser 15 Justageschritte deutet sich an, dass die Probanden bei der Protokollierung im Smartpen-Verlaufsprotokoll die Freiheitsgrade „Horizontale Verschiebung“ und „Vertikale Verschiebung“ vertauscht haben könnten. Ein Einblick in die Audioaufnahmen der Smartpens könnte hierfür eine Bestätigung und Hinweis auf die Diskrepanzen in den übrigen 10 Justageschritten liefern.

Ausgehend von den aufgezeichneten Justageschritten der objekt-fokussierten Erfassung zeigen sich umgekehrt 41 zusätzliche Justageschritte, die in der probandenfokussierten Erfassung nicht protokolliert wurden. Eine detailliertere Analyse dieser nicht in der probandenfokussierten Erfassung detektierten Schritte ergibt, dass bei 11 dieser Schritte aufeinanderfolgende gleiche Handlungsschritte bei der Dokumentation im Smartpen-Verlaufsprotokoll durch die Probanden zusammengefasst wurden. Für die übrigen Schritte ist zunächst keine Erklärung ersichtlich, welche die Diskrepanzen auf naheliegende systematische Weise begründen konnte. Eine Auswertung der Audioaufzeichnungen der Smartpens kann möglicherweise auch hier für einige Fälle Hinweise auf eine Erklärung der Diskrepanzen geben.

7. Fazit und Ausblick

Die Diagnostik experimenteller Prozesse hat in den letzten Jahren zunehmend an Bedeutung gewonnen. Oft fehlten bislang jedoch geeignete Instrumente, um die während der Durchführung von Experimenten stattfindenden experimentellen Handlungen in geeigneter Weise und besonders auch bei größeren Probandengruppen mit moderatem Auswerteaufwand abbilden zu können. Am Beispiel der optischen Justage bei einem Versuch zum Photoeffekt wurden zwei prozessorientierte Instrumente zur Diagnostik experimenteller Prozesse entwickelt, angewendet und in ihren Ergebnissen im Detail verglichen.

In einer Laborstudie zeigte sich, dass die objekt-fokussierte Erfassung eine nahezu vollständige Abbildung der relevanten Handlungsabfolgen ermöglicht. Für die Feldstudie im Wintersemester 2016/17 wurde daher die Validität dieses Erhebungsinstrumentes angenommen und für eine konvergente Validierung eines

weiterentwickelten Smartpen-Verlaufsprotokolls eingesetzt.

Ein erster Einblick in das Datenmaterial der Studie aus dem Wintersemester 2016/17 zeigt, dass ein Großteil der bei der probandenfokussierten Erfassung protokollierten Handlungsschritte mit denen aus der objekt-fokussierten Erfassung übereinstimmen. Dies lässt erwarten, dass mit dem weiterentwickelten Smartpen-Verlaufsprotokoll die wesentlichen Abfolgen der Handlungsschritte bei der Durchführung von Realexperimenten mit hinreichender Genauigkeit erfasst werden können und eröffnet einen neuen Zugang zu einer Vielzahl interessanter Fragestellungen im Umfeld des Experimentierens an realen Versuchsaufbauten.

Bei den bislang ausgewerteten Datensätzen, die parallel mit den beiden Methoden erhoben wurden, ergaben sich aber auch merkbare Diskrepanzen zwischen den Ergebnissen beider Erhebungsmethoden. Insbesondere wurden durch die objekt-fokussierte Erfassung zusätzliche Handlungsschritte detektiert, von denen zunächst nur etwa ein Viertel schlüssig erklärt werden konnte. Eine Einbeziehung der Audioaufzeichnungen der Smartpen-Verlaufsprotokolle soll Hinweise auf Erklärungen der Diskrepanzen zwischen den Datensätzen aus der probanden- und objekt-fokussierten Erfassung von experimentellen Prozessen am Realexperiment liefern.

8. Literatur

- [1] KMK. Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik: *Standards für die Lehrerbildung: Bildungswissenschaften. Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 16.12.2004*. In: Zeitschrift für Pädagogik, 51 (2), S. 280-290.
- [2] NRC. National Research Council: *A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas*. Washington DC: The National Academies Press.
- [3] FRASS, Stephan, WEYERS, Christian, HEINKE, Heidrun: *Können IBE experimentelle Fertigkeiten vermitteln? - Entwicklung eines prozessorientierten Analyseinstrumentes*. In: NORDMEIER, Volkhard, GRÖTZEBAUCH, Helmuth (Hrsg.): *PhyDid B – Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung des Fachverbands Didaktik der Physik*. Frankfurt a. M.: o. V., 2014, Beitrag DD 04.02.
- [4] EMDEN, Markus: *Prozessorientierte Leistungsmessung des naturwissenschaftlichen-experimentellen Arbeitens. Eine vergleichende Studie zu Diagnoseinstrumenten zu Beginn der Sekundarstufe I*. In: NIEDDERER, Heiko, FISCHLER, Helmut, SUMFLETH, Elke (Hrsg.): *Studien zum Physik- und*

- Chemielernen (Bd. 118)*. Berlin: Logos Verlag, 2011.
- [5] HOFSTEIN, Avi: *The Laboratory In Chemistry Education: Thirty Years Of Experience With Developments, Implementation, And Research*. Chemistry Education: Research and Practice, 5 (3) (2004), S. 247-264.
- [6] FRASS, Stephan, HEINKE, Heidrun: *Auf der Suche nach Strategien bei der Manipulation von Experimenten*. In: MAURER, Christian (Hrsg.): *Implementation fachdidaktischer Innovation im Spiegel von Forschung und Praxis, Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Zürich 2016*. Regensburg: Universität Regensburg, 2017, S. 312-315.
- [7] FRASS, Stephan, HEINKE, Heidrun: *Diagnostik experimenteller Fertigkeiten bei optischen Versuchen*. In: BERNHOLT, Sascha (Hrsg.): *Heterogenität und Diversität - Vielfalt der Voraussetzungen im naturwissenschaftlichen Unterricht, Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Bremen 2014*. Kiel: IPN, S. 301-303.
- [8] FRASS, Stephan, HEINKE, Heidrun: *Object-Focused Assessment Of Experimental Processes In Optical Experiments*. In: KIND, Per, DOLIN, Jens (Hrsg.): *E-Book Proceedings of the ESERA 2015 Conference: Science Education Research: Engaging Learners for a Sustainable Future. Part 11*. Helsinki: o. V., S. 1714-1724.
- [9] SCHREIBER, Nico: *Diagnostik experimenteller Kompetenz: Validierung technologiegestützter Testverfahren im Rahmen eines Kompetenzstrukturmodells*. In: NIEDDERER, Heiko, FISCHLER, Helmut, SUMFLETH, Elke (Hrsg.): *Studien zum Physik- und Chemielernen (Bd. 139)*. Berlin: Logos Verlag, 2012.
- [10] VAN SCHAACK, Andrew: *Livescribe in K-12 Education: Research Support*. 2009.
- [11] BÜSCH, Leonard, SCHÖNEBERG, Marie, HEINKE, Heidrun: *Einblick in Prozesse im Realexperiment: Chancen für Forschung & Lehre*. In: MAURER, Christian (Hrsg.): *Implementation fachdidaktischer Innovation im Spiegel von Forschung und Praxis, Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Zürich 2016*. Regensburg: Universität Regensburg, 2017, S. 456-459.
- [12] BÜSCH, Leonard, GUNTERMANN, Christina, HEINKE, Heidrun: *Diagnostik experimenteller Vorgehensweisen am Beispiel eines Versuchs zur Radioaktivität*. In: NORDMEIER, Volkhard, GRÖTZEBAUCH, Helmut (Hrsg.): *PhyDid B – Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung des Fachverbands Didaktik der Physik*. Dresden: o. V., 2017, Beitrag DD 22.03.
- [13] FRASS, Stephan. Dissertation. Aachen, 2017 (in Vorbereitung).

Einfluss der Auswertephase von Experimenten im Physikunterricht auf den Fachwissenszuwachs und die Experimentierkompetenz von Schülerinnen und Schülern

Laura Muth, Roger Erb

Institut für Didaktik der Physik, Max-von-Laue-Str. 1, 60433 Frankfurt
muth@physik.uni-frankfurt.de, roger.erb@physik.uni-frankfurt.de

Kurzfassung

Dem Experiment im naturwissenschaftlichen Unterricht wird eine große Bedeutung beigemessen. Vor allem die Phasen der Vor- und Nachbereitung des Experiments und deren Einbettung in den Unterrichtsverlauf haben einen großen Einfluss auf die Qualität des Unterrichts. Allerdings gibt es bis heute wenige Studien, die sich mit der Struktur dieser Phasen befassen. Die vorliegende quasi-experimentelle Interventionsstudie geht der Frage nach, welche Auswirkungen die Nachbereitungsphase von Experimenten auf den Lernzuwachs der Schülerinnen und Schüler in den Kompetenzbereichen Fachwissen und Erkenntnisgewinnung hat. Es wird zwischen drei Variationen der Auswertung mit unterschiedlichem Offenheitsgrad unterschieden: 1.) Auswertung im Plenum, 2.) angeleitete Auswertung und 3.) selbstständige Auswertung. Neben dem Fachwissenszuwachs und dem Zuwachs der Auswertekompetenz der Schülerinnen und Schüler werden die Überzeugungen der unterrichtenden Lehrkräfte zum Unterrichtsfach und zur Wissenschaft Physik miterhoben, um deren Einfluss und mögliche Wechselwirkung zwischen Experimentiersituation und der Lehrkraft abschätzen zu können.

Erste Ergebnisse der Studie geben Hinweise darauf, dass bezüglich des Lernzuwachses im Fachwissen die Gestaltung der Nachbereitungsphase einen bedeutenden Einfluss hat. In Bezug auf den Lernzuwachs bei der Auswertekompetenz zeigt sich die Rolle der Lehrkraft als bedeutsam.

1. Einleitung und Motivation

Das Experiment mit seinen drei Phasen (Vorbereitung, Durchführung und Nachbereitung) und die unterrichtende Lehrperson haben einen erheblichen Einfluss auf die Qualität des naturwissenschaftlichen Unterrichts (u.a. Helmke, 2012, Tesch & Duit, 2004). Allerdings ist es bis heute strittig, ob lehrer geleitete Experimentiersituationen zu bevorzugen sind oder ob Schülerinnen und Schüler selbstständig an einer Experimentieraufgabe arbeiten sollten. Eine aktuelle Arbeit von Winkelmann (2015) konnte zeigen, dass sich bezüglich der Durchführungsphase des Experiments keine signifikanten Unterschiede bei dem Erwerb von Fachwissen feststellen lassen, wenn das Experiment mit der Lehrkraft oder von den Schülerinnen und Schüler eigeständig durchgeführt wird. Allerdings konnte gezeigt werden, dass Schülerinnen und Schüler auch durch die Auswertephase von Experimenten einen Lernzuwachs erfahren. Dies wirft die Frage auf, ob es hinsichtlich der Nachbereitung eines Experiments einen Unterschied macht, wie offen oder geschlossen diese gestaltet ist. An dieser Stelle setzte das vorliegende Forschungsprojekt an. In einer Interventionsstudie wird die Nachbereitungsphase von Experimenten im Physikunterricht mittels mehrerer Treatments mit unterschiedlichem Offenheitsgrad kontrastiert. Wie bei Winkelmann (2015) wird die Variable Fachwissen betrachtet. Zusätzlich wird ein Fokus auf den Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung gelegt und speziell die Entwicklung der „Auswertekompetenz“ der Schülerinnen und Schüler überprüft.

Winkelmann (2015) konnte zwar keine Unterschiede in der unterschiedlich gestalteten Durchführungsphase (Schülerexperiment vs. Demonstrationsexperiment) des Experiments nachweisen, allerdings konnte er zeigen, dass die Wechselwirkung zwischen unterrichtender Lehrkraft und Unterrichtssituation bedeutsam ist. Daher werden in der aktuellen Studie die Überzeugungen der unterrichtenden Lehrkräfte zum Unterrichtsfach und zur Wissenschaft Physik als weitere Variable erhoben, um genauere Informationen über den Einfluss der Lehrperson gewinnen zu können und so einen Einblick über tieferliegende Einflussfaktoren zu erhalten.

2. Stand der Forschung

2.1. Charakteristika von Lehrkräften

Lehrkräfte und ihre Überzeugungen haben einen erheblichen Einfluss auf die Qualität von Unterricht und somit auch auf den Lernzuwachs und die Motivation der Schülerinnen und Schüler (Helmke, 2012). Beim Experimentieren kann die Rolle der Schülerinnen und Schüler von einfachem Beobachten bis hin zu komplett selbstständigem Arbeiten variieren. Somit variiert selbstverständlich auch die Rolle der Lehrperson von stark anleitend bis einfach begleitend. Daher erscheinen für diese Arbeit die Überzeugungen der Lehrkräfte zum Unterrichtsfach und zur Wissenschaft Physik besonders interessant. Unterschieden werden soll zwischen Lehrkräften mit einer eher konstruktivistischen Sichtweise und Lehr-

kräften mit einer eher instruktivistischen Sichtweise. Vertreterinnen und Vertreter einer konstruktivistischen Sicht betonen den eigenständigen Anteil der Schülerinnen und Schüler im Verlauf der Lernprozesse, während überzeugte Vertreterinnen und Vertreter des Instruktivismus das rezeptartige Lernen unterstützen. Zur Kategorisierung kann auf eine Arbeit von Lamprecht (2011) zurückgegriffen werden, in der drei Überzeugungstypen identifiziert wurden. Lehrkräfte des ersten Überzeugungstypen, des *Trainingsmusters*, betonen rezeptartiges Lernen von Physik und lehnen das selbstständige Lernen von Physik ab. Der zweite Überzeugungstyp, das *diskursive Muster*, ist dagegen vom selbstständigen Lernen von Physik überzeugt und lehnt das rezeptartige Lernen von Physik ab. Der dritte Überzeugungstyp, das *Vermittlungsmuster*, lässt sich zwischen den ersten beiden Mustern einordnen. Lehrkräfte dieses Typs sind zwar vom selbstständigen Lernen von Physik überzeugt, unterstützen aber auch rezeptartiges Lernen von Physik. Somit besitzen Lehrkräfte des diskursiven Musters eine eher konstruktivistische, Lehrkräfte des Vermittlungsmusters eine etwas geringere konstruktivistische und Lehrkräfte des Trainingsmusters eine eher instruktivistischen Sichtweise.

2.2. Definition des Experimentierprozesses

Die Forschungslage zum Experimentieren gestaltet sich sehr umfangreich, jedoch nicht immer einheitlich. Als Grundlage der hier beschriebenen Studie wird die Definition des naturwissenschaftlichen Experiments nach Millar (2010) verwendet, der das Experiment als eine Aktivität beschreibt „[...] which involves an intervention to produce the phenomenon to be observed or to test a hypothesis.“ (Millar, 2010, S. 109 nach Hacking, 1989).

Grundsätzlich wird das naturwissenschaftliche Experiment in drei Phasen unterteilt: die Vorbereitung, die Durchführung und die Nachbereitung. Zur Betrachtung der Komponenten des Experimentierprozesses wird oft auf das *Scientific Discovery as Dual Search* (SDDS)-Modell von Klahr und Dunbar (1988) zurückgegriffen. Dieses Modell beschreibt den Prozess der Erkenntnisgewinnung als Form des Problemlösens. Es wird von einem Ausgangszustand ausgegangen, der durch Problemlösen in einen gewünschten Zielzustand überführt werden soll. Dies geschieht in drei Schritten:

1. Suche im Hypothesenraum: Es wird aufgrund von Vorwissen eine Hypothese aufgestellt.
2. Testen von Hypothesen (Suche im Experimentierraum): Es wird ein geeignetes Experiment

gesucht, um die Hypothese zu überprüfen.

3. Analyse von Evidenzen: Ergebnisse des Experiments werden mit Bezug zur Hypothese ausgewertet.

Vorholzer et al. (2016) konnten unter Einbezug dieses und zahlreicher anderer Modelle drei zentrale Teilkompetenzen des experimentellen Denkens und Arbeitens identifizieren, die sich mit den gängigen drei Phasen des Experiments gut vereinbaren lassen (Tab. 1).

	Phasen des Experiments	Teilkompetenzen nach Vorholzer et al. (2016)
1	Vorbereitung	Fragen, Vermutungen und Hypothesen generieren
2	Durchführung	Untersuchungen planen und durchführen
2	Auswertung	Daten auswerten und interpretieren

Tab. 1 Phasen des Experiments und dazugehörige Kompetenzen nach Vorholzer et al. (2016)

Während die Forschungslage bezüglich dieser Teilkompetenzen weitestgehend eindeutig ist, werden die dazugehörigen Fähigkeiten und Fertigkeiten nur selten konkret benannt oder sie unterscheiden sich stark. Da in der vorliegenden Studie allerdings die Auswertung von Experimenten im Fokus ist, stand an erster Stelle die Überlegung, welche Fähigkeiten und Fertigkeiten Bestandteil der Auswertekompetenz sind, um ein entsprechendes Modell als Grundlage dieser Forschungsarbeit zu konzipieren. Die Entwicklung dieses Modells wird im Folgenden kurz beschrieben.

3. Modell zur Auswertekompetenz

Zur Konzeption des Modells zur Auswertekompetenz wurden zunächst der aktuelle Forschungsstand gesichtet sowie Forderungen der Kultusministerkonferenz betrachtet. Daraufhin wurde die Kompetenz „Auswertung eines Experiments“ mit den identifizierten relevanten Fähigkeiten und Fertigkeiten angereichert. Abbildung 1 zeigt das konzipierte Modell zur Auswertekompetenz. Als Quellen lassen sich unter anderem Asay & Orgill (2010), Börlin (2012), Chinn & Malhotra (2002), Dolan & Grady (2010), Glug (2009), Klahr & Dunbar (1988), KMK (2004), Mayer (2007) und Schreiber (2012) nennen. Die Auswertung eines Experiments wird demnach in drei Phasen gegliedert. In der ersten Phase geht es darum, die Messdaten aufzubereiten und zu verarbeiten. In der nächsten Phase schließt sich die Formulierung und Interpretation von Ergebnissen an. In der dritten Phase erfolgt die Fehlerbetrachtung

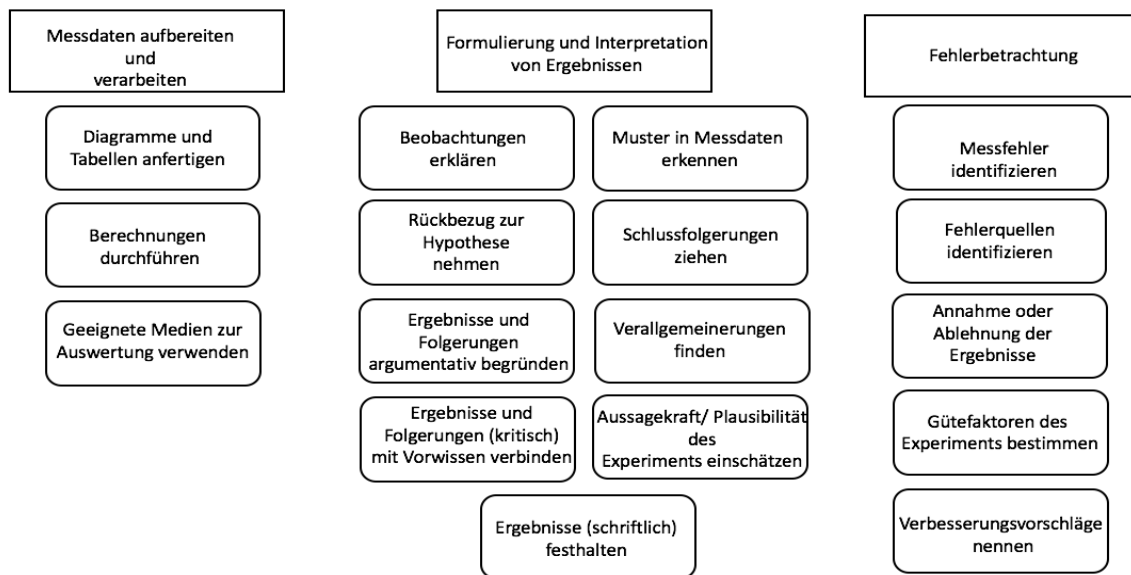


Abb. 1 Modell zur Auswertekompetenz

Um zu prüfen, ob das entwickelte Modell auch unter Expertinnen und Experten aus Theorie und Praxis akzeptiert ist, wurde es einer Befragung unterzogen, an der 95 Didaktikerinnen und Didaktiker aus Hochschulen und Lehrkräfte und Referendarinnen und Referendare teilnahmen. Durch diese Expertenbefragung sollten drei Fragen beantwortet werden:

1. Werden die von uns identifizierten Komponenten zur Auswertung eines Experiments als relevant angesehen?
2. Ist das Modell vollständig?
3. Schätzen Lehrkräfte und Didaktikerinnen und Didaktikern an den Hochschulen die Komponenten ähnlich relevant ein?

Es wurde ein Fragebogen mit 19 Items entwickelt, in dem die Experten die Fähigkeiten und Fertigkeiten auf einer 4-stufigen Likert Skala hinsichtlich ihrer Relevanz beurteilen sollten. Die Befragung konnte zeigen, dass fast alle präsentierten Fähigkeiten und Fertigkeiten von den Experten als relevant angesehen wurden. Zwei als wenig relevant eingestufte Items wurde aus dem Modell entfernt, zwei als fehlend erachtete Komponenten wurden ergänzt (Abbildung 1 zeigt das nach der Expertenbefragung angepasste Modell). Zwischen den Lehrkräften und Hochschuldidaktikern konnten keine signifikanten Unterschiede im Antwortverhalten festgestellt werden.

4. Forschungsfragen

Der Schwerpunkt der vorliegenden Studie liegt auf dem Einfluss der Auswertephase, sowie der Bedeutung der Lehrperson in Experimentiersituationen. Vorläufig wurden zwei Forschungsfragen präzisiert:

F1 Wie wirken sich experimentelle Auswertesituationen mit unterschiedlichem Offenheitsgrad auf die Entwicklung von Schülerinnen und Schüler in

den Bereichen Fachwissen und Auswertekompetenz aus?

F2 Welchen Einfluss haben Überzeugungen von Lehrkräften zum Unterrichtsfach und zur Wissenschaft Physik beim Experimentieren auf die Entwicklung der Schülerinnen und Schüler in den Bereichen Fachwissen und Auswertekompetenz?

5. Anlage der Studie

Bei dem vorliegenden Forschungsprojekt handelt es sich um eine Vergleichsstudie, in der der Wissens- und Kompetenzzuwachs der Schülerinnen und Schüler durch angeleitetes und selbstständiges Auswerten von Demonstrationsexperimenten erhoben wird. Aus praktischen Gründen musste auf eine vollständige Randomisierung der Probanden verzichtet werden, d.h. die Schülerinnen und Schüler verblieben in ihren ursprünglichen Klassen mit ihren normalen Lehrkräften. Die Tests und die Intervention wurden daher im Klassenverband mit den üblichen Lehrkräften durchgeführt. Daher handelt es sich um eine quasi-experimentelle Interventionsstudie, die im Physikunterricht des siebten bzw. achten Schuljahres im Pre-/ Post-Design durchgeführt wurde. Der Themenbereich umfasst die geometrische Optik von der einfachen Lichtbrechung, über die Lichtbündelung an der Sammellinse bis hin zu Abbildungen mit Sammellinsen.

Zur Auswertung wurde zunächst ein t-Test durchgeführt, um die generelle Lernförderlichkeit des Unterrichts feststellen zu können. Im Anschluss daran wurde eine Varianzanalyse gerechnet, um mögliche Unterschiede im Lernzuwachs zwischen den Treatments sowie den Einfluss der Lehrperson überprüfen zu können. In der Varianzanalyse stellen das Treatment und die Lehrkraft die festen Faktoren dar, der Fachwissenszuwachs und der Auswertekompetenzzuwachs die abhängigen Variablen.

5.1. Studienverlauf

Die Erhebung gliedert sich in einer Pilot- und eine Hauptstudie. Die Pilotierung wurde im Winter 2015/2016 durchgeführt mit dem Ziel, die zu verwendenden Messinstrumente zu erproben, zu analysieren und ggf. zu überarbeiten. Ergebnisse der Pilotphase können unter anderem in Muth & Erb (2016) eingesehen werden. Mit den überarbeiteten Messinstrumenten wurde im Winter 2016/2017 die Haupterhebung durchgeführt, in der der Lernzuwachs der Schülerinnen und Schüler in den Bereichen Fachwissen und Auswertekompetenz sowie die Überzeugungen der Lehrkräfte zum Unterrichtsfach und zur Wissenschaft Physik erhoben wurden.

Die Intervention umfasst fünf Doppelstunden. In der ersten Doppelstunde erfolgen der Pretest sowie eine Einführung zum Experimentieren. In dieser Einführung führt die Lehrkraft mit den Schülerinnen und Schülern ein Mustertextperiment durch. Die Schülerinnen und Schüler sollen beobachten, wie die Lehrkraft experimentiert und vor allem, welche Schritte sie bei der Auswertung vollzieht. Dadurch soll sichergestellt werden, dass Schülerinnen und Schüler, die die Experimente in den nächsten Doppelstunden alleine auswerten sollen, eine Vorstellung davon haben, wie die Auswertung eines Experiments üblicherweise erfolgt. In den darauffolgenden drei Doppelstunden findet die eigentliche Intervention mit den Experimenten statt. In jeder Doppelstunde werden jeweils zwei Experimente durchgeführt und ausgewertet. In der fünften Doppelstunde wird der Posttest ausgefüllt.

5.2. Untersuchungsgruppen

Um die Bedeutung der Auswertephase zu überprüfen und Hinweise darauf zu bekommen, wie diese Phase am besten strukturiert sein sollte, wurden drei Treatments (Variationen der Auswertephase) entwickelt, die sich in ihrem Grad der Offenheit, also in der Schüleraktivität unterscheiden:

1. Plenum: Die Auswertung des Experiments wird von der Lehrkraft angeleitet.
2. Angeleitet: Die Auswertung des Experiments erfolgt in Schülerkleingruppen. Das Vorgehen zur Auswertung ist mit Hilfe von Arbeitsblättern vorskizziert. Die Lehrkraft sollte nur im Notfall als Helfer zur Verfügung stehen.
3. Selbstständig: Die Auswertung des Experiments erfolgt in Schülerkleingruppen. Allerdings gibt es dabei keine Vorgaben zum Vorgehen. Zur Hilfe stehen das Schulbuch, das Internet etc. zur Verfügung. Die Lehrkraft sollte nicht einwirken.

Eine Unterscheidung zwischen den Untersuchungsgruppen nach Schüleraktivität findet lediglich in der Vorbereitungsphase statt (Tab. 2). Die Vorbereitung des Experiments erfolgt in allen drei Untersu-

chungsgruppen im Plenum, die Durchführung wird ebenfalls in allen drei Gruppen von der Lehrkraft übernommen.

Treatment	Phasen des Experiments		
	Vorbereitung	Durchführung	Auswertung
Plenum	Lehrkraft	Lehrkraft	Lehrkraft
Angeleitet	Lehrkraft	Lehrkraft	SuS
Selbstständig	Lehrkraft	Lehrkraft	SuS

Tab. 2 Unterscheidung der Untersuchungsgruppen nach Schüleraktivität (SuS = Schülerinnen und Schüler in Kleingruppen)

5.3. Verwendete Messinstrumente

Tabelle drei bietet einen Überblick über die in der Hauptstudie eingesetzten Messinstrumente und die Messzeitpunkte.

Erhobenes Konstrukt	Autorinnen und Autoren	Messzeitpunkt
Kognitive Leistungsfähigkeit	Heller & Perleth (2000)	Pretest
Personenbezogene Daten		Pretest
Fachwissen	Weiterentwicklung nach Winkelmann (2015)	Pretest, Kurztests, Posttest
Auswertekompetenz	Eigenentwicklung nach Modell von MeK-LSA	Pretest, Posttest
Überzeugung der Lehrkräfte	Lamprecht (2011), nach Neuhaus (2004) und Seidel und Meyer (2003)	beliebig

Tab. 3 Messinstrumente der Hauptstudie

Um die Lehrkräfte den drei Überzeugungstypen nach Lamprecht (2011) zuordnen zu können, füllen diese einmalig, zu einem beliebigen Zeitpunkt, den Fragebogen zur Überzeugung der Lehrkräfte aus.

Die Schülerinnen und Schüler füllen zum ersten Messzeitpunkt zunächst einen Test zur Kognitiven Leistungsfähigkeit sowie einen Fragebogen zu personenbezogenen Daten aus. Dies dient dazu, die Homogenität bzw. Heterogenität der Stichprobe im Nachhinein abschätzen zu können. Da diese Daten als stabil angesehen werden, reicht es, sie zu einem Messzeitpunkt zu erheben. Im Anschluss daran erfolgen der Fachwissenstest nach Winkelmann (2015) sowie der Test zum Messen der Auswertekompetenz. Um den Einfluss der Auswertephase vom Einfluss des Gesamtexperiments auf den Lernzuwachs der Schülerinnen und Schüler abschätzen zu können, füllen die Probanden nach der Durchführung, aber vor der Auswertung jedes Experiments einen Kurzttest mit Fragen zum gerade erlebten Experiment aus. Aufsummiert ergeben diese sechs Kurzttests genau den Fachwissens Pre- bzw. Posttest. Zum dritten Messzeitpunkt füllen die Schülerinnen und Schüler erneut den Fragebogen zum Fachwissen und zur Auswertekompetenz aus. Durch die drei Messzeit-

punkte soll der Lernzuwachs zwischen Pre- und Posttest (Lernzuwachs durch das vollständige Experiment) sowie zwischen Kurztests und Posttest (Lernzuwachs durch die Auswertephase) überprüft werden können.

6. Erste Ergebnisse der Hauptstudie

Im Folgenden werden erste Ergebnisse der Hauptstudie präsentiert. Da noch Testhefte einiger Schulklassen fehlen, müssen die Ergebnisse sehr vorsichtig interpretiert werden, und es kann an dieser Stelle lediglich von ersten Tendenzen gesprochen werden.

Bislang konnten 15 Schulklassen (Plenum: 5, Angeleitet: 6, Selbständig: 4) mit 9 Lehrkräften ausgewertet werden. Insgesamt haben sich 311 Schülerinnen und Schüler (weiblich: 159, männlich: 143, keine Angaben: 9) beteiligt. Aus diesen Zahlen wird deutlich, dass zwar die Stichprobe auf der Seite der Schülerinnen und Schüler zufriedenstellend groß ist, seitens der Lehrkräfte allerdings mit 9 Teilnehmerinnen und Teilnehmern noch sehr klein. Daher müssen besonders Ergebnisse seitens der Lehrkräfte mit größter Vorsicht interpretiert werden. Unter den 9 Lehrkräften konnten vier im Trainingsmuster, zwei im diskursiven Muster und vier im Vermittlungsmuster identifiziert werden. Aus Tabelle 4 wird ersichtlich, dass zum aktuellen Zeitpunkt noch nicht alle Faktorkombinationen besetzt sind. Daher können Ergebnisse zur Wechselwirkung zwischen Lehrkraft und Treatment noch nicht interpretiert werden. Wir erwarten, dass sich die Tabelle mit der Erweiterung der Stichprobe vollständig füllen lässt, sodass Aussagen über den Einfluss der Wechselwirkung der beiden Faktoren getätigt werden können.

	Trainingsmuster	Diskursives Muster	Vermittlungsmuster
Plenum	2	0	3
Angeleitet	0	3	3
Selbstständig	2	0	2

Tab. 4 Verteilung der Überzeugungstypen auf die Treatments

Zur Testung der Lernförderlichkeit des Unterrichts wurde ein t-Test für verbundene Stichproben durchgeführt. Dadurch konnte sowohl im Fachwissen als auch bei der Auswertekompetenz ein signifikanter Anstieg in der erreichten Punktzahl zwischen Pre- und Posttest mit einem großen Effekt beim Fachwissen und einem mittleren Effekt bei der Auswertekompetenz festgestellt werden. Dies spricht für eine generelle Lernförderlichkeit des Unterrichts.

Eine zweifaktorielle Varianzanalyse mit den Faktoren Treatment und Lehrkraft und den abhängigen Variablen Fachwissenszuwachs und Auswertekompetenzzuwachs konnte sowohl für den Haupteffekt des Treatments als auch für den Haupteffekt der

Lehrkraft einen signifikanten Unterschied feststellen.

Auf der Seite des Treatments (Abb. 2) erzielte die Gruppe „Plenum“ den größten Fortschritt zwischen Pre- und Posttest sowohl im Fachwissen als auch in der Auswertekompetenz. Die Gruppe „Angeleitet“ zeigt in beiden Bereichen den geringsten Lernzuwachs. Allerdings sind diese Unterschiede nur seitens des Fachwissens signifikant. Wie der weiter unten folgende Vergleich zeigt, können die Unterschiede allerdings nicht auf das Treatment selbst zurückgeführt werden.

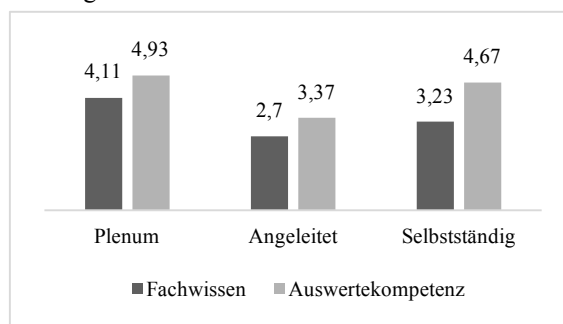


Abb. 2 Lernzuwachs in Punkten nach Treatment

Bezüglich der unterrichtenden Lehrkraft lassen sich nur hinsichtlich der Auswertekompetenz der Schülerinnen und Schüler signifikante Unterschiede im Lernzuwachs zwischen Pre- und Posttest feststellen (Abb. 3). Dabei profitierten Schülerinnen und Schüler, die von einer Lehrkraft im Vermittlungsmuster unterrichtet wurden, am meisten. Lehrkräfte im diskursiven Muster bewirkten den geringsten Lernzuwachs. Post-hoc Analysen zeigen, dass die Unterschiede zwischen dem diskursiven Muster und dem Trainingsmuster und dem diskursiven Muster und dem Vermittlungsmuster signifikant sind.

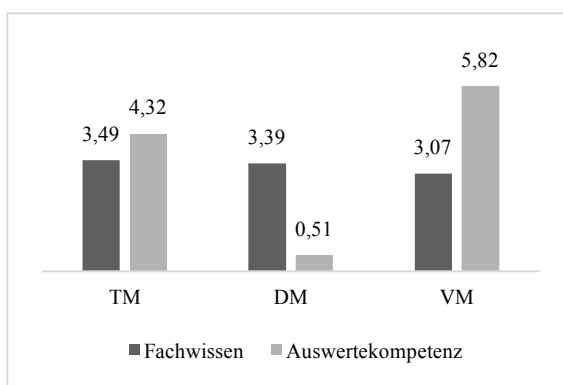


Abb. 3 Lernzuwachs in Punkten nach Überzeugungstypen (TM: Trainingsmuster, DM: Diskursives Muster, VM: Vermittlungsmuster)

Um die Lernförderlichkeit der Auswertephase abschätzen zu können, wird der Lernzuwachs zwischen Kurz- und Posttest und damit bezüglich der nur dort wirksamen Treatmentunterschiede untersucht. Dabei wird deutlich, dass die Schülerinnen und Schüler

durch die Auswertung selbst noch um 1,32 Punkte signifikant dazulernen. Allerdings lässt sich seitens des Treatments kein signifikanter Vorteil für eine der drei Gruppen feststellen. Bei der Unterscheidung nach Lehrkräften wird deutlich, dass die Gruppen, die von einer Lehrkraft im Vermittlungsmuster unterrichtet wurden bezüglich des Fachwissens am meisten durch die Auswertung dazu lernen (Abb. 4). Der Unterschied zwischen Lehrkräften im Vermittlungsmuster und Lehrkräften im diskursiven Muster, die am wenigsten Fachwissen durch die Auswertung generieren konnten, ist signifikant.

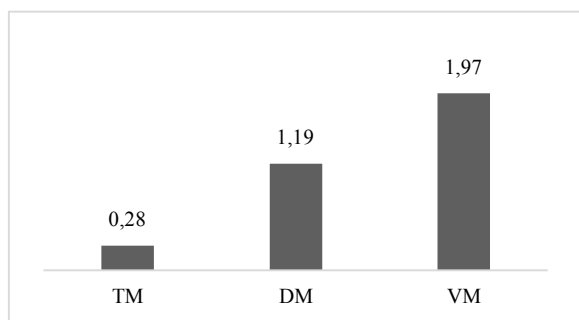


Abb. 4 Lernzuwachs im Fachwissen durch die Auswertephase nach Überzeugungstypen (TM: Trainingsmuster, DM: Diskursives Muster, VM: Vermittlungsmuster)

7. Diskussion und Ausblick

An dieser Stelle soll noch einmal festgehalten werden, dass es sich aufgrund der unvollständigen Stichprobe nur um vorläufige Ergebnisse und erste Tendenzen handeln kann. Die Aussagekraft der Ergebnisse ist somit stark eingeschränkt. Besonders gilt dies für den Einfluss der Lehrkräfte, da die Stichprobe mit 9 Teilnehmerinnen und Teilnehmern noch sehr gering ist. Die Daten müssen nach Vervollständigung der Stichprobe erneut ausgewertet und die Ergebnisse interpretiert werden.

Bei der Betrachtung des Lernzuwachses zwischen Pre- und Posttest scheint zunächst die Auswertephase einen signifikanten Einfluss auf den Fachwissenszuwachs zu haben. Bei Betrachtung des Lernzuwachses zwischen Kurz- und Posttest fällt auf, dass sich hier keine signifikanten Unterschiede zwischen den Treatmentgruppen feststellen lassen. Da die eigentliche Intervention allerdings zwischen Kurz- und Posttest stattgefunden hat, können Unterschiede im Gesamt-Fachwissenszuwachs offenbar nicht auf das Treatment zurück zu führen sein.

In Bezug auf die Auswertekompetenz scheint die Lehrkraft der signifikante Faktor zu sein. Vorläufig kann festgehalten werden, dass Schülerinnen und Schüler, die von einer Lehrkraft im Vermittlungsmuster unterrichtet wurden in diesem Kompetenzbereich am meisten profitieren konnten.

Die Schülerinnen und Schüler der vorliegenden Stichprobe haben durch die Auswertephase von

Experimenten noch etwas hinzugelehrt. Um möglichst viel Fachwissen zu vermitteln, scheinen die Lehrkräfte frei in der Wahl der Auswertemethode zu sein, da Schülerinnen und Schüler die in der Studie komplett frei gearbeitet haben, ähnlich viel gelernt haben, wie Schülerinnen und Schüler, die von der Lehrkraft angeleitet wurden. DA anzunehmen ist, dass Schülerinnen und Schüler beim selbstständigen Arbeiten vermutlich noch weitere Kompetenzen erwerben, in Bezug auf das Fachwissen aber keinen Nachteil erfahren, kann dies auch als positives Signal für dieses Vorgehen interpretiert werden. Die aktuelle Befundlage konnte zeigen, dass auch bezüglich der Auswertephase Lehrkräfte im Vermittlungsmuster am erfolgreichsten unterrichtet haben. Dies liegt möglicherweise daran, dass dieser Überzeugungstyp am flexibelsten auf unterschiedliche Unterrichtssituationen reagieren kann.

Die ausstehenden Daten werden bis Mai 2017 erwartet. Um alle möglichen Wechselwirkungen adäquat abschätzen zu können, sollen diese dann mittels einer multivariaten Varianzanalyse mit Messwiederholung ausgewertet werden, um abschließende Ergebnisse präsentieren zu können.

8. Literatur

- [1] Chinn, Clark A.; Malhotra, Betina A. (2002). Epistemologically authentic inquiry in schools: A theoretical framework for evaluating inquiry tasks. In: *Sci. Ed.* 86 (2), S. 175–218.
- [2] Dickmann, Martin; Eickhorst, Bodo; Theyßen, Heike; Neumann, Knut; Schecker, Horst & Schreiber, Nico (2013). Measuring experimental skills in large-scale assessments: developing a simulation-based test instrument. In C. P. Constantinou, N. Papadouris & A. Hadjigeorgiou (Eds.). *Science Education Research For Evidence-based Teaching and Coherence in Learning*. Proceedings of the ESERA 2013 Conference.
- [3] Dolan, Erin; Grady, Julia (2010). Recognizing Students' Scientific Reasoning: A Tool for Categorizing Complexity of Reasoning During Teaching by Inquiry. In: *Journal of science teacher education* 21 (1), S. 31–55.
- [4] Emden, Markus (2011). Prozessorientierte Leistungsmessung des naturwissenschaftlich-experimentellen Arbeitens. Eine vergleichende Studie zu Diagnoseinstrumenten zu Beginn der Sekundarstufe I. Berlin: Logos Berlin (Studien zum Physik- und Chemielernen, 118).
- [5] Glug, Inga (2009). Entwicklung und Validierung eines Multiple-Choice-Tests zur Erfassung prozessbezogener naturwissenschaftlicher Grundbildung. Kiel: Universitätsbibliothek Kiel.

- [6] Hacking, Ian (1983). *Representing and Intervening: Introductory topics in the philosophy of natural science*. Cambridge University Press.
- [7] Heller, Kurt; Perleth, Christopher (2000). Kognitiver Fähigkeitstest für 4. bis 12. Klassen, Revision (KFT 4-12+R). Göttingen: Hogrefe, 71-176.
- [8] Helmke, Andreas. (2012). Unterrichtsqualität und Lehrerprofessionalität. Diagnose, Evaluation und Verbesserung des Unterrichts. Großburgwedel: Klett Kallmeyer.
- [9] Hofstein, Avi (2004). The laboratory in chemistry education: Thirty years of experience with the developments, implementation, and research. In: *Chemistry education research and practice*, 5(3), 247-264.
- [10] KMK, Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (2004). *Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss: Beschluss vom 16.12.2004*. München: Luchterhand.
- [11] Lamprecht, Jan (2011). *Ausbildungswege und Komponenten professioneller Handlungskompetenz: Vergleich von Quereinsteigern mit Lehramtsabsolventen für Gymnasien im Fach Physik*. Berlin: Logos (Studien zum Physik- und Chemielernen, 125)
- [12] Millar, Robin (2010). Practical work. In: J. Osborne & J. Dillon (Hrsg.), *Good practice in science teaching: What research has to say*. Maidenhead: Open University Press, S. 108-134.
- [13] Muth, Laura & Erb, Roger (2016). Einfluss der Auswertephase von Experimenten im Physikunterricht auf den Fachwissenszuwachs und die experimentelle Kompetenz von Schülerinnen und Schülern. In: Helmuth Grötzebauch & Volkhardt Nordmeier (Hrsg.). *PhyDid B – Didaktik der Physik: Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung des Fachverbands Didaktik der Physik, Hannover 2016*, Beitrag DD 15.01.
- [14] Neuhaus, Birgit (2004). *Einstellungsausprägungen von Biologielehrern. Ein bundesdeutscher Vergleich*. Dissertation an der Universität Kassel, Fachbereich Naturwissenschaften, Institut für Biologie, Abteilung Didaktik der Biologie.
- [15] Niedderer, Hans; Tiberghien, Andrée; Buty, Christian; Haller, Kerstin; Hucke, Lorenz; Sander, Florian; Fischer, Hans; Schecker, Horst; v. Aufschnaiter, Stefan & Welzel, Manuela (1998). *Labwork in science education. Category based analysis of videotapes from labwork (CBAV) – Method and results from four case-studies. Targeted socioeconomic research program, Project PL 95-2005*.
- [16] Schreiber, Nico (2012). *Diagnostik experimenteller Kompetenz. Validierung technologiegestützter Testverfahren im Rahmen eines Kompetenzstrukturmodells*. Berlin: Logos (Studien zum Physik- und Chemielernen, 139).
- [17] Schreiber, Nico; Theyßen, Heike; Schecker, Horst (2014). Diagnostik experimenteller Kompetenz: Kann man Realexperimente durch Simulationen ersetzen? In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 20(1), 161-173
- [18] Priemer, Burkhard (2011). Was ist das Offene beim Experimentieren? In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*; Jg. 17, 2011, S. 315-337
- [19] Seider, Tina; Meyer, Lena (2003). Kapitle 11 – Skalendokumentation Lehrerfragebogen. In: Seidel, T., Prenzel, M., Duit, R. & Lehrke, M. (Hrsg.): *Technischer Bericht zur Videostudie „Lehr- und Lernprozesse im Physikunterricht“*. Kiel: Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften (IPN), S. 240-273.
- [20] Tesch, Maïke; Reinders, Duit (2004). Experimentieren im Physikunterricht – Ergebnisse einer Videostudie. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*; Jg. 10, 2004, S. 51-69
- [21] Vorholzer, Andreas; von Aufschnaiter, Claudia; Kirschner, Sophie (2016). Entwicklung und Erprobung eines Tests zur Erfassung des Verständnisses experimenteller Denk- und Arbeitsweisen. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*; 2016, S. 1-17
- [22] Winkelmann, Jan (2015). *Auswirkungen auf den Fachwissenszuwachs und auf affektive Schülermerkmale durch Schüler- und Demonstrationsexperimente im Physikunterricht*. Berlin: Logos Verlag

Entwicklung eines Fachwissenstests zur geometrischen Optik

Jeremias Weber*, Jan Winkelmann*, Roger Erb*, S. Franziska C. Wenzel[†], Mark Ullrich[†], Holger Horz[†]

*Institut für Didaktik der Physik, Max-von-Laue-Straße 1, 60438 Frankfurt am Main, [†]Institut für Psychologie, Theodor-W.-Adorno-Platz 6, 60629 Frankfurt am Main
jeremias.weber@physik.uni-frankfurt.de

Kurzfassung

Im BMBF-geförderten Projekt 'Kompetenzmessung und Kompetenzförderung in leistungsheterogenen Lerngruppen im experimentierbasierten Physikunterricht' (KoPhy) werden etwa 2000 Schülerinnen und Schüler in einer längsschnittlich angelegten Interventionsstudie auf den Kompetenzzuwachs in drei Experimentiersituationen untersucht.

Anhand einer im Frühjahr 2016 durchgeführten Pilotstudie mit 310 Teilnehmerinnen und Teilnehmern konnten für die Hauptstudie IRT-skalierte Testhefte zur geometrischen Optik für den Kompetenzbereich 'Fachwissen' zusammengestellt werden. Zusammen mit vorhandenen Items zur „Erfassung prozessbezogener naturwissenschaftlicher Grundbildung“ (Glug, 2009) und dem aktuellen Interesse der Schülerinnen und Schüler an Physik (Schulz, 2011) werden die Teilnehmerinnen und Teilnehmer der Hauptstudie umfassend befragt, um Auswirkungen der Intervention auf diese drei Aspekte zu erfassen. Die teilnehmenden Lehrkräfte erhalten zusätzlich einen Fragebogen zu ihrer Einstellung zum Fach und zur Wissenschaft Physik.

Im vorliegenden Beitrag werden die Rahmenbedingungen der Hauptstudie sowie ihr Aufbau kurz skizziert. Danach folgt ein Überblick über die Erkenntnisse der Pilotstudie und deren Einfluss auf die Hauptstudie. Die Vorstellung erster deskriptiv statistischer Ergebnisse aus der Hauptstudie schließt sich daran an. Abschließend soll ein Ausblick auf die weiteren Forschungsschritte und die bisher gewonnenen Erkenntnisse gegeben werden.

1. Motivation

Bereits seit vielen Jahren werden, beispielsweise bei Wagenschein [1] und Merzyn ([2], [3]) Experimente im Physikunterricht gefordert. Dementsprechend sind auch seit vielen Jahren Experimente fest in schulischen Curricula zum Fach Physik verankert. Folgerichtig nehmen Experimente laut Tesch [4] einen großen Anteil der Unterrichtszeit ein. Dabei dominieren Schülerexperimente, wie auch Duit und Wodzinski [5] anmerken. Allerdings beklagen sie, dass Schülerinnen und Schüler normalerweise „nur wenige Gelegenheiten haben, Experimente eigenständig zu planen, durchzuführen und auszuwerten“ ([5], S.1). Auch laut Hofstein & Lunetta [6] dominieren „Kochbuch“-Experimente („‘cook-book‘ lists of tasks“, S. 47, [6]). Von ihnen wird daher ein stärkerer Fokus auf fragengestütztes Experimentieren gefordert, das ihrer Meinung nach Lernende verschiedener Fähigkeiten, Lernstile oder kultureller Kontexte motiviert. Hofstein und Lunetta berichten weiterhin von widersprüchlichen Ergebnissen zur Frage, ob der Lernerfolg der Lernenden eher von Schüler- oder Demonstrationsexperimenten unterstützt wird. Winkelmann [7] schreibt in einem Überblick, dass es Hinweise auf Vorteile beider Experimentiersituationen gibt (S. 15).

2. Bisherige Vorarbeiten

Winkelmann [7] hat in Vorarbeiten verschiedene Experimentiersituationen formuliert und auf ihren Lernerfolg hin untersucht. Die Experimentiersituationen (Demonstrationsexperiment, Schülerexperiment

„Kochbuch“, Schülerexperiment „Guided“) unterschieden sich dabei im Grad der Anleitung (während der Planung und Durchführung) sowie in der oder den handelnden bzw. ausführenden Person oder Personen. Alle Experimentiersituationen bestanden aus Experimenten zur Lichtbrechung, insbesondere der folgenden Phänomene:

- Lichtbrechung an der Wasseroberfläche
- Lichtbrechung an Glasoberflächen
- Totalreflexion an Glasoberflächen
- Lichtbündelung durch Sammellinsen
- Bildentstehung an Sammellinsen und Abbildungsgesetz.

Die Auswertung der Experimente wurde in allen Experimentiersituationen im Plenum durchgeführt.

	Experimentiersituation		
	„Demo“	„Kochbuch“	„Guided“
Planung	Lehrkraft	Lehrkraft	Schülerinnen und Schüler
Durchführung	Lehrkraft	Schülerinnen und Schüler	Schülerinnen und Schüler
Auswertung	Plenum	Plenum	Plenum

Tab. 1: Unterschied der Experimentiersituationen

Dabei hat Winkelmann festgestellt, dass die Schülerexperimente, verglichen mit den Demonstrationsexperimenten, keinen signifikant positiven Einfluss auf

den Lernzuwachs über die Unterrichtsreihe hinweg haben.

Winkelmann fand dabei heraus, dass es eine kleine Wechselwirkung zwischen Experimentiersituation und Lehrkraft gab, weswegen er es für „lohnenswert [hält], zukünftig an diesem Punkt weitere Forschungsarbeiten zu leisten“ (S. 134, [7]).

Weiter wurde ein leichter Vorteil leistungsstarker und –schwacher Schülerinnen und Schüler in stark angeleiteten Experimentiersituationen, verglichen mit Schülerinnen und Schüler mittlerer Fähigkeit, festgestellt. Diese profitierten eher von der „Guided“-Experimentiersituation.

3. Studie zur Kompetenzmessung und Kompetenzförderung in leistungsheterogenen Lerngruppen im experimentierbasierten Physikunterricht (KoPhy-Studie)

3.1 Forschungsfragen und Studiendesign

Anhand der oben dargestellten Vorarbeiten konnten für die hier vorgestellte KoPhy-Studie folgende Forschungsfragen formuliert werden [8]:

1.1 Wie wirken sich die unterschiedlichen Experimentiersituationen im Physikunterricht auf die Entwicklung im Kompetenzbereich „Fachwissen“, im Kompetenzbereich „Erkenntnisgewinnung“ und auf das aktuelle Interesse der Schülerinnen und Schüler auf Physik aus?

1.2 Welche Unterschiede zeigen sich in heterogenen Leistungsgruppen aufgrund der unterschiedlichen Experimentiersituationen im Physikunterricht in Bezug auf die Entwicklung im Kompetenzbereich „Fachwissen“ und im Kompetenzbereich „Erkenntnisgewinnung“?

2. Welche Auswirkungen hat die Interaktion von Lehrercharakteristika und Experimentiersituation auf die Kompetenzentwicklung von Schülerinnen und Schülern im Fach Physik?

Die Studie ist als längsschnittliche Interventionsstudie angelegt. Um die Forschungsfragen zu beantworten werden die Unterrichtsreihen von Winkelmann [7] wiederverwendet bzw. leicht adaptiert, da diese sich bereits im praktischen Einsatz bewährt haben. Dabei wird die Intervention bzw. Experimentiersituation zufällig teilnehmenden Klassen zugeteilt. Vor sowie nach der Intervention, also der jeweiligen Unterrichtsreihe, erhalten die Schülerinnen und Schüler einen Fragebogen mit Aufgaben und Fragen zu verschiedenen Bereichen. An drei weiteren Messzeitpunkten, im Abstand von jeweils vier Wochen, werden ebenfalls Fragebögen verteilt und Follow-Up-Tests durchgeführt. Um dabei die Testbelastung für die teilnehmenden Schulen möglichst gering zu halten, wird hierbei ein Planned-Missing-Design [9] genutzt. Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer werden dabei nur an einem der drei nachfolgenden Follow-Up-Termine befragt und somit nur an drei von insgesamt fünf Messzeitpunkten. Der Termin zur Follow-

Up-Befragung wurde den Klassen randomisiert zugewiesen.

Der zeitliche Ablauf der Studie wird in der folgenden Tabelle 2 noch einmal graphisch dargestellt:

2 Unterrichtsstunden	6 Unterrichtsstunden	2 Unterrichtsstunden	2 Unterrichtsstunden	2 Unterrichtsstunden	2 Unterrichtsstunden
	Intervention, Experiment				
Demoexperimentiergruppe: „Demo“					
Schülerexperimentiergruppe 1: „Kochbuch“					
Schülerexperimentiergruppe 2: „Guided“					
Pretest		Posttest	Follow-Up-Test	Follow-Up-Test	Follow-Up-Test
Sept. 2016	Oktober - Dezember 2016	Januar 2017	Februar 2017	März 2017	

Tab. 2: Design der Studie

3.2 Messinstrumente

Zur Beantwortung der Forschungsfragen wurden verschiedene Messinstrumente genutzt, die an den jeweiligen Messzeitpunkten eingesetzt werden.

Im Pretest wird neben personenbezogenen Daten die kognitive Leistungsfähigkeit (KFT-V3, -N2) nach Heller & Perleth [10] als Kontrollvariable erhoben. Diese wird nur zu diesem Messzeitpunkt erhoben, da sie als stabiles Merkmal angenommen werden kann. Ebenfalls werden während des Pretests die Lehrkräfte anhand eines Auszugs des Fragebogens von Lamprecht [9] zu ihren Überzeugungen zum Physikunterricht und zur Physikwissenschaft befragt. Die Erkenntnisse dieser Befragung sollen in Kombination mit den übrigen Messinstrumenten wertvolle Hinweise zur Beantwortung der zweiten Forschungsfrage liefern. Da diese Überzeugungen über den Untersuchungszeitraum hinweg stabil sind, wird dieses Messinstrument nur während des Pretests genutzt.

Das aktuelle Interesse der Schülerinnen und Schüler an Physik wird im Posttest anhand einer an den Physikunterricht angepassten Skala von Schulz [11] erhoben.

An allen Messzeitpunkten wird die Entwicklung in den Kompetenzbereichen „Erkenntnisgewinnung“ und „Fachwissen“ gemessen. Durch die Befragung zu fünf unterschiedlichen Zeitpunkten kann neben einer linearen auch eine nichtlineare Veränderung der Kompetenz der Schülerinnen und Schüler untersucht werden. Für den Kompetenzbereich „Erkenntnisgewinnung“ werden dabei Itemsets aus dem Test zur prozessbezogenen naturwissenschaftlichen Grundbildung von Glug [12] eingesetzt, die bereits nach der Item-Response-Theorie (IRT, [13]) kalibriert sind. Für die Messung der Entwicklung im Bereich „Fachwissen“ gibt es für das Themengebiet der „Geometrischen Optik“ keine nach den Methoden der Item-Response-Theorie kalibrierten Testinstrumente. Daher wurde im Vorfeld der Studie ein solcher Test entwickelt.

3.3 Konzeption eines Fachwissenstests

Mit dem Ziel, einen IRT-skalierten Fachwissenstest im Bereich der „Geometrischen Optik“ für Schülerinnen und Schüler zu entwickeln, welcher eine reliable Messung der Veränderung über mehrere Messzeitpunkte hinweg erlaubt, wurden die folgenden Schritte unternommen.

3.3.1 Reanalyse existierender Items

Zunächst wurden die von Winkelmann [7] eingesetzten Items hinsichtlich zentraler psychometrischer Aspekte und unter Nutzung von Modellen der Item-Response-Theorie analysiert (Schritt 1) und problematische Items überarbeitet, sofern möglich. Insgesamt hat Winkelmann 54 Items eingesetzt, bei einer Stichprobe von insgesamt 951 Schülerinnen und Schülern. Aus diesen konnten 32 Items, die einem höheren Schwierigkeitsspektrum zuzuordnen waren, selektiert werden. Zusätzlich wurden in einer Expertengruppe 30 weitere Items entwickelt, die dann mit den vorhandenen Items verknüpft wurden, um sie in einer Vorstudie zu kalibrieren.

3.3.2 Vorstudie

Überarbeitete und neu entwickelte Items wurden im Rahmen einer Pilotstudie IRT-skaliert und entsprechend ihrer psychometrischen Güte für den Fachwissenstest selektiert oder eliminiert (Schritt 2). Die 51 Items wurden dabei auf 13 Testhefte aufgeteilt, wobei ein balanciertes unvollständiges Testheftdesign [14] genutzt wurde. Die Testhefte enthielten nicht mehr als 15 Items und wurden von insgesamt 310 Personen bearbeitet. Dazu zählten Schülerinnen und Schüler und Lehramtsstudierende der Universitäten Köln und Frankfurt. Genauso wie im ersten Schritt wurden die Items nach der Durchführung der Vorstudie skaliert und selektiert.

3.3.3 Erstellung des Fachwissenstests

Zuletzt wurden aus dem so gewonnenen Itempool Testhefte zusammengestellt, die eine Erfassung des Fachwissens im Bereich „Geometrische Optik“ über verschiedene Messzeitpunkte hinweg, und damit die Entwicklung des Fachwissens über die Zeit, erlauben (Schritt 3). Der zur Testhefterstellung zur Verfügung stehende Itempool umfasste schließlich 60 Items. 48 dieser Items wurden zu verschiedenen Testheften für die unterschiedlichen Messzeitpunkte zusammengestellt. Dabei wiederholt sich jeweils nur ein Teil der Items über mehr als einen Messzeitpunkt, diese werden Ankeritems genannt. Die übrigen Items sind messzeitpunktspezifisch ausgewählt. Insbesondere wurde dabei die Schwierigkeit der einzelnen Items an die zu erwartende Personenfähigkeit angepasst: Im Pretest wurden also besonders einfache Items genutzt, im Posttest dafür schwerere Items.

Um Reihenfolgeeffekte soweit wie möglich zu minimieren, wurden für jeden Messzeitpunkt fünf Testhefte anhand eines balancierten unvollständigen Testheftdesigns [15] erstellt. Insgesamt sollte der so entwickelte Fachwissenstest eine Bearbeitungsdauer von ca. 20 Minuten aufweisen, aber trotzdem eine änderungssensitive und reliable Erfassung des Fachwissens erlauben.

4. Studiendurchführung und erste Ergebnisse

4.1 Bisherige Durchführung

Für die Hauptstudie wurden bis zum zweiten Halbjahr des Schuljahres 2016/17 insgesamt 63 Klassen rekrutiert. Die beteiligten Lehrkräfte meldeten zurück, dass die vorgegebenen Unterrichtsreihen gut durchführbar waren. Um verschiedene Stundenraster zu berücksichtigen, wurden sowohl die Testhefte als auch die vorgegebenen Stunden in Versionen für Einzel- und Doppelstunden bereitgestellt. Dadurch und durch die Vorbereitung der Arbeitsmaterialien durch das Forscherteam wurde die Akzeptanz der Studie bei den Lehrkräften deutlich erhöht. In den insgesamt acht Fällen, bei denen die Studie in teilnehmenden Klassen abgebrochen wurde, lagen dem Abbruch organisatorische Aspekte (u.a. Schulwechsel der Lehrkraft, Elternzeit) zugrunde. Bei einer zu erwartenden durchschnittlichen Klassengröße von 26 Schülerinnen und Schülern [16] kann im Moment von einer Stichprobengröße von 1430 Schülerinnen und Schülern ausgegangen werden. Bis zum Ende des Schuljahres 2016/17 soll eine Nachrekrutierung unter identischen Rahmenbedingungen durchgeführt werden, um die Stichprobe weiter zu vergrößern.

4.2 Erste deskriptive Ergebnisse

Von den zum aktuellen Zeitpunkt 50 zurückgesandten Klassensätzen an Pre- und Posttest-Fragebögen sind zehn Sätze teilweise digitalisiert und aufbereitet worden, mit insgesamt 167 teilnehmenden Schülerinnen und Schülern. Mit einer so kleinen Stichprobe können die in der Studie geplanten Mehrebenenanalysen noch nicht durchgeführt werden. Im Folgenden sind daher nur Ausblicke, basierend auf dieser Teilstichprobe, zu sehen. In der folgenden Tabelle 3 sind die bisher aufbereiteten Fragebogensätze im Vergleich zu den bisher zurückgesandten Sätzen und rekrutierten Klassen, jeweils bezogen auf die Experimentiersituation, zusammengefasst.

	Demoexp.	Kochbuch	Guided
Rekrutierung	20	22	21
Bisheriger Rücklauf	18	16	16
Aufbereitete Sätze	4	3	3

Tab. 3: Rücklaufquote und Stand der Datenaufbereitung (als Anzahl von Klassen)

Die hier näher betrachtete Teilstichprobe setzt sich aus deutlich mehr Mädchen (54%) als Jungen (29%) zusammen, wobei ein recht großer Teil der Befragten (17%) keine Angabe zu seinem Geschlecht machte. In dieser Stichprobe waren die Schülerinnen und Schüler wie in folgender Tabelle dargestellt auf Klassenstufen und einzelne Klassen verteilt (Tab. 4). Es sind nur die Schülerinnen und Schüler berücksichtigt, die ihre Klassenstufe angegeben haben.

Klasse	Klassenstufe	Eingescannte Bögen
1	8	8
2	7	19
3	7	21
4	7	9
5	7	6
6	7	13
7	7	13
8	8	24
9	8	15
10	8	13

Tab. 4: Verteilung der Teilnehmerinnen und Teilnehmer

In der rekrutierten Gesamtstichprobe ist die Klassenstufe 7 stärker repräsentiert (in einem Verhältnis 3:1 zur Klassenstufe 8). Dagegen ist hier eine Verteilung von 3:2 zu finden.

Die Vornoten in den Fächern Deutsch, Mathematik und Physik korrelieren untereinander und waren im Mittel jeweils „gut“, dabei war das gesamte Notenspektrum vorhanden.

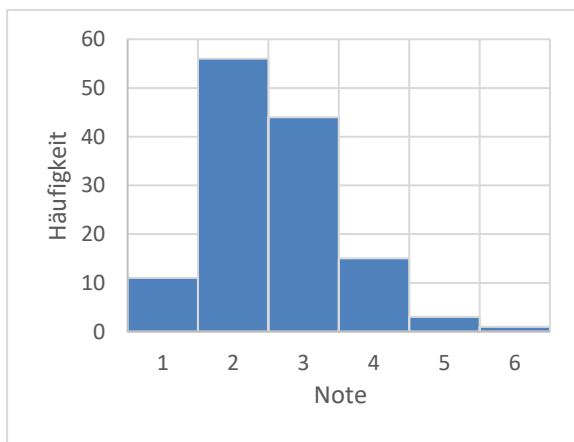


Abb. 1: Verteilung der Schulnoten in der Teilstichprobe

Weder anhand der Schulnoten noch der Anzahl der gelösten Items kann eine endgültige Aussage über die Heterogenität der verschiedenen Klassen getroffen werden. Anhand der Skalen zur kognitiven Leistungsfähigkeit wird in der Auswertung der Gesamtstichprobe diese Frage genauer untersucht werden. In der folgenden Tabelle 6 ist ein Überblick über die mittlere Anzahl gelöster Items im Pretest pro Klasse zu finden.

Klasse	Mittlere Anzahl	Standardabweichung
1	7,1	2,5
2	7,4	2,7
3	6,2	2,3
4	7,2	2,2
5	7,5	2,1
6	6,7	1,9
7	6,9	2,0
8	6,8	1,9
9	5,4	1,7
10	4,9	2,2

Tab. 5: Anzahl richtig gelöster Items im Pretest

Im Mittel nahm die Anzahl der richtig gelösten Physikitems vom Pretest zum Posttest leicht ab. Um das korrekt interpretieren zu können, müssen die bereits in 3.3 beschriebenen IRT-basierten Itemanalysen realisiert werden, was erst bei Vorlage der Gesamtstichprobe möglich ist. Zur Vermeidung von Gedächtniseffekten haben die Testhefte verschiedene Items zu verschiedenen Messzeitpunkten, bis auf die identischen Ankeritems (vgl. 3.3.3). Bei der hier vorliegenden Teilstichprobe sind das insgesamt vier Items. Es lässt sich dabei feststellen, dass zum Pretest im Mittel eines dieser vier Items, beim Posttest 1,4 von vier Items gelöst werden kann. Aufgrund der geringen Itemzahl ist das aber nur als Hinweis auf eine positive Tendenz zu verstehen. Weitere Aussagen, insbesondere über Unterschiede zwischen den Treatments, können an dieser Stelle noch nicht getroffen werden. Über die interessensbezogenen Fragen nach Schulz [11] kann bereits eine hohe Reliabilität der Skala festgehalten werden, das Cronbach-Alpha als Maß für die interne Konsistenz beträgt 0.85. Außerdem gibt es einen ersten Hinweis darauf, dass die Schülerinnen und Schüler ein höheres Interesse am Fach Physik im Nachgang der Unterrichtsreihe haben, wenn sie Erfahrungen mit schülerorientierten Experimentiersituation sammeln konnten. Wie in der folgenden Tabelle verdeutlicht, ist dies aber nur als Tendenz zu verstehen.

Experimentiersituation	Mittleres Interesse	Standardabweichung
Demo	2,7	0,8
Kochbuch	3,2	0,8
Guided	3,3	0,8

Tab. 6: Mittleres Interesse in den Experimentiersituationen

5. Fazit und Ausblick

Die Studie in der vorgestellten Form stieß auf hohe Akzeptanz bei den teilnehmenden Schulen. Insbesondere die empirische Erprobung eines Fachwissens-tests wurde von den teilnehmenden Lehrkräften sehr

positiv aufgenommen, in verschiedenen Rückmeldungen wurde die Evaluation des Fachwissenstests als wichtiges Kriterium für die Teilnahme an der Studie angegeben.

Auch die flexiblen Durchführungsmöglichkeiten und die umfangreiche Unterstützung durch Arbeitsmaterialien wurden von den Lehrkräften positiv erwähnt.

Der hier vorgestellte Fachwissenstest zur geometrischen Optik wurde nach Modellen der Item-Response Theorie konzeptioniert. Der Einsatz in der KoPhy-Studie erlaubt es, ihn im Folgenden nochmals zu rekalibrieren. Der so entwickelte Test kann in anderen Studien im Bereich der Unterrichtsforschung als eigenständiger Fachwissenstest oder auch im Kontext von Large-Scale-Assessments (großangelegte Vergleichsstudien, wie beispielsweise PISA) genutzt werden.

Die ersten, anhand einer kleinen Teilstichprobe erzielten deskriptiven Ergebnisse in Bezug auf das Fachwissen können natürlich noch keine Untersuchung des Lernzuwachs ermöglichen. Um Gedächtniseffekte zu vermeiden, wurden bei der hier dargestellten Studie unterschiedliche Fragebögen mit einer an den Messzeitpunkt angepassten Schwierigkeit verwendet. Eine abschließende Aussage zur Entwicklung des Fachwissens kann daher erst erfolgen, wenn der vollständige Datensatz digitalisiert und aufbereitet wurde.

Im weiteren Verlauf der KoPhy-Studie werden die Daten aus den verschiedenen Tests dann mehrbenen-analytisch betrachtet, um die in Frage stehenden Auswirkungen der Experimentiersituationen und insbesondere auch die Wechselwirkungen zwischen Experimentiersituation und den Überzeugungen der Lehrkräfte zu untersuchen. So sollen Antworten auf die eingangs formulierten Forschungsfragen gefunden werden.

6. Literatur

- [1] Wagenschein, M. (1976). „Rettet die Phänomene (Der Vorrang des Unmittelbaren)“. In: *Der Mathematische und Naturwissenschaftliche Unterricht*, 1977, S. 129–137.
- [2] Merzyn, G., (2010). „Physik – ein schwieriges Fach“. In: *Praxis der Naturwissenschaften*, 5/59, 9-12.
- [3] Merzyn, G., (2008). „Naturwissenschaften, Mathematik, Technik – immer unbeliebter?“, Baltmannsweiler.
- [4] Tesch, M. (2005). Das Experiment im Physikunterricht: Didaktische Konzepte und Ergebnisse einer Videostudie. In H. Niedderer, H. Fischler & E. Sumfleth (Eds.). *Studien zum Physik und Chemielernen* (Vol.42). Berlin: Logos Verlag.
- [5] Duit, R. & Wodzinski, C.T. (2010). Merkmale guten Physikunterrichts. In: Duit, R. (Hrsg.). *Piko-Briefe. Der fachdidaktische Forschungsstand kurzgefasst*. IPN Kiel. Abgerufen von: <http://www.ipn.uni-kiel.de/de/das-ipn/abteilungen/didaktik-der-physik/piko/piko-briefe032010.pdf>
- [6] Hofstein, A., & Lunetta, V. N. (2004). The Laboratory in Science Education: Foundations for the Twenty-First Century. *Science Education*, 88, 28-54.
- [7] Winkelmann, J. (2015). Auswirkungen auf den Fachwissenszuwachs und auf affektive Schülermerkmale durch Schüler- und Demonstrationsexperimente im Physikunterricht. In H. Niedderer, H. Fischler, E. Sumfleth (Hrsg.). *Studien zum Physik- und Chemielernen*. Band 179. Berlin: Logos Verlag.
- [8] Weber, J., Winkelmann, J., Erb, R., Wenzel, S. F. C., Ullrich, M., & Horz, H. (2016). Entwicklung von Messinstrumenten zum Kompetenzzuwachs anhand von Modellen der IRT. In: *Phy-Did B – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung des Fachverbandes Didaktik der Physik in Hannover*.
- [9] Little, T. D., & Rhemtulla, M. (2013). Planned Missing Data Designs for Developmental Researchers. *Child Development Perspectives*, 7, 199–204. doi:10.1111/cdep.12043.
- [10] Heller, K. A., & Perleth, C. (2000). *Kognitiver Fähigkeitstest für 4. bis 12. Klassen, Revision (KFT 4-12+R)*. Göttingen: Beltz Test GmbH.
- [11] Schulz, A. (2011). Experimentierspezifische Qualitätsmerkmale im Chemieunterricht: Eine Videostudie. In: H. Niedderer, H. Fischler, & E. Sumfleth (Hrsg.). *Studien zum Physik und Chemielernen* (Vol. 113). Berlin: Logos Verlag.
- [12] Glug, I. (2009). Entwicklung und Validierung eines Multiple-Choice-Tests zur Erfassung prozessbezogener naturwissenschaftlicher Grundbildung. Kiel: IPN.
- [13] van der Linden, W. J. & Hambleton, R. K. (Eds.). (2013). *Handbook of modern item response theory*. Springer Science & Business Media.
- [14] Frey, A., Hartig, J. & Rupp, A. (2009). Booklet designs in large-scale assessments of student achievement: Theory and practice. *Educational Measurement: Issues and Practice*, 28, 39-53.
- [15] Osterlind, S. J. & Everson, H. T. (2009). *Differential item functioning* (Vol. 161). Sage Publications.
- [16] Statistisches Bundesamt (2016). *Schulen auf einen Blick*. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt. Abgerufen von: https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/BildungForschungKultur/Schulen/BroschueSchulen-Blick0110018169004.pdf?__blob=publicationFile

Beschleunigungsverständnis in der Oberstufe

Thomas Wilhelm, Beyhan Gemici

*Institut für Didaktik der Physik, Goethe-Universität Frankfurt, Max-von-Laue-Str. 1, 60438 Frankfurt
wilhelm@physik.uni-frankfurt.de, beyhan3105@me.com

Kurzfassung

Die Beschleunigung ist eine zentrale Größe in der Newton'schen Mechanik und in der Oberstufe des Gymnasiums, aber auch eine schwer zu verstehende Größe. Zumindest bei eindimensionalen Bewegungen und Kreisbewegungen wird sie intensiv im Unterricht behandelt. Im Rahmen einer Staatsexamensarbeit wurden qualitative Aufgaben an 364 Schülerinnen und Schüler aus 20 Klassen an 13 hessischen Gymnasien gestellt und untersucht, nach welchen Vorstellungen die Schülerinnen und Schüler antworten. Betrachtet werden ein- und zweidimensionale Bewegungen und abgefragt werden Graphen, Vorzeichen und Richtungen von Beschleunigungen. Da die Items bereits in verschiedenen früheren Studien verwendet wurden, können Vergleiche angestellt werden, in denen das aktuelle hessische Gymnasium schlecht abschneidet.

1. Bekannte Schülervorstellungen

In den 1970er bis 1990er Jahre wurden intensiv Schülervorstellungen in verschiedenen Gebieten der Physik erforscht, ganz besonders intensiv in der Mechanik. Die zentralste Aussage der Mechanik betrifft den Zusammenhang zwischen der Bewegungsänderung (Geschwindigkeitsänderung bzw. Beschleunigung bzw. Impulsänderung) und der Einwirkung (Kraft bzw. Kraftstoß). Deshalb wurden auch die Schülervorstellungen zur Beschleunigung untersucht (siehe z.B. [1]).

Zunächst kann man feststellen, dass im Alltag „Beschleunigung“ oft nur in der Bedeutung „Schnellerwerden“ verwendet wird. Allerdings ist damit kein Quotientenbegriff im Sinne von „Geschwindigkeitsänderung dividiert durch Zeitintervall“ gemeint; die Zeit, in der die Geschwindigkeitsänderung geschieht wird nämlich oft zusätzlich angegeben. Beschleunigung ist damit eine Bilanzgröße, die einen Anfangs- und einen Endzustand eines Vorgangs vergleicht [1]. Folglich werden großen Beschleunigungen mit großen Endgeschwindigkeiten assoziiert, obwohl auch kleine Geschwindigkeitsänderungen in kleinen Zeitintervallen sehr große Beschleunigungen sein können. Verständlich ist damit auch, dass Schülerinnen und Schüler meinen, einem Zeitpunkt sei keine Beschleunigung zuzuordnen, sondern nur einem Zeitintervall. Entsprechend werden Umkehrpunkte wie z.B. dem höchsten Punkt beim senkrechten Münzwurf oder dem tiefsten Punkt beim Trampolinsprung keine Beschleunigung zugeordnet.

Die Beschleunigung ist in der Physik als zweite Ableitung des Ortes nach der Zeit sehr abstrakt und der Erfahrung nicht besonders zugänglich. So ist es verständlich, dass Schülerinnen und Schüler den Begriff „Beschleunigung“ in seiner Komplexität

reduzieren und höchstens einzelne Teilaspekte erfassen.

Die stärkste Reduktion findet statt, wenn kein prinzipieller Unterschied zwischen Beschleunigung und Geschwindigkeit gesehen wird, so wie auch Spannung und Strom als das Gleiche oder als etwas Proportionales angesehen werden. Die Schülerinnen und Schüler können dann nicht zwischen verschiedenen Bewegungsformen unterscheiden (v konstant oder a konstant) [2] und antworten in qualitativen Aufgaben zur Beschleunigung so, als wäre nach der Geschwindigkeit gefragt worden [3+4].

Ein größeres Verständnis ist vorhanden, wenn die Beschleunigung auf die Änderung des Geschwindigkeitsbetrages oder noch besser auf die Änderung des Geschwindigkeitsbetrages pro Zeit reduziert wird. Positive Beschleunigung bedeutet dann Schnellerwerden und negative Beschleunigung bedeutet Langsamerwerden und die Beschleunigung ist eine skalare Größe. Diese Reduktion auf eine skalare Größe führt in der Schule zunächst nicht zu Problemen, weil sich alle Körper meistens in positive Richtung bewegen. Bewegungen in negative Richtung, bei denen ein Schnellerwerden eine negative Beschleunigung ist, werden nicht betrachtet. Allerdings ist dann auch bei der behandelten gleichförmigen Kreisbewegung die Zentripetalbeschleunigung nicht verstehbar, da keine Tempoänderung vorliegt.

Die Vermittlung der physikalischen Vorstellung, dass die Beschleunigung eine vektorielle Größe ist, also eine Richtung hat, gelingt bei der Behandlung krummliniger Bewegungen meist nicht. Lehrkräfte schätzen zwar die Schwierigkeiten, die Schülerinnen und Schüler auch nach dem Mechanikunterricht im Umgang mit Beschleunigungsgraphen haben, zum Teil richtig ein. Die Probleme der Schülerinnen und

Schüler bei Richtungsänderungen ist aber den wenigsten wirklich bewusst [5].

2. Die Erhebung

Die Schülervorstellungen sind seit Langem ein wichtiges Thema in der Lehrerbildung, so dass viele Lehrkräfte davon gehört haben. Außerdem wurden verschiedene alternative Unterrichtskonzepte erarbeitet, getestet und publiziert. Darüber hinaus gab es in den letzten Jahren auch viele Bestrebungen, im Unterricht von reinem Rechenkalkül wegzukommen hin zu einem besseren qualitativen Verständnis. In manchen Lehrplänen wird die Beschleunigung heute schon früher angesprochen als das in vergangenen Lehrplänen der Fall war. Andererseits wird in Zeiten der Kompetenzorientierung dem fachlichen Verständnis weniger Wert zugemessen.

Daraus folgt die Frage, ob Schüler heute andere Leistungen bei bekannten Testitems zur Beschleunigung zeigen als früher. Dazu wurde als Staatsexamensarbeit eine Reproduktionsstudie durchgeführt [6], in der vor allem Items verwendet wurden, die bereits in anderen Studien eingesetzt wurden.

Der erstellte Fragebogen (siehe im Anhang) wurde bei 346 Schülerinnen und Schülern aus 20 Klassen an 13 hessischen Gymnasien in Frankfurt am Main und in dessen Umgebung eingesetzt. Zeitlich geschah dies am Ende des Schuljahres der Einführungsphase (Jgst. 10 im G8 oder Jgst. 11 im G9), also dem Jahr vor der zweijährigen Qualifikationsphase. Dieses ganze Jahr hat nur die Mechanik zum Thema. Verbindliche Unterrichtsinhalte sind in diesem Schuljahr gemäß dem hessischen Lehrplan [7] die geradlinige und die kreisförmige Bewegung mit der gleichförmigen und der beschleunigten Bewegung und mit dem senkrechten und dem waagerechten Wurf. Das herkömmliche Vorgehen im Mechanikunterricht mit der üblichen Elementarisierung wird im Abschnitt 6 ausführlicher dargelegt.

Alle Items wurden als Single-Choice-Aufgaben zum Ankreuzen formatiert, damit der Fragebogen computerlesbar und somit bei einer großen Probandenzahl eingesetzt werden konnte.

3. Ergebnisse bei geradlinigen Bewegungen

Bei allen Items zur Beschleunigung wird geschaut, welche Antwort man in den folgenden vier Fällen erhält:

- Es wird physikalisch korrekt geantwortet, d.h. die Antwort entspricht qualitativ der vektoriellen Geschwindigkeitsänderung $\Delta\vec{v}$.
- Beschleunigung wird als Änderung des Tempos verstanden, $\Delta|\vec{v}|$; es wird also nur das Schneller- bzw. Langsamerwerden beachtet.
- Es wird so geantwortet, als sei nach der Geschwindigkeit \vec{v} statt nach der Beschleunigung gefragt.
- Es wird so geantwortet, als sei nach dem Tempo $|\vec{v}|$ statt nach der Beschleunigung gefragt.

Bei den meisten Items führen mehrere Fälle zu einem gleichen Ergebnis, so dass nicht gesagt werden kann, welche Vorstellung hinter der entsprechenden Antwort steht. Optimal wäre es, wenn die vier Vorstellungen zu vier verschiedenen Antworten führen, was nur bei wenigen Items der Fall ist.

3.1. Vorzeichen der Steigung im t - v -Diagramm

Die ersten Items zum Einstieg sollen einfach und nahe am Unterricht sein. Dazu werden t - v -Diagramme eindimensionaler Bewegungen gezeigt und die Schülerinnen und Schüler sollen das Vorzeichen der Beschleunigung angeben, also positiv bei steigenden und negativ bei fallenden Graphen. Erwartungsgemäß ist der Anteil richtiger Antworten groß (siehe Tab. 1). Auffällig ist aber auch, dass die Items mit Bewegungen in negative Richtung (zweite Hälfte der Items) größere Probleme erzeugen. Einige Schülerinnen und Schüler überlegen sich hier, wie sich das Tempo ändert und kommen so auf das gegenteilige Ergebnis, als wenn sie nur die Steigung betrachtet hätten. Cronbachs Alpha der sechs Items ist mit 0,61 etwas gering.

Geschwindigkeit ist:	Antwort gemäß			
	$\Delta\vec{v}$ Änderung der Geschwindigkeit	$\Delta \vec{v} $ Änderung des Tempos = schneller/langsamer	\vec{v} Geschwindigkeit	$ \vec{v} $ Tempo
positiv, steigend	97 %			
positiv, fallend	89 %		5 %	
positiv, konstant	88 %		4 %	
negativ, konstant	73 %		6 %	0,3 %
negativ, fallend	81 %	10 %	wie $\Delta\vec{v}$	wie $\Delta \vec{v} $
negativ, steigend	72 %	14 %		wie $\Delta\vec{v}$

Tab. 1: Ergebnisse bei den Items zur Beschleunigung gemäß verschiedener t - v -Diagramme

3.2. Der Münzwurf

Bei der Aufgabe zum senkrechten Münzwurf wird nicht nach der Kraft auf die Münze sondern nach ihrer Beschleunigung während der verschiedenen Phasen (Aufwärtsbewegung, höchster Punkt, Abwärtsbewegung) gefragt und zwar einmal nach dem Vorzeichen der Beschleunigung (negativ, null, positiv), wobei im Aufgabenstamm aufwärts als die positive Richtung festgelegt wurde, und einmal nach der Richtung der Beschleunigung (abwärts gerichtet, null, aufwärts gerichtet). Man kann beim Beantworten aus der bekannten Krafrichtung auf die proportionale Beschleunigung schließen, was Schülerinnen und Schüler nicht tun [4]. Sie denken hier nur über

die Geschwindigkeitsänderung nach, so dass die Aufgabe für sie eine kinematische ist.

Bei der Auswertung wurden nicht die drei Phasen einzeln ausgewertet, sondern die Antwortkombinationen bei allen drei Phasen betrachtet (siehe Tab. 2). Beim Vorzeichen wird am häufigsten einfach nur das Vorzeichen der Geschwindigkeit angegeben. Am Zweithäufigsten wird ein Vorzeichen angegeben, dass der Vorstellung entspricht, eine positive Beschleunigung bedeute schneller werden, eine negative Beschleunigung bedeute langsamer werden. Schülerinnen und Schüler, die so denken, haben dann ein Problem, wenn nach der Richtung der Beschleunigung gefragt wird. Entsprechend wird dann noch häufiger die Bewegungsrichtung angegeben.

Die Unterschiede in der Beantwortung zwischen den einzelnen Klassen waren sehr groß. Sieht man von einer sehr kleinen Klasse ab, so gaben bei dem Vorzeichen je nach Klasse 0 bis 15 % der Schüler die richtige Antwortkombination, 0 bis 18 % die fast-richtige Antwortkombination (richtig bis auf den Umkehrpunkt), 9 bis 57 % die Schneller/Langsamere Antwortkombination und 7 bis 73 % die Geschwindigkeits-Antwortkombination. Die richtige Antwort gibt in 17 der 20 Klassen kein einziger Schüler.

	Antwortkombination für 3 Items	Hessen 2016 n = 346	Bayern 1994 n = 188	Bayern 1988 n = 426
	Richtige Lösung: - - -	1 % ***	7 % ***	3 %
	Fast-richtig: - 0 -	3 % ***	10 % ***	3 %
	Nach $\Delta \vec{v} $, - 0 +	27 % *	36 % *	34 %
	Nach \vec{v} : + 0 -	47 %	41 %	55 %
	Nach $ \vec{v} $: + 0 +	11 %	?	?
	Richtige Lösung: ↓ ↓ ↓	2 % ***	9 % ***	-
	Fast-richtig: ↓ 0 ↓	6 % ***	19 % ***	-
	Nach $\Delta \vec{v} $: ↓ 0 ↑	6 %	4 %	-
	Nach \vec{v} : ↑ 0 ↓	76 % **	62 % **	-
	Sonstige	10 %	9 %	-

Tab. 2: Ergebnisse bei den Items zum senkrechten Münzwurf in Hessen 2016 [6], in Bayern 1994 [3+4] und in Bayern 1988 [4] (bei signifikanten Unterschieden zwischen den ersten beiden Spalten: * für $p < 5\%$, ** für $p < 1\%$ und $p < 1\%$)

Den Aufgabenteil zum Vorzeichen hat bereits Thornton in den USA mehrfach eingesetzt (veröffentlicht in [8]). Nach dem Mechanikunterricht der Oberstufe in Bayern hat Treffer diesen Aufgabenteil 1988 verwendet (veröffentlicht in [4]) sowie Wilhelm 1994 beide Aufgabenteile [3+4].

Im Vergleich mit den beiden älteren bayerischen Erhebungen zeigen sich in der aktuellen Erhebung zwar ähnliche Verteilungen der Antworten (siehe Tab. 2). Die richtige Antwort und die fast-richtige Antwort werden jedoch in Hessen sowohl beim Vorzeichen als auch bei der Richtung höchst signifikant seltener gegeben als 1994 in Bayern. Die Antwort bei den Vorzeichen, die wenigstens die Tempoänderung betrachtet, ist auch signifikant seltener.

3.3. Beschleunigungsdiagramme

Bei diesen Items geht es um ein Spielzeugauto, das sich nur nach rechts oder links entlang einer horizontalen Linie bewegt. Vorgegeben sind Beschreibungen unterschiedlicher Bewegungen des Autos, denen die Schülerinnen und Schüler passende Zeit-Beschleunigungs-Graphen zuordnen sollen. In drei Items bewegt sich das Auto nach rechts in positive Richtung und drei Items nach links in negative Richtung. Dabei fährt es jeweils im ersten Fall mit einer konstanten Geschwindigkeit, im zweiten Fall wird es gleichmäßig immer schneller und im dritten Fall gleichmäßig immer langsamer. Die Ergebnisse (siehe Tab. 3) zeigen, dass am häufigsten so geantwortet wird, als wären die vorgegebenen Graphen Zeit-Geschwindigkeits-Diagramme.

Item	Antwort gemäß			
	$\Delta\vec{v}$ Änderung der Ge- schwindig- keit	$\Delta \vec{v} $ Änderung des Tempos = schneller/ langsamer	\vec{v} Ge- schwin- digkeit	$ \vec{v} $ Tempo
v konstant, nach rechts	13 %		69 %	
v konstant, nach links	15 %		52 %	4 %
schneller- werdend, nach rechts	9 %		83 %	
schneller- werdend, nach links	7 %	4 %	41 %	10 %
langsamer- werdend, nach rechts	6 %		64 %	
langsamer- werdend, nach links	3 %	4 %	(37 %)	10 %

Tab. 3: Ergebnisse der Aufgaben zur Auswahl eines Beschleunigungsdiagramms zu beschriebenen Bewegungen

Die Items sind in dieser Form von Wilhelm [3+4]. In anderer Formatierung wurden sie bereits von Thorn-

ton [8-11] und 1988 von Treffer [4] benutzt. In der hier verwendeten Form fehlt jedoch die Lösung, die im letzten Item der Geschwindigkeit entspricht, so dass man hier „Keiner der Graphen“ wählen musste, was auch aus anderen Gründen gewählt werden könnte. Einige Schülerinnen und Schüler beantworteten dieses Item einfach nicht. Da sechs Items haben eine hohe Reliabilität mit einem Cronbachs Alpha von 0,84.

Ein Vergleich mit den beiden älteren bayerischen Erhebungen zeigt, dass die hessischen Schülerinnen und Schüler bei der Auswahl der Graphen schlechter abschnitten als vor 20 bzw. 30 Jahren die bayerischen Schülerinnen und Schüler (siehe Tab. 4). Da in der Erhebung von 1988 die Items allerdings anders formuliert waren, was schwieriger zu verstehen war, wird im Folgenden nur mit der Erhebung von 1994 verglichen. Cronbachs Alpha lag ebenso bei 0,84. Im Durchschnitt wurden 2016 nur 9 % dieser Items richtig beantwortet, 1994 aber bei identischer Formulierung 47 %, was ein höchst signifikanter Unterschied ist und einer hohen Effektstärke von $d = 1,43$ entspricht.

Item	Studie	Hessen	Bayern	Bayern
		2016 n = 346	1994 n = 188	1988 n = 426
v konstant, nach rechts		13 %	64 %	47 %
v konstant, nach links		15 %	57 %	22 %
schneller werdend, nach rechts		9 %	58 %	28 %
schneller werdend, nach links		7 %	40 %	12 %
langsamer werdend, nach rechts		6 %	37 %	21 %
langsamer werdend, nach links		3 %	28 %	-
Mittelwert		9 % ***	47 % ***	-

Tab. 4: Anteile richtiger Antworten bei den Aufgaben zur Auswahl eines Beschleunigungsdiagramms in Hessen 2016 [6], in Bayern 1994 [3+4] und in Bayern 1988 [4]

3.4. Stroboskopbild

Verwendet wird ein Item aus dem FCI-Test [12], in dem das Stroboskopbild zweier geradliniger Bewegungen mit unterschiedlichen konstanten Geschwindigkeiten gezeigt wird. Nur 13 % geben richtig an, dass die Beschleunigung in beiden Fällen Null ist. 42 % antworten so, als wäre nach der Geschwindigkeit bzw. dem Tempo gefragt (bei der zweiten Bewegung größer als bei der ersten). In einer Erhebung in Bayern im Jahr 2004 gaben dagegen 33 % der Schülerinnen und Schüler eine korrekte Antwort [4+13]. Dies ist ein höchst signifikanter Unterschied.

4. Ergebnisse bei krummlinigen Bewegungen

Fragt man bei Items zu krummlinigen Bewegungen nach der Richtung der Beschleunigung, haben all die Schülerinnen und Schüler ein Problem, für die die Beschleunigung nur eine Zahl ist – positiv beim Schnellerwerden und negativ beim Langsamerwerden. Stimmig wäre es, wenn hier der tangentielle Anteil der Beschleunigung angegeben werden würde. Damit gibt es drei interessante Fälle:

- Es wird physikalisch korrekt geantwortet, d.h. die Antwort entspricht qualitativ der vektoriellen Geschwindigkeitsänderung $\Delta\vec{v}$.
- Es wird nur der tangentielle Anteil der Beschleunigung angegeben, weil nur die Änderung des Tempos, $\Delta|\vec{v}|$, beachtet wird, also nur das Schneller- bzw. Langsamerwerden. Der Beschleunigungspfeil wird also in oder gegen die Bewegungsrichtung gezeichnet.
- Es wird so geantwortet, als sei nach der Geschwindigkeit \vec{v} statt nach der Beschleunigung gefragt.

4.1. Sprungschanze

In der Aufgabe zur Sprungschanze aus dem „Mechanics Baseline Test“ [14] soll die Beschleunigungsrichtung für drei Fälle angegeben werden: (i) ein Klotz rutscht eine schiefe Ebene hinunter, (ii) der Klotz durchläuft den tiefsten Punkt eines Kreisbogens und (iii) der Klotz befindet sich am Scheitelpunkt einer Wurfparabel bei einem schrägen Wurf.

Das erste Item ist ungeschickt, da hier alle drei Vorstellungen zur gleichen Antwort führen. Dafür sind dann 69 % richtige Antworten wenig – zumal die schiefe Ebene ein Standardbeispiel im Mechanikunterricht ist. Beim Kreisbogen und bei der Wurfbewegung unterschieden sich die drei Antworten. Am häufigsten wird allerdings einfach die Bewegungsrichtung angegeben (siehe Tab. 5). Insbesondere bei dem Kreisbogen antworten nur 2 % richtig.

Item	Antwort gemäß		
	$\Delta\vec{v}$: Änderung der Geschwindigkeit	\vec{a}_t : Richtung der tangentialen Beschleunigung, nur schneller/langsamer	\vec{v} : Geschwindigkeit
Schiefe Ebene	69 %		
Kreisbogen	2 %	30 %	40 %
Schiefer Wurf	11 %	12 %	27 %

Tab. 5: Ergebnisse bei den Aufgaben zur Sprungschanze

Tabelle 6 zeigt die Ergebnisse aus anderen Studien. Insbesondere zeigt sich, dass die hessischen Oberstufenschülerinnen und -schüler deutlich schlechter sind als amerikanische High School Schülerinnen

und Schüler [14]. Vermutlich werden in den USA die Richtungen der Größen stärker thematisiert und mehr zweidimensionale Bewegungen betrachtet.

Studie \ Item	Hessen 2016 Gym.	USA 1992 High School	USA 1992 Uni	Bayern 2007 Uni
Schiefe Ebene	69 %	80 % - 94 %	67 % - 86 %	73 %
Kreisbogen	2 %	1 % - 40 %	12 % - 72 %	3 %
Schiefer Wurf	11 %	44 % - 73 %	53 % - 96 %	57 %

Tab. 6: Anteile richtiger Antworten zur Sprungschanze im hessischen Gymnasium 2016 [6], in den USA 1992 [14] und einer bayerischen Universität 2007 [15]

4.2. Rennstrecke

Bei der Rennstreckenaufgabe (aus [4]) fährt ein Auto in der Ebene und die Veränderung des Tempos wird beschrieben. Für die schnellerwerdende Geradeausfahrt gilt das Gleiche wie für das Item zur schiefen Ebene. Bei den Items zur Kurvenfahrt wird wiederum meistens nur die Bewegungsrichtung angegeben (siehe Tab. 7). Nur ein Schüler löst alle drei Items zur Kurvenfahrt richtig.

Item	Antwort gemäß		
	$\Delta \vec{v}$ Änderung der Geschwindigkeit	\vec{a}_t nur tangentialer Richtung gemäß schneller/langsamer	\vec{v} Geschwindigkeit
geradeaus, schnellerwrđ	62 %		
geradeaus, bremsend	36 %		26 %
Kurvenfahrt, konst. Tempo	4 %	28 %	37 %
Kurvenfahrt, schnellerwrđ	7 %	68 %	
Kurvenfahrt, bremsend	1 %	35 %	35 %

Tab. 7: Ergebnisse bei den Aufgaben zur Rennstrecke

Wilhelm [4+16] fand für die beiden Items zur geradlinigen Bewegung ein Cronbachs Alpha von 0,82 und für die drei Items zur Kurvenfahrt ein Cronbachs Alpha von 0,81. Ein Vergleich mit einer Erhebung von 2004 am Ende der Oberstufenmechanik in Bayern [4+16] zeigt einen höchst signifikanten Unterschied bei den Items zur geradlinigen Fahrt (im Mittel 49 % statt 90 %) (siehe Tab. 8), was eine sehr große Effektstärke von $d_{gerade} = 1,2$ ergibt. Bei den Kurvenitems liegt ebenfalls ein hoch signifikanter Unterschied mit einer Effektstärke von $d_{Kurve} = 0,28$ vor.

Studie \ Item	Hessen 2016 n = 346	Bayern 2004 n = 217
geradeaus, schnellerwerdend	62 %	93 %
geradeaus, bremsend	36 %	88 %
Kurvenfahrt, konstantes Tempo	4 %	12 %
Kurvenfahrt, schnellerwerdend	7 %	9 %
Kurvenfahrt, bremsend	1 %	6 %
Mittelwert geradeaus	49 % ***	90 % ***
Mittelwert Kurve	4 % **	9 % **

Tab. 8: Anteile richtiger Antworten zur Rennstrecke im hessischen Gymnasium 2016 [6] und im bayerischen Gymnasium 2004 [4+16]

4.3. Hügelfahrt und Mondaufgabe

Ähnliche Ergebnisse gibt es bei der schwierigen Aufgabe von Flores [17] zu einer Hügelfahrt, bei der es eine Richtungsänderung und gleichzeitig ein Langsamerwerden gibt. 8 % geben die richtige Beschleunigungsrichtung an, 23 % die tangentielle Beschleunigungsrichtung und 45 % die Bewegungsrichtung.

Interessant ist auch das letzte Item zur Mondbewegung, bei dem bei der Kreisbewegung mit konstantem Tempo nicht nach der Beschleunigung, sondern nach der Geschwindigkeitsänderung während einer Viertel Drehung gefragt wurde. Die Geschwindigkeitsänderung $\Delta \vec{v}$ kann nämlich als Elementarisierung der Beschleunigung betrachtet werden. Nur 5 % geben die korrekte Antwort (radial nach innen), 35 % geben eine Antwort, die der Tempoänderung entspricht (Null) und 39 % geben die durchschnittliche Bewegungsrichtung an.

Die gleiche Aufgabe wurde in einer Studie in Bayern [18] nach einer qualitativen Einführung in die Mechanik in Jahrgangsstufe 7 gestellt. Obwohl diese Schülerinnen und Schüler im traditionellen Unterricht keine zweidimensionalen Bewegungen, keine gerichteten Größen, keine Geschwindigkeitsänderung und keine Vektoren kennengelernt haben, wird das Item von etwa genauso vielen Schülern richtig beantwortet (6 %, N = 488) wie hier nach dem Oberstufenunterricht.

Siebtklässler, die dagegen nach einem veränderten Konzept unterrichtet wurden, erreichten trotz der hohen Aufgabenschwierigkeit 11 % richtige Antworten [18]. Das ist viel, da selbst Studienanfänger der Physik nur auf 12 % kommen [15].

5. Diskussion der Ergebnisse

Da hinter einer Antwort auf ein Item meist verschiedene Vorstellungen liegen können, wäre es nötig, in Zukunft zweistufige Tests einzusetzen, in denen zu der gegebenen Lösung eine Begründung auf Basis bekannter Vorstellungen auszuwählen ist. Deren

Auswertung hätte allerdings den Rahmen dieser Examensarbeit überschritten.

Auch nach dem Oberstufenunterricht wird „Beschleunigung“ entweder mit „Geschwindigkeit“ gleichgesetzt oder als Änderung des Tempos angesehen. Insbesondere bei Aufgaben mit einer Änderung der Bewegungsrichtung wird die Beschleunigung sehr selten richtig angegeben. Die Ergebnisse in Hessen 2016 sind wesentlich schlechter als Ergebnisse in vergleichbaren Studien, insbesondere im Vergleich zu Studien in Bayern.

Für die unterschiedlichen Ergebnisse der aktuellen Studie im Vergleich zu anderen Erhebungen sind verschiedene Gründe denkbar: 1. Ein Einflussfaktor könnte bei einigen Items die Formatierung sein, die nicht immer völlig identisch gehalten ist. Damit der Fragebogen computerlesbar ist, sind alle Items Ankreuzaufgaben, während bei manchen Aufgaben in früheren Erhebungen die Schüler selbst die Beschleunigungspfeile einzeichneten. 2. Die Unterschiede könnten darin begründet sein, dass die Erhebungen zu unterschiedlichen Zeiten stattfanden und sich in den über zwanzig Jahren der Unterricht und die Zielsetzungen geändert haben. Gerade in Hessen wird die Kompetenzorientierung betont und Kompetenzen werden z.T. als Gegenteil von Fachwissen aufgefasst. 3. Schließlich könnten die Unterschiede daran liegen, dass verschiedene Bundesländer beteiligt waren mit recht unterschiedlichen Schulsystemen und unterschiedlichen Schwerpunkten im Unterricht. Auch die Schülerinnen und Schüler am Gymnasium unterscheiden sich, da in Hessen ein größerer Anteil eines Jahrgangs das Gymnasium und die Gesamtschule, die ebenfalls zum Abitur führen kann, besuchen. Im Schuljahr 2011/12 besuchten in der 9. Jahrgangsstufe in Hessen 40 % der Schülerinnen und Schüler das Gymnasium und 20 % die Gesamtschule (28 % Realschule und 12 % Hauptschule), während in Bayern in der 9. Jahrgangsstufe nur 32 % das Gymnasium besuchten (34 % Hauptschule und 34 % Realschule) [19].

Nach einem Schuljahr Mechanikunterricht, in dessen Zentrum die Gleichung $F = m \cdot a$ steht, sind die Ergebnisse ernüchternd. Es stellt sich die Frage, welche Konsequenzen man aus diesen Ergebnissen zieht, wenn man nicht so weitermachen will wie bisher. Das ganze Thema Mechanik zu streichen, ist sicher keine Option. Deshalb muss über eine Veränderung der Sachstruktur des Mechanikunterrichts nachgedacht werden. Der herkömmliche Unterricht führt die Geschwindigkeit und die Beschleunigung an geradlinigen Bewegungen ein und verallgemeinert dies später auf zweidimensionale Bewegungen, was bei Wurfbewegungen und vor allem der Kreisbewegung thematisiert wird. Nötig ist aber eine stärkere Betonung der Richtung der Größen, wozu nicht nur zweidimensionale Bewegungen behandelt werden müssen, sondern die Größen gleich an allgemeinen zweidimensionalen Bewegungen eingeführt werden müssen. Außerdem sollte die Be-

schleunigung stärker mit der Geschwindigkeitsänderung $\Delta \vec{v}$ in einem Zeitintervall Δt in Verbindung gebracht werden, so dass man sich in verschiedenen Situationen leichter die Beschleunigung erschließen kann.

Unterrichtskonzepte mit entsprechendem Vorgehen sind in Vergleichsstudien bezüglich des Verständnisses der Beschleunigung und der Kraft erfolgreicher als traditioneller Unterricht. Wilhelm hat die kinematischen Größen in der Jahrgangsstufe 11 des bayerischen Gymnasiums an allgemeinen zweidimensionalen Bewegungen eingeführt und mit Pfeilen veranschaulicht [4+20]. Amenda hat die kinematischen Größen in der Jahrgangsstufe 12 der Fachoberschule in Bremen als Vektoren eingeführt und als Spaltenvektoren dargestellt [21+22]. Wilhelm, Tobias, Waltner, Hopf und Wiesner haben in der Jahrgangsstufe 7 des bayerischen Gymnasiums die Newton'sche Mechanik an zweidimensionalen Bewegungen behandelt und alle Größen als Pfeile dargestellt [23-25]. Hier wurde allerdings auf die Beschleunigung verzichtet und stattdessen als deren Elementarisierung die Geschwindigkeitsänderung $\Delta \vec{v}$ behandelt, die als Zusatzgeschwindigkeit bezeichnet wurde. Für einen solchen Unterrichtsgang liegen mittlerweile auch zwei Lehrerhandbücher vor, die aufzeigen, wie die gesamte Dynamik und Kinematik der Schulzeit (ein- und zweidimensionale Bewegungen) so unterrichtet werden können [26-28].

6. Exkurs: die traditionelle Elementarisierung

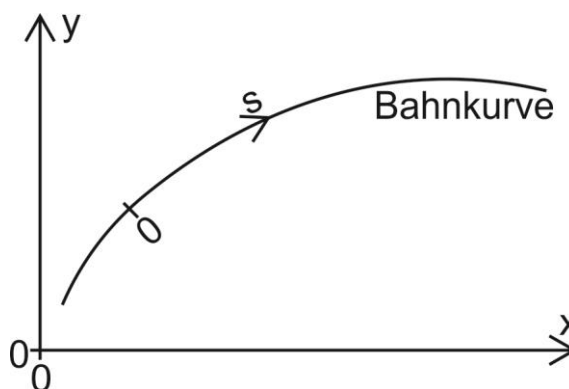


Abb. 1: Die traditionelle Elementarisierung: Betrachtung des „Weges“ s längs der Bahnkurve statt Betrachtung des Ortes (entsprechend Betrachtung der tangentialen Beschleunigung statt der ganzen Beschleunigung)

In der Hochschulphysik ist der Ort eines Körpers festgelegt durch seinen Ort $\vec{r} = (x, y, z)$ in einem dreidimensionalen Bezugssystem. Die zeitliche Ortsänderung ergibt die Geschwindigkeit $\vec{v} = (v_x, v_y, v_z)$ und die zeitliche Geschwindigkeitsänderung ergibt die Beschleunigung $\vec{a} = (a_x, a_y, a_z)$, wobei \vec{r} , \vec{v} und \vec{a} Vektoren sind.

Eine aus historischen Gründen verbreitete Elementarisierung in der Mechanik ist die Folgende. Zur Vereinfachung betrachtet man zunächst nur den

„Weg“ s längs der (im Allgemeinen dreidimensionalen) Bahnkurve (siehe Abb. 1) ausgehend von einem Startpunkt, also den Abstand zum Startpunkt längs der Bahnkurve. Die Richtung der Koordinatenachse ändert sich quasi mit dem Ort des Körpers. Die zeitliche Wegänderung ist nun eine Zahl und wird nun „Geschwindigkeit“ genannt. Ihr Betrag entspricht dem Betrag des Geschwindigkeitsvektors und ihr Vorzeichen gibt an, ob sich der Körper auf der Bahnkurve „vorwärts“ oder „rückwärts“ bewegt. Die zeitliche Änderung dieser Zahl ist wiederum eine Zahl und wird nun „Beschleunigung“ genannt. Ihr Betrag entspricht dem Betrag der tangentialen Beschleunigungskomponente und ihr Vorzeichen gibt an, ob die tangentiale Beschleunigung „vorwärts“ oder „rückwärts“ gerichtet ist. Auch bei den Kräften werden nur die tangentialen Anteile berücksichtigt, so dass $F = m \cdot a$ gilt. Alle Bewegungen sind nun quasi auf eine eindimensionale Bewegung zurückgeführt und alle Größen sind (vorzeichenbehaftete) Zahlen statt Vektoren. Später bei der Kreisbewegung wird dann versucht, die kinematischen Größen zu erweitern und als Vektoren einzuführen. Wie die obigen Ergebnisse zeigen, gelingt dies bei der Beschleunigung nicht.

Fachlich sei am Rande anzumerken, dass der „Weg“ s hier nicht dem entspricht, was in der Physik und im Alltag als Weg bezeichnet wird, denn da ist der Weg immer eine positive Größe und nimmt bei jeder Ortsänderung zu. In dieser traditionellen Elementarisierung kann jedoch der „Weg“ s beim Zurücklaufen auch wieder abnehmen und sogar negativ werden. Die Größe „Weg“ wird hier wie die Ortskomponente einer geradlinigen Bewegung verwendet und somit werden die vektorielle, mehrdimensionale Größe Ort und die stets positive, skalare Größe Weg miteinander vermischt. Wie inkonsistent und problematisch die Darstellungen gängiger Oberstufen-Schulbücher sind, zeigt Amenda [22] ausführlich auf.

Bei der Kreisbewegung muss thematisiert werden, dass für eine Richtungsänderung eine Kraft nötig ist und es entsprechend eine radiale Beschleunigungskomponente gibt. Dies ist bei der obigen Elementarisierung nicht verstehbar. Die Elementarisierung ist nicht erweiterbar und nicht anschlussfähig und nur bei geradlinigen Bewegungen verwendbar. Die Hauptaussage der Newton'schen Mechanik ist, dass – bei konstanter Masse – jede Kraft eine Geschwindigkeitsänderung bewirkt und für jede Geschwindigkeitsänderung eine Kraft nötig ist, wobei eine Geschwindigkeitsänderung sowohl eine Änderung des Geschwindigkeitsbetrages als auch der Geschwindigkeitsrichtung sein kann. Mit obiger Vereinfachung verkürzt man diese Aussage erheblich und wird ihr nicht gerecht. Diese Vereinfachung steht der späteren Erweiterung sogar im Wege.

7. Literatur

[1] Schecker, H. (1985): Das Schülervorverständnis zur Mechanik, Eine Untersuchung in der

Sekundarstufe II unter Einbeziehung historischer und wissenschaftlicher Aspekte, Dissertation, Universität Bremen

- [2] Dykstra, D. (1991): Studying Conceptual Change: Constructing New Understandings. In: Duit, R.; Goldberg, F.; Niedderer, H. (Hrsg.): Research in Physics Learning: Theoretical Issues and Empirical Studies. Proceedings of an International Workshop held at the University of Bremen. March 4-8, 1991, Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften an der Universität Kiel, Kiel, S. 40 – 58
- [3] Heuer, D.; Wilhelm, T. (1997): Aristoteles siegt immer noch über Newton - Unzulängliches Dynamikverstehen in Klasse 11. In: Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht 50, Nr. 5, 1997, S. 280 – 285
- [4] 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
- [5] Wilhelm, T. (2008): Vorstellungen von Lehrern über Schülervorstellungen. In: Höttecke, D. (Hrsg.): Kompetenzen, Kompetenzmodelle, Kompetenzentwicklung: Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik. Jahrestagung in Essen 2007. Band 28. Lit-Verlag. Münster. S. 44 – 46
- [6] Gemici, B. (2016): Schülervorstellungen zur Beschleunigung nach der hessischen E-Phase, Staatsexamensarbeit, Universität Frankfurt, <http://www.thomas-wilhelm.net/arbeiten/Beschleunigung.pdf>
- [7] Hessisches Kultusministerium (2010): Lehrplan Physik. Gymnasialer Bildungsgang. Gymnasiale Oberstufe, <https://kultusministerium.hessen.de/sites/default/files/media/go-physik.pdf>
- [8] Thornton, R. (1996): Using Large-Scale Classroom Research to Study Conceptual Learning in Mechanics and to Develop New Approaches to Learning. In: Tinker, R. F. (Hrsg.): Microcomputer-Based Labs: Educational Research and Standards, NATO ASI Series, Serie F: Computer and Systems Sciences, Vol. 156, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, S. 89 - 114
- [9] Thornton, R. (1990): Tools for Scientific Thinking: Learning Physical Concepts with Real-Time Laboratory Measurement Tools. In: Redish, E. F.; Risley, J. S. (Hrsg.): The Conference on Computers in Physics Instruction: proceedings, Addison-Wesley Publishing Company, S. 177 - 189
- [10] Thornton, R.; Sokoloff, D. (1990): Learning motion concepts using real-time micro-

- computer-based laboratory tools. In: *American Journal of Physics* 58, Nr. 9, S. 858 – 867
- [11] Thornton, R. (1992): Enhancing and Evaluating Students' Learning of Motion Concepts. In: Tiberghien, A.; Mandl, H. (Hrsg.): *Intelligent Learning Environments and Knowledge Acquisition in Physics*, NATO ASI Series, Serie F: Computer and Systems Sciences, Vol. 86, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, S. 265 – 283
- [12] Hestenes, D.; Wells, M.; Swackhamer, G. (1992): Force Concept Inventory. In: *The physics teacher* 30, S. 141 – 158
- [13] 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
- [14] Hestenes, D.; Wells, M. (1992): A Mechanics Baseline Test. In: *The physics teacher* 30. S. 159 – 166
- [15] Wilhelm, T. (2007): Vektorverständnis und vektoriell Kinematikverständnis von Studienanfängern. In: Nordmeier, V.; Oberländer, A.; Grötzebauch, H. (Hrsg.): *Didaktik der Physik - Regensburg 2007*. Lehmanns Media. Berlin.
- [16] Wilhelm, T. (2006): Zweidimensionale Bewegungen – Vergleich von vier verschiedenen Möglichkeiten der Messwerterfassung und Evaluationsergebnisse eines Unterrichtseinsatzes. In: Nordmeier, V.; Oberländer, A. (Hrsg.): *Didaktik der Physik – Kassel 2006*. Lehmanns Media. Berlin
- [17] Flores, S.; Kanim, S.; Kautz, C. (2004): Student use of vectors in introductory mechanics. In: *American Journal of Physics* 72. Nr. 4. S. 460 – 468
- [18] Wilhelm, T.; Waltner, C.; Hopf, M.; Tobias, V.; Wiesner, H. (2009): Der Einfluss der Sachstruktur im Mechanikunterricht - quantitative Ergebnisse zur Verständnis- und Interessenentwicklung - In: Nordmeier, V.; Grötzebauch, H. (Hrsg.): *Didaktik der Physik - Bochum 2009*, Lehmanns Media – LOB.de, Berlin
- [19] Anand Pant, H.; Stanat, P.; Schroeders, U.; Roppelt, A.; Siegle, T.; Pöhlmann, C. (Hrsg.) (2013): *IQB-Ländervergleich 2012. Mathematische und naturwissenschaftliche Kompetenzen am Ende der Sekundarstufe I*, Waxmann, Münster / New York / München / Berlin
- [20] Wilhelm, T.; Heuer, D. (2002): Fehlvorstellungen in der Kinematik vermeiden - durch Beginn mit der zweidimensionalen Bewegung - In: *Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule* 51, Nr. 7, S. 29 - 34
- [21] Amenda, T.; Schecker, H.; Kulgemeyer, C. (2013): Bedeutung fachlicher Elementarisierungen für das Verständnis der Kinematik. In: Bernholt, S. (Hrsg.): *Inquiry-based learning - Forschendes Lernen*, Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Hannover 2012, Band 33, S. 269 - 272
- [22] Amenda, T. (2017): *Bedeutung fachlicher Elementarisierungen für das Verständnis der Kinematik*, Dissertation, Universität Bremen, 2017
- [23] Wilhelm, T.; Tobias, V.; Waltner, C.; Hopf, M.; Wiesner, H. (2012): Einfluss der Sachstruktur auf das Lernen Newtonscher Mechanik. In: Bayrhuber, H.; Harms, U.; Muszynski, B.; Ralle, B.; Rothgangel, M.; Schön, L.-H.; Vollmer, H.; Weigand, H.-G. (Hrsg.): *Formate Fachdidaktischer Forschung. Empirische Projekte – historische Analysen – theoretische Grundlagen*, Fachdidaktische Forschungen, Band 2, Waxmann, Münster/New York/München/Berlin, 2012, S. 237 – 258
- [24] Waltner, C.; Tobias, V.; Wiesner, H.; Hopf, M.; T. Wilhelm (2010): Ein Unterrichtskonzept zur Einführung in die Dynamik in der Mittelstufe. In: *Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule* 59, Nr. 7, S. 9 – 22
- [25] Tobias, V. (2010): *Newton'sche Mechanik im Anfangsunterricht. Die Wirksamkeit einer Einführung über die zweidimensionale Dynamik auf das Lehren und Lernen*, Studien zum Physik- und Chemielernen, Band 105, Logos-Verlag, Berlin
- [26] Wilhelm, T.; Wiesner, H.; Hopf, M. (2013): *Lehrerhandbücher zur zweidimensional-dynamischen Mechanik*. In: *PhyDid-B - Didaktik der Physik – Frühjahrstagung Jena 2013*, 2013, <http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/418/563>
- [27] Wiesner, H.; Wilhelm, T.; Waltner, C.; Tobias, V.; Rachel, A.; Hopf, M. (2016): *Mechanik I: Kraft und Geschwindigkeitsänderung. Neuer fachdidaktischer Zugang zur Mechanik (Sek. 1)*, Aulis-Verlag
- [28] Wilhelm, T.; Wiesner, H.; Hopf, M.; Rachel, A. (2013): *Mechanik II: Dynamik, Erhaltungssätze, Kinematik*. In: *Reihe Unterricht Physik*, Band 6, Aulis-Verlag

8. Anhang

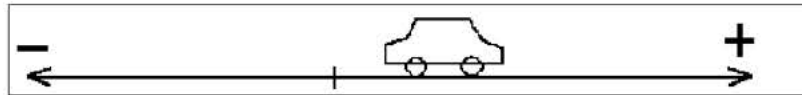
Auf den folgenden Seiten befindet sich der verwendete Fragebogen.



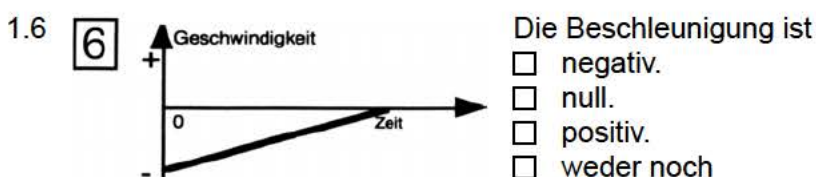
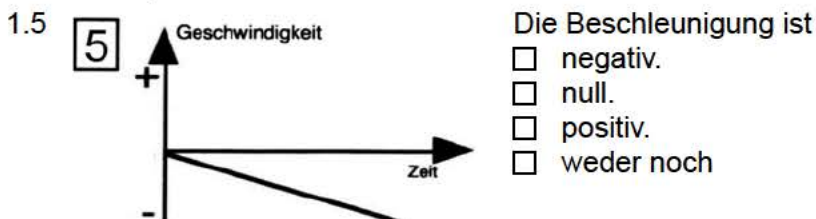
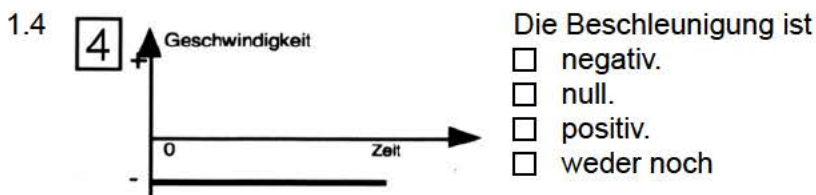
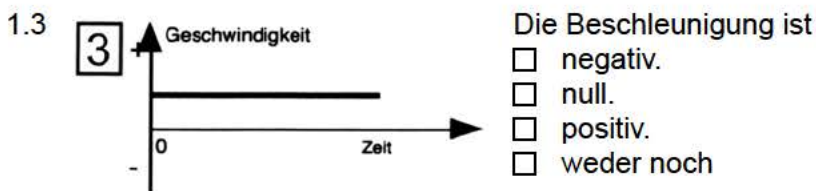
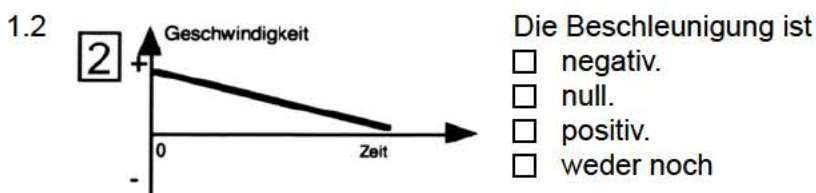
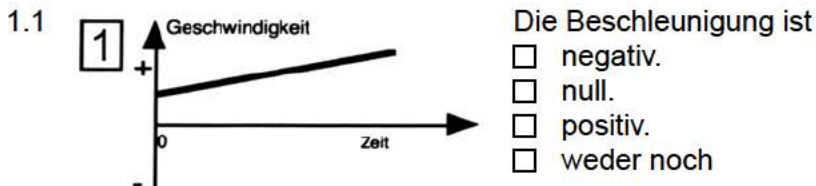
Bitte so markieren: Bitte verwenden Sie einen Kugelschreiber oder nicht zu starken Filzstift. Dieser Fragebogen wird maschinell erfasst.
Korrektur: Bitte beachten Sie im Interesse einer optimalen Datenerfassung die links gegebenen Hinweise beim Ausfüllen.

1. Aufgabe

Situation: Die Fragen dieser Seite beziehen sich auf ein Spielzeugauto, das sich nach rechts oder links entlang einer horizontalen Linie (der x-Achse eines Koordinatensystems) bewegen kann.



Aufgabe: Unterschiedliche Bewegungen des Autos sind in den Diagrammen 1 bis 6 beschrieben. Wähle jeweils eine der nebenstehenden Möglichkeiten, um das Vorzeichen der Beschleunigung für das Diagramm anzugeben. Bitte ankreuzen!



2. Aufgabe

Situation: Die Fragen dieser Seite beziehen sich auf eine Münze, die gerade hoch in die Luft geworfen wurde. Nachdem sie losgelassen wurde, bewegt sie sich hoch, erreicht ihren höchsten Punkt und fällt wieder herunter.

Aufgabe: Wähle eine der folgenden Möglichkeiten (**A** bis **C**), um das Vorzeichen der Beschleunigung der Münze für jeden der unten beschriebenen Fälle zu zeigen. Nimm aufwärts als die positive Richtung. Bitte ankreuzen!

Die Beschleunigung ist

A. negativ

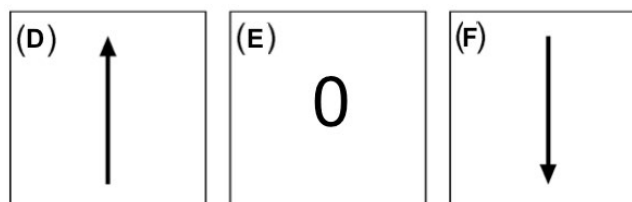
B. null

C. positiv



- | | | | | |
|-----|--|--|----------------------------|----------------------------|
| 2.1 | Die Münze bewegt sich aufwärts, nachdem sie losgelassen wurde. | <input type="checkbox"/> A | <input type="checkbox"/> B | <input type="checkbox"/> C |
| | | <input type="checkbox"/> Keine der Möglichkeiten | | |
| 2.2 | Die Münze ist an ihrem höchsten Punkt. | <input type="checkbox"/> A | <input type="checkbox"/> B | <input type="checkbox"/> C |
| | | <input type="checkbox"/> Keine der Möglichkeiten | | |
| 2.3 | Die Münze bewegt sich abwärts. | <input type="checkbox"/> A | <input type="checkbox"/> B | <input type="checkbox"/> C |
| | | <input type="checkbox"/> Keine der Möglichkeiten | | |

Aufgabe: Wähle eine der folgenden Möglichkeiten (**D** bis **F**), um die Richtung der Beschleunigung für jeden der unten beschriebenen Fälle zu bestimmen. Bitte ankreuzen!



- | | | | | |
|-----|--|--|----------------------------|----------------------------|
| 2.4 | Die Münze bewegt sich aufwärts, nachdem sie losgelassen wurde. | <input type="checkbox"/> D | <input type="checkbox"/> E | <input type="checkbox"/> F |
| | | <input type="checkbox"/> Keine der Möglichkeiten | | |
| 2.5 | Die Münze ist an ihrem höchsten Punkt. | <input type="checkbox"/> D | <input type="checkbox"/> E | <input type="checkbox"/> F |
| | | <input type="checkbox"/> Keine der Möglichkeiten | | |
| 2.6 | Die Münze bewegt sich abwärts. | <input type="checkbox"/> D | <input type="checkbox"/> E | <input type="checkbox"/> F |
| | | <input type="checkbox"/> Keine der Möglichkeiten | | |



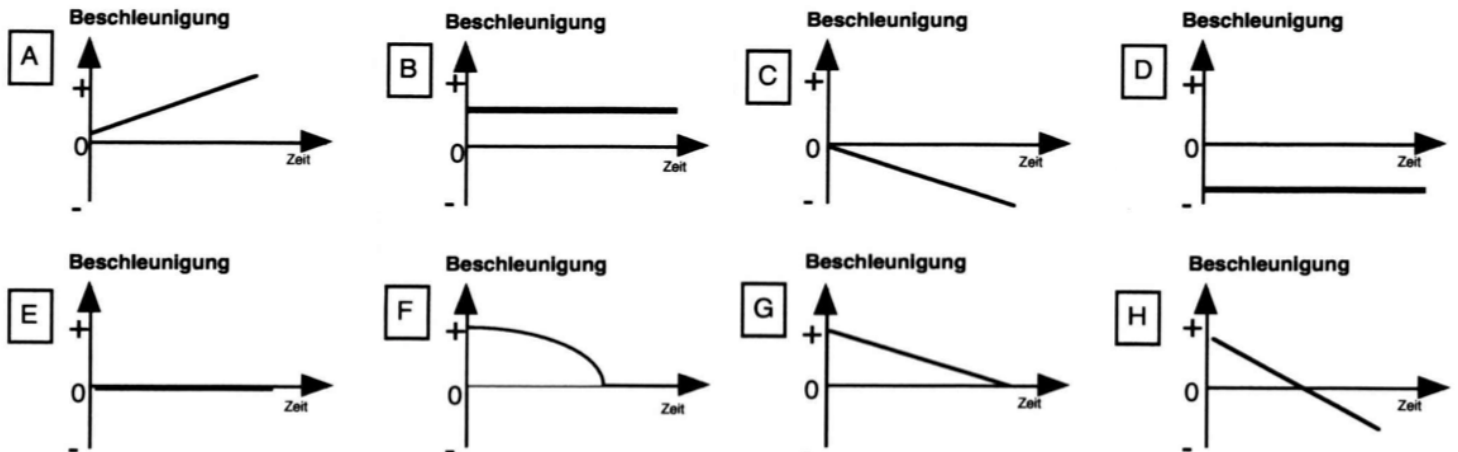
3. Aufgabe

Situation: Die Fragen 1 - 6 beziehen sich auf ein Spielzeugauto, das sich nach rechts oder links entlang einer horizontalen Linie (der x-Achse eines Koordinatensystems) bewegen kann.



Aufgabe: Unterschiedliche Bewegungen des Autos sind unten beschrieben. Wähle den einen Buchstaben (A bis H) des Beschleunigungs-Zeit-Graphen, der zu der Bewegung des Autos passt, die in jeder Angabe beschrieben ist (nur ein Buchstabe!). Bitte ankreuzen!

Hinweis: Du darfst jeden Graphen mehrmals oder auch gar nicht auswählen.



3.1 Das Auto bewegt sich mit konstanter Geschwindigkeit nach rechts (in positive Richtung).

- | | | |
|----------------------------|----------------------------|---|
| <input type="checkbox"/> A | <input type="checkbox"/> B | <input type="checkbox"/> C |
| <input type="checkbox"/> D | <input type="checkbox"/> E | <input type="checkbox"/> F |
| <input type="checkbox"/> G | <input type="checkbox"/> H | <input type="checkbox"/> Keiner der Graphen |

3.2 Das Auto bewegt sich nach rechts (in positive Richtung) und wird gleichmäßig immer schneller.

- | | | |
|----------------------------|----------------------------|---|
| <input type="checkbox"/> A | <input type="checkbox"/> B | <input type="checkbox"/> C |
| <input type="checkbox"/> D | <input type="checkbox"/> E | <input type="checkbox"/> F |
| <input type="checkbox"/> G | <input type="checkbox"/> H | <input type="checkbox"/> Keiner der Graphen |

3.3 Das Auto bewegt sich nach rechts und wird gleichmäßig immer langsamer.

- | | | |
|----------------------------|----------------------------|---|
| <input type="checkbox"/> A | <input type="checkbox"/> B | <input type="checkbox"/> C |
| <input type="checkbox"/> D | <input type="checkbox"/> E | <input type="checkbox"/> F |
| <input type="checkbox"/> G | <input type="checkbox"/> H | <input type="checkbox"/> Keiner der Graphen |

3.4 Das Auto bewegt sich nach links (in negative Richtung) mit einer konstanten Geschwindigkeit.

- | | | |
|----------------------------|----------------------------|---|
| <input type="checkbox"/> A | <input type="checkbox"/> B | <input type="checkbox"/> C |
| <input type="checkbox"/> D | <input type="checkbox"/> E | <input type="checkbox"/> F |
| <input type="checkbox"/> G | <input type="checkbox"/> H | <input type="checkbox"/> Keiner der Graphen |

3.5 Das Auto bewegt sich nach links und wird gleichmäßig immer schneller.

- | | | |
|----------------------------|----------------------------|---|
| <input type="checkbox"/> A | <input type="checkbox"/> B | <input type="checkbox"/> C |
| <input type="checkbox"/> D | <input type="checkbox"/> E | <input type="checkbox"/> F |
| <input type="checkbox"/> G | <input type="checkbox"/> H | <input type="checkbox"/> Keiner der Graphen |

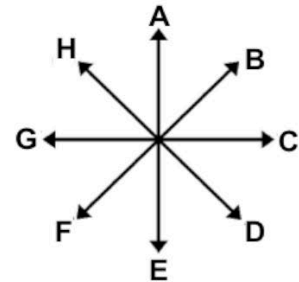
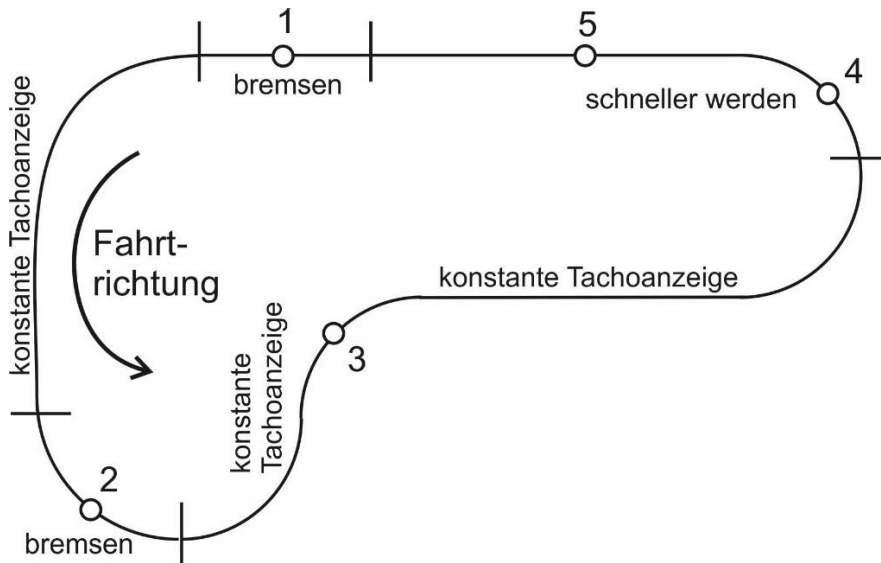
3.6 Das Auto bewegt sich nach links und wird gleichmäßig immer langsamer.

- | | | |
|----------------------------|----------------------------|---|
| <input type="checkbox"/> A | <input type="checkbox"/> B | <input type="checkbox"/> C |
| <input type="checkbox"/> D | <input type="checkbox"/> E | <input type="checkbox"/> F |
| <input type="checkbox"/> G | <input type="checkbox"/> H | <input type="checkbox"/> Keiner der Graphen |



6. Aufgabe

Auf einer Rennstrecke fährt ein Auto unter normalen Bedingungen (schneller werden, abbremsen, abschnittsweise konstante Geschwindigkeit). Die Fahrweise in den einzelnen Streckenabschnitten kannst du der Graphik entnehmen.



Wähle an den fünf markierten Stellen der Bahn den Pfeil aus der Darstellung, der die Beschleunigung am besten darstellt. Bitte ankreuzen!

6.1 Ortspunkt 1

- C
 F

- D
 G

- E
 Keiner der Pfeile, die Beschleunigung ist 0

6.2 Ortspunkt 2

- A
 D

- B
 H

- C
 Keiner der Pfeile, die Beschleunigung ist 0

6.3 Ortspunkt 3

- B
 F

- C
 H

- D
 Keiner der Pfeile, die Beschleunigung ist 0

6.4 Ortspunkt 4

- D
 G

- E
 H

- F
 Keiner der Pfeile, die Beschleunigung ist 0

6.5 Ortspunkt 5

- C
 G

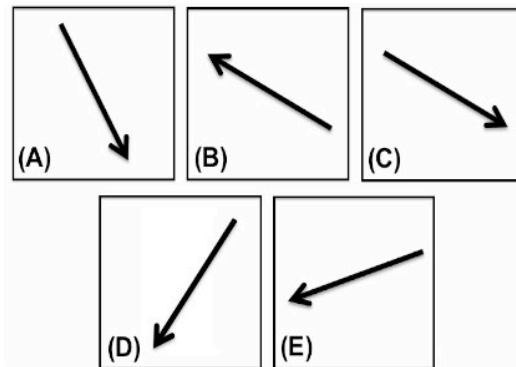
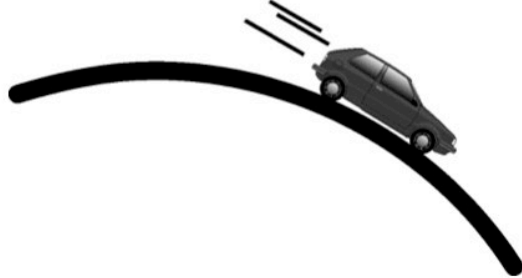
- E
 H

- F
 Keiner der Pfeile, die Beschleunigung ist 0



7. Aufgabe

Ein Auto bremst ab (aber wendet nicht), während es wie gezeigt den Scheitelpunkt eines Hügels passiert.



7.1 Wähle einen der dargestellten Pfeile (**A** bis **E**), der die ungefähre Richtung der Beschleunigung des Autos in dem gezeigten Augenblick angibt. Bitte ankreuzen!

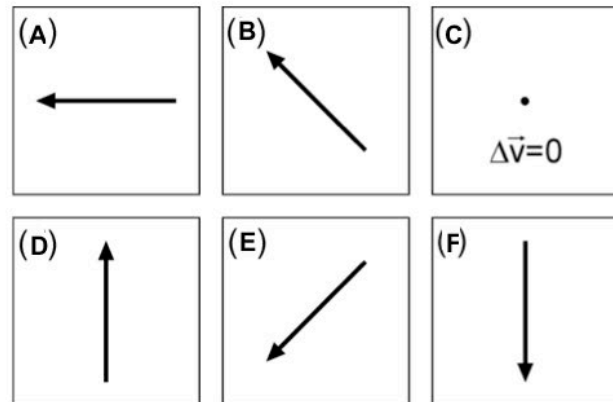
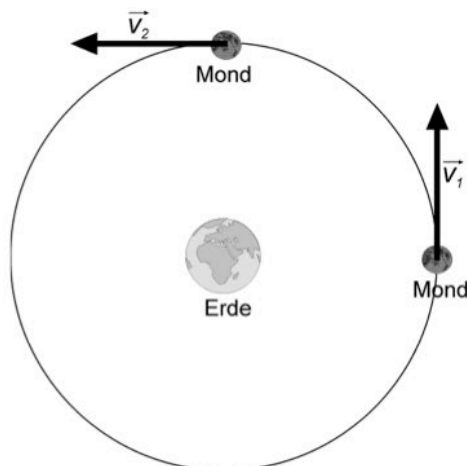
- A
 D

- B
 E

- C
 Keiner der Pfeile

8. Aufgabe

Eine Zeichnung zeigt den Ort des Mondes zu zwei Zeitpunkten ungefähr sieben Tage auseinander.



8.1 Welche Wahlmöglichkeit zeigt die Änderung in der Geschwindigkeit des Mondes in diesem Zeitintervall am besten? Bitte ankreuzen!

- A
 D

- B
 E

- C
 F



Ergebnisse einer empirischen Studie zum Elektronengasmodell

Jan-Philipp Burde*, Thomas Wilhelm*

*Institut für Didaktik der Physik, Goethe-Universität Frankfurt, Max-von-Laue-Str. 1, 60438 Frankfurt
burde@physik.uni-frankfurt.de, wilhelm@physik.uni-frankfurt.de

Kurzfassung

Das Ziel des Elektronengasmodells besteht darin, den Lernenden eine anschauliche Vorstellung des Potenzial- und Spannungsbegriffs zu vermitteln, da sonst ein angemessenes Verständnis elektrischer Stromkreise nur schwer zu erreichen ist. Ein auf dem Elektronengasmodell basierendes Unterrichtskonzept wurde im Rahmen einer mit 790 Schülern durchgeführten Studie im Schuljahr 2015/16 im Frankfurter Raum empirisch evaluiert. Die Studie folgte einem Prätest-Posttest-Treatment-Kontrollgruppen-Design und verwendete als Testinstrument einen psychometrisch ausgereiften zweistufigen Multiple-Choice-Test, der auch die Erhebung von typischen Fehlvorstellungen erlaubt. Die Ergebnisse der Studie sind äußerst vielversprechend: Die nach dem neuen Konzept unterrichteten Schüler entwickeln nicht nur ein deutlich besseres konzeptionelles Verständnis, sondern hatten verglichen mit ihren traditionell unterrichteten Mitschülern auch einen mehr als doppelt so hohen Lernzuwachs. Die Idee hinter dem Unterrichtskonzept sowie die grundlegenden Ergebnisse der empirischen Studie werden im Folgenden genauer vorgestellt.

1. Motivation

Viele Lernende neigen dazu, Stromkreise ausschließlich mit Hilfe des Strom- und Widerstandsbegriffs zu analysieren, was in der Regel mit diversen Fehlvorstellungen einhergeht. Der Grund hierfür ist, dass sie im Unterricht der Sekundarstufe I häufig keinen konzeptionell adäquaten Spannungsbegriff entwickeln, ohne den ein angemessenes Verständnis elektrischer Stromkreise jedoch nur schwer vorstellbar ist. Stattdessen ist die Vorstellung vieler Schülerinnen und Schüler von Stromkreisen in der Sek I maßgeblich vom Strombegriff geprägt, der nicht aus didaktischen sondern historischen Gründen den Unterricht in der Mittelstufe dominiert [1, S.62]. In der Folge wird die elektrische Spannung von vielen lediglich als Eigenschaft des Stroms wahrgenommen (Stichwort „Stromspannung“) [2]. Dies ist nicht nur bedauerlich, weil die Spannung eine der physikalischen Größen darstellt, welche im Alltag der Schüler eine große Bedeutung haben, sondern auch, weil ohne die Spannung ein elementares Verständnis der Elektrizitätslehre unmöglich ist. Die Spannung ist allerdings keine einfache physikalische Größe, da sie die Differenz zweier Potenzialwerte darstellt und sich immer auf zwei Punkte in einem Stromkreis bezieht. Sie ist damit komplexer als das elektrische Potenzial, das einem Punkt bzw. einem Leiterabschnitt zugeordnet werden kann. Paradoxerweise wird aber von den Schülern insbesondere im Anfangsunterricht häufig erwartet, ein Verständnis für die Spannung zu entwickeln, ohne die dahinterstehende Größe selbst, nämlich das elektrische Potenzial, zu kennen, geschweige denn zu verstehen [3, S.477]. Das Ziel des Elektronengasmodells ist es

daher, den Lernenden neben einem qualitativen Verständnis der Wirkungszusammenhänge in Stromkreisen insbesondere eine anschauliche Vorstellung des elektrischen Potenzial- und Spannungsbegriffs bereits im Anfangsunterricht zu ermöglichen.

2. Die Grundidee des Elektronengasmodells

Die Grundidee des Elektronengasmodells besteht darin, dass sich in Metallen wie z.B. Kupfer die Elektronen in Teilchenform befinden und sich dort ähnlich einem Gas verhalten. In einem einfachen Stromkreis bestehend aus einer Batterie und einem Lämpchen sorgt eine Batterie im Elektronengasmodell nun für eine Ungleichverteilung der Elektronen im Kupferleiter. Konkret wird sie im didaktisch vereinfachten Modell als Elektronenpumpe betrachtet, die Elektronen aus dem mit dem Pluspol verbundenen Leiter in den mit dem Minuspol verbundenen Leiter pumpt. Entsprechend des Modells sinkt damit die Elektronendichte im mit dem Pluspol verbundenen Leiterstück, während sie im mit dem Minuspol verbundenen Leiterstück ansteigt. Im Leiter kommt es aufgrund der gegenseitigen Coulomb-Abstoßung der Elektronen zu einem von der Elektronendichte abhängigen „elektrischen Druck“. Im mit dem Minuspol verbundenen Leiterstück entsteht also ein hoher elektrischer Druck, wohingegen der elektrische Druck im Leiterstück, das mit dem Pluspol verbunden ist, absinkt. Durch Gleichsetzen des „elektrischen Drucks“ mit dem elektrischen Potenzial kann die elektrische Spannung im Elektronengasmodell so als elektrischer Druckunterschied interpretiert werden.

An dieser Stelle könnte man einwenden, dass die Dichte der Leitungselektronen in einem Stromkreis konstant ist und die Leitungselektronen damit kein kompressibles Fluid darstellen. Tatsächlich sind die Elektronen in Leitern aber in Folge von Oberflächen- und Grenzladungen nicht völlig homogen über den gesamten Stromkreis verteilt (für eine fachliche Auseinandersetzung sei auf [4] verwiesen). An einem Widerstand entsteht beispielsweise an der einen Grenzfläche mit dem Leiter eine Elektronenanreicherung, während es an der anderen Grenzfläche zu einem Elektronenmangel kommt [5, S.767]. Das hier vorgeschlagene Elektronengasmodell stellt also eine didaktische Elementarisierung der unterschiedlichen Ladungsdichten in Folge von Grenz- und Oberflächenladungen dar, indem lediglich die mittlere Elektronendichte innerhalb eines Leiterabschnitts betrachtet und auf eine Unterscheidung zwischen Leitungselektronen auf der einen Seite und Oberflächen- bzw. Grenzflächenelektronen auf der anderen Seite verzichtet wird.

Eine der zentralen didaktischen Ideen des hier vorgestellten Unterrichtskonzepts besteht darin, in Anlehnung an den Ansatz von diSessa [6] an geeignetes Vorwissen der Schüler anzuknüpfen. Konkret bringen diese aus dem Alltag in der Regel bereits ein intuitives Luftdruckverständnis im Sinne von „komprimierte Luft steht unter Druck, drückt gegen die Wände und hat das Bestreben sich auszudehnen“ mit, das in der Terminologie von diSessa einen in Hinblick auf die Begriffsentwicklung des elektrischen Potentials anknüpfungsfähigen „p-prim“ darstellt. Wichtig ist an dieser Stelle anzumerken, dass dieser p-prim („phenomenological primitive“) der Theorie von diSessa entsprechend keinem ausdifferenzierten physikalischen Begriffsverständnis entspricht, sondern lediglich ein isoliertes, auf Alltagserfahrungen basierendes, kognitiv noch nicht weiter vernetztes Wissenselement darstellt. Konkret bedeutet dies, dass im Unterrichtskonzept versucht wird, den Schülern eine intuitive Vorstellung vom elektrischen Potenzial zu ermöglichen, indem an ihre alltägliche Luftdruckvorstellung angeknüpft wird, ohne jedoch ein fachlich korrektes Druckkonzept mit der in der Sek I teils schwierigen Differenzierung zwischen skalarem Druckbegriff und vektoriell Kraftbegriff vorauszusetzen oder dieses an dieser Stelle einzuführen. Das Ziel der unterrichtlichen Bemühungen besteht darin, diesen zunächst isolierten p-prim in eine kognitive Struktur einzubetten, indem er mit weiteren p-prim wie „ein Druckunterschied führt zu einer Strömung“ verknüpft wird. Im Unterrichtskonzept wird daher ausgehend von Alltagsobjekten wie z.B. einem aufgeblasenen Fahrradreifen oder einer aufgeblasenen Luftmatratze erarbeitet, dass Luft immer von Bereichen höheren Drucks zu Bereichen niedrigeren Drucks strömt. Das Ziel dabei ist die Erkenntnis, dass Luftströmungen immer eine Folge von Druckunterschieden sind und dass zwischen den beiden Größen Druck und Druck-

unterschied konzeptionell unterschieden werden muss.

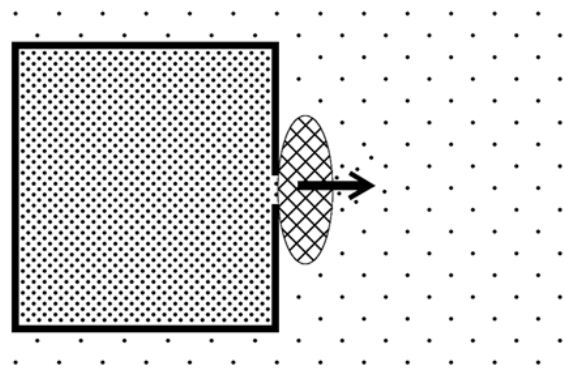


Abb. 1: Ein Luftdruckunterschied bewirkt eine Luftströmung durch einen Stoffwiderstand.

Zusätzlich findet auch eine Hinführung zur Widerstandsvorstellung statt, indem die Schülerinnen und Schüler ein Stück Stoff (z.B. ein Schal, Kragen oder Ärmel) nehmen und Luft durch dieses blasen. Je dicker das Stück Stoff dabei gefaltet wird, desto stärker ist die Hemmung bzw. Behinderung der Luftströmung (siehe Abbildung 1). Die Hemmung bzw. Behinderung der Luftströmung durch den Stoff stellt dabei einen p-prim für den elektrischen Widerstand dar und wird in Vorgriff auf die Betrachtung von Stromkreisen bereits hier als Widerstand (für die Luftströmung) bezeichnet.

Wie in Abbildung 2 dargestellt, wird der in den Leitern herrschende elektrische Druck in Anlehnung an die Luftdruckbeispiele über eine Teilchendichtedarstellung eingeführt, im weiteren Verlauf dann aber mit Hilfe eines an die alltägliche Konvention angelehnten Farbschemas direkt im Schaltplan visualisiert (rot = hoher Druck, blau = tiefer Druck). Durch Gleichsetzen des elektrischen Drucks mit dem elektrischen Potenzial kann die Spannung dann in Analogie zu Luftdruckunterschieden als elektrischer Druckunterschied und Antrieb des elektrischen Stroms eingeführt werden. Eine ausführliche Darstellung des Unterrichtskonzepts mit vielen Illustrationen und Erklärungen findet sich in [7].

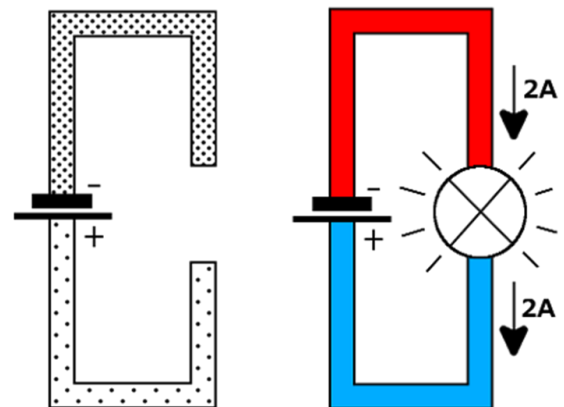


Abb. 2: Punktedichtedarstellung (links) und Farbdarstellung (rechts) des elektrischen Drucks

Gegenüber dem Modell des geschlossenen Wasserkreislaufs besteht der Vorteil des Elektronengasmodells insbesondere darin, dass die Lernenden aus dem Alltag bereits eine anschlussfähige Luftdruckvorstellung besitzen, wohingegen Wasser von den Schülern in der Regel als ein inkompressibles Kontinuum wahrgenommen wird. Damit ist für sie der Wasserdruck im geschlossenen Wasserkreislauf jedoch anschaulich nicht vorstellbar, weil sich in diesem Bild Wasser unter hohem Druck in nichts Sichtbarem von Wasser unter geringem Druck unterscheidet. Das Elektronengas hingegen stellt ein kompressibles Fluid aus Einzelteilchen dar, weshalb der Druck proportional zur Teilchendichte ist und somit für die Lernenden besser vorstellbar und visualisierbar ist [8].

Interessierte Lehrkräfte können die im Rahmen dieser Studie entwickelten Unterrichtsmaterialien unkompliziert und kostenfrei auf der Seite www.einfache-elehre.de herunterladen.

3. Das Design der Studie

Im Sinne von Design-Based-Research [9, 10] wurde zunächst unter Berücksichtigung früherer Studien und erforschter Schülervorstellungen ein Grundkonzept zum Elektronengasmodell erarbeitet und mit Hilfe von Teaching Experiments darauf hin überprüft, inwiefern die verwendeten Konzepte und Visualisierungen von den Schülerinnen und Schülern akzeptiert und verstanden werden [11]. Aufbauend auf den so gewonnenen Erkenntnissen wurde dann ein Unterrichtskonzept nach dem Elektronengasmodell inklusive passender Unterrichtsmaterialien wie Overheadfolien und Übungen für die Schulpraxis entwickelt. Im Rahmen einer mit 790 Schülern bzw. 36 Gymnasialschulklassen durchgeführten Studie wurde dieses Unterrichtskonzept dann im Schuljahr 2015/16 im Frankfurter Raum empirisch evaluiert.

Ziel der quasi-experimentellen Studie auf Basis eines Prätest-Posttest-Treatment-Kontrollgruppen-Design war es, den Verständniszuwachs von traditionell unterrichteten Klassen (Kontrollgruppe) mit dem Verständniszuwachs von Klassen zu vergleichen, die nach dem neuen Unterrichtskonzept auf Grundlage des Elektronengasmodells unterrichtet wurden (Treatmentgruppe). Der Verständniszuwachs wurde dabei in beiden Gruppen mit Hilfe eines psychometrisch ausgereiften zweistufigen Multiple-Choice-Tests erhoben [12], der 22 Items zu Stromstärke und Widerstand umfasst und um vier weitere Items zum Potenzial- und Spannungsbegriff erweitert wurde. Der Vorteil der Zweistufigkeit des Tests besteht darin, dass die Schüler nicht nur eine Antwort ankreuzen, sondern in einer zweiten Stufe diese dann auch begründen müssen. Auf diese Weise können nicht nur typische Fehlvorstellungen erhoben werden, sondern auch falsch-positive Antworten (d.h. richtige Antworten mit falscher Begründung bzw. Vorstellung) identifiziert werden. Nur wenn

sowohl die gegebene Antwort als auch die Begründung korrekt sind, wird das jeweilige Item als korrekt gezählt, weshalb im eingesetzten Multiple-Choice-Test der maximal erreichbare Summenscore 26 beträgt.

4. Empirische Ergebnisse

Die Kontrollgruppe umfasste 17 Gymnasialschulklassen bzw. 357 Schülerinnen und Schüler, die von 11 Lehrkräften über durchschnittlich 23,5 Schulstunden unterrichtet wurden. Die etwas größere Treatmentgruppe umfasste 19 Gymnasialschulklassen bzw. 433 Schülerinnen und Schüler, die von 14 Lehrkräften über durchschnittlich 24,3 Schulstunden unterrichtet wurden. Die unterrichteten Klassen verteilten sich in etwa gleichmäßig auf Jahrgangsstufe 7 und Jahrgangsstufe 8, wobei das Thema „Elektrizitätslehre“ bei allen teilnehmenden Klassen zum ersten Mal im Unterricht behandelt wurde. Die beiden Gruppen sind also in Hinblick auf die Gruppengröße, die Jahrgangsstufe und die unterrichtete Stundenzahl miteinander vergleichbar.

Nach dem Elektrizitätslehreunterricht konnten die Schülerinnen und Schüler der Treatmentgruppe mit 13,0 Items im Schnitt höchst signifikant mehr Items korrekt beantworten als die Schüler der Kontrollgruppe, die lediglich 8,6 Items korrekt beantworten konnten.

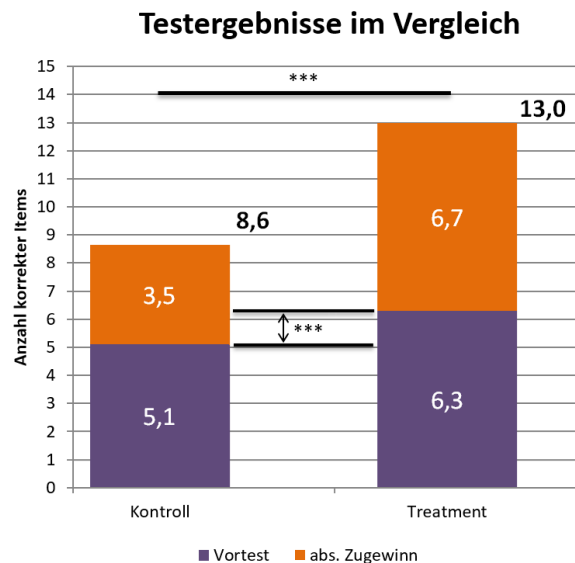


Abb. 3: Testergebnisse von Kontroll- und Treatmentgruppe im Vergleich

Wie in Abbildung 3 zu sehen, unterscheiden sich die beiden Gruppen allerdings auch höchst signifikant hinsichtlich ihres Vortestergebnisses. Vor Beginn des Elektrizitätslehreunterrichts konnten die Schüler der Kontrollgruppe durchschnittlich 5,1 Items und die Schüler der Treatmentgruppe durchschnittlich 6,3 Items korrekt beantworten. Aufgrund dieses signifikanten Unterschieds bereits vor der Durchführung der Unterrichtseinheit bietet es sich an, die Differenz der Veränderung in der Experimental- und der Kontrollgruppe zu berechnen, um auf diese Wei-

se den „Nettoeffekt“ des Unterrichts zu ermitteln [13, S.559]. Hier zeigt sich, dass der durchschnittlich erzielte absolute Lernzuwachs in der Treatmentgruppe mit 6,7 Items fast doppelt so hoch ausfällt wie in der Kontrollgruppe, wo er lediglich 3,5 Items beträgt. Auch hier ist der Unterschied zwischen den beiden Gruppen höchst signifikant.

Nun könnte man einwenden, dass der höhere absolute Lernzuwachs in der Treatmentgruppe auf das höhere Vorwissen der Schüler zurückzuführen ist („Matthäus-Effekt“) oder umgekehrt, dass Schüler mit hohem Vorwissen nicht mehr so viel zulegen können. Eine einfache Möglichkeit dies zu untersuchen, stellt die Parallelisierung der beiden Stichproben bezogen auf das Vortestergebnis dar, indem sogenannte „matched samples“ gebildet werden. Da die Bildung eines „matched samples“ einerseits zwangsläufig mit der gezielten Entfernung von Schülern aus der Stichprobe einhergeht, andererseits aber die grundlegende Struktur der Stichprobe soweit wie möglich erhalten bleiben sollte, wurde sich für ein Matching auf Klassenebene entschieden. Bei diesem Verfahren wird so lange aus jeder Klasse der Kontrollgruppe der Schüler mit dem schlechtesten Vortestergebnis und aus jeder Klasse der Treatmentgruppe der Schüler mit dem besten Vortestergebnis entfernt, bis die beiden Gruppen in Bezug auf das Vortestergebnis möglichst genau übereinstimmen. Auf diese Weise kann der Einfluss des Vorwissens als Störvariable (auch „Confounder“ genannt) auf das Nachtestergebnis weitgehend ausgeschlossen werden [13, S.527].

Wie in Abbildung 4 zu sehen ist, beträgt das durchschnittliche Vortestergebnis der beiden Gruppen im matched sample nun 5,6 Punkte. Im Nachtest konnten die Schüler der Treatmentgruppe mit 12,6 Items höchst signifikant mehr Items korrekt beantworten als die Schüler der Kontrollgruppe, die lediglich 8,8 Items korrekt beantworten konnten. Der absolute Lernzuwachs im matched sample fällt damit in der Treatmentgruppe mit 7,0 Items mehr als doppelt so hoch aus wie in der Kontrollgruppe, wo er lediglich 3,2 Items beträgt. Der Unterschied im durchschnittlichen Lernzuwachs zwischen den beiden Gruppen ist dabei höchst signifikant. Da die beiden Gruppen nun in Bezug auf das Vortestergebnis parallelisiert sind, konnte gezeigt werden, dass der höhere absolute Lernzuwachs in der Treatmentgruppe nicht mit dem Matthäus-Effekt erklärt werden kann, also nicht auf das unterschiedliche Vortestergebnis zurückzuführen ist.

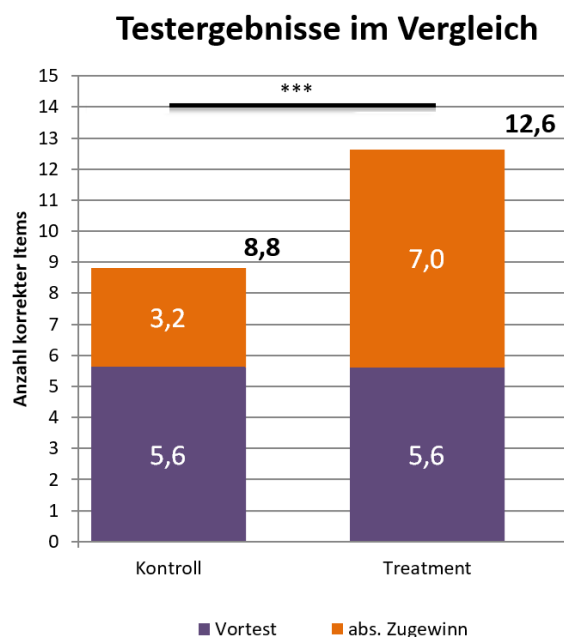


Abb. 4: Testergebnisse des „matched sample“ von Kontroll- und Treatmentgruppe im Vergleich

Eine weitere interessante Fragestellung besteht darin, wie der im Unterricht erzielte Lernzuwachs vom Vorwissen der Schüler abhängt. Hierzu wurden die Schüler der Kontroll- und Treatmentgruppe in Abhängigkeit ihres Vortestergebnisses zunächst in die Terzile „unteres Drittel“, „mittleres Drittel“ und „oberes Drittel“ eingeteilt. Da ein Schüler mit einem hohen Vortestergebnis prinzipiell keinen so hohen absoluten Lernzugewinn im Test mehr erzielen kann wie ein Schüler mit einem niedrigen Vortestergebnis, wird im Folgenden der durch den Unterricht erzielte relative Zugewinn betrachtet. Der relative Zugewinn gibt dabei an, wie groß der absolute Lernzugewinn in Relation zum für den Schüler überhaupt erzielbaren Zugewinn ausfällt (relativer Zugewinn = absoluter Zugewinn dividiert durch den möglichen Zugewinn). Wie aus Abbildung 5 hervorgeht, erzielen Schüler, die nach dem neuen Unterrichtskonzept unterrichtet wurden, unabhängig vom Vortestergebnis einen deutlich höheren relativen Zugewinn als die traditionell unterrichteten Schüler. Der Unterschied zwischen den beiden Gruppen ist dabei für jedes Terzil höchst signifikant und fällt im oberen Drittel besonders hoch aus. Dies ist darauf zurückzuführen, dass der relative Lernzuwachs in der Kontrollgruppe umso geringer ausfällt, desto besser die Schülerinnen und Schüler im Vortest abgeschnitten haben, wohingegen der relative Lernzuwachs in der Treatmentgruppe unabhängig vom Vortestergebnis nahezu konstant hoch ausfällt.

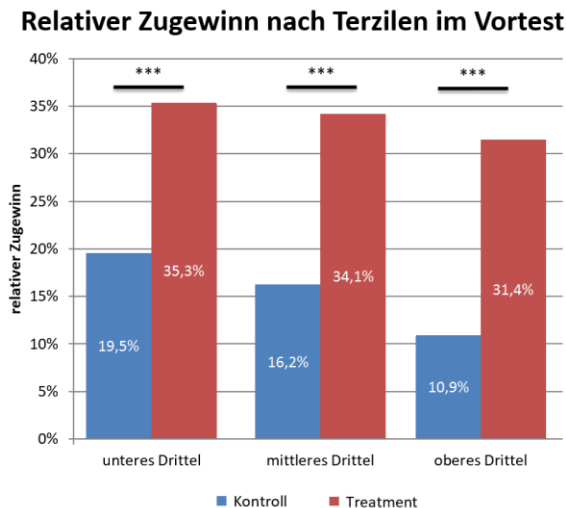


Abb. 5: Relativer Zugewinn nach Terzilen im Vortest (Kontrollgruppe: blau; Treatmentgruppe: rot)

Ein Vergleich des von den jeweiligen Terzilen einer Gruppe erzielten relativen Lernzuwachses mit Hilfe einer Varianzanalyse (ANOVA) ergibt, dass sich die einzelnen Terzile der Treatmentgruppe nicht signifikant voneinander unterscheiden, wohingegen der relative Lernzuwachs des dritten Terzils in der Kontrollgruppe signifikant geringer ausfällt als im ersten Terzil. Im direkten Vergleich zum traditionellen Unterricht scheinen daher insbesondere Schülerinnen und Schüler mit hohem Vorwissen von dem neuen Unterrichtskonzept zu profitieren. Anzumerken ist auch hier, dass der sogenannte „Matthäus-Effekt“ nicht zu beobachten ist: Ein gutes Abschneiden im Vortest führt sowohl relativ als auch absolut gesehen nicht zu einem höheren Lernzuwachs.

Mit Hilfe des zweistufigen Multiple-Choice-Tests nach Urban-Woldron konnten ferner auch die Fehlvorstellungen der Schülerinnen und Schüler erhoben werden. Ein Vergleich der bei den Schülerinnen und Schülern nach dem jeweiligen Unterricht noch vorhandenen Fehlvorstellungen zeigt, dass in der Treatmentgruppe 8 von 11 Fehlvorstellungen signifikant geringer ausgeprägt sind als in der Kontrollgruppe und bei den restlichen drei Fehlvorstellungen kein signifikanter Unterschied feststellbar ist. Im direkten Vergleich zum traditionellen Unterricht scheint das neue Unterrichtskonzept auf Basis des Elektronengasmodells insbesondere zu einem besseren Verständnis für den Differenzcharakter der elektrischen Spannung zu führen und der Stromverbrauchsvorstellung erfolgreich entgegen zu wirken.

5. Ausblick

Zur bisherigen Auswertung der Daten der Studie wurde auf die konventionellen statistischen Verfahren des t-Tests und der Varianzanalyse zurückgegriffen. Eine zentrale Voraussetzung der diesen Verfahren zugrunde liegenden t-Statistik bzw. F-Statistik ist jedoch, dass die einzelnen Messungen statistisch gesehen unabhängig voneinander sind. Diese geforderte statistische Unabhängigkeit ist aber bei fachdi-

daktischer Feldforschung strenggenommen nicht gegeben, da die Schüler im realen Unterricht gemeinsam in Klassen lernen und sich somit beispielsweise bzgl. ihres Lernerfolges in Folge bestimmter gemeinsamer Einflüsse (wie z.B. dem gemeinsamen Unterricht, dem gleichen Lernklima und anderen sozialen Interaktionen innerhalb einer Klasse) überzufällig ähnlich sind [14, S.297f]. Darüber hinaus ist davon auszugehen, dass auch der Lernerfolg der verschiedenen Klassen nicht völlig unabhängig voneinander ist, sondern u.a. von der unterrichtenden Lehrkraft abhängt, weshalb man von einer hierarchischen Datenstrukturierung ausgehen muss. Eine für die statistische Interpretation der Daten bedeutende Konsequenz einer solchen hierarchischen Strukturierung der Daten besteht darin, dass ein zusätzlicher Schüler einer bestimmten Klasse aufgrund seiner statistischen Abhängigkeit zu seinen Mitschülern nun nicht einen vollwertigen neuen Informationsbeitrag von 100% zur statistischen Schätzung liefert, sondern nur einen verminderten Informationsbeitrag von beispielsweise 80% [15, S.33; 16, S.9]. Um wie viel der Informationsbeitrag vermindert ist, hängt von der sogenannten Intraklassenkorrelation ab. Sie wird mit Hilfe des Intraklassenkoeffizienten gemessen, der hier z.B. als das Verhältnis der Varianz zwischen den Klassen zur Gesamtvarianz definiert ist und umso größer ist, desto stärker die Schüler innerhalb einer Klasse korreliert sind [15, S.14f]. Da in Folge der Intraklassenkorrelation nicht alle Schüler einen vollständigen Informationsbeitrag liefern, fällt der effektive Stichprobenumfang entsprechend geringer aus, was aber aufgrund der Abhängigkeit des Standardfehlers vom Stichprobenumfang auch mit einer höheren Unsicherheit bzgl. des gefundenen Effekts einhergeht. Wird die hierarchische Datenstrukturierung wie bei t-Tests oder Varianzanalysen vernachlässigt, besteht deshalb die Gefahr, gewisse Effekte für statistisch signifikant zu halten, obwohl sie es tatsächlich nicht sind, womit man einen Fehler 1. Art begehen würde [14, S.298].

Ein vor diesem Hintergrund sehr interessantes statistisches Verfahren stellt die Mehrebenenanalyse dar, da diese nicht nur die hierarchische Datenstrukturierung adäquat berücksichtigt, sondern darüber hinaus auch die Klärung komplexer inhaltlicher Fragen erlaubt, die mit konventionellen varianzanalytischen Methoden wie z.B. einer ANCOVA nicht zu beantworten sind [14, S.309f; 16, S.4]. Die Grundidee der Mehrebenenanalyse im Kontext der Unterrichtsforschung besteht insbesondere darin, dass zwischen der Individualebene der Schüler, der Kontextebene der Klassen und der Lehrerebene unterschieden wird („Drei-Ebenen-Design“). Dabei ähnelt die Mehrebenenanalyse prinzipiell einer linearen bzw. multiplen Regression, unterscheidet sich von dieser jedoch dadurch, dass für jede Ebene eine eigene Modellgleichung formuliert wird und die Regressionsparameter, z.B. zwischen den verschiedenen Klassen,

variieren können. Die adäquate Berücksichtigung der Mehrebenenstruktur der Daten ermöglicht nicht nur eine systematische sukzessive Modellentwicklung mit entsprechenden Prädiktoren auf verschiedenen Ebenen und ggf. die Untersuchung von möglichen Cross-Level-Interaktionen, sondern geht im Gegensatz zu konventionellen Varianz- und Regressionsanalysen insbesondere mit einer genaueren Berechnung der entsprechenden Effekte und einer adäquateren Schätzung ihrer Unsicherheit einher [15, S.30ff].

Aufgrund des in der vorliegenden Studie vergleichsweise großen Effekts des Treatments ist davon auszugehen, dass die hier präsentierten Ergebnisse trotz der mit den verwendeten statistischen Verfahren verbundenen Problemen – insbesondere bzgl. ihrer überschätzten statistischen Sicherheit – die grundsätzlichen Befunde korrekt widerspiegeln. Nichtsdestotrotz ist die Durchführung einer Mehrebenenanalyse aufgrund der vorliegenden hierarchischen Datenstrukturierung die angemessenere Analyseverfahren, sofern wie im vorliegenden Fall mit 23 Lehrer bzw. 36 Klassen die Voraussetzungen an die Anzahl der Einheiten auf den höheren Aggregatebenen erfüllt sind [17]. Da in der vorliegenden Stichprobe eine große und statistisch gesehen signifikante Varianz der Posttestergebnisse sowohl zwischen den Klassen als auch zwischen den Lehrern vorliegt, ist geplant, dieser Heterogenität durch eine mehrebenenanalytische Betrachtung Rechnung zu tragen. Ein weiterer Vorteil der Mehrebenenanalyse besteht darin, dass sie eine Kontrolle der Vortestunterschiede erlaubt [18, S.70], wohingegen das bisher verwendete Matchingverfahren auf Klassenebenen durch die Entfernung von Schülern nicht nur mit einem Informationsverlust, sondern auch mit einer nicht erstrebenswerten Veränderung der Struktur der Stichprobe einhergeht.

6. Literatur

- [1] Gleixner, C. (1998). Einleuchtende Elektrizitätslehre mit Potenzial, Dissertation LMU München.
- [2] Rhöneck, C. v. (1986). Vorstellungen vom elektrischen Stromkreis und zu den Begriffen Strom, Spannung und Widerstand, *Naturwissenschaften im Unterricht-Physik*, 34 (1986) 13, S.108-112.
- [3] Herrmann, F.; Schmälzle, P. (1984). Das elektrische Potential im Unterricht der Sekundarstufe I. In: *MNU* 37 (1984) 8, S.476-482.
- [4] Burde, J.-P.; Wilhelm, T.; Wiesner, H. (2014). Das Elektronengasmodell in der Sekundarstufe I. In: *PhyDid-B - Didaktik der Physik – Frühjahrstagung Frankfurt 2014*.
- [5] Chabay, R. W.; Sherwood, B. A. (2011). *Matter & Interactions*. Hoboken N.Y.: Wiley.
- [6] diSessa, A. (1993). Toward an Epistemology of Physics. *Cognition and Instruction*, 10 (2-3), S.105-225.
- [7] Burde, J.-P.; Wilhelm, T. (2016). Die Elektrizitätslehre mit dem Elektronengasmodell. In: *Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule* 65, Nr. 8, 2016, S.18-24.
- [8] Burde, J.-P.; Wilhelm, T. (2016). Moment mal ... (22): Hilft die Wasserkreislaufanalogie? In: *Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule* 65, Nr. 1, 2016, S.46-49.
- [9] Reinmann, G. (2005). Innovation ohne Forschung? Ein Plädoyer für den Design-Based Research Ansatz. *Unterrichtswissenschaft*, 33(1), S.52-69.
- [10] Wilhelm, T., Tobias, V., Waltner, C., Hopf, M. & Wiesner, H. (2012). Design-Based Research am Beispiel der zweidimensional-dynamischen Mechanik. In S. Bernholt (Hrsg.): *Konzepte fachdidaktischer Strukturierung für den Unterricht*, Jahrestagung der GDCP in Oldenburg 2011, Reihe: Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Band 32, Lit-Verlag, Münster, S.31-47.
- [11] Burde, J.-P.; Wilhelm, T. (2015). Akzeptanzbefragung zum Elektronengasmodell. In: *PhyDid B - Didaktik der Physik – Frühjahrstagung Wuppertal 2015*.
- [12] Urban-Woldron, H. & Hopf, M. (2012). Entwicklung eines Testinstruments zum Verständnis in der Elektrizitätslehre. *Zeitschrift für die Didaktik der Naturwissenschaften* 18, S.201-227.
- [13] Bortz, J., Döring, N. (2006). *Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler*. 4. Auflage. Berlin: Springer.
- [14] Kuhn, J. (2014). Mehrebenenanalyse am Beispiel der Lernwirkung von Aufgaben. In: D. Krüger, I. Parchmann und H. Schecker (Hg.): *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung*. Berlin: Springer Spektrum, S.297-310.
- [15] Twisk, J.W.R. (2006). *Applied Multilevel Analysis. A Practical Guide*. Cambridge: Cambridge University Press.
- [16] Kreft, I.; Leeuw, J. (1998). *Introducing Multilevel Modeling*. London: SAGE.
- [17] Maas, C.J.M; Hox, J. J. (2005). Sufficient Sample Sizes for Multilevel Modeling. In: *Methodology* 1 (3), S.86-92.
- [18] Paccagnella, O. (2006). Centering or not Centering in Multilevel Models? The Role of the Group Mean and the Assessment of Group Effects. In: *Evaluation Review* 30 (1), S.66-85.

Die Welt mit den Ohren sehen. Akustik im Alltag von Fledermäusen.

- Konzeption und Realisierung von Experimenten zur Thematik „ULTRASCHALL“ für einen kompetenzorientierten Physikunterricht -

Ines Gehring*, Dr. Angela Fösel*

*Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg, Staudtstraße 7, 91058 Erlangen
ines.gehring@fau.de, angela.foesel@fau.de

Kurzfassung

Der momentan an allen bayerischen allgemeinbildenden Schulen (sowie Wirtschaftsschulen und beruflichen Oberschulen) gültige Lehrplan wird derzeit im Auftrag des bayerischen Kultusministeriums vom Staatsinstitut für Schulqualität und Bildungsforschung überarbeitet. Ziel der Überarbeitung ist der neue LehrplanPLUS [1]. Dieser will den aktiven Wissenserwerb der Schülerinnen und Schüler fördern und ihnen die Fähigkeit geben, erlerntes Wissen in den Alltag zu übertragen. So sollen prozessbezogene Kompetenzen in den Bereichen „Erkenntnisgewinn“, „Kommunikation“ und „Bewertung“ vermittelt werden. Hierdurch sollen die Bildungsstandards der Kultusministerkonferenz im neuen bayerischen LehrplanPLUS umgesetzt werden [2].

Im Rahmen einer Bachelorarbeit wurden Experimente und kompetenzorientierte Aufgabenstellungen zur Thematik „Ultraschall“ konzipiert für einen Physikunterricht gemäß den Vorgaben des LehrplanPLUS. In diesem Artikel wird zunächst die Grundidee der Aufbereitung der Thematik vorgestellt; exemplarisch werden fünf der insgesamt 17 Experimente und Aufgabenstellungen beschrieben.

1. Motivation

Die Bachelorarbeit soll das Themengebiet „Akustik“, speziell „Ultraschall“ für Lernende der 8. Jahrgangsstufe in der bayerischen Realschule (sowie in angepasster Form auch für die Sekundarstufe I allgemein) durch Experimente verständlich machen. Besonders Schall im nicht hörbaren Bereich ist für die Schülerinnen und Schüler oft nur schwer greif-

bar. Um die Thematik zugänglich zu machen, wird sie am Alltag der Fledermäuse dargestellt. Hierzu wurden insgesamt 17 Experimente und kompetenzorientierte Aufgabenstellungen entwickelt, die die Lernenden vom hörbaren über einen sogenannten „Übergangsbereich“ in den nicht hörbaren Bereich führen. Dabei sollen zunächst die Grundlagen der Akustik im hörbaren Bereich vermittelt werden, um den Schülerinnen und Schülern das Verständnis für

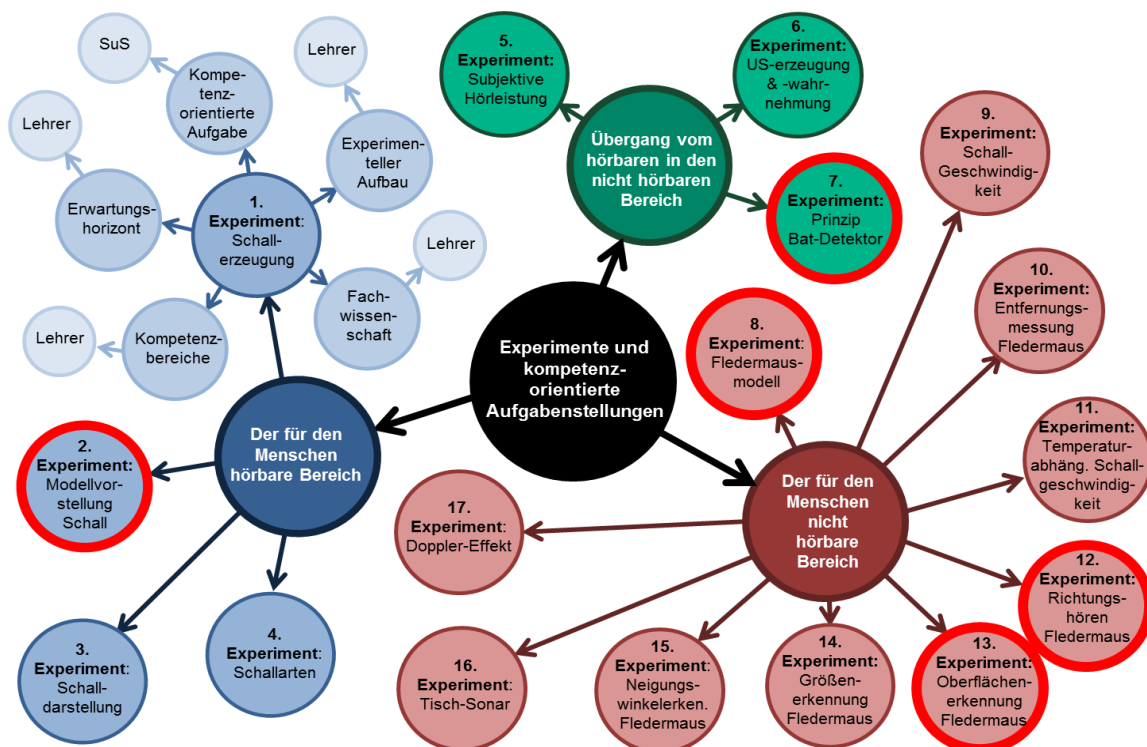


Abb. 1: Experimente und deren Aufbau im Überblick

den nicht hörbaren Bereich zu ermöglichen. Inhaltlich werden in der Bachelorarbeit neben den Experimenten und Aufgaben auch die zugrundeliegende Fachdidaktik und der fachwissenschaftliche Hintergrund beschrieben. Experimente und Aufgaben sowie das Hintergrundwissen werden bereitgestellt, um Lehrenden Materialien für einen kompetenzorientierten Physikunterricht an die Hand zu geben. Um beide Ziele zu erreichen, also das Schülerverständnis und die Unterstützung der Lehrenden, mussten im Rahmen der Arbeit die folgenden Fragen beantwortet werden: „Wie können den Schülerinnen und Schülern die Grundlagen des Schalls vermittelt werden?“, „Wie lässt sich der Übergang vom hörbaren in den nicht hörbaren Bereich schülergerecht gestalten?“ und „Wie kann den Lernenden die Rolle des Ultraschalls im Leben von Fledermäusen vermittelt werden?“.

2. Experimente und Aufgabenstellungen

Die in Abbildung 1 dargestellte Mind-Map veranschaulicht den grundlegenden Aufbau des Hauptteils der Bachelorarbeit.

Sie zeigt die thematische Einordnung der Experimente und auch die Untergliederung der Aufbereitung. Letztere ist exemplarisch für das erste Experiment „Schallerzeugung“ aufzeigt. Außerdem verdeutlicht die Mind-Map, welche Zielgruppe (Lehrende oder Lernende) im jeweiligen Unterpunkt angesprochen wird.

Hervorgehoben sind die Experimente, die im Folgenden exemplarisch mit den zugehörigen Aufgabenstellungen vorgestellt werden. (Die Aufgabenstellungen wurden für den Artikel gekürzt.)

2.1 Eine Modellvorstellung von Schall

Das erste hier vorgestellte Experiment ist thematisch dem hörbaren Bereich zugeordnet. Dieser erstreckt sich von ca. 20 Hz bis 20 kHz [3], je nach subjektiver Hörleistung. Das Erfahren des vom Menschen hörbaren Bereichs dient als Einführung für die Lernenden in die Grundlagen der Akustik.

Es soll als vertrauensbildende Maßnahme wirken, indem dadurch vor allem die Verbindung zwischen der auditiven Wahrnehmung mit den Ohren und der visuellen Wahrnehmung mit den Augen ermöglicht wird.

Ziel des Experiments ist es, den Schülerinnen und Schülern eine Modellvorstellung der Schallausbreitung in Luft zu vermitteln. Im Aufbau (vgl. Abb. 2) befinden sich unter anderem ein Lautsprecher, der ein akustisches Signal im hörbaren Bereich aussendet und ein Mikrophon, das das Signal empfängt.

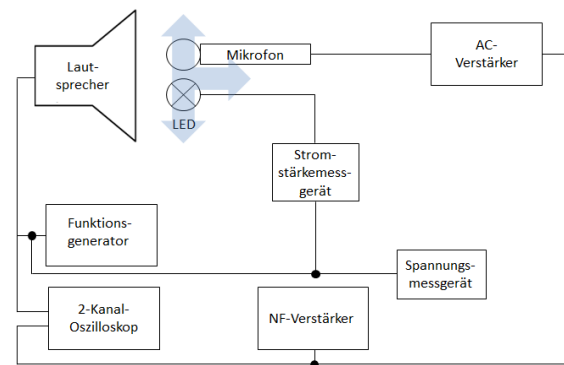


Abb. 2: Schaltskizze zum Versuchsaufbau „Modellvorstellung Schall“

Beide Signale werden in einem Niederfrequenzverstärker überlagert, dessen Ausgang mit einer LED verbunden ist. Je nachdem, wo sich das Mikrophon relativ zum Lautsprecher befindet, sind beide Signale entweder in Phase oder um 180° phasenverschoben. Im ersten Fall kommt es zu konstruktiver Interferenz, und das Ausgangssignal des NF-Verstärkers ist stark genug, um die am Mikrophon befestigte Diode zum Leuchten zu bringen. Leuchtet die LED nicht, so löschen sich die Signale bei gleicher Amplitude aufgrund der destruktiven Interferenz vollständig aus. [4]

Bewegt man die Mikrophon-LED-Konstruktion vor dem Lautsprecher auf und ab, ergibt sich eine „Lichtformation“ die als Schallwellenfront interpretiert werden kann.



Abb. 3: Aufnahme von Modellschallwellenfronten

Hierbei sind die entstandenen „Lichtformationen“ die Analogie zu den Luftverdichtungen, die im Bild sichtbaren dunklen Anteile stellen die Luftverdünnungen dar.

Diese Idee ist nicht neu, sondern sie wurde von Ewa Rehwald von der Westfälischen Wilhelm-Universität in Münster im Jahr 2011 [4] bereits in einem Artikel beschrieben.

Im Rahmen der kompetenzorientierten Aufgabenstellung sollen die Schülerinnen und Schüler zunächst mit einem Mitschüler über den Schallbegriff diskutieren und ihre Ergebnisse schriftlich festhalten. Im Anschluss an diese Diskussion sollen sie mit Hilfe des experimentellen Aufbaus das Bild der Schallwellenfronten aufnehmen und es interpretieren. Danach erhalten sie die beiden folgenden Bilder mit einer Erklärung zum Begriff „Längswelle“ im Modell und sollen diese mit dem selbst aufgenommenen Bild vergleichen.

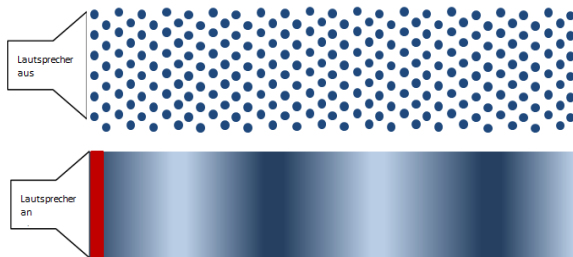


Abb. 4: Luftteilchen in Ruhe (oben); Luftteilchen durch Schwingungen der Schallquelle in Bewegung versetzt (unten)

In der letzten Teilaufgabe sollen die Schülerinnen und Schüler eine Hypothese generieren, die sich um die Frage dreht, ob Schall ein Medium benötigt um sich auszubreiten. Außerdem sollen sie sich ein Experiment überlegen, um ihre Hypothese zu überprüfen.

2.2 Prinzipielle Funktionsweise eines Bat-Detektors

Das nächste Experiment ist aus dem sogenannten „Übergangsbereich“. Dieser soll dazu dienen, den Schülerinnen und Schülern einen langsamen Einstieg in die Ultraschallthematik zu ermöglichen. Er wird außerdem dazu genutzt, den Kontext „Physik im Alltag von Fledermäusen“ einzuführen. Zudem werden spezielle Geräte zur Ultraschallerzeugung und -wahrnehmung vorgestellt.

Die Lernenden sollen im Experiment zunächst die prinzipielle Funktionsweise eines Bat-Detektors kennenlernen und im Anschluss selbst Fledermausrufe analysieren.

Bat-Detektoren transformieren die nicht hörbaren Rufe von Fledermäusen durch unterschiedliche Verfahren in hörbaren Schall. Das im Experiment modellierte Verfahren ist das sogenannte Frequenzteilverfahren.

Abbildung 5 zeigt die prinzipielle Verschaltung der einzelnen Komponenten des experimentellen Aufbaus:

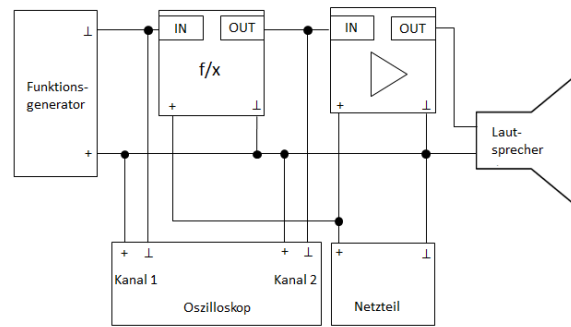


Abb. 5: Schaltplan der Frequenzteilerschaltung

Es wurden Frequenzteilerbausteine konzipiert, die Signale in festen Teilungsverhältnissen von hohen in niedrigere Frequenzen umwandeln. Je nachdem, welche Bausteine in der Schaltung kombiniert werden, können unterschiedliche Teilungsverhältnisse erzielt werden. Den Lernenden stehen vier Steckplätze in der Schaltung zum Integrieren der Frequenzteilerbausteine zur Verfügung, wie in Abbildung 6 zu sehen ist.

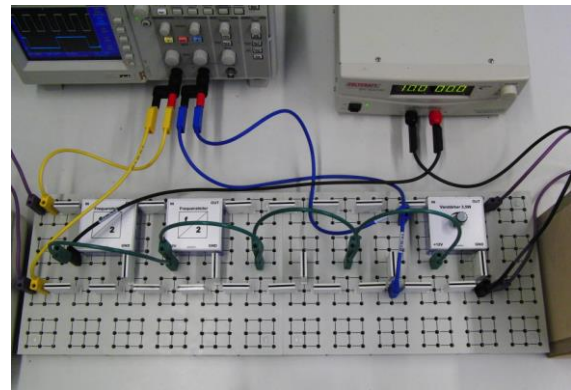


Abb. 6: Schaltung mit zwei Frequenzteilerbausteinen

Die entsprechende Aufgabenstellung sieht vor, dass die Schülerinnen und Schüler zunächst ohne Frequenzteilerbausteine arbeiten. Sie sollen erfahren, dass das Eingangssignal dem Ausgangssignal entspricht und dass Ultraschall für sie nicht hörbar ist. Im nächsten Schritt integrieren sie nach und nach Frequenzteilerbausteine in die Schaltung und erfahren, wie sich das Ausgangssignal schrittweise verändert. Haben sie passende Frequenzteilerbausteine integriert, wird das Ultraschallsignal in ein Signal aus dem hörbaren Bereich umgewandelt. Die Aufgabe sieht vor, dass die Lernenden ihre experimentellen Beobachtungen formulieren. Neben der visuellen Darstellung auf dem Oszilloskop nehmen sie die Veränderung der Frequenz auch durch den Lautsprecher wahr.

Grundsätzlich wird im Experiment also modelliert, wie ein Fledermausruf mittels Frequenzteilverfahren in den hörbaren Bereich transferiert wird.

Im nachfolgenden linken Bild erfolgte eine Teilung durch vier, sodass ein 20 kHz-Signal in ein 5 kHz-

Signal umgewandelt werden konnte. Im rechten Bild erfolgte eine Teilung durch 32.

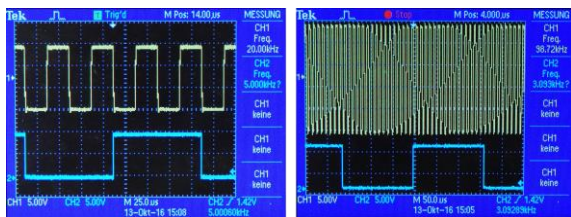


Abb. 7: links: Teilung f/4, rechts: Teilung f/32

Danach sollen die Schülerinnen und Schüler mit Hilfe des Eingangs- sowie Ausgangssignals auf dem Oszilloskop herausfinden, welche Bausteine ihr Teampartner, ohne ihr Wissen, zuvor in die Schaltung integriert hatte. Im Rahmen der Aufgabenstellung sollen die Schülerinnen und Schüler außerdem zwei weitere Verfahren der Umwandlung von Ultraschall in Hörschall kennenlernen, nach denen Bat-Detektoren ebenfalls arbeiten können. Sie sollen das Prinzip des Mischverfahrens sowie das Prinzip des Zeitdehnverfahrens durch einen Informationstext nachvollziehen können, es in eigenen Worten zusammenfassen und sich im Anschluss gegenseitig ihre Ergebnisse präsentieren.

einem Bat-Logger in der Nähe von Erlangen vom Autor dieses Artikels aufgenommen. Mit Hilfe von kommerzieller Software (BatExplorer der Firma Elekon AG) wurden Wellenform, Spektrogramm, Frequenzverlaufstyp, Ruflänge und Spektrum von fünf Fledermausarten ausgedruckt und einzelne Kärtchen erstellt. Abbildung 8 zeigt die Kärtchen, die zum Ruf der großen Hufeisennase gehören. Die Schülerinnen und Schüler erhalten neben den bereits aufgezählten Kärtchen auch ein Bild sowie den Namen der jeweiligen Fledermausart.

In der Darstellung der Wellenform sind an der vertikalen Achse die relative Lautstärke und an der horizontalen Achse der zeitliche Verlauf aufgetragen. Das Spektrum zeigt die Hauptruffrequenz, die bei der großen Hufeisennase zwischen 79 Hz und 84 kHz liegt. Es ist ebenfalls die relative Lautstärke an der vertikalen Achse aufgetragen und auf der horizontalen Achse die Frequenz. Im Spektrogramm lässt sich der Frequenzverlaufstyp, hier cf-e („constant frequency, exact“, d.h. exakt konstant frequenter Verlauf) ermitteln. Auf der vertikalen Achse ist die Frequenz aufgetragen und auf der horizontalen, der zeitliche Verlauf. Außerdem lässt sich mit Hilfe des Spektrogramms, die Länge eines einzelnen Rufes bestimmen.

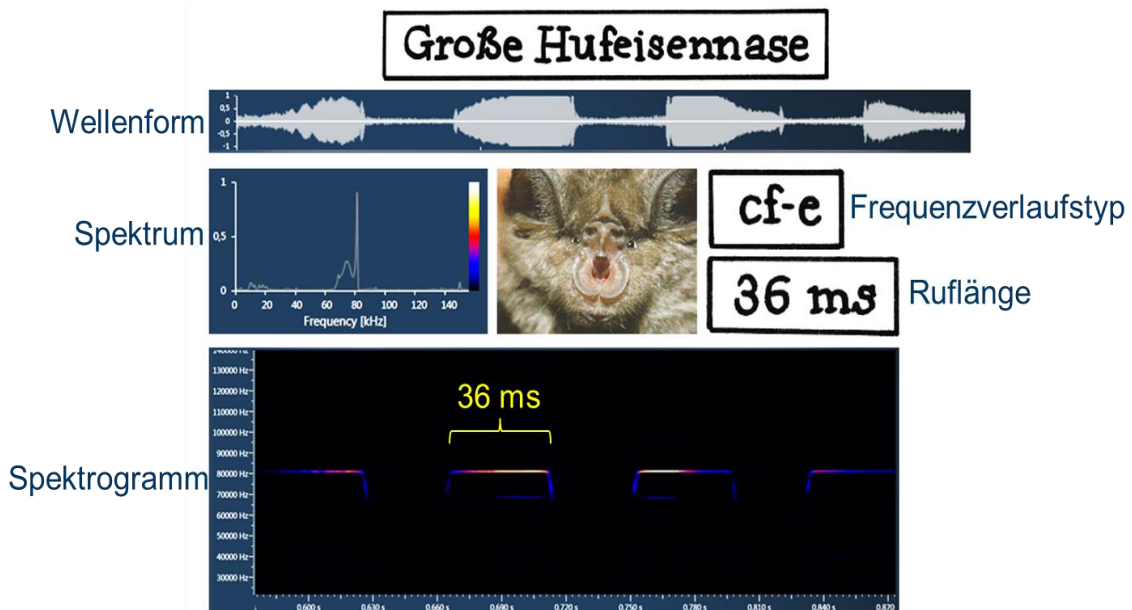


Abb. 8: Lösung große Hufeisennase

Um die verschiedenen Fledermausarten anhand ihrer Rufe bestimmen zu können, werden diese nach bestimmten Kriterien analysiert. Damit die Lernenden eigene Analysen vornehmen können, wurden die Rufe von unterschiedlichen Fledermausarten mit

Die Ruflänge beträgt bei dieser Fledermausart zwischen 35 ms und 75 ms (sehr lange Rufe) [5]. Zum Vergleich ist in Abb. 9 der Ruf der Zwergfledermaus dargestellt.

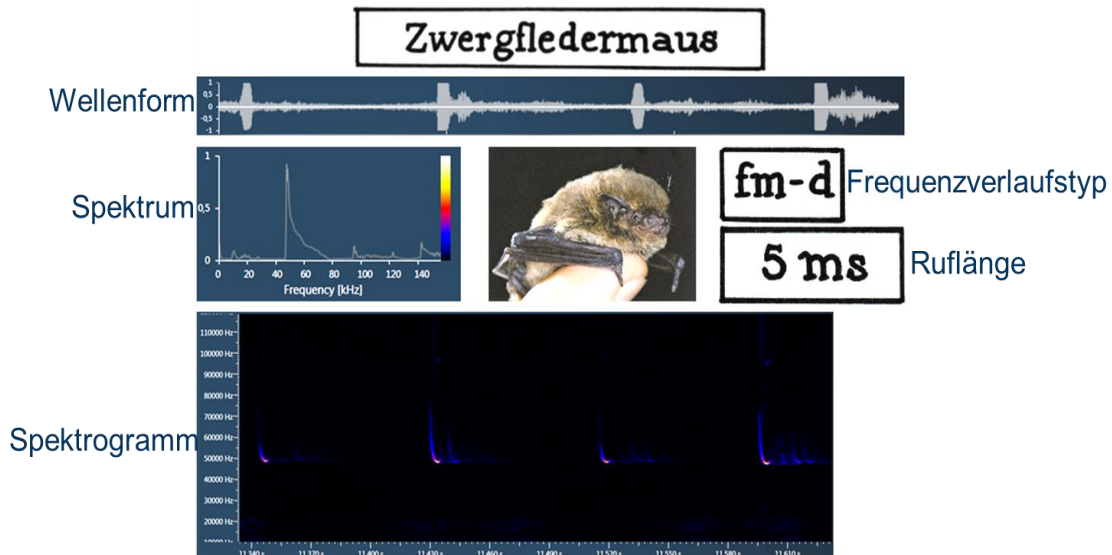


Abb. 9: Lösung Zwergfledermaus

Dieser unterscheidet sich grundlegend vom Ruf der großen Hufeisennase. Die Hauptruffrequenz der Zwergfledermaus liegt zwischen 43 Hz und 49 kHz. Der Frequenzverlauf eines Rufes ist frequenzmoduliert (konkret fm-d, „frequency modulation, decreasing“, d.h. Modulation in der Zeiteinheit abfallend), wobei sich die Frequenz gegen Ende des Rufes einem konstantfrequenten Verlauf nähert (cf-e, cf-n „constant frequency, near“, d.h. nahezu konstant frequenter Verlauf). Häufig gibt es innerhalb einer Rufsequenz mehrere Rufe die konstantfrequent verlaufen (cf-e, cf-n). Die Wellenform ist in fast allen Fällen symmetrisch pflaumenförmig, aber es sind ebenfalls erhebliche Abweichungen möglich. Die Ruflänge beträgt 3 ms bis 10 ms [5].

2.3 Motivationsexperiment Fledermausmodell

Der für den Menschen nicht hörbare Bereich beginnt ab ca. 20 kHz und endet (nach dem derzeitigen technologischen Stand) bei 10 THz. In dieser Arbeit liegt der Fokus jedoch auf der Physik im Alltag von Fledermäusen und deshalb auf dem Ultraschallbereich, welcher sich von 20 kHz bis zu 1 GHz erstreckt [3].

Die Lernenden beschäftigen sich also ausschließlich mit Experimenten zur Thematik Ultraschall in Bezug auf Fledermäuse. Die Schülerinnen und Schüler sollen erfahren, wie sie sich den Alltag von Fledermäusen vorstellen können und worauf die Fledermäuse achten, wenn sie sich in der Nacht orientieren und Beute jagen.

Um das Interesse der Schülerinnen und Schülern am Thema Ultraschall zu wecken, hat der Autor des Artikels das Modell einer Fledermaus gebaut, welches mit Hilfe eines Mikrocontrollerboards eine Entfernungsmessung mit Ultraschall vornimmt.

Die Entfernung zu einem Ortungsobjekt wird mit Hilfe von Leuchtdioden auf dem Rücken der Fledermaus visualisiert.



Abb. 10: Modell einer Fledermaus

Die Schülerinnen und Schüler sollen in dieser Aufgabe den Reflektor, also das „Modellbeutetier“, langsam auf die Fledermaus zu und von ihr weg bewegen und die Leuchtdioden auf dem Rücken der Fledermaus beobachten. Sie sollen im Anschluss eine Hypothese zur Funktionsweise generieren, wobei an dieser Stelle keine „richtige“ Hypothese von den Schülerinnen und Schülern erwartet wird, da sie sich den fachlichen Hintergrund noch nicht erarbeitet haben.



Abb. 11: Abstandsvisualisierung mit dem Fledermausmodell

Der Ultraschallsensor befindet sich in der Nase der Modellfledermaus. Er dient dem Senden und Empfangen des Ultraschallsignals, wohingegen echte Fledermäuse durch Nase oder Maul rufen und mit den Ohren das Echo empfangen.

Außerdem sollen die Schülerinnen und Schüler mit den Begriffen Sender und Empfänger arbeiten und diese dem Aufbau zuordnen. Im letzten Schritt detektieren sie den „Ruf“ der Modellfledermaus mit Hilfe eines Bat-Detektors und vergleichen diesen mit den Rufen der „echten“ Fledermäuse, die ihnen auf einem Laptop zur Verfügung stehen. Sie sollen das Spektrogramm, das Wellenbild und das Spektrum der Modellfledermaus mit den Rufen der Originalfledermäuse vergleichen.

2.4 Richtungshören

Ein weiteres Experiment im nicht hörbaren Bereich modelliert das Richtungshören der Fledermaus. Genau wie der Mensch kann die Fledermaus unterscheiden, bei welchem ihrer beiden Ohren ein Schallereignis früher eintrifft und daraus die Richtung bestimmen.

Ziel dieses Experimentes ist, dass die Lernenden die eben beschriebene zeitliche Differenz zwischen dem Eintreffen des (reflektierten) Ultraschallsignals am „rechten Ohr“ und am „linken Ohr“ der „Fledermaus“ mit Hilfe des Oszilloskops analysieren. Außerdem sollen sie den Wegunterschied aus dieser Zeitdifferenz berechnen. Im Anschluss daran sollen die Lernenden die Wegdifferenz von beiden Empfängern zum Reflektor mit einem Maßstab messen und die Ergebnisse vergleichen.

Im experimentellen Aufbau befinden sich zwei Ultraschallempfänger, die das rechte und linke Ohr der Fledermaus modellieren sowie ein Sender der das Maul modelliert.

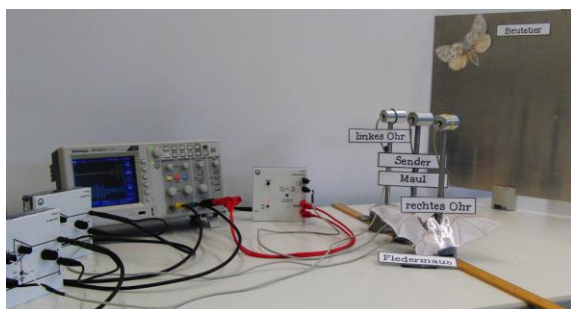


Abb. 12: Versuchsaufbau Richtungshören

Die Schülerinnen und Schüler sollen erfahren, wie sich die Signale der Empfänger auf dem Oszilloskop verändern, wenn diese einen unterschiedlichen Abstand zum Reflektor haben.

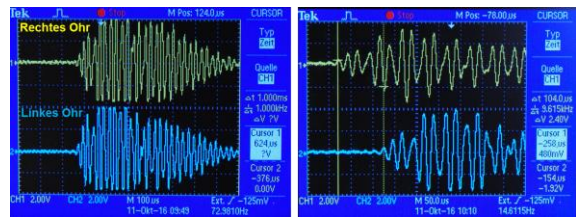


Abb. 13: Empfängersignale. gleicher Abstand zum Reflektor (links); unterschiedlicher Abstand zum Reflektor (rechts)

In Abb. 13/links empfängt die Modellfledermaus das Echo des Modellbeutetiers in beiden Ohren zeitgleich.

Das bedeutet für die Fledermaus, dass sich das Beutetier zentral auf sie zu bewegt. Im rechten Bild empfängt das rechte Ohr der Modellfledermaus das Echo 104 Mikrosekunden früher als das linke Ohr, was wiederum bedeutet, dass sich das Beutetier von rechts an die Fledermaus annähert.

2.5 Oberflächenstrukturerkennung

Da es für die Fledermaus von großer Bedeutung ist, die Beschaffenheit der Oberfläche eines Objektes zu erkennen, ohne es mit den Augen zu sehen, wird in diesem Experiment die Oberflächenstrukturerkennung mit Hilfe von Ultraschall betrachtet. So können Fledermäuse zum Beispiel Wasseroberflächen von anderen Oberflächen wie Acker oder Beton unterscheiden. Mit dieser Erkenntnis ist es den Fledermäusen also möglich, stehende Gewässer zu erkennen und so Wasser zum Trinken zu finden. Die Lernenden sollten sich am Ende dieses Experimentes also die Frage beantworten können, wie die Fledermaus die verschiedenen Oberflächen ihrer Ortungsobjekte unterscheiden kann.

Im experimentellen Aufbau befinden sich ein Ultraschallsender und ein –empfänger auf gleicher Höhe.

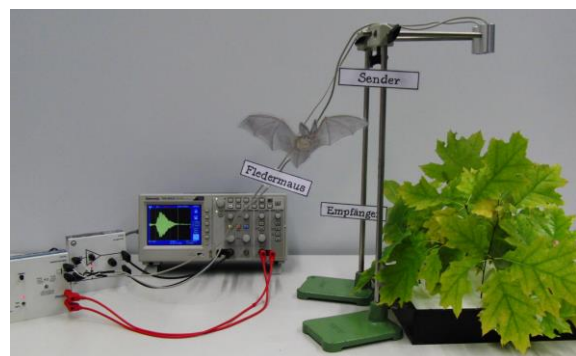


Abb. 14: Versuchsaufbau Oberflächenstrukturerkennung

Da der Richtungseindruck in diesem Experiment keine Rolle spielt, wird nur ein Empfänger benötigt.

Im Rahmen der Aufgabenstellung sollen die Schülerinnen und Schüler zunächst das Experiment aufbauen und die Funktionsweise der einzelnen Bauelemente beschreiben. Danach werden mit Hilfe des

Oszilloskope die Echos von unterschiedlichen Materialien analysiert. Außerdem sollen sich die Schülerinnen und Schüler Gedanken über die Auswahl der Materialien machen und diese in Bezug zum Alltag der Fledermaus bringen. Um eine Erklärung des Ergebnisses generieren zu können, sollen die Schülerinnen und Schüler zunächst Je-Desto-Aussagen zu den aufgenommenen Echos erstellen um danach eine Erklärung formulieren zu können.

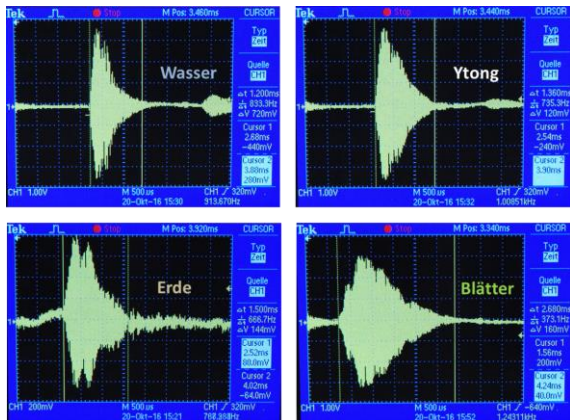


Abb. 15: Analyse der Oberflächenstrukturen anhand des Echos mithilfe des Oszilloskops

Vergleicht man die verschiedenen Echos miteinander, so kommt man zu dem Schluss, dass die Breite des Echos von der Rauigkeit der Oberfläche abhängt. Dieser Umstand lässt sich durch die Diffuse Reflexion erklären, die an rauen Oberflächen auftritt. Hierbei werden die Schallwellen an einzelnen Punkten der Oberfläche willkürlich in unterschiedliche Richtungen reflektiert, was im zeitlichen Verlauf zu einem breiten Echo führt [6]. Je rauer die Oberfläche ist, desto breiter ist das Echo [7].

3. Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Artikel wurden exemplarisch fünf Experimente und zugehörige Aufgabenstellungen aus den drei Bereichen „hörbar“, „Übergang“ und „nicht hörbar“ vorgestellt, die den Lernenden sowohl die Grundlagen der Akustik als auch die Akustik im Alltag von Fledermäusen verständlich machen sollen.

Die für die Experimente notwendigen Materialien und Geräte sowie die eigens gebaute Modellfledermaus sind so zusammengestellt, dass sie für den Unterricht ausgeliehen werden können. Darüber hinaus sind die Experimente so konzipiert, dass sie – neben dem Einsatz als Demonstrationsexperimente – auch als Stationenarbeit verwendbar sind. Die Experimente sollten für eine Stationenarbeit in der Reihenfolge eingesetzt werden, in der sie in der Arbeit dargestellt sind. Andernfalls ist eine Anpassung der Aufgabenstellungen nötig, da diese aufeinander aufbauen. Der hörbare Bereich kann, je nach Vorwissen der Schülerinnen und Schüler, als optional angesehen werden. Alle Materialien werden in

Lehrerfortbildungen vorgestellt und stehen ab Mai 2017 Lehrenden in der näheren Umgebung von Erlangen zur Ausleihe zur Verfügung.

4. Literatur

- [1] Staatsinstitut für Schulqualität und Bildungsforschung: LehrplanPlus Bayern. Website, 2017. – Online erhältlich unter www.isb.bayern.de (abgerufen am 07. März 2017)
- [2] Sekretariat der ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland: Beschlüsse der Kultusministerkonferenz, Bildungsstandards im Fach Physik für den mittleren Schulabschluss. Luchterhand. Wolters Kluwer Deutschland GmbH, München, Neuwied, 2005
- [3] Lerch, Reinhard; Sessler, Gerhard M.; Wolf, Dietrich: Technische Akustik. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2009, S. 1
- [4] Rehwald, Ewa: Unsichtbares sichtbar machen: Schallwellenfronten im Bild. In: Vorträge/Physikertagung, Deutsche Physikalische Gesellschaft, 2011
- [5] Skiba, Reinald: Europäische Fledermäuse. Westrap Wissenschaften-Verlagsgesellschaft mbH, Hohenwarsleben, 2009, S. 85 f. und S. 161 f.
- [6] Tipler, Paul A.; Mosca, Gene; Wagner, Jenny (Hrsg.): Physik für Wissenschaftler und Ingenieure. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2015, S. 1012 ff.
- [7] Clare, Elizabeth L.; Holderied, Marc W.: Acoustic shadows help gleaning bats find prey, but may be defeated by prey acoustic camouflage on rough surfaces. Website, September 2015. – Online erhältlich unter <https://elifesciences.org/content/4/e07404-download.pdf> (abgerufen am 04. Dezember 2016)

Zur Lösung Linearer Gleichungssysteme mit Hilfe gemischter Sandwich-Produkte

Martin Erik Horn

HWR – Hochschule für Wirtschaft und Recht Berlin / Berlin School of Economics and Law
Badensche Str. 52, 10825 Berlin
Email: e_hornm@doz.hwr-berlin.de, mail@martinerikhorn.de

Kurzfassung

Die Lösung Linearer Gleichungssysteme beruht nach Cramer und Graßmann auf der intelligenten Verknüpfung von Determinanten bzw. äußeren Produkten. Dieser historisch gefestigte Lösungsansatz wurde vor einer Formulierung Geometrischer Produkte entwickelt und stellt letztendlich eine schrittweise Verknüpfung von Produkten aus zwei geometrisch-algebraischen Faktoren dar.

Dieser Lösungsansatz soll aus physikalischer und physikdidaktischer Perspektive hinterfragt und durch einen Lösungsansatz, der sich auf Produkte aus drei Faktoren (gemischte Sandwich-Produkte) stützt, ergänzt werden.

1. Historischer Rückblick: Gleichungssysteme

Eine der ersten abstrakten Kulturtechniken, die von der Menschheit entwickelt wurde, war die Mathematik. Und einer der ersten mathematischen Kulturtechniken, die von unseren mathematikaffinen Vorgängern entwickelt wurde, war die Lösung von Gleichungen und Gleichungssystemen.

Neben der damals mit Sicherheit schon vorhandenen Motivation, die Mathematik als geistig herausforderndes Abenteuer zu begreifen, durch das neue Erkenntnisse des reinen Erkenntniswillens wegen geschaffen werden, waren es in den frühen Hochkulturen der großen Flusssysteme auch immer handfest alltagsnotwendige Aufgaben und Fragestellungen, die zu einer Weiterentwicklung der Mathematik führten.

So musste nach den regelmäßig auftretenden Überschwemmungen am Nil oder im Zweistromland das fruchtbare Land wieder möglichst gerecht verteilt werden, auch wenn eventuelle Feldmarkierungen unter Schlamm verschüttet oder weggeschwemmt worden waren.

Während eine gerechte Neu-Verteilung der Felder naturgemäß proportional zum Flächeninhalt des Feldbesitzes erfolgen sollte, beruhten die damaligen Messverfahren auf Längenmessungen. Die Landvermesser standen somit vor dem mathematischen Dilemma, zwei Gleichungen (beispielsweise eine erste für den Umfang und eine zweite für den Flächeninhalt von Feldern) so zu verknüpfen, dass eine sinnvolle Lösung ermittelt werden konnte.

Die damals lebenden Mathematiker entwickelten infolgedessen Lösungsschemata zur Lösung dieser Aufgabe, wobei die Verknüpfung einer Gleichung ersten Grades (für eine längenorientierte Größe) und

eine Gleichung zweiten Grades (für eine flächenbezogene Größe) auf die Lösung einer quadratischen Gleichung [1, S. 64–71], [2] führte.

Parallel zu dieser anspruchsvollen Aufgabe erkundeten die frühzeitlichen Mathematiker Lösungsschemata für die Verknüpfung zweier Gleichungen ersten Grades. Die Lösung eines linearen Gleichungssystems mit zwei Unbekannten war somit schon damals so etwas wie eine didaktisch³ motivierte Aufwärmübung, um auf die Lösung anspruchsvoller Gleichungssysteme vorzubereiten.

Die damals praktizierten Verfahren zur Lösung Linearer Gleichungssysteme beruhten im Wesentlichen auf dem Gaußschen Eliminationsverfahren, das in zahlreichen Variationen und Vorstufen seit Anbeginn der historisch aufgezeichneten Mathematik [3], [4] genutzt wurde.

In dem hier vorliegenden Beitrag soll jedoch eine alternative und konzeptionell prinzipiell andersartige Art, Gleichungssysteme zu lösen [5] vorgestellt und diskutiert werden.

2. Zwei historische Beispiele für Aufgaben zu Linearen Gleichungssystemen

Es ist davon auszugehen, dass mathematischen Kulturtechniken bereits vor Erfindung der Schrift¹ entwickelt wurden, denn die Probleme, die zu lösen

¹ Eines der wichtigsten Tätigkeitsfelder frühzeitlicher Mathematiker war die Buchhaltung. Es spricht Vieles dafür, dass diese Mathematiker und Buchhalter die Schrift erfanden [6, Kap. 10]. Die Schlussfolgerung, dass die Mathematik der Schrifterfindung vorausging und diese sogar bedingte („as far as our evidence goes, ‘mathematics’ precedes writing“ [7, S. 16]) scheint trotz der naturgemäß unvollständigen Quellenlage nahezu zwingend. Die Erfindung der Schrift ist eine Folge mathematischen Handelns und mathematischen Denkens.

waren (wie die eben diskutierte gerechte Neu-Verteilung überschwemmten Landes oder im Todesfall unter mehreren Erben²) mussten bereits lange vor Erfindung der Schrift gelöst werden, ohne dass es dabei jeweils zu größeren gesellschaftlichen Verwerfungen kommt.

So hat es den Anschein, dass eine hoch entwickelte Mathematik quasi aus dem Nichts auftaucht, deren Entwicklungslinien im Dunkeln einer schriftlich nicht fixierten Vorgeschichte liegen. Die archäologisch gesicherten und uns heute zugänglichen mathematischen Keilschrifttexte sind sowohl in der Frühzeit der Sumerer (vor 3000 v.Chr.) [9, Kap. 6] wie auch in der Blütezeit Alt-Babylonischer Mathematik (ca. 21000 – 1600 v.Chr.) hauptsächlich schulische Lehr- und Übungstexte [8, Abschnitt 3.2]³, die bereits lange zuvor erworbenes Wissen didaktisch aufbereitet zur Verfügung stellen.

Ein solcher Aufgabentext aus der Alt-Babylonischen Periode findet sich in der Sammlung des Vorderasiatischen Museums Berlin (siehe Abb. 1).

Zwei Felder umfassen zusammen eine Fläche von 1800 Sar.

Die Pachtgebühr zur Nutzung des ersten Feldes beträgt 2 Silà Weizen pro 3 Sar, die Pachtgebühr zur Nutzung des zweiten Feldes beträgt 1 Silà Weizen pro 2 Sar.

Die Pachteinnahmen aus dem ersten Feld übersteigen die Pachteinnahmen aus dem zweiten Feld um 500 Silà.

Wie groß sind die beiden Felder?

Abb.1: Aufgabenstellung des Keilschrifttextes VAT 8389 (Eigene Übersetzung der englischen Angaben in [3, S. 782] bzw. [4, S. 167]).

Ein weiteres Zentrum einer frühen mathematischen Hochkultur stellt das alte China dar. So war die Zeit der frühen Han-Dynastie (202 v.Chr. – 9 n.Chr.) eine Periode höchster mathematischer Kreativität [10, S. 162]. Insbesondere ein Werk, das wahrscheinlich zu großen Teilen auf bereits zuvor verfasste, aber in den politischen Wirren der Qin-Dy-

² Hier führt Wußing zahlreiche Beispiele an: „Als Widerspiegelung gesellschaftlicher Verhältnisse sind sog. ‚Verteilungsaufgaben‘ recht häufig: Verteilung der Abgaben bei Feldern mit unterschiedlichem spezifischem Ertrag, Berechnung der Entlohnung der anzuliefernden Ziegel entsprechend der beim Transport zurückgelegten Entfernung, und ähnliche Probleme“ [8, S. 140].

³ Zitat: „Høyrup versucht in seiner schon erwähnten Studie ein Gesamtbild (... und ...) betont, dass die mathematischen Texte Schultexte sind“ [8, S. 141].

nastie zerstörte Arbeiten zurückgeht, ist das Buch „Neun Kapitel über die Kunst von Berechnungen“. Diese Ausgabensammlung – also wie bei den Babyloniern ein didaktisch motiviertes Werk – besteht aus 246 Aufgaben und Musterlösungen, deren Wirkung in Asien mit der Wirkung von Euklids *Elementen* in Europa verglichen werden kann [10, Kap. 9].

Insbesondere findet sich in dieser Aufgabensammlung eine ausführliche Beschreibung der Methode, Lineare Gleichungssysteme mit beliebig vielen Unbekannten zu lösen, „– a method that is still taught to beginning students of matrix algebra today. And all this took place over 2,000 years ago!“ [10, S. 162]

Auch die chinesischen Mathematiker lösten diese und ähnliche Aufgaben in Anlehnung an das Gauß-Verfahren. Aufgrund der Nutzung von Rechenbrettern entwickelten sie zudem eine handfest-anschauliche Vorstellung von Matrizendarstellungen, so dass zur Recht „von einer Art Matrizenrechnung“ [11, S. 176], [8, S. 57] gesprochen werden kann.

In der Literatur finden sich verschiedene Fassungen dieser Aufgabe [10, S. 161], [3, S. 783], [11, S. 177], [8, S. 57/58], die sich in etwa mit der in Abbildung 2 aufgeführten Aufgabenstellung zusammenfassen lassen.

Auf drei Feldern werden drei verschiedene Reissorten geerntet.

Drei Körbe der ersten Sorte, zwei Körbe der zweiten Sorte und ein Korb der dritten Sorte wiegen zusammen 39 Tou.

Zwei Körbe der ersten Sorte, drei Körbe der zweiten Sorte und ein Korb der dritten Sorte wiegen zusammen 34 Tou.

Und ein Korb der ersten Sorte, zwei Körbe der zweiten Sorte sowie drei Körbe der dritten Sorte wiegen zusammen 26 Tou.

Wie viel wiegt jeweils ein Korb einer Reissorte?

Abb.2: Aufgabenstellung der Reisfelderaufgabe aus dem achten Kapitel der „Neun Kapitel über die Kunst von Berechnungen“.

Alle diese frühen Aufgaben wurden in Textform gestellt, in Textform diskutiert und in Textform gelöst, da die Variablenschreibweise noch unbekannt war: „We started in 1 800 BCE with the Babylonians solving quadratic equations written as word problems, and now here we are 2,600 years later with al-Khwarizmi ... solving quadratic equations written as

word problems. - - It is, I agree, all a bit depressing” [10, S. 51]. Aus unserer heutigen, hochabstrakten Sicht auf die Mathematik ist es in der Tat erstaunlich, dass über Jahrtausende die Mathematik in gewisser Weise erzählend – und nicht rechnend – praktiziert wurde.

Dieses Erstaunen kann auch Derbyshire nicht unterdrücken, wenn er fortfährt: „Yet it is also inspiring, in a way. The extreme slowness of progress in putting together a symbolic algebra testifies to the very high level at which this subject dwells“ [10, S. 51].

3. Das Wunder der Algebra

Es war für die Menschheit somit ein wahrhaft gigantischer Schritt, den Diophantus und seine Zeitgenossen gingen, als sie zum ersten Mal mathematische Größen und mathematische Operationen symbolhaft abstrakt und nicht mehr konkret textgebunden ausdrückten und – mehr noch – diese abstrakten Zeichenkombinationen sodann logisch konsistent transformierten.

Es war eines der wohl ersten *Anni Mirabiles*, ein Wunderjahr, in der Geschichte der Wissenschaften, und so beschreibt es Johnson auch: „The wonder ... is not that it took us so long to learn how to do this stuff; the wonder is that we can do it at all“ [10, S. 51]. Ohne Diophantus hätte es uns als Menschheit auch passieren können, dass wir über weitere Jahrtausende (und mit einer nicht geringen Wahrscheinlichkeit sogar bis heute⁴) ohne jedes Wissen über algebraische Zusammenhänge und Operationen geblieben wären.

Nach Einführung der Variablenschreibweise können die im vorigen Abschnitt aufgeführten Textaufgaben nun in die übliche Schreibweise Linearer Gleichungen übersetzt werden (siehe Abbildungen 3 und 4).

Wie bereits erwähnt wurden diese und andere Lineare Gleichungssysteme zeilenorientiert und in Ablehnung an das Gauß-Verfahren bzw. dessen Vorstufen

$$\begin{array}{r} x + y = 1800 \\ \frac{2}{3}x - \frac{1}{2}y = 500 \end{array}$$

Abb.3: Lineares Gleichungssystem der Alt-Babylonischen Keilschriftaufgabe VAT 8389.

⁴ In einer solchen Parallelwelt algebra- und mathematikstichtischer Ausprägung scheint sich auch ein Teil der bundesdeutschen Physikdidaktik zu bewegen. Unter dem vermeintlichen Schlagwort einer Phänomenologie zieht sich ein Teil der physikdidaktisch Agierenden hierzulande auf eine Phänomene überbetonende und mathematische Abstraktion vermeidende Position zurück, bei der es im schulischen Kontext gelte, Physik mit „so wenig Mathematik wie möglich“ [12, S. 121] zu vermitteln. Sollte in Schulen – auch über Fächergrenzen hinweg – nicht so viel wie möglich vermittelt werden?

gelöst. Über Jahrtausende hat sich so eine Lösungsroutine verfestigt, die in einem längeren und nun schon seit einigen Jahrhunderten andauernden Prozess aufgebrochen wird.

4. Lernen bedeutet zuvorderst Überdenken

Dieser Prozess startete 1683 mit einer verblüffenden historischen Gleichzeitigkeit: „It is one of the most remarkable coincidences in the history of mathematics that the discovery of determinants took place twice in that year. One of these discoveries occurred in the kingdom of Hanover, now part of Germany; the other was in Edo, now known as Tokyo, Japan” [10, S. 168]⁵.

Ausgangspunkt des Ansatzes von Takakazu Seki in Tokyo und Gottfried Wilhelm von Leibniz in Hannover ist ein Perspektivwechsel, wie er jedem Lernprozess innewohnt. Lernen bedeutet Überdenken und Überdenken bedeutet, sich einem Sachverhalt aus einer anderen Perspektive und unter einem anderen Blickwinkel zu nähern.

So wird die jahrtausendelange Fixierung auf eine zeilenorientierte Betrachtung und Analyse Linearer Gleichungssysteme durch die Nutzung von Determinanten aufgebrochen, da die Determinante einer Matrix nicht nur zeilenbezogen, sondern auch spaltenbezogen berechnet und gedeutet werden kann.

Einer zeilenorientierter Betrachtung wird so zwanglos eine spaltenorientierte Betrachtung zur Seite gestellt. Rückwirkend auf Systeme Linearer Gleichungen kann dann ein Lineares Gleichungssystem nicht nur als Ansammlung mehrerer zeilenweise geschriebener Gleichungen, sondern aus neuer Perspektive zusätzlich als Komposition von spaltenweise angeordneten Koeffizientenvektoren gedacht und beschrieben werden.

$$\begin{array}{r} 3x + 2y + z = 39 \\ 2x + 3y + z = 34 \\ x + 2y + 3z = 26 \end{array}$$

Abb.4: Lineares Gleichungssystem der Reisfelderaufgabe aus den „Neun Kapiteln“ der Han-Dynastie.

Die graphischen Darstellungen einer spaltenweisen Komposition der Ergebnisvektoren \mathbf{r} der beiden historischen Textaufgaben der Abbildungen 1 und 2 werden in den Abbildungen 5 und 7 auf der folgenden Seite gezeigt.

⁵ Derbyshire beschreibt hier die westliche, eurozentristische Sicht auf die Entdeckung – bzw. Erfindung – von Determinanten. Aus fernöstlicher Perspektive stellt sich die historische Einordnung anders dar: „Seki treats of n equations. While Leibniz's discovery was made in 1693 and was not published until after his death, it is evident that Seki was not only the discoverer but that he had a much broader idea than that of his great German contemporary“ [13, S. 125].

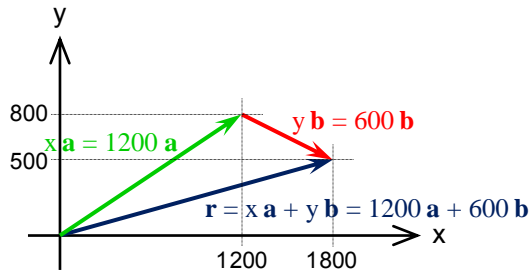


Abb.5: Graphische, spaltenorientierte Darstellung des linearen Gleichungssystems der Keilschriftaufgabe VAT 8389 mit den Lösungswerten $x = 1200$ und $y = 600$.

Folgerichtig beschrieben und ausgewertet wurde dieser spaltenorientierte Ansatz einige Jahrzehnte nach Seki und Leibniz durch den Schweizer Mathematiker Cramer [10, § 9.4], der damit erstmals eine vollkommen aus der Tradition des Gauß-Verfahrens fallende Methode zur Lösung Linearer Gleichungssysteme vorstellte.

Immer noch wurden dabei die den Rechnungen zugrunde liegenden Größen – reelle Zahlen als die Elemente der betrachteten Matrizen – in klassischer Weise algebraisch gefasst. Dies sollte sich mit dem nun folgenden Schritt Graßmanns dramatisch ändern.

5. Eine vollkommen andere, physikorientierte Algebra

Mit seiner Ausdehnungslehre [14] schuf Graßmann 1844 „one of the supreme landmarks in the history of the human mind“ [15, S. 326] – so komplett und einzigartig anders als das bisher Dagewesene, dass Sarton das Jahr der Veröffentlichung als weiteres *Annus Mirabilis* [15, S. 326], einem Wunderjahr Graßmanns, einordnet.

Zentraler Punkt ist dabei die Nutzung der äußeren Multiplikation zur Verknüpfung der Koeffizientenvektoren, die zu einem in doppelter Hinsicht prägenden Paradigmenwechsel führt. Zum einen ist dieser Paradigmenwechsel zutiefst algebraisch.

Auch Graßmann selbst betont diesen algebraischen Umbruch und führt aus, dass bei dem von ihm beschriebenen Verfahren zur Lösung Linearer Gleichungssysteme, „die Anwendbarkeit der äußeren Multiplikation mit einer so schlagenden Entschiedenheit heraustritt, dass (...) durch diese Anwendung auch die Algebra eine wesentlich veränderte Gestalt gewinnen“ [14, S. 71] werde.

$$\begin{aligned} \mathbf{a} &= \sigma_x + \frac{2}{3} \sigma_y & \mathbf{b} &= \sigma_x - \frac{1}{2} \sigma_y \\ \mathbf{r} &= 1800 \sigma_x + 500 \sigma_y \\ x &= \frac{\mathbf{r} \wedge \mathbf{b}}{\mathbf{a} \wedge \mathbf{b}} = \frac{-1400 \sigma_x \sigma_y}{-\frac{7}{6} \sigma_x \sigma_y} = 1200 \\ y &= \frac{\mathbf{a} \wedge \mathbf{r}}{\mathbf{a} \wedge \mathbf{b}} = \frac{-700 \sigma_x \sigma_y}{-\frac{7}{6} \sigma_x \sigma_y} = 600 \end{aligned}$$

Abb.6: Lösung der Keilschriftaufgabe VAT 8389 nach Graßmann in moderner Schreibweise mit Hilfe der Pauli-Algebra.

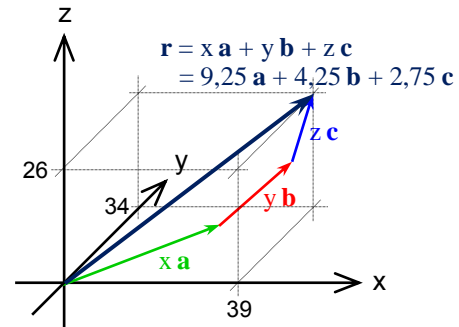


Abb.7: Graphische, spaltenorientierte Darstellung des linearen Gleichungssystems der Reisfelderaufgabe mit den Lösungswerten $x = 37/4$, $y = 17/4$ und $z = 11/4$.

„die Anwendbarkeit der äußeren Multiplikation mit einer so schlagenden Entschiedenheit heraustritt, dass (...) durch diese Anwendung auch die Algebra eine wesentlich veränderte Gestalt gewinnen“ [14, S. 71] werde.

Diese andere Algebra wird beispielhaft für die beiden historischen Aufgaben in den Abbildungen 6 und 8 gezeigt.

Zum zweiten ist dieser Paradigmenwechsel zutiefst geometrisch. Und er ist zutiefst geometrisch, weil er zugleich zutiefst physikalisch ist.

Graßmann greift mit seinem Vorgehen tatsächlich ein physikalisches Argumentationsmuster vorweg, das nach seinem Tode noch zu tiefgreifenden Umwälzungen in der Physik führen sollte – die Geometrisierung algebraischer Größen.

Wenn in der Speziellen Relativitätstheorie der Zeit eine Richtung zugeordnet und diese so mit räumlichen Richtungsgrößen verknüpft wird, folgt die Physik hier der Idee Graßmanns, der den einzelnen Linearen Gleichungen eines Gleichungssystems Richtungen zuordnet und diese so geometrisch verknüpft.

Unter Nutzung der Pauli-Algebra kann dieses Vor-

$$\begin{aligned} \mathbf{a} &= 3 \sigma_x + 2 \sigma_y + \sigma_z \\ \mathbf{b} &= 2 \sigma_x + 3 \sigma_y + 2 \sigma_z \\ \mathbf{c} &= \sigma_x + \sigma_y + 3 \sigma_z \\ \mathbf{r} &= 39 \sigma_x + 34 \sigma_y + 26 \sigma_z \\ x &= \frac{\mathbf{r} \wedge \mathbf{b} \wedge \mathbf{c}}{\mathbf{a} \wedge \mathbf{b} \wedge \mathbf{c}} = \frac{111 \sigma_x \sigma_y \sigma_z}{12 \sigma_x \sigma_y \sigma_z} = 9,25 \\ y &= \frac{\mathbf{a} \wedge \mathbf{r} \wedge \mathbf{c}}{\mathbf{a} \wedge \mathbf{b} \wedge \mathbf{c}} = \frac{51 \sigma_x \sigma_y \sigma_z}{12 \sigma_x \sigma_y \sigma_z} = 4,25 \\ z &= \frac{\mathbf{a} \wedge \mathbf{b} \wedge \mathbf{r}}{\mathbf{a} \wedge \mathbf{b} \wedge \mathbf{c}} = \frac{33 \sigma_x \sigma_y \sigma_z}{12 \sigma_x \sigma_y \sigma_z} = 2,75 \end{aligned}$$

Abb.8: Lösung der Reisfelderaufgabe nach Graßmann in moderner Schreibweise mit Hilfe der Pauli-Algebra.

gehen in moderner Form durch eine simple Multiplikation der einzelnen Linearen Gleichungen mit Pauli-Matrizen, die als Basisvektoren eines Euklidischen Raums [16], [17, Abs. 2.6] interpretiert werden müssen, dargestellt werden [18], [19], [20].

Ursprünglich fokussierte Graßmann auf die rein algebraische Herleitung und Interpretation der in Abb. 6 und 8 genutzten Lösungsgleichungen. In der Tat können diese – und nach Peirce und Arnold müssen diese zwingend – geometrisch eingebunden und interpretiert werden.

So betont Peirce als einer der wenigen Mathematiker, die Graßmanns Schreib- und Ausdrucksweise zu seinen Lebzeiten verstanden, den geometrischen Kern seiner Argumentation [21].

Graßmann revolutioniert in diesem Sinne den Lösungsansatz von Cramer auch aus didaktischer Sicht, denn erst durch Graßmann wird die geometrische Natur der von Cramer verwendeten Zähler- und Nennerdeterminanten einsichtig: Sie sind die (Hyper-)Volumina der durch die Koeffizientenvektoren und den Ergebnisvektor aufgespannten (Hyper-)Parallelepipede bzw. Parallelotope.

Eine stärkere Beachtung dieses elementaren Sachverhalts in der Grundlagenausbildung fordert Arnold mit dramatischen Worten ein: „The determinant of a matrix is an (oriented) volume of the parallelepiped whose edges are its columns. (...) If determinants are defined otherwise, then any sensible person will forever hate all the determinants“ [22].

Bei der von Graßmann eingeführten Sichtweise handelt es sich also tatsächlich um eine konzeptionell untrennbare Verzahnung von Algebra und Geometrie und damit um eine im innersten Kern zutiefst Geometrische Algebra.

6. Der Mathematik-Virus MV/G

Die ursprüngliche Fokussierung Graßmanns auf rein algebraische Argumentationsmuster⁶ hatte auf die Art und Weise, wie seine Ideen in das Gesamtgefüge der Mathematik einzuordnen sind, didaktisch problematische Auswirkungen.

Bei der Einführung eines neuen Ansatzes oder einer neuen Idee gibt es prinzipiell immer zwei Möglichkeiten. Die neue Idee kann entweder als

- Ergänzung oder aber als
- Ersetzung

des ursprünglich Vorhandenen gedeutet werden. So auch bei Graßmanns äußerer Algebra.

Aus geometrischer Perspektive ist die äußere Algebra ohne Zweifel als eine dringend notwendige Er-

gänzung zur inneren Algebra zu verstehen. Das äußere Produkt zweier Vektoren $\mathbf{a} \wedge \mathbf{b}$ ergibt erst zusammen mit dem inneren Produkt $\mathbf{a} \bullet \mathbf{b}$ ein mathematisch geschlossenes Geometrisches Produkt

$$\mathbf{a} \mathbf{b} = \mathbf{a} \bullet \mathbf{b} + \mathbf{a} \wedge \mathbf{b} \quad \{1\}$$

das in verblüffender Weise⁷ die Geometrie mit der physikalischen Welt verbindet⁸. Letztendlich ist diese zentrale Gleichung {1} nichts anderes als eine vektorgebundene Umformulierung des trigonometrischen Pythagoras

$$1 = \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha \quad \{2\}$$

Und kein didaktisch denkender Geist würde je auf die Idee kommen, eine Weltsicht alleine auf den Sinus-Term zu gründen – auch wenn das prinzipiell möglich und mental herausfordernd lösbar wäre.

Unter Mathematikerinnen und Mathematikern ist eine allein auf der äußeren Algebra aufbauende Weltsicht jedoch nicht ungewöhnlich. Sie tritt sogar so oft auf, dass Hestenes dieser Anschauung eine eigene Kategorie didaktischer Fehlkonzepte zuweist.

Dabei verwendet Hestenes zur Veranschaulichung seiner Argumentation das Bild eines mathematischen Virus (MV), der einem biologischen Virus (BV) oder einem Computervirus (CV) gleich einen Wirtskörper befällt „until it impairs the functioning of the host, sometimes to the point of disabling the host altogether. Moreover, it is infectious, spreading from one host to another on contact“ [25].

Ein mathematischer Virus „can infect the mind – the mind of anyone doing mathematics, from young student to professional mathematician“ [25]. Ein solcher Virus stellt nach Hestenes in der Tat ein gravierendes Fehl- oder Präkonzept dar – „a preconception about the structure, function or method of mathematics which impairs one's ability to do mathematics“ [25].

Im Bereich der Geometrischen Algebra bzw. Clifford-Algebra identifiziert Hestenes mehrere, sehr unterschiedliche mathematische Viren. Eine der virulentesten mathematischen Viren, die verantwortlich für ein Versagen der konventionellen Mathematik seien, bezeichnet Hestenes als MV/G oder als „Grassmann Virus“. Das hinter diesem Virus stehende Fehlkonzept lässt sich leicht identifizieren: „MV/G: Grassmann Algebra is more fundamental than Clifford Algebra“ [25].

Die von diesem Virus Befallenen gehen davon aus, dass die Grassmann-Algebra – also die Algebra

⁶ Mit einer Beschreibung seines Ansatzes als „Algebra, sobald an der Zahl noch die Art ihrer Verknüpfung mit anderen Größen festgehalten, und in dieser Hinsicht die eine als von der anderen formell verschiedenartig aufgefasst wird“ [14, S. 70/71] folgt Graßmann einen zu Beginn geometriefernen Argumentationsmodus.

⁷ Sobczyk schreibt dazu: „Why hadn't I ever heard of this striking product, and why hadn't I ever heard of a bivector or directed plane segment, since it was the natural generalization of a vector. Twenty-five years later I still find myself asking these same questions...“ [23, S. 1291].

⁸ Denn unter anderem daraus schöpft die Geometrische Algebra (GA) ihre konzeptionelle Stärke: „The power of GA derives from ... the way geometry links the algebra to the physical world“ [24, S. 70/71].

äußerer Produkte – fundamentaler sei als die Clifford-Algebra – also die Algebra äußerer und innerer Produkte. Unter anderem verkennen die von diesem Virus Befallenen vollständig die elementare Bedeutung von Gl. {1}.

Um im schulischen und hochschulischen Bereich bei einer eventuellen Diskussion der Geometrischen Algebra in der Mathematik oder einer Anwendung der Geometrischen Algebra im Bereich der Physik des Aufkommen des Grassmann-Virus MV/G zu vermeiden oder zumindest dessen Wirkung zu mindern, ist eine Anti-MV/G-Strategie notwendig.

Diese kann unter anderem darin bestehen, die Nutzung des vollständigen Geometrischen Produktes auch dann zu diskutieren, wenn ein Resultat – wie beispielsweise bei der Lösung Linearer Gleichungssysteme – auch alleine unter Rückgriff auf äußere Produkte gefunden werden könnte.

Genau dies ist das zentrale didaktische Ziel dieses Beitrags: Neben die in den vorangegangenen Ausarbeitungen zur Geometrischen Algebra [18], [26], [27] gestellte Nutzung der äußeren Algebra ein Lösungsschema Linearer Gleichungssysteme zu setzen, das sich auf vollständige Geometrische Produkte bezieht – und dieses algebraische Lösungsschema dann auch geometrisch zu deuten.

7. Reine Sandwich-Produkte

Seit der 4. Earl of Sandwich sich um etwa 1760 erstmals ein zwischen zwei identische Toastbrot-Scheiben gekonnt eingelegtes Rindfleisch-Filet reichen ließ, darf eine Struktur, in der ein Inneres von einem Äußeren zweiseitig umschlossen wird, guten Gewissens als Sandwich bezeichnet werden.

Das gilt auch für die Mathematik, in der insbesondere im englischen Sprachraum ein Produkt aus drei Faktoren als Sandwich-Produkt bezeichnet werden kann. Wird das mathematische Objekt in der Mitte von zwei identischen Objekten eingeklemmt, kann von einem reinen Sandwich-Produkt gesprochen werden. Wird das mittige Objekt von zwei unterschiedlichen Objekten umschlossen, so handelt es sich um ein gemischtes Sandwich-Produkt (siehe Abschnitte 8 & 9).

In der Geometrischen Algebra kommt Sandwich-Produkten eine entscheidende mathematische Stellung zu, da sie sich in unerwartet einfacher Weise geometrisch deuten lassen: „Reflection in a line is represented by a sandwiching construction involving the geometric product. Though that may have seemed a curiosity (...) it is crucial to the representation of operators in geometric algebra“ [28, S. 167].

Und dies gilt sehr allgemein für eine beliebige Anzahl an Dimensionen, da „the distinction between subspaces and operators fades when we realize that any subspace generates a reflection operator, which can act on any element“ [28, S. 167].

Eine übersichtliche Darstellung dieses Zusammenhangs findet sich auch in [29] mit der einfachen

Botschaft: „Sandwich products describe reflections.“

Zu beachten ist allerdings, dass die Reflexion noch von einer Streckung oder Stauchung begleitet wird, falls das reflektierende Objekt nicht durch eine Einheitsgröße dargestellt wird. Bei der Reflexion an einer Achse in Richtung des Vektors **b** wird durch das Sandwich-Produkt **b r b** der Vektor **r** nicht nur an einer Achse in Richtung des Vektors **b** reflektiert, sondern auch um den Faktor **b²** gestreckt.

Deshalb sollte noch durch diesen Streckungsfaktor dividiert werden, um den Reflexionsvektor **b** in einen Einheitsvektor zu überführen [29, Gl. 10] und so die gewünschte Reflexion zu modellieren:

$$\mathbf{r}_{ref} = \mathbf{b r} \frac{\mathbf{b}}{\mathbf{b}^2} = \mathbf{b r b}^{-1} \tag{3}$$

Nun hat man die notwendigen mathematischen Werkzeuge zur Hand, um die Lösung eines einfachen Linearen Gleichungssystems mit zwei Unbekannten x und y

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

unter alleinigen Rückgriff auf Geometrische Produkte zu lösen, indem die Sandwich-Produkte mit den Koeffizientenvektoren gebildet und ausgewertet werden.

Da sich diese Sandwich-Produkte geometrisch als Reflexionen deuten lassen, ist eine graphische Veranschaulichung (siehe Abb. 9) sinnvoll. Zusammen mit der Reflexion des Koeffizientenvektors **a** an der Achse in Richtung des Koeffizientenvektors **b**

$$\mathbf{a}_{ref} = \mathbf{b a} \frac{\mathbf{b}}{\mathbf{b}^2} = \mathbf{b a b}^{-1} \tag{5}$$

kann der Lösungswert für die Unbekannte x durch Differenzenbildung (siehe Abb. 11) leicht ermittelt werden. Dies wird in Abb. 10 am Beispiel der Keilschriftaufgabe VAT 8389 schrittweise vorgestellt.

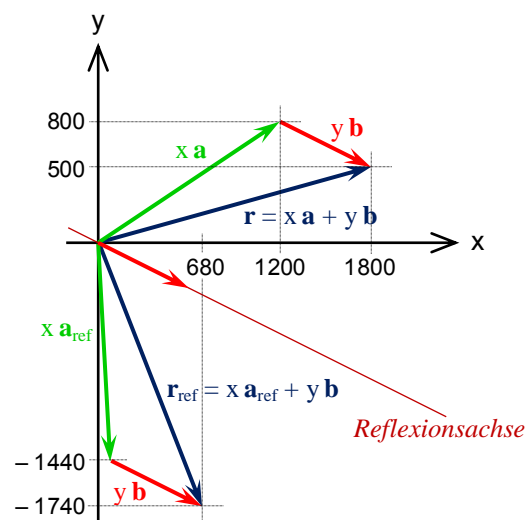


Abb.9: Veranschaulichung des Sandwich-Produkts **b r b⁻¹** als Reflexion an der **b**-Achse am Beispiel der Keilschriftaufgabe VAT 8389.

$$\begin{aligned}
 \mathbf{a} &= \sigma_x + \frac{2}{3} \sigma_y & \mathbf{b} &= \sigma_x - \frac{1}{2} \sigma_y \\
 \mathbf{r} &= 1800 \sigma_x + 500 \sigma_y & \mathbf{b}^2 &= \frac{5}{4} \\
 \mathbf{a}_{\text{ref}} &= \mathbf{b} \mathbf{a} \mathbf{b} / \mathbf{b}^2 = \frac{1}{15} \sigma_x - \frac{6}{5} \sigma_y \\
 \mathbf{r}_{\text{ref}} &= \mathbf{b} \mathbf{r} \mathbf{b} / \mathbf{b}^2 = 680 \sigma_x - 1740 \sigma_y \\
 \mathbf{a} - \mathbf{a}_{\text{ref}} &= \frac{14}{15} \sigma_x + \frac{28}{15} \sigma_y \\
 \mathbf{r} - \mathbf{r}_{\text{ref}} &= 1120 \sigma_x + 2240 \sigma_y \\
 x &= \frac{\mathbf{r} - \mathbf{r}_{\text{ref}}}{\mathbf{a} - \mathbf{a}_{\text{ref}}} = 1200
 \end{aligned}$$

Abb.10: Berechnung des Lösungswertes für x der Keilschriftaufgabe VAT 8389 mit Hilfe einer Reflexion an der Achse in Richtung des Koeffizientenvektors **b**.

Die Lösungsformeln für das Lineare Gleichungssystem {4} lauten somit:

$$x = \frac{\mathbf{r} - \mathbf{b} \mathbf{r} \mathbf{b}^{-1}}{\mathbf{a} - \mathbf{b} \mathbf{a} \mathbf{b}^{-1}} \quad \{6\}$$

$$y = \frac{\mathbf{r} - \mathbf{a} \mathbf{r} \mathbf{a}^{-1}}{\mathbf{b} - \mathbf{a} \mathbf{b} \mathbf{a}^{-1}} \quad \{7\}$$

Diese sind den Grassmannschen Lösungsformeln (siehe Abb. 6) äquivalent, da sich nach rechtsseitiger Multiplikation mit dem jeweiligen Koeffizientenvektor in Zähler und Nenner der Gl. {6} bzw. {7} die Definitionsgleichung für das äußere Produkt ergibt.

Es lassen sich somit Lösungsgleichungen aufstellen, die in leicht nachvollziehbarer und graphisch fassbarer Weise unter alleiniger Nutzung Geometrischer Produkte Lineare Gleichungssysteme lösen.

Die hier vorgestellte Lösungsmethode kann auch auf Systeme Linearer Gleichungen mit mehr als zwei Unbekannten übertragen werden. Dabei sollte sukzessive das Sandwich-Produkt mit den jeweiligen modifizierten Koeffizienten der zu eliminierenden Variablen gebildet werden.

Dieses Vorgehen wird bei einer höheren Anzahl an Unbekannten schnell unübersichtlich und führt bereits bei einem Linearen Gleichungssystem mit drei Unbekannten x, y und z

$$\mathbf{r} = \mathbf{a} x + \mathbf{b} y + \mathbf{c} z \quad \{8\}$$

zu einem deutlich erhöhten Rechenaufwand [34, S. 45]. Am Beispiel der Reisfelderaufgabe aus den „Neun Kapiteln“ der Han-Dynastie wird die Rechnung im beigefügten Skript explizit vorgestellt [34, S. 46 – 50]. Der deutlich sichtbar erhöhte Rechenaufwand kann nun entweder durch Nutzung entsprechender Software (wie zum Beispiel GAALOP [30], [31]) abgemildert oder durch eine intelligente Modifikation des Sandwich-Ansatzes reduziert werden.

Eine solche Modifikation in Form eines gemischten Sandwich-Produktes wird im folgenden Abschnitt vorgestellt.

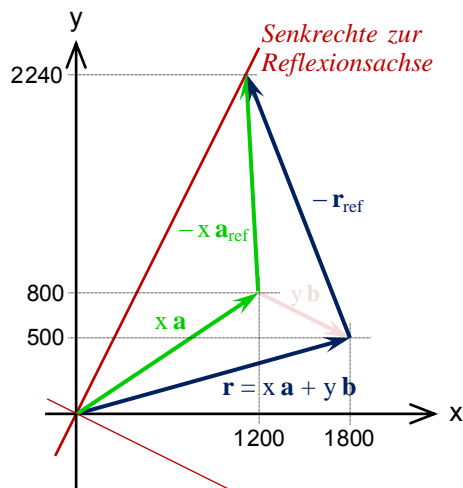


Abb.11: Graphische Veranschaulichung der Berechnung des Lösungswertes für x der Keilschriftaufgabe VAT 8389.

8. Einfache gemischte Sandwich-Produkte

Auch gemischte Sandwich-Produkte sind nicht einfach drei beliebige Faktoren, die aus Freude an der britischen Kulinaristik jetzt salopp als Sandwich bezeichnet werden.

Gemischte Sandwich-Produkte sind weiterhin mathematische Gebilde, bei denen dem mittleren Faktor ein gänzlich anderes Setting zukommt als den beiden äußeren Faktoren. Der mittlere Faktor ist ein Operand, der einer Transformation unterworfen ist (bei reinen Sandwich-Produktion wird auf den mittleren Faktor eingewirkt, da er beispielsweise reflektiert wird).

Die beiden äußeren Faktoren sind Operatoren, die die Transformation gestalten (bei reinen Sandwich-Produkten wirken sie ein, indem sie beispielsweise die Reflexionsachse oder Reflexionsebene beschreiben).

Auch bei gemischten Sandwich-Produkten wird diese Zuordnung beibehalten. Der mittlere Faktor wird als Operand aufgefasst, auf den die beiden nun unterschiedlichen äußeren Faktoren als Operatoren einwirken.

Zur Identifikation der Operation, die ein gemischtes Sandwich-Produkt durchzuführen vermag, wird zu Beginn der einfache Fall der Wirkung unterschiedlicher Basisvektoren $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ auf einen Vektor des dreidimensionalen Euklidischen Raums **r**

$$\mathbf{r} = x \sigma_x + y \sigma_y + z \sigma_z \quad \{9\}$$

untersucht. Eine linksseitige Multiplikation mit dem Basisvektor σ_x bei gleichzeitiger rechtsseitiger Multiplikation mit dem Basisvektor σ_y

$$\sigma_x \mathbf{r} \sigma_y = y \sigma_x + x \sigma_y - z \sigma_x \sigma_y \sigma_z \quad \{10\}$$

hat ebenso wie die linksseitige Multiplikation mit dem Basisvektor σ_y bei gleichzeitiger rechtsseitiger Multiplikation mit dem Basisvektor σ_x

$$\sigma_y \mathbf{r} \sigma_x = y \sigma_x + x \sigma_y + z \sigma_x \sigma_y \sigma_z \quad \{11\}$$

die Wirkung einer Achsenvertauschung. Die ursprünglich in x -Richtung weisende Koordinate des Vektors \mathbf{r} von Gl. {9} zeigt nun in y -Richtung. Und die ursprünglich in y -Richtung weisende Koordinate zeigt nun in x -Richtung.

Diese Achsenvertauschung ist jedoch mit Nebenwirkungen verbunden. Vektoren, die senkrecht zu den die Achsenvertauschung generierenden Basisvektoren stehen, ändern ihre Dimensionalität. Die z -Koordinate weist nun nicht mehr in z -Richtung, sondern in Richtung des Basis-Volumenelements $\sigma_x \sigma_y \sigma_z$, das zu -1 quadriert. Die z -Achse wurde quasi nebenbei in eine imaginäre Achse transformiert.

Beim Versuch, Lineare Gleichungssysteme mit drei Unbekannten zu lösen, stört diese Änderung der Dimensionalität jedoch nicht wirklich, da es auf das Vorzeichen der zu ermittelten Koordinate ankommt.

Bei Differenzbildung zwischen den Gleichungen {10} und {11} heben sich die x - und y -Terme gegenseitig auf, so dass nur der z -Term überlebt. Diese Strategie funktioniert auch, wenn die drei Richtungsvektoren schräg zueinander stehen und keine Einheitsvektoren darstellen. Dann tritt neben die Achsenvertauschung zusätzlich eine Streckung oder Stauchung, die in üblicher Weise zu berücksichtigen ist.

9. Gemischte Sandwich-Produkte

Das Lineare Gleichungssystem {8} kann als Darstellung des Vektors \mathbf{r} in einem Koordinatensystem gedeutet werden, in dem die Koordinaten schräg zueinander stehen und in Richtung der Koeffizientenvektoren \mathbf{a} , \mathbf{b} und \mathbf{c} weisen.

Zur Ermittlung des Lösungswertes für x werden die beiden Achsen in \mathbf{b} - und \mathbf{c} -Richtung nun durch Bildung der gemischten Sandwich-Produkte vertauscht.

$$\mathbf{brc} = \mathbf{bac}x + b^2cy + c^2bz \quad \{12\}$$

$$\mathbf{crb} = \mathbf{cab}x + b^2cy + c^2bz \quad \{13\}$$

Die Differenzbildung zwischen diesen beiden Gleichungen eliminiert die y - und z -Terme

$$\mathbf{crb} - \mathbf{brc} = (\mathbf{cab} - \mathbf{bac})x \quad \{14\}$$

so dass die Lösungsformel für x lautet:

$$x = \frac{\mathbf{crb} - \mathbf{brc}}{\mathbf{cab} - \mathbf{bac}} \quad \{15\}$$

Analog können die weiteren Lösungswerte durch zyklische Vertauschung ermittelt werden:

$$y = \frac{\mathbf{arc} - \mathbf{cra}}{\mathbf{abc} - \mathbf{cba}} \quad \{16\}$$

$$z = \frac{\mathbf{bra} - \mathbf{arb}}{\mathbf{bca} - \mathbf{acb}} \quad \{17\}$$

Ein Beispiel für die mit einer Streckung verbundene Vertauschung der y - und z -Achsen wird in Abbildung 12 gezeigt. Zu beachten ist bei dieser Darstellung, dass der ursprünglich rein reelle dreidimensionalen Raum, der durch die senkrecht zueinander ste-

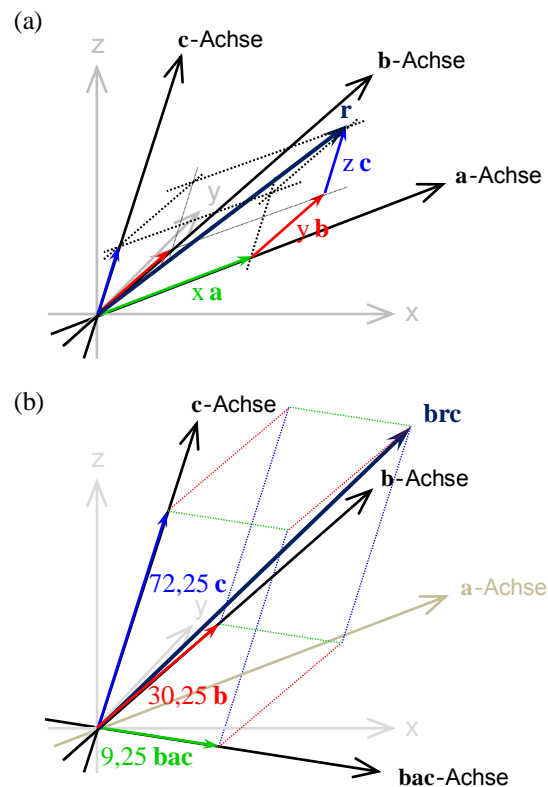


Abb.12: (a) Schematische Darstellung des Linearen Gleichungssystems $\mathbf{r} = 9,25 \mathbf{a} + 4,25 \mathbf{b} + 2,75 \mathbf{c}$ {8} der Reisfelderaufgabe. (b) Schematische Darstellung des achsenvertauschten Linearen Gleichungssystems $\mathbf{brc} = 9,25 \mathbf{bac} + 30,25 \mathbf{b} + 72,25 \mathbf{c}$ {12} der gleichen Aufgabe aus den „Neun Kapiteln“.

x -, y - und z -Achsen oder durch die schräg zueinander stehenden \mathbf{a} -, \mathbf{b} - und \mathbf{c} -Achsen vermessen wird, in einen hyperbolischen vierdimensionalen Raum überführt wird. Dieser wird durch die drei reellen Richtungen der x -, y - und z -Achsen sowie eine senkrecht dazu stehende volumenartige und damit imaginäre Achse in Richtung des Einheits-Volumenelements $\sigma_x \sigma_y \sigma_z$ aufgespannt.

$$\begin{aligned} \mathbf{a} &= 3 \sigma_x + 2 \sigma_y + \sigma_z \\ \mathbf{b} &= 2 \sigma_x + 3 \sigma_y + 2 \sigma_z \\ \mathbf{c} &= \sigma_x + \sigma_y + 3 \sigma_z \\ \mathbf{r} &= 39 \sigma_x + 34 \sigma_y + 26 \sigma_z \\ \mathbf{crb} &= 105 \sigma_x + 311 \sigma_y + 712 \sigma_z + 111 \sigma_x \sigma_y \sigma_z \\ \mathbf{brc} &= 105 \sigma_x + 311 \sigma_y + 712 \sigma_z - 111 \sigma_x \sigma_y \sigma_z \\ &\Rightarrow \mathbf{crb} - \mathbf{brc} = 222 \sigma_x \sigma_y \sigma_z \\ \mathbf{cab} &= -3 \sigma_x + 16 \sigma_y + 47 \sigma_z + 12 \sigma_x \sigma_y \sigma_z \\ \mathbf{bac} &= -3 \sigma_x + 16 \sigma_y + 47 \sigma_z - 12 \sigma_x \sigma_y \sigma_z \\ &\Rightarrow \mathbf{cab} - \mathbf{bac} = 24 \sigma_x \sigma_y \sigma_z \\ x &= \frac{\mathbf{crb} - \mathbf{brc}}{\mathbf{cab} - \mathbf{bac}} = \frac{222 \sigma_x \sigma_y \sigma_z}{24 \sigma_x \sigma_y \sigma_z} = 9,25 \end{aligned}$$

Abb.13: Berechnung des Lösungswertes für x der Reisfelderaufgabe mit Hilfe gemischter Sandwich-Produkte.

Oder aber dieser Raum von Abbildung 12 (b) wird durch die drei schräg zueinander stehenden rein reellen **a**-, **b**- und **c**-Achsen und die komplexe **bac**-Achse aufgespannt gedacht.

Dieser komplexe Charakter der **bac**-Richtung wird auch in der expliziten Rechnung von Abbildung 13 deutlich, da das gemischte Sandwich-Produkt **bac** als Linearkombination eines Vektors und eines Trivektors ausgedrückt wird.

Das ist ein erstaunliches und didaktisch gleichzeitig anspornendes Ergebnis. Die Lösung simpler Linearer Gleichungssysteme führt durch die Nutzung gemischter Sandwich-Produkte auf mathematische Strukturen, die zu einem späteren Zeitpunkt bei Diskussion der Speziellen Relativitätstheorie extrem wichtig werden.

Und es ist deshalb auch erlaubt zu sagen: Bereits in unserer klassisch nicht-relativistischen dreidimensionalen Welt verbirgt sich unter einer extrem dünnen reellen Euklidischen Decke die Mathematik der vierdimensionalen Raumzeit.

10. Erfahrungen bei der unterrichtlichen Umsetzung

Gegen Ende des Wintersemesters 2016/2017 standen im Kurs „Mathematics for Business and Economics“ an der HWR Berlin für eine Erprobung der bis zu Abschnitt 9 diskutierten Inhalte zwei Vorlesungsstunden zur Verfügung.

Dies erlaubte zwar lediglich eine relativ kurze, dennoch aber inhaltlich tiefer gehende Diskussion, da die Grundlagen der Geometrischen Algebra mit den

Studierenden bereits zuvor ausführlicher bei der Erörterung von Eigenwerten und Eigenvektoren aus geometrisch-algebraischer Perspektive (siehe den weiteren Beitrag [27] dieser DPG-Frühjahrstagung) erarbeitet wurden.

Ein zentrales Tafelbild dieser Kurz-Erprobung zeigt Abbildung 14. Weder das Vertauschungsverhalten (Vertauschung von Skalaren im Gegensatz zur Vertauschung von Vektoren mit anderen Größen) noch die Multiplikation mit Inversen oder einer der anderen Umrechnungsschritte bereitete konzeptionelle Probleme, so dass die Studierenden aktiv an der Ausarbeitung der einzelnen Umformungsschritte teilnahmen.

Dabei ergab sich für mich als Dozent der Eindruck, dass die Studierenden weit besser mit diesem Ansatz zurechtkamen als mit der einige Wochen zuvor besprochenen Umsetzung der Geometrischen Algebra im Kontext einer Eigenwert-Mathematik. Dies kann mehrere Gründe haben:

- Die Grundlagen der Geometrischen Algebra lagen bereits gefestigt vor.
- Die Eigenwert-Mathematik mit dem Diktum einer „Matrizenrechnung ohne Matrizen“ wurde als sehr abstrakt wahrgenommen. Im Gegensatz dazu wurden Sandwich-Produkte mit der Möglichkeit einer Veranschaulichung durch Reflexionen und Achsenvertauschungen als etwas deutlich Konkretes empfunden.
- Die Einbettung in den historischen Hintergrund der Mathematik Linearer Gleichungssysteme führte zu einer deutlich höheren Motivation.

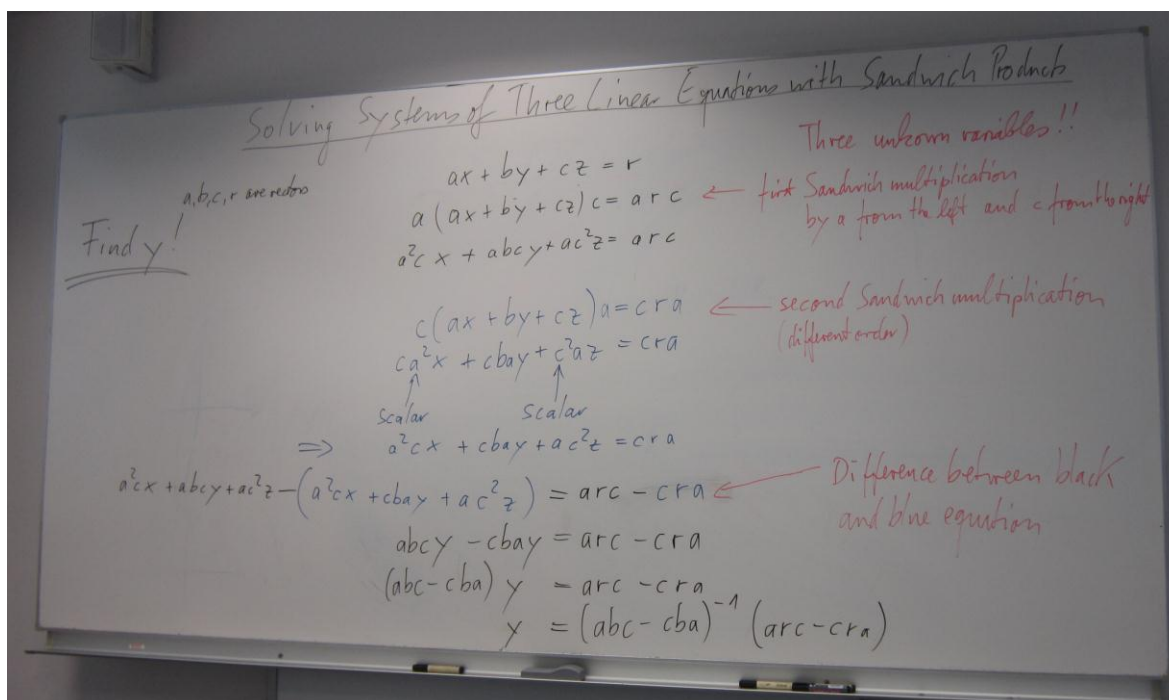


Abb.14: Tafelbild der Herleitung einer Lösungsformel für den y-Wert eines Linearen Gleichungssystems mit drei Unbekannten $\mathbf{r} = \mathbf{a}x + \mathbf{b}y + \mathbf{c}z$ {8} auf Grundlage gemischter Sandwich-Produkte (Vorlesung am 3. Jan. 2017).

Diese historische Einbettung führte auch dazu, den bereits erlernten Lösungsansatz auf Grundlage äußerer Produkte zu hinterfragen, neu zu bewerten und die Fixierung auf den bisher eingepprägten Lösungsansatz auf Grundlage äußerer Produkte zu lockern.

Auch wenn diese Kurz-Erprobung nicht durch eine ausgearbeitete Evaluation begleitet und die langfristige Wirkung dieses Unterrichtsteils nicht erhoben wurde, so kann aufgrund der in der Diskussion sichtbaren Bereitschaft, sich mit diesem Themenbereich tiefer auseinanderzusetzen, davon ausgegangen werden, dass das in Abschnitt 6 formulierte Ziel dieses Vorlesungsteils erreicht wurde.

Neben die Nutzung der äußeren Algebra wurde ein Schema zur Lösung Linearer Gleichungssysteme gesetzt, das sich auf vollständige Geometrische Produkte bezieht und das geometrisch fassbar ist.

In den Vorlesungsfolien, die für diesen Kurs erarbeitet wurden [34] und die von den Studierenden auch als Skript genutzt werden können, finden sich im hinteren Teil ab Seite 64 ergänzende Ausführungen zur Verknüpfung von Achsenvertauschungen und zur Lösung Linearer Gleichungssysteme mit mehr als drei Variablen, die aus Zeitgründen im Kurs nicht besprochen werden können.

In den folgenden Abschnitten werden diese Ergänzungen des Sandwich-Ansatzes vorgestellt, da diese nicht nur auf eine Vertiefung, sondern auch auf eine konzeptionell interessante Ausweitung der Interpretation von Sandwich-Produkten hinauslaufen.

11. Verknüpfung von Achsenvertauschungen

Umgangssprachlich ist die Sache klar: Vertauschen wir ein Objekt A mit einem zweiten Objekt B, so ist dieser Vorgang identisch mit einer Vertauschung des Objektes B mit dem Objekt A. Und darüber hinaus bleiben weitere Objekte C, D, E, etc. unberührt.

In der physikalischen Welt, die wir mit Hilfe der Geometrischen Algebra zu beschreiben (siehe Fußnote⁸) und durch die Einführung von Koordinatenachsen zu vermessen versuchen, ist die Sachlage allerdings anders: Wird die x-Achse mit der y-Achse (siehe Gl. {10}) vertauscht, dann hat das Auswirkungen auf weitere Achsen und das mathematische Ergebnis unterscheidet sich deutlich von einer Vertauschung, bei der die y-Achse mit der x-Achse (siehe Gl. {11}) vertauscht wird.

Noch interessanter wird die Lage, wenn wir nun mehrere Vertauschungen hintereinander ausführen und versuchen, die ursprüngliche Vertauschung rückgängig zu machen.

Vertauschen wir die x-Achse mit der y-Achse {10} und vertauschen wir erneut die x-Achse mit der y-Achse, so erhalten wir den ursprünglichen Zustand:

$$\sigma_x (\sigma_x \mathbf{r} \sigma_y) \sigma_y = x \sigma_x + y \sigma_y + z \sigma_z \quad \{18\}$$

Wird nach einer Vertauschung der x-Achse mit der y-Achse jedoch eine Vertauschung der y-Achse mit

der x-Achse vorgenommen, so ist das Ergebnis ein anderes:

$$\sigma_y (\sigma_x \mathbf{r} \sigma_y) \sigma_x = x \sigma_x + y \sigma_y - z \sigma_z \quad \{19\}$$

Die ursprüngliche z-Achse wurde bei diesem Vorgang in ihrer Richtung umgekehrt. Das Ergebnis entspricht hier – bei senkrecht stehenden Achsen – einer Reflexion an der Ebene in Richtung des Bivektors $\mathbf{N} = \sigma_x \sigma_y$, die nach [29, Gl. {18}] durch

$$-\sigma_x \sigma_y \mathbf{r} (\sigma_x \sigma_y)^{-1} = x \sigma_x + y \sigma_y - z \sigma_z \quad \{20\}$$

modelliert werden kann.

Interessant wird es nun bei Achsenvertauschungen von schräg zueinander stehenden Achsen {8}, wenn diese hintereinander ausgeführt werden.

Wird zuerst die **b**-Achse mit der **c**-Achse {12} und dann wieder die **b**-Achse mit der **c**-Achse vertauscht, so ergibt sich – bis auf den Streckungsfaktor $b^2 c^2$ – der ursprüngliche Vektor:

$$\mathbf{b} (\mathbf{b} \mathbf{r} \mathbf{c}) \mathbf{c} = b^2 c^2 \mathbf{a} x + b^2 c^2 \mathbf{b} y + b^2 c^2 \mathbf{c} z \quad \{21\}$$

bzw.

$$\mathbf{b} (\mathbf{b} \mathbf{r} \mathbf{c}) \mathbf{c} \frac{1}{b^2 c^2} = \mathbf{a} x + \mathbf{b} y + \mathbf{c} z = \mathbf{r} \quad \{22\}$$

Wird zuerst die **b**-Achse mit der **c**-Achse {12} und dann allerdings die **c**-Achse mit der **b**-Achse vertauscht, so ergibt sich ein anderes Resultat für die x-Komponente:

$$\mathbf{c} (\mathbf{b} \mathbf{r} \mathbf{c}) \mathbf{b} = \mathbf{c} \mathbf{b} \mathbf{a} \mathbf{c} x + b^2 c^2 \mathbf{b} y + b^2 c^2 \mathbf{c} z \quad \{23\}$$

Dieses Ergebnis können wir als eine Art verschränkter Achsenvertauschung interpretieren:

$$\mathbf{c} \mathbf{b} \mathbf{r} \mathbf{c} \mathbf{b} \frac{1}{b^2 c^2} = \mathbf{c} \mathbf{b} \mathbf{a} \mathbf{c} \mathbf{b} \frac{1}{b^2 c^2} x + \mathbf{b} y + \mathbf{c} z \quad \{24\}$$

Bei schräg zueinander stehenden Achsen entspricht dies keiner bekannten Reflexion – was uns jedoch nicht hindern muss, Gleichung {23} in Form von $\mathbf{c} (\mathbf{b} \mathbf{r} \mathbf{c}) \mathbf{b} = (\mathbf{c} \mathbf{b}) \mathbf{r} (\mathbf{c} \mathbf{b})$ als eine Reflexion an einem Objekt in Richtung des orientierten Parallelogramms $\mathbf{c} \mathbf{b}$ zu deuten. Diese konzeptionell vielleicht etwas übermutig als „Reflexion an einem Parallelogramm“ bezeichnete Transformation lautet dann:

$$-\mathbf{c} \mathbf{b} \mathbf{r} (\mathbf{c} \mathbf{b})^{-1} = -\mathbf{c} \mathbf{b} \mathbf{a} (\mathbf{c} \mathbf{b})^{-1} x - b^2 c^2 \mathbf{b} (\mathbf{c} \mathbf{b})^{-2} y - b^2 c^2 \mathbf{c} (\mathbf{c} \mathbf{b})^{-2} z \quad \{25\}$$

Zur alternativen Lösung eines Linearen Gleichungssystems ist es jedoch sinnvoll, Gleichung {22} mit der entsprechenden Deutung als verschränkte Achsenvertauschung heranzuziehen, da dann die y- und z-Terme durch Differenzbildung mit Gleichung {8} wie bisher eliminiert werden können.

Durch zyklische Vertauschung können dann die weiteren Lösungsformeln ermittelt werden. Sie lauten:

$$x = \frac{\mathbf{r} - \frac{\mathbf{c} \mathbf{b} \mathbf{r} \mathbf{c} \mathbf{b}}{c^2 b^2}}{\mathbf{a} - \frac{\mathbf{c} \mathbf{b} \mathbf{a} \mathbf{c} \mathbf{b}}{c^2 b^2}} \quad \{26\}$$

$$y = \frac{\mathbf{r} - \frac{\mathbf{a} \mathbf{c} \mathbf{r} \mathbf{a} \mathbf{c}}{c^2 b^2}}{\mathbf{a} - \frac{\mathbf{a} \mathbf{c} \mathbf{b} \mathbf{a} \mathbf{c}}{c^2 b^2}} \quad \{27\}$$

$$z = \frac{\mathbf{r} - \frac{\mathbf{b} \mathbf{a} \mathbf{r} \mathbf{b} \mathbf{a}}{c^2 b^2}}{\mathbf{a} - \frac{\mathbf{b} \mathbf{a} \mathbf{c} \mathbf{b} \mathbf{a}}{c^2 b^2}} \quad \{28\}$$

Eine Beispiellösung für den x-Wert wird in der folgenden Abbildung 15 an Hand der Reisfelderaufgabe vorgestellt.

$$\begin{aligned} \mathbf{a} &= 3 \sigma_x + 2 \sigma_y + \sigma_z & a^2 &= 14 \\ \mathbf{b} &= 2 \sigma_x + 3 \sigma_y + 2 \sigma_z & b^2 &= 17 \\ \mathbf{c} &= \sigma_x + \sigma_y + 3 \sigma_z & c^2 &= 11 \\ \mathbf{r} &= 39 \sigma_x + 34 \sigma_y + 26 \sigma_z \\ \mathbf{r}_{\text{vert}} &= \mathbf{c} \mathbf{b} \mathbf{r} \mathbf{c} \mathbf{b} \frac{1}{b^2 c^2} \\ &= \frac{5739}{187} \sigma_x + \frac{7246}{187} \sigma_y + \frac{5084}{187} \sigma_z - \frac{2442}{187} \sigma_x \sigma_y \sigma_z \\ \mathbf{a}_{\text{vert}} &= \mathbf{c} \mathbf{b} \mathbf{a} \mathbf{c} \mathbf{b} \frac{1}{b^2 c^2} \\ &= \frac{393}{187} \sigma_x + \frac{470}{187} \sigma_y + \frac{211}{187} \sigma_z - \frac{264}{187} \sigma_x \sigma_y \sigma_z \\ x &= \frac{\mathbf{r} - \mathbf{r}_{\text{vert}}}{\mathbf{a} - \mathbf{a}_{\text{vert}}} \\ &= \frac{1554 \sigma_x - 888 \sigma_y - 222 \sigma_z + 2442 \sigma_x \sigma_y \sigma_z}{168 \sigma_x - 96 \sigma_y - 24 \sigma_z + 264 \sigma_x \sigma_y \sigma_z} \\ &= 9,25 \end{aligned}$$

Abb.15: Berechnung des Lösungswertes für x der Reisfelderaufgabe durch Hintereinanderausführung verschränkter Achsenvertauschungen der b- und c-Achse.

12. Zur Philosophie von Sandwich-Produkten

Wie zuvor bereits beschrieben lassen sich gemischte Sandwich-Produkte in der Geometrischen Algebra als Achsenvertauschung deuten, wenn ein Vektor \mathbf{r} {8} oder {9} transformiert wird.

Die Tragweite des Sandwich-Ansatzes wird jedoch dann deutlich, wenn anstelle eines eindimensionalen Vektors ein Multivektor \mathbf{M}

$$\mathbf{M} = k \mathbf{1} + x \sigma_x + y \sigma_y + z \sigma_z + A_{xy} \sigma_x \sigma_y + A_{yz} \sigma_y \sigma_z + A_{zx} \sigma_z \sigma_x + V \sigma_x \sigma_y \sigma_z \quad \{29\}$$

einer Sandwich-Transformation unterworfen wird. Dann wird ersichtlich, dass auch jedes einfache Produkt der Geometrischen Algebra bzw. Clifford-Algebra, das aus lediglich zwei Faktoren besteht, als Sandwich-Produkt gedeutet werden kann, indem als dritter (fehlender) Faktor ein Basis-Skalar $\mathbf{1}$ als neutrales Element der Multiplikation (siehe Gl. {30} oder {31}) gesetzt wird.

Jedes Produkt aus zwei Faktoren kann in der Geometrischen Algebra auch als Sandwich-Produkt interpretiert werden.

Abb.16: Philosophische Weitung des Sandwich-Ansatzes in der Geometrischen Algebra.

Rechtsseitige Post-Multiplikation mit $\mathbf{1}$:

$$\begin{aligned} \sigma_x \mathbf{M} &= \sigma_x \mathbf{M} \mathbf{1} & \{30\} \\ &= x \mathbf{1} + k \sigma_x + A_{xy} \sigma_y - A_{zx} \sigma_z + y \sigma_x \sigma_y \\ &\quad + V \sigma_y \sigma_z - z \sigma_z \sigma_x + A_{yz} \sigma_x \sigma_y \sigma_z \end{aligned}$$

Linksseitige Prä-Multiplikation mit $\mathbf{1}$:

$$\begin{aligned} \mathbf{M} \sigma_x &= \mathbf{1} \mathbf{M} \sigma_x & \{31\} \\ &= x \mathbf{1} + k \sigma_x - A_{xy} \sigma_y + A_{zx} \sigma_z - y \sigma_x \sigma_y \\ &\quad + V \sigma_y \sigma_z + z \sigma_z \sigma_x + A_{yz} \sigma_x \sigma_y \sigma_z \end{aligned}$$

Jetzt vertauschen die acht Basis-Elemente, die als Basis-Richtungen des Multivektors \mathbf{M} {29} angesehen werden können, in der in Abbildung 17 dargestellten Weise miteinander. Insbesondere vertauschen in den Gleichungen {30} und {31} die dimensionslose Richtung der skalaren Achse mit der vektorialen Richtung der σ_x -Achse.

$\sigma_x \mathbf{M} \mathbf{1}$	$\mathbf{1} \mathbf{M} \sigma_x$
$\mathbf{1} \leftrightarrow \sigma_x$	$\mathbf{1} \leftrightarrow \sigma_x$
$\sigma_y \leftrightarrow \sigma_x \sigma_y$	$\sigma_y \leftrightarrow -\sigma_x \sigma_y$
$\sigma_z \leftrightarrow -\sigma_z \sigma_x$	$\sigma_z \leftrightarrow \sigma_z \sigma_x$
$\sigma_y \sigma_z \leftrightarrow \sigma_x \sigma_y \sigma_z$	$\sigma_y \sigma_z \leftrightarrow -\sigma_x \sigma_y \sigma_z$

Abb.17: Richtungsvertauschungen der zwei einfachen Produkte {29} und {30}.

In dieser Sichtweise ist eine Reflexion an der x-Achse $\sigma_x \mathbf{M} \sigma_x$ nichts anderes als eine Vertauschung der σ_x -Achse mit der skalaren Achse $\sigma_x \mathbf{M} \mathbf{1}$, die von einer Vertauschung der skalaren Achse mit der σ_x -Achse $\mathbf{1} (\sigma_x \mathbf{M} \mathbf{1}) \sigma_x$ gefolgt wird.

In ähnlicher Art und Weise können Reflexionen an dreidimensionalen Räumen, fünf- oder anderen ungeradzahligem Hyperräumen [29, Abschnitt 5] als zweifach verschränkte Vertauschung dieser Räume bzw. Hyperräume mit der skalaren Achse gedeutet werden.

Konzeptionell frappierend sind in dieser Deutung die mit den Vertauschungen verbundenen Änderungen der Dimensionalität. So wird in {30} bzw. {31} aus einer skalaren Komponente eine vektorielle, aus den vektorialen Komponenten werden entweder bivectorial flächenartige oder skalarwertig dimensionslose Komponenten. Und aus den bivectorialen Komponenten werden vektorielle oder aber trivectorial voluminartige Komponenten.

13. Höherdimensionale Lineare Gleichungssysteme und didaktische Brücken

Konsistente Lineare Gleichungssysteme mit mehr als drei Unbekannten, die dann auch aus mehr als drei Linearen Gleichungen bestehen, können ebenfalls mit Hilfe von Sandwich-Produkten gelöst werden.

Dabei lässt sich die Anzahl der Unbekannten schrittweise um jeweils zwei Unbekannte reduzieren, wenn die entsprechenden Koeffizienten dieser Unbekannten rechts- und linksseitig in Form gemischter Sandwich-Produkte anmultipliziert werden.

Am Beispiel von fünf Unbekannten wird dies im beigefügten Skript der Vorlesungsfolien [34, S. 68–77] gezeigt. Dabei wird allerdings auch deutlich, dass diese Lösungsstrategie bei einer höheren Anzahl an Unbekannten relativ unübersichtlich und langwierig platzraubend wird.

Es ist somit sinnvoll, diesen Ansatz zwar aus didaktischen Gründen zu thematisieren, ergänzend jedoch darauf hinzuweisen, dass bei höherdimensionalen Linearen Gleichungssystemen die Nutzung äußerer Produkte konzeptionell weit einfacher zu bewerkstelligen sein wird.

Wie also sieht der didaktisch tragfähigste Weg zu einer Mathematik höherdimensionaler Linearer Gleichungssysteme aus? Eine sichere Antwort auf diese Frage kann derzeit noch nicht gegeben werden, denn eine sichere und gefestigte Mathematik höherdimensionaler Gleichungssysteme existiert derzeit noch nicht: „I think we are still lacking a good understanding of which kind of methods we should use in relation (...) to problems depending on a medium sized number of variables. We have the machinery for a small number of variables and we have probability for a large number of variables. But we don't even know which questions to ask, much less which methods to use, when we have ten variables or twenty variables“ [32, S. 33].

Die eben zitierten Ausführungen des Abel-Preisträgers Lennart Carleson deuten darauf hin, dass die fachliche und die didaktische Brücke, die vom Lösungsverhalten Linearer Gleichungssysteme mit einer höheren Anzahl an Unbekannten zum Lösungsverhalten von Gleichungssystemen höherer Ordnung mit einer höheren Anzahl an Unbekannten heute noch nicht gebaut werden kann. Es ist schlichtweg noch nicht klar, wo diese Brücke oder diese Brücken einmal hinführen werden.

Und aus diesem Gründen ist auch noch nicht klar, wo genau und wo am besten die Ausgangspunkte zum Brückenbau gelegt werden sollten. Es ist aber sicher sinnvoll, eine Vielzahl an möglichen Startpunkten im Auge zu behalten – die Mathematik der Geometrischen Algebra und die Mathematik von Sandwich-Produkten gehören mit dazu. Sie könnten in ferner Zukunft Ausgangspunkte einer Mathematik sein, die die von Carleson gestellten Fragen löst.

14. Literatur

- [1] Burton, David M. (2011): *The History of Mathematics. An Introduction*. 7. Auflage. New York: McGraw-Hill.
- [2] Horn, Martin Erik (1994): *Das Lösen quadratischer Gleichungen nach der Methode der Babylonier*. Eine Unterrichtsreihe im Fach Mathematik in einer 9. Klasse des Gymnasiums. Schwerpunkt: Der Vergleich graphischer und algebraischer Zugänge zum Lösungsweg. Examensarbeit für die Zweite Staatsprüfung für das Amt des Studienrates, angefertigt am 6. SPS (S) Tempelhof, Berlin.
- [3] Grcar, Joseph Frank (2011): *Mathematicians of Gaussian Elimination*. In: *Notices of the American Mathematical Society*, Vol. 58, No. 6, June/July 2011, S. 782–792.
- [4] Grcar, Joseph Frank (2011): *How Ordinary Elimination Became Gaussian Elimination*. In: *Historia Mathematica*, Vol. 38, No. 2, S. 163–218.
- [5] Horn, Martin Erik (2017): *Über die Kunst, Lineare Gleichungssysteme auf eine etwas andere Art zu lösen*. Zur Veröffentlichung vorgesehen in: *BzMU – Beiträge zum Mathematikunterricht 2017*. Münster: WTM-Verlag.
- [6] Ifrah, Georges (1991): *Universalgeschichte der Zahlen*. Sonderausgabe, 2. Auflage, Frankfurt/Main, New York: Campus-Verlag.
- [7] Hodgkin, Luke (2005): *A History of Mathematics. From Mesopotamia to Modernity*. Oxford, New York: Oxford University Press.
- [8] Wußing, Hans (2008): *6000 Jahre Mathematik. Eine kulturgeschichtliche Zeitreise – 1. Von den Anfängen bis Leibniz und Newton*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- [9] Kramer, Noah Samuel (1963): *The Sumerians. Their History, Culture and Character*. Chicago, London: The University of Chicago Press.
- [10] Derbyshire, John (2006): *Unknown Quantity – A Real and Imaginary History of Algebra*. Washington, DC: Joseph Henry Press.
- [11] Gericke, Helmuth (1992): *Mathematik in Antike und Orient / Mathematik im Abendland*. Sonderausgabe in einem Band. Wiesbaden: Fourier-Verlag.
- [12] Hertel, Ingolf; Großmann, Siegfried (Koord.) (2016): *Physik in der Schule – Hauptteil*. Eine Studie der Deutschen Physikalischen Gesellschaft. Bad Honnef: DPG.
- [13] Smith, David Eugene; Mikami, Yoshio (1914): *A History of Japanese Mathematics*. Chicago: The Open Court Publishing Company.
- [14] Grassmann, Hermann (1844): *Die Wissenschaft der extensiven Größe oder die Ausdehnungslehre, eine neue mathematische Disciplin*. Erster Theil, die lineale Ausdehnungslehre enthaltend. Leipzig: Verlag von Otto Wigand.
- [15] Sarton, George (1944): *Grassmann – 1844*. In: *Isis*, Vol. 35, No. 4, S. 326–330.

- [16] Cartan, Élie (1981): *The Theory of Spinors*. Unabridged republication of the complete English translation first published in 1966. New York: Dover Publications.
- [17] Gull, Stephan; Lasenby, Anthony; Doran, Chris (1993): *Imaginary Numbers are not Real – The Geometric Algebra of Spacetime*. In: *Foundations of Physics*, Vol. 23, No. 9, S. 1175–1201.
- [18] Horn, Martin Erik (2015): *Lineare Algebra in physikdidaktischer Ausprägung*. In: *PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung des Fachverbands Didaktik der Physik in Wuppertal 2015*, URL [17.12.2015]: www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/626.
- [19] Horn, Martin Erik (2015): *Ein physikdidaktischer Blick auf die Lineare Algebra*. In: Franco Caluori, Helmut Linneweber-Lammerskitten, Christine Streit (Hrsg.): *BzMU – Beiträge zum Mathematikunterricht 2015, Band 1*, S. 408–411, Münster: WTM-Verlag.
- [20] Horn, Martin Erik (2016): *Moderne Lineare Algebra im wirtschaftsmathematischen Kontext*. In: Walther Paravicini, Jörn Schnieder (Hrsg.): *Hanse-Kolloquium zur Hochschuldidaktik der Mathematik 2015. Beiträge zum gleichnamigen Kolloquium an der Universität zu Lübeck*, S. 103–129. Münster: WTM-Verlag.
- [21] Peirce, Charles Sanders (1877): *Note on Grassmann's Calculus of Extension*. In: *Proceedings of the American Academy of Arts and Sciences*, Vol. 13 (gelesen am 10. Okt. 1877), S. 115–116.
- [22] Arnold, Vladimir Igorevich (1998): *On Teaching Mathematics*. *Uspekhi Mat. Nauk*, No. 1 (319), Vol. 53, S. 229–234, siehe auch URL [25.03.2016]: <http://pauli.uni-muenster.de/~munsteg/arnold.html>.
- [23] Sobczyk, Garret (1993): *David Hestenes – The Early Years*. In: *Foundations of Physics*, Vol. 23, No. 10, S. 1291–1293.
- [24] Hestenes, David (2003): *Oersted Medal Lecture 2002: Reforming the Mathematical Language of Physics*. In: *American Journal of Physics*, Vol. 71, No. 2, S. 104–121.
- [25] Hestenes, David (1992): *Mathematical Viruses*. In: A. Micali, R. Boudet, J. Helmstetter (Hrsg.): *Clifford Algebras and their Applications in Mathematical Physics*, S. 3–16. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- [26] Horn, Martin Erik (2016): *Physikdidaktische Interpretation des Gaußschen Algorithmus*. In: *PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung des Fachverbands Didaktik der Physik in Hannover 2016*. URL [17.12.2016]: www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/727.
- [27] Horn, Martin Erik (2017): *Eigenwerte und Eigenvektoren aus geometrisch-algebraischer Perspektive*. Zur Veröffentlichung vorgesehen in: *PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung des Fachverbands Didaktik der Physik in Dresden 2017*.
- [28] Dorst, Leo; Fontijne, Daniel; Mann, Stephen (2007): *Geometric Algebra for Computer Science. An Object-oriented Approach to Geometry*. Amsterdam, San Francisco: Morgan Kaufman Publishers/Elsevier.
- [29] Horn, Martin Erik (2015): *Sandwich Products and Reflections*. In: *PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung des Fachverbands Didaktik der Physik in Wuppertal 2015*, URL [17.12.2015]: www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/642.
- [30] Hildenbrand, Dietmar (2013): *Foundations of Geometric Algebra Computing*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- [31] Horn, Martin Erik (2017): *Lösung einer Aufgabe zu Linearen Gleichungssystemen aus der Han-Dynastie mit GAALOP als Taschenrechner-Ersatz*. Zur Veröffentlichung vorgesehen in: *BzMU – Beiträge zum Mathematikunterricht 2017*. Münster: WTM-Verlag.
- [32] Raussen, Martin; Skau, Christian (2006): *Interview with Abel Prize Recipient Lennart Carleson*. In: *Newsletter of the European Mathematical Society*, No. 61 (Sept. 2006), S. 31–36.

Dem Beitrag beigefügte Dateien

- [33] Horn, Martin Erik (2017): *Poster DD 02.17, „Zur Lösung Linearer Gleichungssysteme mit Hilfe gemischter Sandwich-Produkte“ vom 20. März 2017, siehe auch: Verhandl. DPG (VI) 52, 2 (2017), Url [01.03.2017]: www.dpg-verhandlungen.de/year/2017/conference/dresden/part/dd/session/2/contribution/17*.
- [34] Horn, Martin Erik (2017): *Modern Linear Algebra. A Geometric Algebra Crash Course. Part VI: Solving Systems of Linear Equations with Sandwich Products*. OHP-Folien des Kurses „Mathematics for Business and Economics“ (Stand: 21. Jan. 2017), LV-Nr. 200 691.01, Hochschule für Wirtschaft und Recht Berlin / Berlin School of Economics and Law, Wintersemester 2016/2017.

Schülervorstellungen über Tätigkeiten von Naturwissenschaftlern

Fabian Leiß, Ralf Detemple, Heidrun Heinke

RWTH Aachen

leiss@physik.rwth-aachen.de, detemple@physik.rwth-aachen.de, heinke@physik.rwth-aachen.de

Kurzfassung

In Forschungsgemeinschaften spielen Kommunikation und Kooperation zwischen den beteiligten Personen und Arbeitsgruppen eine wichtige Rolle. Aus diesem Grund wurde bei der Konzeption des Schülerlabors SCIphyLAB_nano an der RWTH Aachen ein Verständnis der Kooperation zum zentralen Lernziel für Schülerinnen und Schüler erklärt. Der Sonderforschungsbereich 917 „Nanoswitches“ [10] diene dabei sowohl für die fachlichen Inhalte als auch für typische Arbeitsabläufe in den Naturwissenschaften als Vorbild. In einer explorativen Vorstudie wurden in einem offenen Erhebungsformat mit Zeichnungen und Texten die Schülervorstellungen zu Tätigkeiten von Naturwissenschaftlern von 189 SuS gesammelt und inhaltsanalytisch ausgewertet. Darauf aufbauend wurde unter Berücksichtigung eines von Wentorf, Höffler und Parchmann [14] entwickelten Fragebogens ein Piktogramm-Text-Fragebogen gestaltet und getestet. Erste Ergebnisse zeigen sowohl einen positiven Einfluss des Einsatzes der Piktogramme im Erhebungsinstrument als auch des Schülerlaborbesuchs auf ausgewählte Vorstellungen zu Tätigkeiten von Naturwissenschaftlern.

1. Einleitung

Welche Vorstellungen haben Schülerinnen und Schüler (SuS) von dem Arbeitsalltag von Naturwissenschaftlern? Wird ihrer Ansicht nach eher allein oder zusammen mit Kollegen gearbeitet? Kann ein Besuch im Schülerlabor diese Vorstellungen beeinflussen? Mit der Beantwortung dieser Fragen beschäftigt sich der vorliegende Beitrag. Ziel ist es SuS bei einem Besuch in einem Schülerlabor an der RWTH Aachen einen Einblick in die Arbeit einer Forschungsgruppe zu ermöglichen und sie möglichst authentisch die Arbeitsweisen und -methoden in den Naturwissenschaften erleben zu lassen. Im Hinblick darauf wurde das Schülerlabor SCIphyLAB_nano im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit des Sonderforschungsbereichs 917 „Nanoswitches“ [10] konzipiert und aufgebaut. Parallel dazu wurde mit der Untersuchung der Schülervorstellungen zur Arbeitsweise von Naturwissenschaftlern begonnen, wobei die Rolle von Kooperation und Kommunikation in der modernen naturwissenschaftlichen Forschung von besonderem Interesse war. Im Folgenden wird zunächst eine Einordnung in die bisherige Forschung vorgenommen und anschließend das Konzept des Schülerlabors vorgestellt, bevor die Untersuchungen der Schülervorstellungen präsentiert werden.

2. Schülervorstellungen über Naturwissenschaftler und ihre Tätigkeiten

In Zeiten von leicht zugänglichem Fachwissen wird die Frage nach der Herkunft und der Entstehung von Wissen immer wichtiger. Ein angemessenes Verständnis davon, wie naturwissenschaftliche Erkenntnisprozesse ablaufen, welchen Zweck Naturwissenschaften erfüllen und welche Werte und Überzeugungen bei der Entstehung eine Rolle spielen, ist daher

anerkanntes Bildungsziel [12]. Diese Form des Metawissens wird - in Anlehnung an die englische Bezeichnung *Nature of Science* - im Deutschen meist mit *Natur der Naturwissenschaften* bezeichnet. Hierbei werden unter dem Begriff Natur allerdings eher Charakteristika, das Wesen oder auch die „Geartetheit“ [4, S. 19] verstanden. Obwohl der Themenbereich Natur der Naturwissenschaften schwer einzugrenzen ist, besteht dennoch großer Konsens über seine Bedeutsamkeit. Einen wichtigen Aspekt dieses Themenbereichs stellen selbstverständlich die beteiligten Naturwissenschaftler und ihre ausgeübten Tätigkeiten dar, die im Laufe der Zeit auch einem fortwährenden Wandel unterworfen sind. Möchte man das Schülerverständnis von der aktuellen Arbeit von Naturwissenschaftlern beeinflussen, ist es wie auch in anderen Lernprozessen wichtig zunächst die bereits vorhandenen Schülervorstellungen zu kennen und einbeziehen zu können.

Erste großangelegte Untersuchungen der Vorstellungen von SuS zur Person eines Naturwissenschaftlers wurden in den USA durchgeführt [8]. Hier wurden die SuS aufgefordert ihre Vorstellungen über Naturwissenschaftler in schriftlicher Form darzulegen. Ein später vielfach verwendetes Format, bei dem die SuS ihre Vorstellungen zeichnerisch darstellen, geht auf die Untersuchungen von Chambers [2] mit dem *Draw-A-Scientist Test* zurück. Schülervorstellungen über die Natur der Naturwissenschaften der zwei genannten und weiterer Untersuchungen im englischen Sprachraum wurden von Höttecke [4, S. 71] als „unzureichend und nicht adäquat“ zusammengefasst. Naturwissenschaftler sind demnach meist männlich, fremd, mit Unverständlichem beschäftigt und arbeiten einzeln und isoliert [4, S. 72]. In Deutschland gab es bislang wenige Studien, die Schülervorstellungen

über Naturwissenschaftler als Person bzw. Tätigkeiten von Naturwissenschaftlern in den Fokus nahmen. In einer Studie von Mikelskis-Seifert und Müller [9] wurden Zeichnungen und Aussagen über Physiker von SuS der Klassen 5 und 6 erhoben. Dabei ergab sich ein stereotypes Bild einer intelligenten, älteren (meist männlichen) Person mit weißem Kittel, Brille und wirren Haaren. Von Wentorf et al. [14] wurden Schülerkonzepte über das Tätigkeitsspektrum von Naturwissenschaftlern untersucht. Dazu wurden in Entsprechung zum *RIASEC*-Modell nach Holland [5] zu verschiedenen Tätigkeitsfeldern Skalen für eine Fragebogenstudie entwickelt. Die Tätigkeitsfelder, aus deren englischen Anfangsbuchstaben sich der Name des Modells zusammensetzt, lauten wie folgt: Realistic (handwerklich), Investigative (analytisch, intellektuell), Artistic (kreativ), Social (sozial, fürsorglich), Enterprising (unternehmerisch) und Conventional (akribisch, verwaltend) [14]. Die Güte des Erhebungsinstruments wurde untersucht und erste Ergebnisse seines Einsatzes wurden gesammelt, denen zufolge SuS das handwerklich orientierte Tätigkeitsfeld am häufigsten mit Naturwissenschaften assoziiert haben. Zusätzlich zu den bisherigen Tätigkeitsfeldern des Modells wurde außerdem ein weiteres Tätigkeitsfeld mit kooperativen Tätigkeiten (Networking) postuliert.

3. Konzept des Schülerlabors SCIphyLAB_nano an der RWTH Aachen

Im Sonderforschungsbereich 917 „Nanoswitches“ der RWTH Aachen und des Forschungszentrums Jülich gibt es seit 2015 ein eigenständiges Projekt zur Öffentlichkeitsarbeit, in dessen Rahmen das Schülerlabor SCIphyLAB_nano aufgebaut und entwickelt wurde. Angesichts der zuvor beschriebenen Schülervorstellungen und der Möglichkeiten zur Zusammenarbeit mit dem SFB 917 sollte dieser nicht nur inhaltliches Vorbild für das Schülerlabor werden, sondern auch als Beispiel für aktuelle Organisationsformen und Arbeitsweisen in den Naturwissenschaften im Schülerlabor thematisiert werden. Bei einem Besuch im Schülerlabor sollen die SuS daher einen realitätsnahen Eindruck von den Arbeitsweisen und Tätigkeiten von Naturwissenschaftlern bekommen. Dafür wurden einige Merkmale des SFB 917 ausgewählt und auf das Schülerlabor übertragen. Der SFB 917 steht dabei stellvertretend für aktuelle Forschungsprojekte in den Naturwissenschaften, die unter anderem folgende Merkmale aufweisen: Die Beteiligten eines Projektes arbeiten an einem gemeinsamen Projektziel, für das sie sich zusammengeschlossen haben. Ihr Verbund setzt sich je nach Größe des Projektes aus verschiedenen Arbeitsgruppen und Instituten zusammen und hält aus diesem Grund diverse Meetings, Seminare und Tagungen ab. Kommunikation und Kooperation spielen demnach eine wichtige Rolle im alltäglichen naturwissenschaftlichen Forschungsbetrieb.

3.1. Ein Tagesablauf im Schülerlabor

Das Schülerlabor SCIphyLAB_nano bietet Schulklassen und Kursen die Möglichkeit, einen Tag an der RWTH Aachen zu verbringen und in dortigen Praktikums-, Labor- bzw. Konferenzräumen Naturwissenschaft zu erleben. Ein Besuch im Schülerlabor ist für 3 - 4,5 Zeitstunden angelegt und beginnt mit einem Einstieg in das gewählte Thema des Moduls. Als Themen stehen aktuell ein Modul zur *Nanowelt* und ein Modul zu *Datenspeichern der Zukunft* zur Auswahl. Ausgehend von Alltagsbeispielen werden die SuS an das Thema herangeführt und im Anschluss auf ihre Aufgaben als Forschungsgemeinschaft während des Besuchstages eingestimmt. Diese Forschungsgemeinschaft aus den SuS teilt sich in mehrere Gruppen auf, die verschiedene Experimente durchführen. Diese Gruppen werden nochmal in Teams von 2-3 SuS unterteilt, welche dann gemeinsam an einem Aufbau arbeiten. Je nach Besuchsdauer gibt es die Möglichkeit auch ein zweites Experiment kennenzulernen. In jedem Fall wird aber nicht jeder alle Experimente selbst durchführen. Daher ist es für die Gruppen sinnvoll und nötig, sich bei einer anschließenden Besprechung auszutauschen. Hierfür können die SuS ihre Erkenntnisse und Ergebnisse auf einer Präsentationsvorlage zusammentragen und bei der Besprechung vorstellen.

3.2. Beispiel für Kooperation im Schülerlabor

Um SuS die Abläufe und Tätigkeitsfelder in den Naturwissenschaften näherzubringen wurden einerseits Merkmale des SFB 917 wie Konferenzen auf das Tagesprogramm übertragen. Andererseits sollen die SuS gerade auch bei der Durchführung der Experimente erfahren, wie Abläufe im Labor aussehen können. Dazu wurden typische Abläufe im SFB 917 auf die Experimente im Schülerlabor übertragen.

Das Konzept der Experimente im Schülerlabor, mit dem den SuS die Bedeutung und Notwendigkeit von Kommunikation und Kooperation in den Naturwissenschaften verdeutlicht werden soll, wird nachfolgend an dem in Abbildung 1 illustrierten Beispiel erläutert. Bei dem dargestellten Experiment arbeiten drei SuS als Team für ein gemeinsames Ziel. In Anlehnung an den SFB 917, bei dem unter anderem die Schaltkinetik von Phasenwechselmaterialien untersucht wird, ist das Ziel dieses Experimentes die Bestimmung der Kristallisationsgeschwindigkeit eines Salzhydrates. Hier gibt es drei Teilaufgaben, die zunächst parallel begonnen werden, aber im weiteren Verlauf zusammengeführt werden. So beginnt Schüler A mit der Vorbereitung des Materials (Salzhydrat abwägen, mischen, erwärmen), während Schüler B eine Videoaufnahme des Kristallisationsprozesses vorbereitet und testet. Schüler C lernt unterdessen den



Abb. 1: Beispielhaftes Experiment im Schülerlabor, das neben der Vermittlung fachlicher Inhalte auch typische Abläufe und die Notwendigkeit der Kooperation in der naturwissenschaftlichen Forschung verdeutlichen soll.

Umgang mit einer Videoanalysesoftware [11] zur Bestimmung der Kristallisationsgeschwindigkeit. Nachdem das Material vorbereitet und verflüssigt ist, wird es von Schüler A für die Untersuchung zu Schüler B gebracht. Beide führen nun die Kristallisation herbei und filmen den Vorgang. Das aufgenommene Video analysieren sie anschließend unter Anleitung von Schüler C und können so durch ihre Zusammenarbeit die Kristallisationsgeschwindigkeit herausfinden. Die SuS sollen hierdurch erfahren, dass arbeitsteiliges Vorgehen und Spezialisierung wichtig und notwendig sind. Je nach Vorwissen und Experimentierkompetenzen benötigen die SuS etwa 60-80 Minuten zur Durchführung eines solchen gesamten Experimentes.

4. Explorative Vorstudie zur Untersuchung von Schülvorstellungen

Zur Untersuchung der Schülvorstellungen über die Tätigkeiten von Naturwissenschaftlern sollte zunächst ein möglichst breites Spektrum an Vorstellungen erfasst werden. Dazu sollten einerseits eine größere Zahl von SuS Gelegenheit haben ihre Vorstellungen kundzutun und andererseits sollten ihre Vorstellungen relativ frei und auf verschiedene Weise wiedergegeben werden können. Für eine Durchführung während des Unterrichts war es zudem von Vorteil, wenn die Bearbeitungsdauer verhältnismäßig kurz ausfiel.

4.1. Erhebungsinstrument der Vorstudie

Aus diesen Gründen wurde ein Format in Anlehnung an Varianten des *Draw-A-Scientist Test* [2] favorisiert. Dem Kritikpunkt, dass bei dieser Art von Test mit einer Zeichnung häufig stereotypische Merkmale wiedergegeben werden, wurde dadurch begegnet, dass den SuS in einem eigens entworfenen Erhebungsinstrument drei Möglichkeiten zur Darstellung typischer Tätigkeiten von Naturwissenschaftlern gegeben wurden. So können zum Beispiel verschiedene, voneinander völlig unabhängige Tätigkeiten oder auch Arbeitsabläufe in mehreren Schritten dargestellt werden. In Ergänzung zu den Zeichnungen haben die SuS die Möglichkeit die Zeichnungen jeweils schriftlich kurz zu erläutern. Die Kombination aus je einem Feld für eine Zeichnung und einen zugehörigen Text

wird im Folgenden als eine Situation aufgefasst. Zu jeder Situation können die SuS ankreuzen, ob diese den Naturwissenschaften allgemein oder einem Fach (Biologie, Chemie oder Physik) im Speziellen zugeordnet wird. Ansonsten werden Alter und Geschlecht erhoben. Inklusive des Arbeitsauftrags, die drei aus persönlicher Sicht wichtigsten Tätigkeiten aus dem Arbeitsalltag eines Naturwissenschaftlers bzw. einer Naturwissenschaftlerin darzustellen und zu beschreiben, finden Zeichen-, Text- und Ankreuzfelder auf einer DIN A3-Seite Platz. Zur Bearbeitung sind 10 Minuten vorgesehen.

4.2. Durchführung der Vorstudie in Schulen

In der explorativen Vorstudie ging es darum in der Zielgruppe des Schülerlabors, unter SuS der Jahrgangsstufen acht und neun, eine erste Bestandsaufnahme der Vorstellungen von Tätigkeiten von Naturwissenschaftlern vorzunehmen. Es wurde nicht der Anspruch erhoben, dass in der Kürze der Erhebungsdauer die Vorstellungen vollständig ausgearbeitet werden konnten, sondern vielmehr ging es darum einen ersten Überblick über die Bandbreite der Vorstellungen zu erhalten. Dazu bekamen SuS von Schulen in Aachen während der Unterrichtszeit die Aufgabe den oben beschriebenen Erhebungsbogen anonym auszufüllen. Sie erhielten dafür die vorgesehene Bearbeitungszeit von 10 Minuten, die sich generell als ausreichend zeigte. Vor bzw. nach der Erhebung fand regulärer Unterricht statt.

4.3. Auswertung und Ergebnisse der Vorstudie

Im Rahmen der Vorstudie wurden Daten von insgesamt 189 SuS einer Gesamtschule und eines Gymnasiums in Aachen gesammelt. Die SuS hatten ein Durchschnittsalter von 13,6 Jahren. Die Angaben zum Geschlecht verteilten sich auf 50% männlich, 42% weiblich, und 8% machten dazu keine Angabe. Bei der Auswertung der von den SuS dargestellten Vorstellungen ging es um die inhaltlichen Aussagen unabhängig von der Darstellungsform (d.h. Zeichnung oder Text). Aus diesem Grund wurden im Folgenden jeweils Zeichnung und dazugehöriger Text als eine Situation und Kodiereinheit aufgefasst. Die in den Situationen dargestellten Tätigkeiten und weitere Merkmale (wie z.B. das Geschlecht oder Gegenstände) wurden gemäß der zusammenfassenden Inhaltsanalyse nach Mayring [7] ausgewertet. Hierfür wurde ein Kategoriensystem erstellt, dessen einzelne Kategorien und Subkategorien, das heißt die Tätigkeiten und Merkmale, in einem Manual für den nächsten Schritt der Auswertung beschrieben wurden. Daran anschließend wurden die Situationen analysiert und darin gegebenenfalls Tätigkeiten identifiziert. Dabei ist es durchaus möglich, dass einer Situation mehrere Tätigkeiten zugeordnet wurden. Umgekehrt konnten aber eine Tätigkeit oder ein Merkmal einer Situation nicht mehrfach zugeordnet werden. Ein Schüler konnte somit in seinen drei möglichen Situationen maximal dreimal z.B. die Tätigkeit „Expe-

rimentieren“ darstellen. Die Zuordnung der Situationen zu den zuvor entwickelten Kategorien wurde für 10% aller Situationen von einer zweiten unabhängigen Person mit Hilfe des Manuals durchgeführt. Hierbei ergab sich eine Interraterreliabilität von Cohens $k = 0,80$.

Wichtige Ergebnisse der Vorstudie, in der mehr als 400 Situationen analysiert wurden, wurden bereits in Leiß et al. [6] vorgestellt. Demnach wurde von fast allen SuS in mindestens einer Situation und in ca. 70% aller Situationen die Tätigkeit des Experimentierens dargestellt. Mit weitem Abstand folgt als nächsthäufig dargestellte Tätigkeit das Arbeiten mit Theorien (kommt bei 23% der SuS und in ca. 10% der Situationen vor). Ein typisches Beispiel für eine Darstellung aus der Kategorie des Experimentierens wird in Abbildung 2 gezeigt. Die Situation wurde von einer 13-jährigen Schülerin eines Gymnasiums erstellt. Die Beschreibung der Situation lautet: „Ein Chemiker untersucht wie verschiedene Stoffe aufeinander reagieren.“ Neben der häufig realisierten Darstellung des Experimentierens mit Chemikalien sind in dieser Situation außerdem ein Tisch, ein Laborkittel sowie eine Schutzbrille zu erkennen. Letztere und weitere Gegenstände zum Schutz wie Handschuhe und Warn- und Gefahrensymbole wurden unabhängig von der Tätigkeit in 8% aller dargestellten Situationen vorgefunden.



Abb. 2: Typische Schülerdarstellung einer Situation, in der mit Chemikalien experimentiert wird.

In Leiß et al. (2017) war auch bereits der Ansatz erläutert worden, die Anzahl der gezeichneten oder im Text erwähnten Personen als Indikator dafür zu verwenden, ob den Probanden die Bedeutung von Kommunikation und Kooperation in den Naturwissenschaften bewusst ist. Danach ergab sich, dass 55 SuS (29%) von den insgesamt 189 SuS explizit zwei oder mehr Personen in mindestens einer Situation darstellten. Es zeigte sich auch, dass alle dargestellten Situationen mit mindestens zwei Personen vier Bereichen zugeordnet werden konnten. Diese lauteten „mit Kollegen gemeinsam experimentieren“, „Präsentieren“, „Diskutieren“, „mit Kollegen an Theorien arbeiten“ und „Personen außer Kollegen“ (z.B. Firmenbesitzer)“. Eine typische Situation, in der eine Form des Präsentierens identifiziert wurde, wird in Abbildung 3 gezeigt. Die Situation wurde von einem 13-jährigen

Schüler erstellt und trägt die Beschreibung: „Wenn der Forscher etwas Wichtiges herausgefunden [hat,] stellt er es anderen Forschern vor.“ Über den zwei sitzenden Personen und der einzelnen Person auf einem Podest wurde hier ein Gegenstand mit „Beamer“ beschriftet.

5. Quantitative Studie zur Untersuchung von Schülervorstellungen



Abb. 3: Typische Situation, in der mehrere Personen vorzukommen und eine Präsentation gehalten wird.

Das Ziel der Untersuchungen ist es einen möglichen Einfluss auf Schülervorstellungen zur Arbeit von Naturwissenschaftlern durch den Besuch im Schülerlabor festzustellen. Dafür wurde ein Studiendesign mit zwei Erhebungszeitpunkten benötigt, bei dem die SuS ihre Vorstellungen einmal im Vorfeld des Schülerlaborbesuchs und dann im Anschluss an den Besuch darlegen. Für eine solche Pre-Post-Studie wurde das sehr offene Erhebungsinstrument der Vorstudie mit den Zeichnungen als nicht geeignet befunden. Auch für einen regelmäßigen Einsatz im Schülerlabor zu Evaluationszwecken bezüglich der Wirksamkeit des Schülerlaborbesuchs erschien die bisherige Kategorisierung als Auswertungsmethode zu aufwändig, so dass auch aus diesem Grund ein quantitatives Erhebungsinstrument zu Schülervorstellungen zu Arbeitsweisen in den Naturwissenschaften entwickelt wurde.

5.1. Entwicklung des Erhebungsinstrumentes

Mit der explorativen Vorstudie wurden die aus Schülersicht wichtigsten Kategorien von Tätigkeiten von Naturwissenschaftlern erkundet. Die Ergebnisse der Vorstudie flossen in die Entwicklung eines quantitativen Erhebungsinstrumentes zur Untersuchung von Schülervorstellungen ein. Dank eines zu diesem Zeitpunkt neuen, bereits erprobten Fragebogens von Wentorf et al. [14] über das Tätigkeitsspektrum von Naturwissenschaftlern konnten mehrere dabei verwendete Skalen genutzt und mit Hilfe der eigenen Ergebnisse erweitert bzw. angepasst werden. So wurden insgesamt 30 Items entwickelt, die sich auf sechs Tätigkeitsfelder bzw. Skalen aufteilten. Es wurden außerdem drei weitere Tätigkeiten als Distraktoren mit in den Itempool aufgenommen. Für die einzelnen Tätigkeiten sollte von den SuS im neuen Erhebungsbogen auf einer 4-stufigen Likert-Skala (von „stimmt

gar nicht“ bis „stimmt völlig“) bewertet werden, inwieweit diese Tätigkeiten von Naturwissenschaftlern in ihrem Arbeitsalltag ausgeübt werden.

Wie bereits oben angedeutet wurde, war das Ziel dieser methodischen Entwicklungen ein Erhebungsinstrument, das ebenso zum Einsatz in der hier beschriebenen Wirksamkeitsstudie wie auch zu durchgängigen Evaluationszwecken im Schülerlabor geeignet ist. Vor diesem Hintergrund stellte sich die Frage, inwiefern eine solche Evaluation im Schülerlabor, die üblicherweise am Ende von motivierenden, interessensteigernden Besuchsstunden steht [1], attraktiver gestaltet werden kann als mit einem Erhebungsinstrument mit sehr hohem Textanteil.

Durch das Vorliegen der von den SuS teils unterhaltsam gestalteten Zeichnungen aus der Vorstudie lag es nahe, diese Zeichnungen in das Erhebungsinstrument in Form von Abbildungen einfließen zu lassen. Da relativ konkrete Tätigkeiten von Naturwissenschaftlern Gegenstand des Erhebungsinstruments waren, schien es möglich treffende Zeichnungen auszuwählen bzw. zu entwickeln. Es wurde auch vermutet, dass die teilweise Ersetzung von Text-Items durch bildhafte Items SuS mit Leseschwierigkeiten bei der Bearbeitung des Fragebogens entlastet.

Deshalb wurden passend zu den entwickelten Fragebogen-Items aus den Schülerdarstellungen besonders aussagekräftige Zeichnungen ausgewählt und in vereinfachte, schwarz-weiße Darstellungen von Situationen überführt, die im Folgenden als Piktogramme bezeichnet werden. Diese Piktogramme wurden wiederum einigen SuS vorgelegt mit der Aufgabe zu beschreiben, welche Tätigkeiten sie darin erkennen. In der Abbildung 4 werden zwei Beispiele für solche Piktogramme gezeigt.

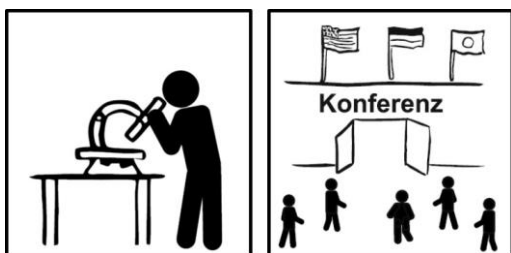


Abb. 4: Beispiele von zwei Items, deren Tätigkeiten in Form von Piktogrammen dargestellt wurden

Im linken Piktogramm wird eine Person bei Untersuchungen mit einem Mikroskop gezeigt, während im rechten Piktogramm der Besuch einer internationalen Konferenz dargestellt ist. Durch Feedback von SuS und Fachkollegen wurden die Piktogramme iterativ weiterentwickelt und bei Bedarf um einzelne Wörter ergänzt. Insgesamt wurden für 14 Tätigkeiten Piktogramme entwickelt, mit denen die entsprechenden ursprünglichen Fragebogen-Items in Textform ersetzt wurden. Dieser Teil des Fragebogens über Tätigkeiten von Naturwissenschaftlern wird im Folgenden Piktogramm-Text-Fragebogen genannt. Mit dem Ein-

satz der Piktogramme im Fragebogen sollte herausgefunden werden, ob die Piktogramme von den SuS als ansprechender wahrgenommen werden und ob die Piktogramme von einem Teil der SuS als besser verständlich empfunden werden. Zur Beantwortung dieser beiden Fragestellungen wurden im Anschluss an den Piktogramm-Text-Fragebogen zwei weitere Fragebogen-Teile ergänzt.

Im direkt an den Piktogramm-Text-Fragebogen anschließenden Teil werden die SuS aufgefordert den Einsatz der Piktogramme im Fragebogen zu bewerten. Der zweite Teil diente dazu das Leseverständnis der SuS abzufragen. Dafür kam ein C-Test zum Einsatz, der in der Studie KESS 8 verwendet wurde [13]. An den Anfang des gesamten Fragebogens wurden außerdem Items zur Abfrage einiger Kovariablen sowie zu Vorkenntnissen über Naturwissenschaftler gesetzt. Der gesamte Fragebogen gliedert sich somit in fünf Teile:

1. Kovariablen (z.B. Alter, Geschlecht, Noten)
2. Vorkenntnisse über Naturwissenschaftler
3. Piktogramm-Text-Fragebogen über Tätigkeiten von Naturwissenschaftlern
4. Bewertung des Piktogramm-Text-Fragebogens
5. C-Test zum Leseverständnis

Insgesamt wurden zur Bearbeitung des Fragebogens 30 Minuten vorgesehen.

5.2. Erprobung des quantitativen Erhebungsinstrumentes in der Schule

Nach der Entwicklung des oben beschriebenen Fragebogens zur quantitativen Erhebung der Schülvorstellungen sollte zunächst der Fragebogen insgesamt erprobt werden. An dieser Stelle soll die Frage, wie die Piktogramme von den SuS bewertet werden, besprochen werden. Die Erprobung des Fragebogens wurde in Gymnasien und Gesamtschulen in Aachen und Umgebung durchgeführt. Daran waren jeweils fünf Klassen der achten und neunten Jahrgangsstufen beteiligt.

5.3. Ausgewählte Ergebnisse der Erprobung

Insgesamt wurden im Rahmen der Erprobung des Fragebogens Daten von 245 SuS erhoben. Das Durchschnittsalter betrug 13,9 Jahre. Die Angaben zum Geschlecht verteilten sich auf 58% weiblich, 40% männlich, und 2% machten keine Angaben.

Für die Bewertung des Piktogramm-Text-Fragebogens wurden sechs Items eingesetzt, die auf einer 4-stufigen Likert-Skala zwischen „stimmt gar nicht“ bis „stimmt völlig“ bewertet werden konnten. Außerdem gab es ein einzelnes Item, bei dem Verständnisprobleme mit den Tätigkeiten in einzelnen Piktogrammen eingetragen werden konnten.

Die Bewertungen durch die SuS werden in der Abbildung 5 gezeigt, wobei die Items wie folgt lauten:

- A) Der Text ist besser verständlich als die Bilder. (-)
- B) Ich hätte lieber nur Text und keine Bilder. (-)

- C) Die Bilder sind leichter zu erfassen als der Text.
- D) Ich wünsche mir mehr Bilder anstelle von Text.
- E) Die Bilder machen den Fragebogen interessanter.
- F) Durch Bilder macht es mehr Spaß den Fragebogen auszufüllen.

Im Diagramm der Abbildung 5 sind die Antworten der SuS jeweils mit ihren Mittelwerten sowie ihren Fehlern eingezeichnet. Die durch (-) gekennzeichneten Items werden bei der Faktorenprüfung umgepolt berücksichtigt.

Bewertung des Piktogramm-Text-Fragebogens

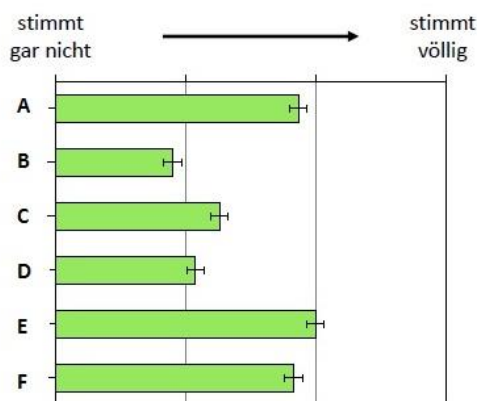


Abb. 5: Bewertung der Piktogramme (Bilder) durch N=245 SuS auf einer 4-stufigen Likert-Skala von 0=„stimmt gar nicht“ bis 3=„stimmt völlig“.

Im Mittel wird der Text mit einer Zustimmung von 1,9 als verständlicher angesehen. Trotzdem wird nicht nur Text gewünscht (0,9). Die Bilder werden eher nicht als leichter erfassbar eingeschätzt (1,3) und es werden nicht mehr gewünscht (1,1). Der Aussage, dass die Bilder den Fragebogen interessanter machen und zu mehr Spaß beim Ausfüllen des Bogens führen, wird mit 2,0 bzw. 1,8 zugestimmt.

Für die Prüfung, ob hinter den Antworten ein oder mehrere Faktoren zu erwarten sind, wurden zunächst die Korrelationen zwischen den Items getestet und so Item A und B mit negativer Korrelation identifiziert. Die darauffolgende Faktorenanalyse lieferte einen einzelnen Faktor, so dass den Items insgesamt eine gemeinsame Aussage zugrunde liegen kann. Die Ergebnisse lassen sich damit zusammenfassen, dass die Piktogramme (bzw. Bilder) zwar nicht verständlicher waren als die Text-Items, diese aber den Fragebogen ansprechender machen.

5.4. Pre-Post-Studie im Schülerlabor

Das letztendliche Ziel der Untersuchung war es den möglichen Einfluss eines Schülerlaborbesuches im SCIphyLAB_nano auf die Schülervorstellungen zum Arbeiten in den Naturwissenschaften erfassen zu können. Dafür sollten die Vorstellungen der SuS zuerst im Vorfeld eines Schülerlaborbesuches mit dem quantitativen Instrument in der Schule erhoben werden. Etwa eine Woche später besuchte die Klasse dann das Schülerlabor und direkt im Anschluss wurden die Vorstellungen zum zweiten Mal erhoben. Bei

der zweiten Erhebung im Schülerlabor kamen nur noch der Piktogramm-Text-Fragebogen über die Tätigkeiten von Naturwissenschaftlern sowie Items zu möglichen Verständnisproblemen bei einzelnen Bild-Items zum Einsatz.

Zum aktuellen Zeitpunkt haben 42 SuS der Jahrgangsstufe 8 eines Gymnasiums an der Pre-Post-Studie teilgenommen. Das Durchschnittsalter betrug 13,6 Jahre und 59% bzw. 41% gaben als Geschlecht männlich bzw. weiblich an.

Nach den ersten Ergebnissen lassen sich bisher auf der Ebene der Skalen keine signifikanten Unterschiede zwischen Pre- und Post-Test erkennen, wohingegen in der Bewertung von neun einzelnen Items durch die SuS deutliche Änderungen nach dem Schülerlaborbesuch sichtbar werden. Eine Prüfung der Tätigkeiten, bei denen dies zutrifft, ergab, dass alle diese Tätigkeiten im Schülerlabor thematisiert und teils auch von den SuS selbst durchgeführt werden.

6. Zusammenfassung und Ausblick

Mithilfe eines offenen Erhebungsinstruments konnte in einer explorativen Vorstudie ein breiter Einblick in Vorstellungen von SuS der Jahrgangsstufen acht und neun zu typischen Tätigkeiten von Naturwissenschaftlern gewonnen werden. Von 189 SuS wurden mehr als 400 Situationen dargestellt, die zu den aus Schülersicht wichtigsten drei Situationen aus dem Arbeitsalltag von Naturwissenschaftlern zählen. Darin wurden verschiedene Formen des Experimentierens mit deutlichem Abstand als wichtigste Tätigkeit eingeschätzt. Sofern anhand der Anzahl der dargestellten Personen eine Aussage über Formen der Kommunikation und Kooperation möglich ist, kann diese bei 55 SuS (29%) identifiziert werden. Der Anteil von Situationen mit entsprechenden Darstellungen unter allen Situationen fällt jedoch deutlich geringer aus, was auf eine eher untergeordnete Bedeutung dieses Aspekts der Tätigkeiten von Naturwissenschaftlern im Schülerverständnis hindeutet.

Für eine Untersuchung der Schülervorstellungen vor und nach einem Schülerlaborbesuch wurde aufbauend auf den Ergebnissen der Vorstudie und einem jüngst vorgestellten Fragebogen von Wentorf et al. [14] ein quantitatives Erhebungsinstrument entwickelt. Zudem wurden unter Berücksichtigung der Schülerzeichnungen aus der Vorstudie Piktogramme in den entwickelten Fragebogen integriert. Bei der Erprobung des Fragebogens mit 245 SuS wurde der Einsatz der Piktogramme als ansprechend bewertet, jedoch im Mittel auch als weniger verständlich eingestuft. Die Auswertung der C-Tests wird Aufschluss darüber geben, ob dies von leseschwächeren SuS anders gesehen wird. Bei der Untersuchung des Einflusses durch das Schülerlabor SCIphyLAB_nano auf die Schülervorstellungen wurde bei bisher 42 SuS festgestellt, dass es bei neun einzelnen Items, deren Tätigkeiten im Schülerlabor thematisiert oder ausgeübt wurden, erkennbare Änderungen im Antwortverhalten der SuS zwischen Pre- und Post-Test gibt.

7. Literatur

- [1] Brandt, A. (2005). Förderung von Motivation und Interesse durch außerschulische Experimentierlabors. Göttingen: Cuvillier.
- [2] Chambers, D. W. (1983). Stereotypic images of the scientist: the Draw-a-Scientist Test. *Science Education* 67, 255-265.
- [3] Guderian, P. & Priemer, B. (2008). Interessenförderung durch Schülerlaborbesuche - eine Zusammenfassung der Forschung in Deutschland. *PhyDid 2* (7), 27-36.
- [4] Höttecke, D. (2001) Die Natur der Naturwissenschaften historisch verstehen. Fachdidaktische und wissenschaftshistorische Untersuchungen. Berlin: Logos.
- [5] Holland, J. L. (1963). Explorations of a theory of vocational choice and achievement: II. A four-year prediction study. *Psychological Reports* 12, 547-594.
- [6] Leiß, F., Detemple, R. & Heinke, H. (2017). Der Arbeitsalltag von NaturwissenschaftlerInnen aus Schülersicht. In C. Maurer (Hrsg.), *Implementation fachdidaktischer Innovation im Spiegel von Forschung und Praxis. GDGP-Jahrestagung in Zürich 2016*, 600-603.
- [7] Mayring, P. (2010). *Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken*. 11. Auflage, Weinheim und Basel: Beltz.
- [8] Mead, M. & Métraux, R. (1957). Image of the Scientist among High-School Students. A Pilot Study. *Science*: 126, 384-390.
- [9] Mikelskis-Seifert, S. & Müller, C. T. (2005). Schülvorstellungen von der Physik als Wissenschaft - eine Bestandsaufnahme. In: *PhyDid B, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung, CD 2005*
- [10] SFB 917 (2017). Homepage des Sonderforschungsbereichs 917 Nanoswitches: <http://www.sfb917.rwth-aachen.de>, (Stand: 5/2017)
- [11] Tracker (2017). Videoanalysis Software: <http://physlets.org/tracker>, (Stand: 5/2017)
- [12] Urhahne, D., Kremer, K. & Mayer, J. (2008). Welches Verständnis haben Jugendliche von der Natur der Naturwissenschaften? *Unterrichtswissenschaft* 36 (1), 71-93.
- [13] Wendt, H., Gröhlich, C., Guill, K., Scharenberg, K. & Bos, W. (2010). Kompetenzen der Schülerinnen und Schüler im Leseverständnis. In Bos, W. & Gröhlich, C. (Hrsg.), *KESS 8. Kompetenzen und Einstellungen von Schülerinnen und Schülern am Ende der Jahrgangsstufe 8*, 21-36, Münster: Waxmann.
- [14] Wentorf, W., Höffler, T., Parchmann, I. (2015). Schülerkonzepte über das Tätigkeitsspektrum von Naturwissenschaftlerinnen und Naturwissenschaftlern: Vorstellungen, korrespondierende Interessen und Selbstwirksamkeitserwartungen. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 21, 207-222.

Danksagung

Die Autoren danken der DFG für die finanzielle Unterstützung im Rahmen des Öffentlichkeitsarbeitsprojekts des Sonderforschungsbereiches 917 Nanoswitches.

Heterogene Lernvoraussetzungen in außerschulischen Bildungsprozessen

Lydia Schulze Heuling*

*Auf dem Campus 1, 24943 Flensburg
lydia.schulzeheuling@uni-flensburg.de

Kurzfassung

Am Beispiel des Science Centers Phänomenta in Flensburg wurde untersucht, ob und wie heterogene Lernvoraussetzungen in außerschulischen Bildungsorten und -prozessen identifizierbar sind und welche Maßnahmen ergriffen werden können, um eine gleichberechtigte Teilhabe am Science Center-Besuch zu ermöglichen. Damit möchten wir Bedarfslagen ermitteln, die einerseits Grundlage sein sollen, einen Zugang zum Museum für einen möglichst breiten und diversen Personenkreis zu gewährleisten. Andererseits ist unser Anliegen Inklusionsklassen mit ihren stark heterogenen Lernvoraussetzungen einen gleichberechtigten Besuch zu ermöglichen und Bildungsprozesse im außerschulischen Lernort inklusionsgerecht und teilhabeorientiert zu gestalten.

1. Einleitung

Schulklassen setzen sich seit jeher aus einer heterogenen Schülerschaft zusammen. Durch aktuelle gesellschaftliche und politische Veränderungen werden Klassenzimmer jedoch zunehmend heterogen und divers.

Für naturwissenschaftliche Fächer schafft dieses besondere Herausforderungen. Doch die unmittelbare Begegnung mit einem konkreten Objekt und dem damit verbundenen Phänomen bietet auch besonderes Potential, denn Kinder können in adäquaten didaktischen Settings jeweils individuelle Zugänge für sich finden [1].

Die Unmittelbarkeit von Objekt und Phänomen eröffnet darüber hinaus multisensorische Zugangsweisen und hält damit ein großes inklusionsdidaktisches Potential im Sinne eines Fähigkeitenentdeckenden Ansatzes („discover abilities“) bereit.

Insbesondere Science Center als außerschulische Bildungsorte mit ihrer interaktions- und phänomenorientierten Ausrichtung haben hier besonderes Potential.

Diese für inklusive Bildungsbegegnungen darüber hinaus in den Blick zu nehmen ist wichtig, da Science Center besondere Bedeutung für den individuellen Bildungsverlauf haben [2]. Science Center werden allerdings bisher in ihrem Potential für inklusionsgerechte Bildungsbegegnungen ebenso wenig wahrgenommen wie sie selber diese nutzen [3].

Allerdings geraten dadurch nicht nur Schulklassen in den Blick der Forschung. Es stellt sich zunächst auch die Frage, welche heterogenen Lernvoraussetzungen allgemein in Science Centern identifiziert werden können. Hier einen Beitrag zum Forschungsstand zu leisten, ist Ziel des Projekts „Phänomenta inklusiv“ [4].

2. Heterogene Lernvoraussetzungen und Inklusion

Fahrt aufgenommen hat die Diskussion rund ums Thema Inklusion und Bildung in Deutschland mit der Ratifizierung des „Übereinkommens der Vereinten Nationen über die Rechte von Menschen mit Behinderungen“ – kurz UN-Behindertenrechtskonvention vor zehn Jahren [5]

Die allgemeine Forderung nach gleichberechtigter Teilhabe an Bildung bei gleichzeitiger Anerkennung der Verschiedenheit aller und der individueller Förderung hat nicht erst mit der Ratifizierung der UN-Behindertenrechtskonvention die bildungspolitische und bildungswissenschaftliche Bühne betreten. Als politische Forderung lässt sie sich für die Bundesrepublik bis in die 50er Jahre zurückverfolgen. [6]

Neu ist demnach nicht, dass Lehrpersonen heterogenen Lerngruppen gegenüberstehen, sondern dass durch die Ratifizierung der UN-Behindertenrechtskonvention sich die Bundesrepublik zu Umstrukturierungen im Bildungssystem verpflichtet hat, die die gleichberechtigte Teilhabe und den diskriminierungsfreien Zugang zu Bildung für behinderte Menschen gewährleisten.

Vor diesem Hintergrund lassen sich derzeit im deutschsprachigen Inklusionsdiskurs drei konzeptuelle Strömungen ausmachen.

Der sog. enge Inklusionsbegriff bezieht sich in seinem Zielgruppenverständnis explizit auf die UN-Behindertenrechtskonvention, nach der zu Menschen mit Behinderungen solche zählen, die „langfristige körperliche, seelische, geistige oder Sinnesbeeinträchtigungen haben, welche sie in Wechselwirkung mit verschiedenen Barrieren an der vollen, wirksamen und gleichberechtigten Teilhabe an der Gesellschaft hindern können“ [5]. Die Stärke dieses Inklus-



Abb.1: Links: Spiel mit einer mehrbahnigen Kugelbahn – für Menschen im Rollstuhl eine Herausforderung. Rechts: Ein erblindeter Mensch testet sein Gewichtempfinden an der Station „Gewichtstauschung“. Leider kann er seine Einschätzung, welcher Gegenstand schwerer ist, an der Waage nicht überprüfen. Eine Balkenwaage wäre hier eine Alternative. (Bild: C. Lucassen)

sionsverständnisses, gerade im Kontext schulischer Bildung, liegt vor allem darin, dass die Gruppe der Betroffenen in der sonder- und förderpädagogische Diagnostik, Förderung und Intervention bereits gut umrissen und beforscht ist.

Klassischerweise wird diesem engen Inklusionsbegriff der weite Inklusionsbegriff gegenübergestellt. Ein weiter Inklusionsbegriff betont, dass der Kern von Inklusion die Teilhabe aller am allgemeinen Bildungssystem ist. Als umfassend gesellschaftspolitisches Desiderat müsse Heterogenität als Qualität und nicht als Defekt verstanden werden. Insofern greife ein enger Inklusionsbegriff zu kurz. Weiterhin erlaube ein weiter Inklusionsbegriff Bezugnahme auf bildungspolitische Diskussionen der letzten Jahrzehnte, die die Überwindung von Benachteiligungen im Bildungssystem schon vor der Inklusionsdebatte im Blick hatten. Im Gegensatz zu einem engen Inklusionsbegriff, der ausschließlich auf die Inklusion von Menschen mit sonderpädagogischem Förderbedarf umfasst, nimmt ein weiter Inklusionsbegriff derzeit vier weitere Heterogenitätsmerkmale im Blick: Gender, Migrationshintergrund, Soziale Benachteiligung und Hochbegabung.

Als dritte Strömung gibt es den Ansatz der individuellen Förderung. Zunächst einmal ist das Konzept der individuellen Förderung losgelöst vom Inklusionsbegriff. In Folge dessen integriert der Ansatz explizit die Förderung Begabter im Schulsystem. Als weitere Stärke kann man anführen, dass er am ehesten die „De-kategorisierung“ von Schülerinnen und Schülern, die ja ein Desiderat von Inklusion ist, voranbringen könnte. Außerdem habe der Begriff eine positive Konnotation. Als Schwäche ist zunächst anzuführen, dass individuelle Förderung ein Grundanliegen der Erziehungswissenschaft und Aufgabe des Bildungssystems ist. Sie habe demzufolge zum einen keinen spezifischen Begriffsinhalt und zum anderen sei individuelle Förderung nicht mehr als ein Merkmal guten Unterrichts [7].

Unabhängig vom Inklusionsbegriff darf man sagen, dass der gleichberechtigte Zugang zu Bildungsmöglichkeiten in den naturwissenschaftlich-technischen Bereichen mit zunehmender Technisierung der Gesellschaft von besonderem Interesse sein muss [8].

3.Heterogene Lernvoraussetzungen im außerschulischen Bildungsort

Science Center als außerschulischer Bildungsort können Inklusion nicht nur für Schulklassen, sondern im Sinne einer Teilhabe aller fördern, insbesondere wenn sie einen Fähigkeiten-entdeckenden Ansatz verfolgen bzw. fördern [9]. Aus diesem Grund werden im Folgenden Gestaltungselemente vorgestellt, die im Rahmen des Projekts „Phänomenta Inklusiv“ identifiziert wurden und Rahmenbedingungen einer Teilhabe aller Akteurinnen und Akteure schaffen können.

4.Gestaltungselemente für eine selbstbestimmte Teilhabe

Unsere Beobachtungen und Analysen führten wir im Flensburger Science Center Phänomenta durch. Als wesentliche Voraussetzung für eine selbstbestimmte Teilhabe am Science Center Besuch identifizierten wir eine barrierefreie Gestaltung des Zugangs zum Gebäude, innerhalb des Gebäudes und in der Bedienbarkeit der Exponate. Im konkreten Fall stellten wir fest, dass für Rollstuhlfahrende das Gebäude weitestgehend barrierefrei ist. Eingeschränkt ist im konkreten Fall die **Barrierefreiheit** zunächst in Zuwegung zum Gebäude. Kopfsteinpflaster erschwert den Zugang für Rollstuhlfahrende, aber auch für Menschen mit anderen Gehhilfen, Kinderwagen und ebenfalls für Menschen mit Sehbeeinträchtigung gibt es keine Orientierungshilfen, den Weg zum Gebäude ohne fremde Hilfe zu finden. Idealerweise ist auch im Gebäude selbst ein Blindenleitsystem, um den Grad der Autonomie dieser Besuchendengruppe zu erhöhen.

In der Ausstellung selbst ist es weiterhin wichtig, dass die Exponate erreichbar sind – beispielsweise durch geeignete Tischhöhen oder durch Unterfahr-



Abb.2: Das Exponat „Lichtmischer“ erlaubt sowohl ein Spiel mit dem Mischen von Farben, als auch mit dem eigenen Schatten. (Bild: C. Lucassen)

barkeit der Exponate. Einerseits ist es schön, wenn Exponate kooperative Prozesse fördern, andererseits bringen Exponate wie Kugelbahnen, aus denen die Kugeln herauspringen oder von ihnen herunterfallen können, Hindernisse für unterschiedliche Beeinträchtigungen dar. Heruntergefallene Kugeln, die durch den Ausstellungsraum rollen, wieder einzusammeln, ist bei einigen Voraussetzungen unmöglich. Vor diesem Hintergrund empfinden einige Besuchenden es eher als demütigend, wenn sie fremde Menschen um Hilfe bitten müssen, da sie aus ihrem eigenen Vermögen ein „Missgeschick“ nicht kompensieren können. In Abbildung 1 sehen Sie, dass es aus einem Rollstuhl heraus fast unmöglich ist, die Kugelbahn zu bedienen. Noch komplizierter wird es, wenn mehrere Bahnen gleichzeitig operiert werden sollen und eine heruntergefallene Kugel wieder einzusammeln ist in dieser Situation nur schwer vorstellbar.

Eine interessante Station ist auch das Exponat „Gewichtstäuschung“ (Abb. 1). Es spielt mit der Kombination von Größe und Gewicht, und wie diese unser Gewichtsempfinden von Gegenständen beeinflussen. In der Phänomenta steht eine analoge Küchenwaage bereit, um seine Vermutung zu überprüfen. Abbildung 1 zeigt einen Menschen, der erblindet ist. Zwar unterliegt er der gleichen Täuschung wie Menschen ohne Sehbeeinträchtigung, seine Vermutung kann er mit dieser Waage allerdings nicht nachprüfen. Uns wurde vorgeschlagen, die Küchenwaage durch eine Balkenwaage zu ersetzen, weil an dieser ein Gewichtsverhältnis taktil abgelesen werden kann.

Wie bereits kurz angerissen, laden interaktive Exponate auch zur **Kooperation** unter den Besuchenden ein. Schülerinnen und Schüler einer Inklusionsklasse beispielsweise begannen ohne pädagogische Intervention in Kleingruppen die Exponate auszuprobieren. Eine Durchmischung der etablierten sozialen Substrukturen wurde uns von den begleitenden Lehrpersonen jedoch nicht bestätigt. An dieser Stelle



Abb.3: Tonempfindungen lassen sich an den Helmholtz-Resonatoren erkunden. Sie erschließen sich sowohl akustisch, als auch haptisch. (Bild: C. Lucassen)

ist es möglicherweise angebracht, Formate zu entwickeln, die Lehrkräften helfen einen Science Center-Besuch für ihre Klasse zu einem inklusiven Erlebnis zu machen.

Grundsätzlich erstreckt sich das pädagogische Angebot in Science Centern fast ausschließlich auf Workshops und Labore. Eine Begleitung durch die Ausstellung gibt es nicht. In vielen Science Centern steht jedoch unaufdringlich Personal bereit, das bisweilen auch durch die Ausstellung schlendert, um angesprochen zu werden und Fragen zu beantworten oder anderweitig Hilfestellung zu geben. Während einige Besuchende ihre eigene Begleitung mitbringen, wie der sehbehinderte Besucher in Abb. 1, kommen andere Menschen mit Behinderung allein. Bei einem gemeinsamen Besuch mit Menschen, die in einer Einrichtung für Behinderte leben, haben wir beobachtet, dass sie ohne Begleitung schnell das Interesse an der Ausstellung verlieren. Erschließen sie einen Raum oder ein Exponat mit **pädagogischer Begleitung**, interagieren sie mit einer größeren Anzahl an Exponaten. Es verlängert sich häufig auch die Kontaktzeit mit bestimmten Objekten und erwähnenswert ist ebenfalls, dass sich die Interaktion in der Gruppe zugunsten der Exponate verlagert, weil sich Privates in den Hintergrund verschiebt.

Science Center betonen immer wieder, dass ihre Ausstellung aus **Multisensorischen Exponaten** besteht (Abb. 2 und 3). Auch der Deutsche Museumsbund empfiehlt in seinem „Leitfaden Inklusion“ [10], Ausstellungen oder Exponate multisensorisch zu gestalten. Wir haben festgestellt, dass die Exponate im Science Center zwar Möglichkeiten zur Interaktion bieten, sensorisch jedoch überwiegend visuell funktionieren. Taktilität und Akustik des im Exponat realisierten Phänomens beispielsweise spielt meistens erst im zweiten Schritt eine Rolle.

5. Fazit und Ausblick

Wenn wir von der These ausgehen, dass Science Center zu sehr auf einen spezifischen „Normbesucher“ ausgerichtet sind [11, 12] und Devianz der Individuen zu wenig Berücksichtigung findet, ist es wichtig, wenn sich Science Center als inklusionsgerechte außerschulische Lernorte positionieren wollen, diese Zielgruppen stärker in den Blick zu nehmen. Nach den ersten Bestandsaufnahmen [Schulze Heuling] muss eine Strategie entwickelt werden, wie dies in den Science Centern umgesetzt werden und durch Begleitforschung evaluiert werden kann.

6. Literatur

- [1] Bertelsmann Stiftung, Beauftragter der Bundesregierung für die Belange behinderter Menschen, Deutsche UNESCO-Kommission, Sinn-Stiftung (Hrsg.) (2012): Gemeinsam lernen – Auf dem Weg zu einer inklusiven Schule. Gütersloh: Bertelsmann Stiftung.
- [2] Sturm, Sven. (2014): Altersabhängige Verhaltensunterschiede beim Experimentieren: Eine

- videografische Analyse vom Kindergartenkind bis zum Zehntklässler an physikalischen Experimentierstationen. Dissertation: Universität Flensburg, <https://www.zhb-flensburg.de/?id=16363> (Stand 5/2017)
- [3] Öhsen, Romina v.. & Schecker, Horst (2015): Inklusiver naturwissenschaftlicher Unterricht: Praxiserfahrungen an Bremer Schulen. In: S. Bernholt (Hrsg.), Heterogenität und Diversität - Vielfalt der Voraussetzungen im naturwissenschaftlichen Unterricht. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Bremen 2014 (S. 585-587). Kiel: IPN.
- [4] Schulze Heuling, Lydia (2017): Inklusive Bildungsräume in Science Centern - Eine multiperspektivische Bestandsaufnahme. In: PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung 2016.
- [5] Gesetz zu dem Übereinkommen der Vereinten Nationen vom 13. Dezember 2006. In: Bundesgesetzblatt Jahrgang 2008 Teil II Nr. 35, S. 1419-1457.
- [6] Klieme, Eckhard; Warwas, Jasmin (2011): Konzepte der Individuellen Förderung. Zeitschrift für Pädagogik 57(6), S. 805-818.
- [7] Gold, Andreas (2015): Guter Unterricht: Was wir wirklich darüber wissen. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht.
- [8] Schulze Heuling, Lydia (Hg.) (2017): Embracing the Other. How the Inclusive Classroom Brings Fresh Ideas to Science and Education. (Flensburg Studies on Inclusion and Diversity in Science and Technology Education, Volume 1). Flensburg: Flensburg University Press.
- [9] Becker, Ulrich, Wacker, Elisabeth & Banafsche, Minou (Hrsg.) (2013). Inklusion und Sozialraum. Behindertenrecht und Behindertenpolitik in der Kommune [Inclusion and Social Space. Disability Legislation and Disability Policies in the Community] Baden-Baden: Nomos (Max Planck Institute for Social Law and Social Policy Series, Vol. 59).
- [10] Deutscher Museumsbund (2013): Das inklusive Museum – Ein Leitfaden zu Barrierefreiheit und Inklusion. Berlin: Deutscher Museumsbund.
- [11] Dawson, E. (2014). Equity in informal science education: developing an access and equity framework for science museums and science centres. *Studies in Science Education*, 50(2), 209-247.
- [12] Hypatia Project (2016). <http://www.expecteverything.eu/hypatia/>. Letzter Zugriff: 19.05.2016.

Didaktische Rekonstruktion der Nukleosynthese schwerer Elemente

Albert Teichrew*, Roger Erb*, Kerstin Sonnabend⁺

*Institut für Didaktik der Physik, Goethe-Universität Frankfurt, Max-von-Laue-Str. 1, 60438 Frankfurt am Main

⁺Institut für Angewandte Physik, Goethe-Universität Frankfurt, Max-von-Laue-Str. 1, 60438 Frankfurt am Main
ateichrew@gmail.com, roger.erb@physik.uni-frankfurt.de, kerstin-sonnabend@gmx.de

Kurzfassung

Die Entstehung schwerer Elemente von Eisen bis Uran bleibt eine der wichtigen physikalischen Fragen des neuen Jahrhunderts. Dass der Ursprung der Materie bislang nicht im vollen Umfang im Unterricht behandelt wird, ist daher naheliegend. Es bietet sich jedoch an, das oft bestätigte Interesse an astrophysikalischen Inhalten zu nutzen und mithilfe der Nukleosynthese inhaltliche Aspekte der Themenfelder Kernphysik und Astrophysik zu verbinden. Aus diesem Anlass wurden in einer wissenschaftlichen Hausarbeit im Rahmen der Ersten Staatsprüfung Unterrichtsinhalte zum Neutroneneinfang bei der Entstehung schwerer Elemente entwickelt. Neben der Sachanalyse bildet eine Erhebung der Schülervorstellungen zu den Elementen, dem Urknall, den Sternen und der Radioaktivität das Fundament dieser Arbeit. Als Ergebnis werden Leitlinien formuliert und Lernaktivitäten vorgeschlagen, mithilfe derer bestehende Vorstellungen mit einer wissenschaftlichen Sichtweise erweitert werden. Das Kernstück der Unterrichtseinheit bildet ein angefertigtes Lernspiel, mit dem Schülerinnen und Schüler nach einer theoretischen Vorarbeit selbstständig Strukturen der Nuklidkarte zusammenstellen können. Eine reduzierte Form der Modellierung der relativen Häufigkeiten der Elemente, die im behandelten s-Prozess entstehen, wird ebenfalls vorgestellt.

1. Einleitung

Als Nukleosynthese wird die natürliche Entstehung schwerer Elemente aus ihren leichteren Vorgängern bezeichnet. Sie setzte unmittelbar nach dem Urknall ein und wird solange andauern, bis die letzten Sterne ausgebrannt sind. Die Temperaturen und Dichten, bei denen sie stattfindet, sind auf der Erde nur mit großem Aufwand realisierbar. Dennoch versucht der Mensch der Frage nach dem Ursprung der Materie auf den Grund zu gehen. In der Nuklearen Astrophysik werden dazu die Erkenntnisse des Mikro- und Makrokosmos vereint.

Mit der Behandlung der Nukleosynthese der Elemente, die schwerer als Eisen sind und aufgrund ihrer niedrigeren Bindungsenergie pro Nukleon nicht durch Kernfusion entstehen können, findet nicht nur ein Thema der modernen Physik Einzug in die Schule. Darüber hinaus wird eine erweiterte Sicht auf Radioaktivität gefördert. Schülervorstellungen zum radioaktiven Zerfall hängen oft mit der Aussendung gefährlicher Strahlung zusammen [1]. Dass sich Atomkerne dabei verändern und Materie durch kernphysikalische Prozesse eine andere Form annehmen kann, bleibt häufig unerkannt. Auch die Kernfusion in Sternen tritt im Unterricht als Energiequelle auf und nicht als Quelle der Elemente, aus denen wir bestehen. Die freigesetzte Energie hindert den Stern außerdem daran zu kollabieren. Die Auseinandersetzung mit der Nukleosynthese baut bei angehenden Abiturienten eine differenziertere Sicht auf die Struktur der Materie und unsere Existenz auf.

Inhaltliche Voraussetzungen, um physikalische Prozesse der Nukleosynthese zu behandeln, sind zum Ende der Oberstufe in den Themenfeldern Kern- und Astrophysik gegeben. Studien zu Interessen an naturwissenschaftlichen Inhalten und Kontexten deuten auf ein hohes Interesse sowohl von Schülerinnen als auch von Schülern an Astrophysik und spektakulären Phänomenen im Weltall [2]. Es bietet sich daher an, die Entstehung der Elemente in Sternen als übergeordneten Kontext im Vorfeld einzuführen und anhand dieser Fragestellung den Unterricht zu gestalten. Wichtige kern- und astrophysikalische Inhalte werden durch das Ziel motiviert, verschiedene Entstehungsprozesse zu verstehen.

2. Sachstruktur

Bereits in der Antike versuchten Philosophen alles, was uns umgibt, auf elementare Einheiten zurückzuführen. Die Auffassung, dass die Welt aus den vier Elementen Feuer, Wasser, Erde und Luft zusammengesetzt ist, hatte lange Bestand. Mittlerweile zählen weder Atome noch Kernbausteine zu den Elementarteilchen. Dennoch hängt unsere unmittelbare Umwelt in erster Linie von den chemischen Elementen und ihren Verbindungen ab.

Die Entstehung der ersten Protonen und Neutronen hängt mit der Urknall-Theorie zusammen. Das endliche und expandierende Universum wird darin bis zur Gültigkeit physikalischer Gesetze zurückverfolgt. Die primordiale Nukleosynthese setzte 10^{-4} s nach dem Urknall an, wo bei einer Temperatur von

10^{12} K Quarks und Antiquarks sich zu Protonen und Neutronen verbunden haben. Die Entstehung der leichten Elemente ging bis etwa 20 min nach dem Urknall weiter, solange die Temperaturen für Fusionen günstig waren. Ein Netz aus Fusionsreaktionen führte zu einem relativen Massenanteil von 25 % Helium zur Gesamtmasse im Universum, zu der hauptsächlich Wasserstoff gehört. Das elementare Prinzip während der Nukleosynthese nach dem Urknall liegt in der „Kondensation“ der Materie aus dem thermischen Gleichgewicht im Zuge der Expansion des Universums. Wie sich Wasser an den Wänden absetzt, wenn die Duschkabine geöffnet wird und mehr Wasserdampf kondensiert als verdunstet, so ist auch die Materie aus Energie in der heißen Phase des Urknalls kondensiert.

Weitere Abkühlung des Universums führte zur Vereinigung von Atomkernen und Elektronen zu neutralen Atomen. Wir beobachten noch heute die zu dieser Zeit freigewordene Strahlung als kosmische Hintergrundstrahlung, die uns aus allen Richtungen erreicht. Nach dem sogenannten Dunklen Zeitalter kam erst wieder Licht in das Universum, als die großen Gaswolken aus Wasserstoff und Helium unter ihrer eigenen Schwerkraft kollabierten und in den aufgeheizten Protosternen die Fusion von Wasserstoff zu Helium zündete. Abhängig von der Gesamtmasse treten weitere stellare Brennphasen auf. Sterne mit einer Masse größer als acht Sonnenmassen erleben alle stellaren Brennphasen bis zum Eisenkern. Der Kern kollabiert, sobald die Fusion aufhört und kein Strahlungsdruck mehr dem Gravitationspotential entgegenwirkt. Die äußeren Schichten stürzen nach innen und der Kern implodiert unter dem enormen Druck. Die Verdichtung führt zur Erzeugung von Neutronen aus Protonen und Elektronen. Es entsteht ein Neutronengas, das weiteres auf den Kern einstürzendes Material reflektiert. In der sogenannten Supernova entstehen durch vielfachen Neutroneneinfang schwerere Elemente als Eisen.

Doch auch während der Brennphasen hält ein niedriger Neutronenfluss an, der als sogenannter s-Prozess zur Entstehung schwerer Elemente beiträgt und am besten erforscht ist [3]. Bei einem Neutroneneinfang erhöht sich zunächst nur die Massenzahl A und es entsteht ein schwereres Isotop desselben Elements. Elemente können mehrere stabile Isotope haben, sodass weitere Neutroneneinfänge folgen. Liegt ein relativer Neutronenüberschuss vor, ist das entstandene Nuklid instabil. Der energetisch günstigere Zustand wird daraufhin durch einen β^- -Zerfall erreicht, indem ein Neutron in ein Proton unter Abgabe eines Elektrons und eines Antineutrinos umgewandelt wird. Es entsteht ein neues Element mit einer um eins erhöhten Protonenzahl. Die neuen Elemente werden wiederum durch weitere Abfolgen von Neutroneneinfängen und Zerfällen zu schweren Elementen umgewandelt.

3. Methodik

Die Nukleosynthese schwerer Elemente wurde im Rahmen des Modells der Didaktischen Rekonstruktion aufgearbeitet [4]. Sie beinhaltet drei wechselwirkende Teilaufgaben: Fachliche Klärung, Erfassung von Schülervorstellungen und didaktische Strukturierung. Lernen wird darin als aktive Modifizierung von Vorstellungen und Konzepten verstanden. Das vorgestellte Unterrichtskonzept leitete sich aus dem Vergleich von fachlichen Zielen und Schülervorstellungen ab. Angelehnt an die in der Sachstruktur grob geschilderten Inhalte, wurde die wissenschaftliche Perspektive auf die Nukleosynthese um vier Grundbegriffe konzentriert:

- a) Chemische Elemente, ohne deren klare Bedeutung die Frage nach ihrer Entstehung nicht sinnvoll verfolgt werden kann,
- b) Urknall, der die Startbedingungen für die Nukleosynthese festlegt,
- c) Sterne, die für die nötige Umgebung im weiteren Verlauf sorgen,
- d) Radioaktivität, die für viele Kernumwandlungen auf dem Weg zu den schweren Elementen verantwortlich ist.

In einer Befragung aller Physiks Schülerinnen und -schüler eines Jahrgangs der Oberstufe eines Gymnasiums ($N=40$) wurden Schülerperspektiven und Interessen bezüglich der vier Bereiche ermittelt. Daraus wurden Leitlinien und Unterrichtselemente für ein kontextorientiertes Vorgehen abgeleitet, dessen Kernelemente in einem selbst durchgeführten Unterrichtsversuch erprobt wurden. Damit soll gezeigt werden, inwieweit sich Nukleosynthese schwerer Elemente im Physikunterricht ansiedeln lässt.

4. Ergebnisse der Befragung

Bei der Auswertung schriftlicher Antworten zu offenen Fragen bezüglich der vier Grundbegriffe (z. B.: „Was verbinden Sie mit dem Begriff der Radioaktivität?“) wurden Kategorien gebildet. Diese teilen sich nicht nach „Fehlvorstellungen“ und fachlich richtigen Aussagen auf. Vielmehr beinhalten sie unterschiedliche Perspektiven auf den jeweiligen Begriff:

- a) Bei der Frage nach den chemischen Elementen lassen sich 37,3 % der Aussagen als Eintrag im Periodensystem ohne kennzeichnendes Merkmal kategorisieren. Die restlichen Aussagen beinhalten zur Hälfte entweder ein chemisches oder ein atomares Unterscheidungsmerkmal.
- b) Zum Urknall werden vorzugsweise Entstehungsprodukte wie Welt, Materie oder Raum und Zeit genannt (55,3 %). Entstehungsprozesse spielen eine untergeordnete Rolle und beinhalten vorwiegend physikalisch fragwürdige Aussagen.
- c) Bei den Vorgängen in Sternen bezieht sich die Mehrheit der Aussagen auf die Kernfusion (53,1 %). Bei den restlichen Aussagen handelt es

sich entweder um radioaktive, chemische oder makroskopische Vorgänge.

- d) Bei der Frage nach der Radioaktivität werden mehrheitlich technische Anwendungen und negative gesundheitliche Folgen aufgezählt (49,1%). Danach folgen wertneutrale Aussagen zu den verschiedenen Strahlungsarten (37,7%) und nur 13,2% der Aussagen beziehen sich auf Veränderungen im Atomkern.

Neben den Vorstellungen wurde auch das Interesse an mit diesen Begriffen verbundenen Fragestellungen in einer fünfstufigen Skala (1: „gering“ – 5: „sehr groß“) abgefragt. Die vier Fragestellungen hängen mit der Nukleosynthese zusammen, unterscheiden sich jedoch im gewählten Kontext:

- a) Wie sind die verschiedenen Stoffe (chemischen Elemente) entstanden?
- b) Welche Bedeutung haben die Sterne für die Herkunft der Materie?
- c) Wie hat sich das Universum seit dem Urknall entwickelt?
- d) Was spielt sich kernphysikalisch beim radioaktiven Zerfall ab?

Um das Interesse an dem Kontext abzuschätzen, wurden in Abbildung 1 Mittelwerte samt Standardfehler berechnet. Eine Varianzanalyse mit Messwiederholung (Sphärizität angenommen: Mauchly-W=.862, p=.349) zeigt, dass das angegebene

Interesse mit der vorgeschlagenen Fragestellung zusammenhängt ($F(3,117)=6.01, p<.001$). Bonferroni-korrigierte paarweise Vergleiche zeigen, dass das Interesse am Urknall ($M=4.00, SD=1.04$) signifikant höher ist als an den Elementen ($M=3.25, SD=1.37$) und an den Kernprozessen beim radioaktiven Zerfall ($M=3.28, SD=1.30$). Zwischen den anderen Fragestellungen unterscheidet sich das Interesse hingegen nicht signifikant.

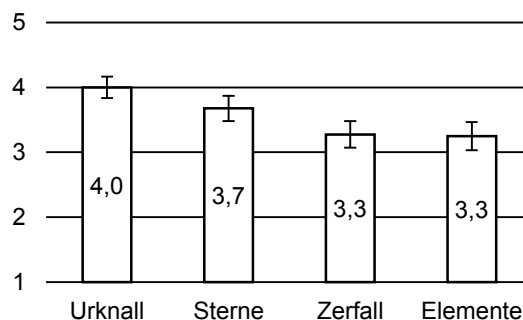


Abb.1: Mittelwerte des Interesses am Kontext.

5. Folgen für den Unterricht

Im Zuge der didaktischen Strukturierung wurden Leitlinien für einen Unterricht formuliert, der die ermittelten Vorkenntnisse der Schülerinnen und Schüler um die wissenschaftliche Perspektive erweitert. Tabelle 1 gibt Grundzüge der Ansichten und Leitlinien wieder.

Grundbegriff	Schülerperspektive	Wissenschaftliche Perspektive	Leitlinie für den Unterricht
Chemische Elemente	Sie stehen im Periodensystem und lassen sich zu Stoffen verbinden oder wieder trennen. → Verschiedene Grundstoffe aufgrund des chemischen Verhaltens.	Alle Atome eines Elements haben dieselbe Protonenzahl, von der die Elektronenhülle und ihr chemisches Verhalten abhängen. → Verschiedene Atomsorten aufgrund der Kernzusammensetzung.	Periodensystem als Anknüpfungspunkt wählen und das Ordnungssystem bewusst machen. Unterschiede zwischen Element, Isotop und Nuklid erläutern.
Urknall	Raum, Zeit und Materie ist aus dem Urknall entstanden und hat sich ausgebreitet. → Urplötzliches Ereignis, bei dem sich die Welt aus dem Nichts gebildet hat, worüber nichts Genaueres bekannt ist.	Zu Beginn des Universums bildeten sich durch Abkühlung des heißen Plasmas aus Strahlung und Elementarteilchen Protonen und Neutronen. → Wissenschaftlich greifbarer Entstehungsprozess.	Über die Beobachtung des endlichen, expandierenden Universums auf seine Anfänge schließen. Mit Einstein'scher Masse-Energie-Äquivalenz „Kondensation“ der Materie aus Energie anführen.
Sterne	Durch die Kernfusion in Sternen wird viel Energie, Licht und Wärme frei. → Energiequellen.	In stellaren Brennphasen fusionieren leichte Elemente zu schwereren. → Elementfabriken.	Art der Energie hinterfragen. Über Massendefekt und den Verlauf der Bindungsenergie pro Nukleon stellare Brennphasen und die Entstehung der Elemente bis Eisen begründen.
Radioaktivität	Radioaktive Stoffe senden gefährliche Strahlung aus, insbesondere nach einem Unfall in einem Atomkraftwerk. → Schädliche Eigenschaft eines begrenzten, aber technisch nutzbaren Teils der Materie.	Energetisch unausgeglichene Zusammensetzung eines Atomkerns führt zu seiner Umwandlung unter Abgabe entsprechender Strahlung. → Natürliche Eigenschaft aller Kerne und Teil des Entstehungsprozesses schwerer Elemente.	Beliebige Kernumwandlungen am Beispiel des Beschusses von stabilen Kernen behandeln und im Z-N-Diagramm verdeutlichen. Instabilität radioaktiver Nuklide im Hinblick auf Neutroneneinfänge und ihre Folgen diskutieren.

Tab.1: Leitlinien als Ergebnis des Vergleichs der Schülerperspektive und der wissenschaftlichen Perspektive.

Ergebnisse aus dem zweiten Teil der Befragung lassen auf ein höheres Interesse an astrophysikalischen als an kernphysikalischen Inhalten schließen. Trotz des hohen Interesses am Urknall wird die primordiale Nukleosynthese im Vergleich zur Sternentwicklung nicht als passender Kontext erachtet. Es handelt sich hierbei um einen begrenzten Abschnitt der Nukleosynthese, der im Rahmen des kosmischen Materiekreislaufs thematisiert wird. Unterrichtskonzepte und Beiträge, die das Leben massereicher Sterne behandeln, eignen sich allerdings als vorausgehendes Thema oder als Einstieg [5,6].

In meinem Unterrichtsversuch habe ich einen Kurzfilm verwendet, der im Auftrag der Max-Planck-Gesellschaft produziert wurde [7]. Darin wird unter anderem der Nachweis verschiedener Elemente in Sternüberresten eindrucksvoll geschildert. Daraufhin stellte sich die Frage nach den physikalischen Prozessen, die zur Entstehung dieser Elemente geführt haben. Stellare Brennphasen und das Maximum der Bindungsenergie der Kerne bei Eisen wurden dafür zu Beginn behandelt.

Für die anschließende Modellierung kernphysikalischer Prozesse der Nukleosynthese schwerer Elemente wurde zunächst die Ordnungszahl mit der Protonenzahl Z als Unterscheidungsmerkmal für die Elemente verknüpft. Für Kernreaktionen und Kernstabilität ist darüber hinaus die Neutronenzahl N entscheidend. Eine Anordnung möglicher Nuklide in einem Z - N -Diagramm wurde dadurch unabhängig von der Nuklidkarte motiviert. Die Pfeilrichtungen bei Kernreaktionen zeigten dabei stets verschiedene Entstehungsmöglichkeiten eines Nuklids auf und keine potentiellen Zerfallsarten, was man häufig als Legende auf Nuklidkarten findet. Solche Darstellungen wie in Abbildung 2 sind verwirrend, weil ein instabiles Nuklid in der Regel nicht alle Zerfallsarten ausführt.

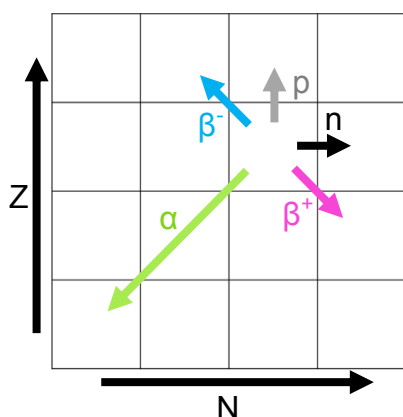


Abb.2: Zerfallsweise eines Nuklids.

Dasselbe Nuklid kann jedoch durch verschiedene Kernumwandlungen entstehen, was in Abbildung 3 mit Pfeilen in Richtung des Nuklids dargestellt ist. Eine bewusste Verwendung des Begriffs „Entstehungsweg“ unterstreicht die Bedeutung der Radioaktivität für die Entstehung der Elemente.

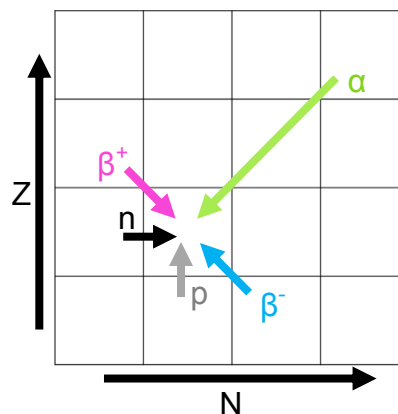


Abb.3: Entstehungswege eines Nuklids.

Neben dem α -Zerfall ist die Unterscheidung in β^+ - und β^- -Zerfall vorgenommen worden, da sich bei diesen Kernumwandlungen die Protonenzahl unterschiedlich verändert und andere Elemente entstehen. Hinzu kamen der Neutronen- und Protoneneinfang (n und p) als potentielle Kernreaktionen auf dem Weg zu schwereren Elementen. Mit dem Coulomb-Gesetz lassen sich Aussagen über die Wahrscheinlichkeit dieser Vorgänge vornehmen. Auf diesem Weg wurde das Modell der langsamen Neutroneneinfänge als potentieller Entstehungsmechanismus für schwere Elemente eingeführt. Im Folgenden werden qualitative und quantitative Modellexperimente vorgestellt, die zur eigenständigen Überprüfung der Theorie verwendet wurden.

6. Lernspiel

Die Nukleosynthese schwerer Elemente mit langsamen Neutroneneinfängen verläuft nach klaren Regeln: Ist das entstandene Nuklid stabil, wird es bei gleichbleibenden Neutronenfluss ein weiteres Mal um ein Neutron schwerer. Ist das entstandene Nuklid instabil, wird es sich nach einer bestimmten Zeit gemäß seiner Kernzusammensetzung umwandeln. Auf der Nuklidkarte erinnert es an Spielzüge, bei denen von einem Feld auf das nächste „gehüpft“ wird. Auf jedem Feld muss eine Entscheidung getroffen werden, welche Kernumwandlung bei den vorgegebenen Bedingungen passiert, welche „Weg“ die Nuklide einschlagen und welche Häufigkeiten sich daraus ergeben. Ist die Nuklidkarte vorgegeben, lassen sich der komplette Entstehungsweg und seine Lücken nach den Regeln des s -Prozesses schnell nachvollziehen. Umgekehrt lassen sich mögliche Nuklidstrukturen zusammenstellen und mit den realen Gegebenheiten vergleichen. Diese Idee führte zur Ausarbeitung eines Lernspiels mit dem Namen Nuklid-Domino:

Das Spielfeld stellt eine leere Nuklidkarte mit einem „Saatnuklid“ in der linken unteren Ecke dar. Die Spiel- oder Bausteine, aus denen die Nuklidkarte aufgebaut wird, bestehen jeweils aus einem stabilen und instabilen Nuklid. Sie ähneln in ihrem zweiteiligen Aufbau den klassischen Dominosteinen. Die schwarzen Kästchen stellen stabile Nuklide dar, die

im Inneren eines Sterns ein Neutron einfangen. Der Pfeil zeigt nach rechts zu einem Kästchen mit einem Neutron mehr als sein Vorgänger. Blaue und rote Kästchen stellen instabile Nuklide dar, die sich gemäß ihrer Position durch einen β^+ - oder β^- -Zerfall umwandeln. Die Pfeilrichtung ergibt sich aus der Umwandlung eines Protons in ein Neutron und umgekehrt. Die Bausteine in Abbildung 4 wurden ausgedruckt und zur besseren Haltbarkeit laminiert. Dem Beitrag ist eine Druckvorlage für Spielfeld und Spielset beigelegt.

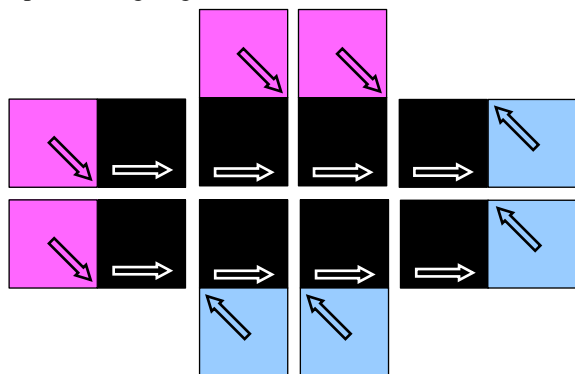


Abb.4: Zu jedem Spielfeld gehört ein Spielset aus acht Paaren stabiler und instabiler Nuklide.

Das Ziel des Lernspiels ist es, schwere Elemente zu modellieren. Übersetzt auf das Z-N-Diagramm bedeutet das, einen zusammenhängenden Weg nach rechts oben auszulegen. Zwei Spieler legen dazu abwechselnd Bausteine in das Spielfeld. Auf dem beigelegten Tagungsposter sind Beispiele für Schülerergebnisse aus dem Unterrichtsversuch abgebildet. Der Vergleich der vielfältigen Strukturen mit der Nuklidkarte bietet genügend Anlässe zur fachlichen Diskussion über die Stabilität der Kerne oder die Grenzen des Modells.

7. Modellierung der Häufigkeiten stabiler Nuklide

Darüber hinaus wird ein quantitatives Modell für den Unterricht vorgestellt, indem das Zustandekommen unterschiedlicher Häufigkeiten stabiler Nuklide im s-Prozess untersucht werden kann. Zu den Grundannahmen gehört ein kontinuierlicher Prozess mit einem konstanten Neutronenfluss und einer nicht abnehmenden Zahl an Saatnukliden. Der Zeitraum zwischen zwei Neutroneneinfängen soll so groß sein, dass in der Zwischenzeit jegliche β^- -Zerfälle erfolgen. Es stellt sich in diesem Fall ein Gleichgewicht zwischen den Häufigkeiten N benachbarter Nuklide mit den Massenzahlen $A-1$ und A ein. Die relative Häufigkeit zwischen zwei Nukliden hängt dabei nur von dem Verhältnis der Wirkungsquerschnitte für Neutroneneinfänge σ_{A-1} und σ_A ab:

$$\frac{N_A}{N_{A-1}} = \frac{\sigma_{A-1}}{\sigma_A} \quad \{1\}$$

Die Wirkungsquerschnitte können zu Wahrscheinlichkeiten $0 < p_A \leq 1$ für einen Neutroneneinfang während eines festen Zeitraums Δt umgerechnet werden. Damit lässt sich der dynamische Vorgang

darstellen, mit dem sich das Gleichgewicht einstellt. Die Anzahl der Nuklide nach einem Zeitabschnitt Δt setzt sich zusammen aus den Nukliden zum Zeitpunkt t reduziert um den Erwartungswert $N \cdot p$ der Nuklide, die ein Neutron einfangen, und erhöht um dem Erwartungswert der hinzugekommenen:

$$N_A(t + \Delta t) = N_A(t) - N_A(t) \cdot p_A + N_{A-1}(t) \cdot p_{A-1} \quad \{2\}$$

Diese Rechnung lässt sich mit einer Tabellenkalkulation iterativ für einige Nuklide ausführen. In Tabelle 2 sind für stabile Nuklide der Massenzahlen 102 bis 107 die Häufigkeiten relativ zum Saatnuklid Ru_{101} berechnet worden. Die Häufigkeit des Saatnuklids wurde auf zehn festgesetzt und die Wirkungsquerschnitte wurden dem Nuclear Data Service der IAEA entnommen [8].

A	101	102	103	104	105	106	107
σ_A in b	5,2	1,8	10,6	0,7	21,0	0,3	2,5
p_A	0,25	0,09	0,50	0,03	1,00	0,01	0,12
Iteration	N_{101}	N_{102}	N_{103}	N_{104}	N_{105}	N_{106}	N_{107}
0.	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5.	10,0	10,4	1,2	0,8	0,0	0,0	0,0
10.	10,0	17,1	2,5	4,8	0,1	0,2	0,0
20.	10,0	24,1	3,9	17,7	0,5	3,1	0,1
50.	10,0	28,6	4,8	51,0	1,7	31,2	2,6
100.	10,0	28,9	4,9	69,9	2,3	91,1	9,8
300.	10,0	28,9	4,9	74,3	2,5	168,3	20,1
600.	10,0	28,9	4,9	74,3	2,5	173,3	20,8
analytisch	10,0	28,9	4,9	74,3	2,5	173,3	20,8

Tab.2: Iterativ berechnete Häufigkeiten nähern sich einem Gleichgewichtszustand nach Gl. {1} an.

In Abbildung 5 ist die Entwicklung der modellierten Häufigkeiten aus Tabelle 2 in halblogarithmischer Darstellung veranschaulicht.

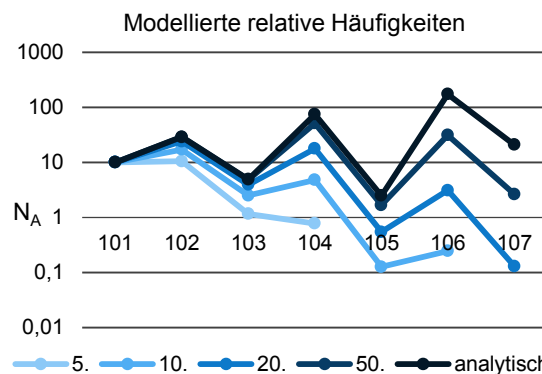


Abb.5: Modellierte Häufigkeiten relativ zu $N_{101} = 10$ in halblogarithmischer Darstellung.

Durch Neutroneneinfänge „wandern“ die Saatnuklide weiter, werden aber gleichzeitig von vorhergehenden Reaktionen neu gebildet. Je nachdem wie hoch die Reaktionsrate ist, verbleiben bei der einen Kernzusammensetzung mehr Nuklide als bei der

anderen. In der Chemie wird das Bild von zwei unterschiedlich schnellen Nachbarn verwendet, die sich gegenseitig Äpfel über den Zaun werfen. Egal wie die Verteilung am Anfang des Streits aussah, im Reaktionsverlauf wird sich ein vorhersehbares, dynamisches Gleichgewicht einstellen. Dieses Bild lässt sich auf nebeneinanderliegende Gärten erweitern, bei denen die Äpfel jeweils in den nächsten Garten weitergeworfen werden, wobei auf der Ausgangsseite der Vorrat an Äpfeln konstant bleibt. Je niedriger die Neutroneneinfangswahrscheinlichkeit, desto höher ist die relative Häufigkeit im Gleichgewichtszustand. Eine höhere Stabilität der Kerne bei geraden Massenzahlen führt zu dieser charakteristischen Zick-Zack-Struktur, die in der relativen Häufigkeit stabiler Nuklide im Sonnensystem gefunden wird.

8. Zusammenfassung

Im Rahmen der Didaktischen Rekonstruktion der Nukleosynthese schwerer Elemente wurden Leitlinien für einen Unterricht gesucht, der wissenschaftliche Perspektiven und Schülerperspektiven aufeinander bezieht und Vorstellungen zur Entstehung der Elemente nachhaltig erweitert. Als Ergebnis werden Grundvorstellungen der Nukleosynthese zu den chemischen Elementen, dem Urknall, den Sternen und der Radioaktivität formuliert:

- Die Kernzusammensetzung ist für die Eigenschaften der Materie verantwortlich.
- Nach dem Urknall bildeten sich Neutronen und Protonen als Folge der Expansion des Universums.
- In Sternen fusionieren Kerne zu den Elementen bis Eisen unter Freisetzung der Bindungsenergie.
- Schwerere Elemente entstehen durch sukzessiven Neutroneneinfang, wobei die Umwandlung radioaktiver Nuklide aufgrund ihrer Kernzusammensetzung eine wichtige Rolle spielt.

Für den Einstieg werden als Kontext die Entwicklung eines massereichen Sterns und der Nachweis verschiedener Elemente in seinen Überresten vorgeschlagen. Ein Unterrichtsversuch konnte bestätigen, dass Lernende daraufhin kernphysikalische Fragen entwickeln, die als Grundlage für die Strukturierung des weiteren Unterrichts genommen werden:

- Ausgehend von Beobachtungen der Elemente in Überresten einer Supernova wird eine kernphysikalische Theorie ihrer Entstehung erarbeitet.
- Der Unterricht mündet in eine selbstständige Untersuchung der Nuklidlandschaft in einem qualitativen Modellexperiment und eine anschließende Modellierung der relativen Häufigkeiten.
- Die Ergebnisse werden wiederum mit den Beobachtungen verglichen.

Bislang konnte der Gesamtverlauf und das Potential der Lernaktivitäten nur ansatzweise überprüft wer-

den. Erweiterungen und aufwendigere Testverfahren sind nötig, bevor von einer erfolgreichen Verortung der Nukleosynthese schwerer Elemente im Oberstufenunterricht gesprochen werden kann. Dieser Beitrag unterstreicht jedoch die grundsätzliche Bedeutung des Themas für das Verständnis der Welt.

9. Literatur

- Neumann, S. (2013). Schülervorstellungen zum Thema Strahlung. Dissertation, Universität Wien. Url: http://othes.univie.ac.at/28457/1/2013-01-28_9901447.pdf
- Elster, D. (2007). In welchen Kontexten sind naturwissenschaftliche Inhalte für Jugendliche interessant? In: PLUS LUCIS 3/2007, S. 2-8. Url: https://www.univie.ac.at/pluslucis/PlusLucis/073/s2_8.pdf
- Rolfs, C. E.; Rodney, W. S. (1988). *Cauldrons in the Cosmos: Nuclear Astrophysics*. University of Chicago Press.
- Kattmann, U.; Duit, R.; Gropengießer, H.; Komorek, M. (1997). Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion - Ein Rahmen für naturwissenschaftsdidaktische Forschung und Entwicklung. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, Jg. 3, Heft 3, S. 3-18. Url: <http://archiv.ipn.uni-kiel.de/zfdn/jg3h3.htm>
- Scorza, C. (2011). Die Suche nach verborgenen Sternen. In: Wissenschaft in die Schulen! Url: <http://www.wissenschaft-schulen.de/sixcms/media.php/1308/WIS-2011-12MS-OffeneSternhaufen.pdf>
- Fischer, O. (2005). Supernovae und ihre Überreste - Makroskopische Ereignisse mit mikroskopischem Hintergrund. In: Wissenschaft in die Schulen! Url: <http://www.wissenschaft-schulen.de/sixcms/media.php/1308/supernova.pdf>
- Wettmarshausen, N.; Janka, H. T. (2013). Supernovae – Was passiert, wenn Sterne sterben? In: fluxfilm Filmproduktion Nicola Wettmarshausen im Auftrag der Max-Planck-Gesellschaft. Url: <http://fluxfilm.de/video/supernovae.html>
- Mughabghab, S. F. (2006). *Atlas of Neutron Resonances* Elsevier Science. Url: <https://www-nds.iaea.org/relnsd/NdsEnsdf/neutroncs.html>

Dem Beitrag beigefügte Medien:

- Druckvorlage: Nuklid-Domino für 2×2 Personen.
- Poster.

ELIXIER: Didaktische Konzeption einer kompetenzorientierten Mixed-Reality-Experimentierumgebung

Dorothee Ermel, Jürgen Kirstein, Sebastian Haase und Volkhard Nordmeier

Freie Universität Berlin, Didaktik der Physik
dorothee.ermel@fu-berlin.de, juergen.kirstein@fu-berlin.de, sebastian.haase@fu-berlin.de,
volkhard.nordmeier@fu-berlin.de

Kurzfassung

Das Projekt ELIXIER (Erfahrungsbasiertes Lernen durch interaktives Experimentieren in erweiterten Realumgebungen) wird im Rahmen des Förderschwerpunkts „Erfahrbares Lernen“ durch das BMBF gefördert. Es erfolgt in Zusammenarbeit mit Projektpartnern aus Forschung, Kreativwirtschaft und Lehrmittelindustrie. Ziel ist die Demonstration und Evaluation einer intelligenten Experimentierumgebung für Praktika, die eine nahtlose Lernbegleitung (Seamless Learning) über alle Phasen des Experimentierprozesses (Orientieren - Vorbereiten - Durchführen - Nachbereiten) ermöglicht. Der Lernprozess wird durch die Echtzeit-Analyse von Handlungen und Experimentzuständen und über die intelligente Vernetzung aller Komponenten im “Seamless Smart Lab“ (S2L) unterstützt. Eine tutorielle Assistenz begleitet den Experimentierzyklus und stellt bedarfsgerecht Informationen und weiterführende Hinweise zur Verfügung.

1. Ausgangslage

Digitalisierung nimmt eine zunehmende Rolle in allen Lebensbereichen ein. „Sie eröffnet dabei neue Zugänge zu Bildung und [...] ist eine Chance für die Verbesserung der Qualität der schulischen Ausbildung sowie der Hochschulbildung“ (Ladel et al. 2018). Somit ist die Bildung in der digitalen Welt, wie es die Kultusministerkonferenz (2016) formuliert, ein großes Thema. Die klassische Aus- und Weiterbildung steht einem rasanten technologischen Wandel in der Gesellschaft gegenüber, und die didaktischen Potentiale der Digitalisierung bleiben auch an Hochschulen oft ungenutzt (Schmid et al. 2017). Um das Potential ‚digitalisierter‘ Lehre für Hochschulen systematisch nutzen zu können, müssen zunächst didaktische und methodische Settings und ihr sinnvoller Einsatz für verschiedene Zielgruppen und Anlässe sowie deren Wirkungen erforscht werden (Salmi et al. 2016).

In den naturwissenschaftlichen Studienfächern sowie in der beruflichen Ausbildung sind experimentelle Praktika wichtiger Bestandteil. In empirischen Untersuchungen wurde wiederholt gezeigt, dass

- in traditionellen Praktika die verfolgten Ziele häufig nicht erreicht werden (Mühlenbruch et al. 2014; Theyßen 2000),
- Wissen im Vorfeld erworben werden muss und Skripte oft als einzige Quelle eine zentrale Rolle spielen (Hucke 1999),
- konventionelle Techniken der Vorbereitung in Form eines Skriptes nur eingeschränkt helfen (Zastrow 2001).

Im Bereich der Experimentalpraktika ist hierbei eine positive Entwicklung zu beobachten. Bezogen auf naturwissenschaftliche Grundpraktika wurden be-

reits unterschiedliche Vorhaben zur Verbesserung durchgeführt.

In einer Studie von (Kreiten 2012) wird z. B. zusätzlich zu den klassischen Skripten ein multimedialer Ansatz verfolgt; ähnlich wie im Projekt *Technology-Supported Labs* (Mühlenbruch et al. 2014). Beide Vorhaben kamen zu dem Ergebnis, dass eine multimediale Unterstützung in der Praktikumsvorbereitung lernförderlich sein kann. Auch weitere Konzepte, wie die Nutzung von *Augmented Reality (AR)* beim Experimentieren, wurden in ersten Studien als potentiell lernförderlich eingestuft (Bacca et al. 2014; Radu 2014). AR kombiniert Realität und Virtualität interaktiv, die Darstellung erfolgt in Echtzeit und registriert 3D-Objekte (Azuma 1997). Entscheidend hierbei ist, dass diese Erweiterung nicht statisch und einmalig, sondern kontinuierlich und angepasst an den aktuellen Standpunkt des jeweiligen Betrachters passiert (Dörner et al. 2013).

2. Ziele

Das Projekt ELIXIER hat somit zum Ziel, eine Unterstützung und Verbesserung experimenteller Praktika in Universitäten, Hochschulen und der beruflichen Bildung zu ermöglichen durch

- direkte Integration **multimedialer Elemente** in jeder Phase des Experimentierens und in das reale Experiment,
- automatisch generierte Interaktive Bildschirmexperimente (**IBE**, vgl. Kirstein und Nordmeier (2007)) des individuellen (realen) Experiments,
- **adaptive Unterstützung** des Experimentierprozesses durch Analyse von Handlungen und Experimentzuständen,

- intelligente Vernetzung aller Komponenten durch eine webbasierte Infrastrukturlösung (**Seamless Smart Lab**).

Das in der Abbildung 1 gezeigte ELIXIER-Zukunftsszenario soll den Nutzen einer im Sinne unseres Vorhabens erweiterten Mixed-Reality-Experimentierumgebung illustrieren: Ein didaktisch-technologisches Netzwerk aus realen Experimentiergeräten und virtuellen Komponenten unterstützt Lernende beim Experimentieren im Laborpraktikum durch eine adaptive Lernbegleitung.



Abb.1: Das reale Experiment im Praktikum wird simultan zum Experimentierprozess durch Aufprojektion multicodal augmentiert.

Die webbasierte Infrastruktur des "Seamless Smart Lab"-Systems (S2L) ermöglicht darüber hinaus die virtuelle Fortsetzung eigener Experimente über die zeitlichen und räumlichen Grenzen des Laborpraktikums hinaus im IBE-Format. Die im Projekt ELIXIER verfolgten Lösungsansätze haben zahlreiche didaktisch-technologische Innovationen für das Lehren und Lernen in realen wie auch in realitätsnahen (virtuellen) Laborumgebungen zum Ziel:

- Kontextbasierte tutorielle Assistenz für Lernende bei der Versuchsdurchführung als auch für Lehrende zur Vorbereitung.
- Nutzerfreundliche, kognitionsunterstützende MTI-Lösungen für reale Experimentierumgebungen, wie Sprachsteuerung, Tracking von Gegenständen, Sensorik zum Erfassen von Experimentzuständen, Aufprojektion von Hinweisen und Sprachausgabe.
- Anbindung vernetzter, intelligenter Lehrmittel und Laborausstattung (Smart Objects).
- Lernanalyse (*Learning Analytics*) über Interaktionsmuster und Sensordaten beim Experimentieren in der (erweiterten) Realumgebung.
- Webbasierte Infrastrukturlösung für intelligente Labore, zur effizienten Adaptierung des S2L-Konzepts auf neue Lern- und Trainingsszenarien.

Die im Vorhaben zu entwickelnden Demonstratoren dienen der methodischen Erforschung und Evaluati-

on mit verschiedenen Nutzergruppen (universitäre und berufliche Bildung). Machbarkeit und Mehrwert eines universell anwendbaren Lern- und Unterstützungssystems für Laborpraktika werden auf diese Weise in unterschiedlichen Nutzungskontexten untersucht und optimiert. Einen wesentlichen Forschungsschwerpunkt stellen dabei Aspekte der Usability, sowie Fragen der didaktischen Gestaltung der Lerninhalte und tutoriellen Assistenz dar.

3. Didaktische Konzeption

Im Teilprojekt „Didaktische Konzeption und Demonstration einer webbasierten Autoren- und Lernumgebung zur Verknüpfung realer und virtueller Erfahrung“ wurden didaktische und lerntheoretische Anforderungen untersucht und ein Konzept für eine Mixed-Reality-Experimentierumgebung entwickelt.

3.1. Kombination von Theorie und Realität

Im erfahrungsbasierten Lernen bildet die praktische, konkrete Auseinandersetzung mit dem Lerngegenstand den Ausgangspunkt für ein aktives, reflektives Lernen, das sowohl auf praktische Fähigkeiten als auch abstraktes Verständnis zielt. Hettmannsperger (2015) betont den positiven Nutzen multipler Repräsentationsformen zum tieferen Verständnis von Experimenten und der ihnen zugrundeliegenden Konzepte. „Beim Durchführen und Verstehen von Experimenten müssen Daten von physikalischen Phänomenen mittels unterschiedlicher externer Repräsentationen (wie Text, realistische, schematische und logische Bilder oder Formeln) dargestellt werden, um sie für individuelle und kooperative Denk- und Lernprozesse verfügbar zu machen“ (ebd., S. 5). Es ist daher vorgesehen, das Realexperiment durch virtuelle theoretische Hintergrundinformationen oder Prozesse anzureichern. Die Ausgabe erfolgt in unserem System mittels einer Projektion und auditiven Elementen (Abb. 2). Es wird somit ermöglicht, Informationen, die normalerweise nicht sichtbar sind, direkt in der realen Welt darzustellen. Somit wirken die virtuellen Objekte, als würden sie zur Realumgebung gehören (Azuma 1997). Auch die Bedienung



Abb.2: Ein Proband wird beim Aufbau eines Chemieexperiments unterstützt. Ortsnah werden ihm Hinweise für das weitere Vorgehen gegeben.

eines Gerätes oder der Aufbau einer Versuchsanordnung wird durch AR-Unterstützung direkt in der Realität erfahrbar. Anleitungen für Benutzerhand-

lungen werden so erheblich einfacher, da sie sich unmittelbar auf die realen Objekte oder Handlungen beziehen. Sprachliche Anleitungen in der Form "Bringen sie Schalter (20) in Position (3) und lesen dann Display (12) ab.", werden überflüssig. Zudem kann durch die multimediale AR-Unterstützung gezielt die Aufmerksamkeit der Lernenden visuell oder auditiv gesteuert werden, indem Bedienelemente oder Teile des Experiments hervorgehoben werden.

3.2. Lernplattform, Realexperiment und Nutzen- de interagieren

In den Lernszenarien des ELIXIER-Konzepts ist das Ausbilden handlungsorientierter Kompetenzen (z. B. für den Versuchsaufbau, das Bedienen von Geräten) zentral. Mit S2L werden unter Anleitung durch das System und mit erweitertem Feedback auch praktische, handlungsorientierte Fertigkeiten trainiert, welche nur am realen Gerät erlernt werden können. Die Lernenden verbinden diese realweltlichen Erfahrungen mit der im IBE gespeicherten Version, die das Experiment realitätsnah abbildet. Die integrierte Umgebung bietet zudem multiple Repräsentationen, die mit dem Experiment dynamisch verknüpft sind und so das Problemlösen sowie den Lerntransfer unterstützen (Abb. 3).



Abb.3: Beispielhafte Darstellung einer Mixed-Reality-Experimentierumgebung mit Aufprojektion.

Mit dem S2L-Konzept soll eine Verbesserung der handlungsorientierten Experimentierkompetenz und des verstehenden Lernens vom Praktikumsexperiment bis zum Trainingssystem erreicht werden. Handlungen der Lernenden werden während des Versuchsablaufs in der Realität direkt rückgekoppelt. Zum Beispiel sind Fehlbedienungen, Gefahrensituationen oder das Abweichen vom ‚idealen‘ Versuchsverlauf automatisch erkennbar. Das multimediale AR-Display des S2L lenkt die Aufmerksamkeit und blendet (animierte) Hinweise und Hilfen unmittelbar am Ort des Geschehens ein. Im digitalen Lernmaterial visualisiert das Zeigen auf einen Begriff oder ein grafisches Symbol das korrespondierende Objekt in der Realität – und umgekehrt. Ergänzende Inhalte (Erläuterungen, Handlungsanleitungen, Tests) lassen sich in der Bedarfssituation dynamisch bereitstellen und erhalten so eine für die

Lernenden unmittelbare Relevanz im realen Experimentierprozess.

3.3. Lernanalyse und tutorielle Assistenz

Wir gehen im Rahmen der inzwischen allgemein akzeptierten konstruktivistischen Auffassung vom Lehr-Lernprozess davon aus, adaptive Mixed-Reality-Lernumgebungen anzubieten, die einen erfahrungsbasierten, selbstgesteuerten Aufbau von Wissensstrukturen effektiv unterstützen. Ausgangspunkt für Lehr-Lernprozesse sind reale Probleme in authentischen Situationen, entsprechend den Ansätzen des „Situiereten Lernens“ (Fölling-Albers et al. 2004) und der „Anchored Instruction“ (AI) (Bransford et al. 1990). Das Forschungsgebiet der Lernanalyse (Chatti et al. 2012) beschäftigt sich mit der Aggregation, Analyse und Interpretation von Lerner*innen-Daten, mit dem Ziel, Lernfortschritte zu messen und zu verbessern. Die Echtzeit-Lernanalyse ermöglicht eine unmittelbare Rückmeldung über den Stand des individuellen Lernprozesses. Dies ist eine wesentliche Grundlage für die Personalisierung des Lernens oder die Steuerung tutorieller Assistenz. Im Vorhaben sollen auf dieser Basis neuartige Verfahren entwickelt und untersucht werden, welche Messgrößen, Interaktions- oder Handlungsmuster aus realen Laborszenarien als Indikatoren im Rahmen der Lernanalyse einbeziehen. Ausgehend von einer kontextorientierten Aufgaben- oder Problemstellung ist der Experimentierprozess durch die Phasen Planung, Durchführung und Nachbereitung gekennzeichnet. Über die enge Vernetzung von realer Erfahrung mit virtuellen Elementen der Lernumgebung lässt sich dieser Zyklus über die Präsenzphase in neuer Qualität erweitern. Es werden Anlässe geschaffen, erforderliches Wissen zu erarbeiten, und Möglichkeiten gegeben, dies bedarfsgerecht und individuell zu verfolgen. Das didaktische Konzept sieht beispielsweise vor, die theoretischen Grundlagen nicht im Lernmaterial voranzustellen, sondern erst dann bereitzustellen, wenn sich für die/den Lernenden ein Theoriebedarf aus der Notwendigkeit für die Problemlösung ergibt. Das kann z. B. bereits in der Planungsphase der Fall sein oder auch später im Experimentierprozess selbst, etwa bei Problemen bei der sachgerechten Handhabung eines Gerätes. Die Lernangebote sollen den Lernprozess begleiten, ohne fertiges Wissen vorzugeben. Sie integrieren Werkzeuge für den aktiven Kompetenzerwerb und bieten Funktionen zum Sammeln, Präsentieren und Strukturieren von Lernergebnissen.

4. Projektbegleitende Evaluation

In einem iterativen Prozess sollen das System und dessen Bestandteile evaluiert werden. Wir wählen dafür einen qualitativen Ansatz, der neben der Sicherstellung der Benutzerfreundlichkeit und Lernförderlichkeit auch die Einbettung des Systems in den Lern/Lehralltag und die Unterrichtssituation mit berücksichtigt. In den frühen Phasen des Projekts wurden bereits Mock-Ups der Demonstratoren sowie

der Autorenumgebung evaluiert (u. a. in Fokusgruppeninterviews mit Praktikumsleitern als Expert*innen, sowie Usability-Studien in Form geleiteter Walk-throughs, die Lernsituationen simulieren), um Expert*innenfeedback zur Systemfunktionalität zu erhalten. Im weiteren Verlauf werden die Prototypen der Demonstratoren heuristisch evaluiert und anhand vereinfachter Szenarien in Nutzerstudien untersucht. In der finalen Evaluation werden die Demonstratoren im Rahmen von videobasierten Studien probeweise in Experimentalsituationen eingesetzt. Mit Hilfe der Think-Aloud-Methode kann ein Einblick in die Denkprozesse der Lernenden gewonnen werden. Durch den Einsatz des S2L Prototypen im universitären Unterricht (z. B. in den Laborpraktika) werden zudem Erfahrungen dazu gewonnen, wie sich das System in den Lehralltag einfügt, wie es das Lernen verändert, und welche Maßnahmen für die optimale Integration in Lehr-Lernkontexte aus der Perspektive der Lehrenden notwendig sind. Aus den hier gewonnenen Einsichten können Empfehlungen zur Gestaltung künftiger S2L-Szenarien gewonnen werden, beispielsweise zur Positionierung und des Timings von Anweisungen im Experimentalaufbau, zur Dokumentation der Versuche im IBE.

5. Zusammenfassung

Das Projekt ELIXIER hat zum Ziel, ein nahtloses Lernen zu erlauben und den Wechsel zwischen verschiedenen Lernaufgaben und Lernorten zu unterstützen. Interaktive Bildschirmexperimente und die erweiterte Experimentierumgebung helfen, den Bruch zwischen theoretischer Vorbereitung und praktischen Anforderungen in physikalischen Praktika zu überwinden. Interaktive Medienbausteine ermöglichen das Experimentieren und Erkunden in Räumen und in Situationen, die in der Realität nicht zugänglich sind, und bieten eine hochgradige Modularität der interaktiven, webbasierten Inhalte.

6. Literaturverzeichnis

- Azuma, R. T. (1997). A Survey of Augmented Reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments* 6 (4), 355–385.
- Bacca, J., Baldiris, S., Fabregat, R., Graf, S. & Kinshuk. (2014). Augmented Reality Trend in Education: A Systematic Review of Research and Applications. *Educational Technology & Society* 17 (4), 133–149.
- Bransford, J. D., Sherwood, R. D., Hasselbring, T. S., Kinzer, C. K. & Williams, S. M. (1990). Anchored Instruction: Why We Need It and How Technology Can Help. *Cognition, education, and multimedia: Exploring ideas in high technology*, 115–141.
- Chatti, M. A., Dyckhoff, A. L., Schroeder, U. & Thüs, H. (2012). A Reference Model for Learning Analytics. *International Journal of Technology Enhanced Learning (IJTEL)* (4), 318–331.
- Dörner, R., Broll, W., Grimm, P. & Jung, B. (Hrsg.). (2013). *Virtual und Augmented Reality (VR/AR)*. Berlin: Springer-Verlag.
- Fölling-Albers, M., Hartinger, A. & Mörtl-Hafizovic, D. (2004). Situiertes Lernen in der Lehrerbildung. *Zeitschrift für Pädagogik* 50 (5), 727–747.
- Hettmannsperger, R. (2015). *Lernen mit multiplen Repräsentationen aus Experimenten. Ein Beitrag zum Verstehen physikalischer Konzepte*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Hucke, L. (1999). *Handlungsregulation und Wissenserwerb in traditionellen und Computergestützten Experimenten des physikalischen Praktikums*. Dissertation, Universität Dortmund. Dortmund.
- Kirstein, J. & Nordmeier, V. (2007). Multimedia representation of experiments in physics. *European Journal of Physics* 28 (3), S115-S126.
- Kreiten, M. (2012). *Chancen und Potenziale webbasierter Aufgaben im physikalischen Praktikum*. Dissertation, Universität zu Köln. Köln.
- Kultusministerkonferenz (Hrsg.). (2016). *Bildung in der digitalen Welt. Strategie der Kultusministerkonferenz*. Berlin: KMK Berlin.
- Ladel, S., Knopf, J. & Weinberger, A. (Hrsg.). (2018). *Digitalisierung und Bildung*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Mühlenbruch, T., Rehfeldt, D. & Nordmeier, V. (2014). TSL: Interventionsgestaltung im Nebenfachpraktikum.
- Radu, I. (2014). Augmented reality in education. A meta-review and cross-media analysis. *Personal and Ubiquitous Computing* 18 (6), 1533–1543.
- Salmi, H., Thuneberg, H. & Vainikainen, M.-P. (2016). Making the invisible observable by Augmented Reality in informal science education context. *International Journal of Science Education, Part B* 7 (3), 253–268.
- Schmid, U., Goertz, L., Behrens, J., Michel, L. P., Radomski, S. & Thom, S. (2017). *Monitor Digitale Bildung. Die Hochschulen im digitalen Zeitalter*. Gütersloh: Bertelsmann Stiftung.
- Theyßen, H. (2000). *Ein Physikpraktikum für Studierende der Medizin. Darstellung der Entwicklung und Evaluation eines adressatenspezifischen Praktikums nach dem Modell der Didaktischen Rekonstruktion*. Berlin: Logos Verlag.
- Zastrow, M. U. (2001). *Interaktive Experimentieranleitungen. Entwicklung und Evaluation eines Konzeptes zur Vorbereitung auf das Experimentieren mit Messgeräten im physikalischen Praktikum* (Studien zum Physiklernen, Bd. 18). Berlin: Logos-Verl. (Zugl.: Berlin, Humboldt-Universität, Diss., 2001).

Low Cost - High Fun. Messwerterfassung mit dem Raspberry Pi

Angela Fösel*

*Didaktik der Physik, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg
angela.foesel@fau.de

Kurzfassung

Neben dem Arduino hat kein Mikrorechnersystem in der letzten Zeit mehr Furore gemacht als der Raspberry Pi: Vor etwa 10 Jahren gründete der britische Computerwissenschaftler Eben Upton die Raspberry Pi Foundation mit dem Ziel, die nächste Generation (wieder) für das Programmieren zu begeistern; die Absicht, einen Computer zu entwickeln, hatten Eben Upton und seine Kollegen ursprünglich gar nicht. Dennoch wurden im Jahr 2007 erste Pläne entworfen für einen kostengünstigen Mini-PC, und fünf Jahre später kam das erste Exemplar auf den Markt. Wurde der Raspberry Pi ursprünglich entwickelt, um Schülerinnen und Schülern eine intensive Auseinandersetzung mit der Programmierung attraktiv zu gestalten und hierfür insbesondere auch eine kostengünstige Lösung bzw. Übungsmöglichkeit anzubieten, so stellte sich schnell heraus, dass der kleine Einplatinencomputer nicht nur Programmierern wie auch Tüftlern und Bastlern schier ungeahnte Möglichkeiten bietet: Zusammen mit diversen Hardware-Zusätzen kann er vergleichsweise einfach und vor allem preiswert zur computerge-stützten Messwerterfassung verwendet werden. In dem hier vorliegenden Artikel werden Möglichkeiten aufgezeigt, wie der Raspberry Pi eingesetzt werden kann für die Messung physikalischer Größen im Rahmen eines spannenden und kreativen Physikunterrichts. Dabei werden grundlegende didaktische Aspekte diskutiert wie das Lernen von, aber auch das Lernen über naturwissenschaftliche Arbeitsweisen; konkrete praktische Umsetzungen einer Messwerterfassung mit dem Einplatinenrechner werden im erläutern.

1. Einleitung

Neben dem Arduino hat kein Mikrorechnersystem in der letzten Zeit mehr Furore gemacht als der Raspberry Pi: Vor etwa 10 Jahren gründete der britische Computerwissenschaftler Eben Upton die Raspberry Pi Foundation mit dem Ziel, die nächste Generation (wieder) für das Programmieren zu begeistern; die Absicht, einen Computer zu entwickeln, hatten Eben Upton und seine Kollegen ursprünglich gar nicht. Dennoch wurden im Jahr 2007 erste Pläne entworfen für einen kostengünstigen Mini-PC, und fünf Jahre später kam das erste Exemplar auf den Markt. Beim Raspberry Pi der Version „Modell B“ (Broadcom-Chipset BCM 2835) wurde als CPU ein ARM1176JZF-S 700 MHz Prozessor mit (nur) einem Kern eingesetzt, als Grafikkarte war eine Broadcom Dual Core VideoCore IV GPU mit OpenGL-ES 1.1/2.0 und Full HD 1080p30 Auflösung verbaut. Der Raspberry Pi Modell B hatte einen 512 MB großen Arbeitsspeicher, verfügte über zwei USB 2.0-Anschlüsse und einen 10/100-Mbit-Ethernet-Netzwerkanschluss. Wie ein Mini-PC sah der erste Raspberry Pi nicht aus, und daran hat sich bei diesen Mikrorechnern auch bis heute nichts geändert. Im Wesentlichen handelt es sich beim Raspberry Pi um eine etwa scheckkartengroße Platine ohne Gehäuse und mit vielen

Anschlüssen, jedoch ohne Bildschirm und Tastatur. Im Februar 2015 wurde der Raspberry Pi 2 Modell B vorgestellt. Dieses Modell besitzt einen 1 GB großen Arbeitsspeicher und einen Vierkernprozessor vom Typ Broadcom BCM2836 auf ARM-Cortex-A7-Basis mit einer Taktfrequenz von bis zu 900 MHz. Die zwei USB 2.0-Anschlüsse wurden um zwei weitere ergänzt. Etwa ein Jahr später kam schließlich der Raspberry Pi 3 Modell B auf den Markt. Er erweitert das Vorgängermodell unter anderem um integriertes WLAN und Bluetooth Low Energy und hat eine schnellere CPU mit 64-bit-ARMv8-Architektur. Die Kosten für einen Raspberry Pi belaufen sich - ohne Netzteil und weiteres Zubehör - aktuell auf etwa 40 Euro (Raspberry Pi 2 Modell B) bzw. 50 Euro (Raspberry Pi 3 Modell B); erhältlich sind die Einplatinencomputer beispielsweise in Onlineshops für Technik und Elektronik wie Conrad Electronic (vgl. [1]) oder reichelt elektronik (vgl. [2]). Abb. 1 zeigt einen Raspberry Pi 2 Modell B ohne Netzteil und weiteres Zubehör, Abb. 2 dasselbe Exemplar mit WLAN-Adapter und Netzteil sowie eingesetzt in ein Gehäuse.

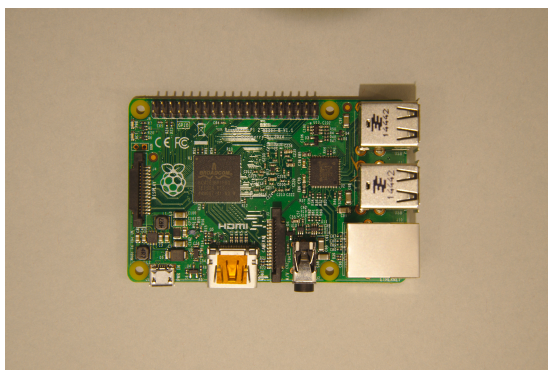


Abb. 1: Raspberry Pi 2 Modell B ohne Netzteil und weiteres Zubehör.



Abb. 2: Raspberry Pi 2 Modell B mit WLAN-Adapter (rechts im Bild) und Netzteil sowie eingesetzt in ein Gehäuse.

Wurde der Raspberry Pi ursprünglich entwickelt, um Schülerinnen und Schülern eine intensive Auseinandersetzung mit der Programmierung attraktiv zu gestalten und hierfür insbesondere auch eine kostengünstige Lösung bzw. Übungsmöglichkeit anzubieten, so stellte sich schnell heraus, dass der kleine Einplatinencomputer nicht nur Programmierern (vgl. hierzu beispielsweise das sechsmal im Jahr erscheinende Magazin „Raspberry Pi Geek“ [3]) wie auch Tüftlern und Bastlern (vgl. dazu vielfältigste Anregungen, wie sie unter anderem in der Zeitschrift „MAKE“ [4] gegeben werden) schier ungeahnte Möglichkeiten bietet: Zusammen mit diversen Hardware-Zusätzen kann er vergleichsweise einfach und vor allem preiswert zur computergestützten Messwerterfassung verwendet werden. Darüber hinaus macht es schlicht Spaß, mit einem Mikrorechner-System zu arbeiten, das den Namen „Raspberry Pi“ (englisch für „Himbeerkuchen“) trägt und mit dem Logo einer stilisierten Himbeere daher kommt.

Wir haben den Raspberry Pi für uns „entdeckt“ als eine extrem kostengünstige und vor allem sehr vielseitige Lösung, um ein „Low Cost - High Fun“-Messwerterfassungssystem zu konfigurieren mit Einsatzmöglichkeiten im Physikunterricht wie auch in

der studentischen Ausbildung an der Universität. Verwendet haben wir bislang ausschließlich den Raspberry Pi 2 Modell B.

Im Artikel werden Möglichkeiten aufgezeigt, wie der Raspberry Pi eingesetzt werden kann für die Messung verschiedenster physikalischer Größen im Rahmen eines spannenden und kreativen Physikunterrichts. Dabei werden grundlegende didaktische Aspekte diskutiert wie das Lernen von, aber auch das Lernen über naturwissenschaftliche Arbeitsweisen; konkrete praktische Umsetzungen einer Messwerterfassung mit dem Einplatinenrechner werden im Detail erläutert. Auf die Installation und Konfiguration des Raspberry Pi wird - im nachfolgenden Kapitel - nur insofern eingegangen, als es für eine Vorbereitung des Einplatinencomputers zur Messwerterfassung nötig ist. Details zu Hard- und Software wurden bewusst ausgespart und können in der gut sortierten Fachliteratur (vgl. beispielsweise [5], [6] oder [7]) nachgelesen werden.

2. Installation und Konfiguration des Raspberry Pi

Für das in diesem Artikel vorgestellte Low-Cost-Messwerterfassungssystem wird der Raspberry Pi in ein bestehendes Netzwerk per LAN-Verbindung eingebunden, und der Benutzer loggt sich per Fernzugriff vom PC aus auf dem Einplatinencomputer ein. Auf diese Option zielt auch nachfolgende Kurzbeschreibung einer Installation und Konfiguration des Raspberry Pi ab. Viele andere Möglichkeiten sind denkbar und sinnvoll; so mag es durchaus Vorteile haben, den Raspberry Pi unabhängig von externen Netzwerken als Access-Point aufzusetzen. Im Rahmen eines physikdidaktischen Artikels wird jedoch einer einfachen Lösung der Vorzug gegeben, um den Fokus auf die eigentliche Messwerterfassung legen zu können.

Das Betriebssystem für den Raspberry Pi wird von einer SD-Speicherkarte (micro-SD-Karte für den Raspberry Pi 2 B und Raspberry Pi 3 B) gestartet und muss dazu erst auf die Speicherkarte geschrieben werden. Die kleine Speicherkarte dient auch als (Daten -)Speicher für Programme und Daten anstelle einer Festplatte. Normalerweise ist sie nicht im Lieferumfang des Einplatinencomputers enthalten; bewährt haben sich Karten mit einer Speichergroße von 8 GB oder 16 GB und einem Datendurchsatz von 20 MB/s, wie ihn beispielsweise SD-Karten vom Typ „Class 10“ leisten können. Mittlerweise gibt es über 20 Betriebssysteme für den Raspberry Pi, mit Abstand am weitesten verbreitet jedoch ist das Debian-basierte Raspbian: Zum einen handelt es sich um das Betriebssystem, das offiziell von der Raspberry Pi Foundation unterstützt wird, was es effektiv zur Standarddistribution macht. Zum anderen wurde es von Beginn an auf das direkte Zusammenspiel mit der Raspber-

ry Pi Hardware hin optimiert. Zudem ist Debian eine sehr einsteigerfreundliche Linux-Distribution mit einer fensterbasierten grafischen Benutzeroberfläche, die es selbst Einsteigern leicht macht, sich an den Umgang mit der kleinen Platine schnell zu gewöhnen. Für die in diesem Artikel diskutierten Beispiele wurde der Raspberry Pi mit Raspbian „Jessi“ (Kernel-Version 4.1) ausgestattet; mittlerweile (Stand: Mai 2017) sind „Raspbian Jessie with Pixel“ und „Raspbian Jessie Lite“ (beide Kernel-Version 4.4) auf dem Markt. Die Betriebssysteme können von der offiziellen Webseite der Raspberry Pi Foundation [8] als beispielsweise .zip-Datei heruntergeladen und anschließend entpackt werden. Das Image wird dann vom PC aus auf die SD-Karte geschrieben. Unter Windows ist das z. B. mithilfe der freien Software „Win 32 Disk Imager“ [9] einfachst möglich.

Anschließend wird die SD-Karte in den Raspberry Pi eingeschoben, und der Einplatinencomputer wird per LAN-Kabel in das bereits bestehende Netzwerk integriert. Die Energieversorgung des Raspberry Pi geschieht über den Micro-USB-Eingang. Ein Netzteil ist normalerweise nicht im Lieferumfang enthalten. Es empfiehlt sich, ein „speziell für den Raspberry Pi geeignetes“ zu kaufen, denn erst die Berücksichtigung der speziellen Spezifikationen (stabilisierte Gleichspannung von 5 V bei 1,8 A bis 2,0 A maximaler Stromstärke) garantiert einen stabilen Betrieb des Einplatinencomputers. Einen Ein-/Ausschalter hat der Mini-PC übrigens nicht: Wird er über das Netzteil mit Energie versorgt, so fährt er hoch. Ausschalten sollte man ihn allerdings, indem man mit dem Befehl `sudo shutdown -h 0` das Betriebssystem herunterfährt, und erst dann, wenn die OK-LED am Raspberry Pi blinkt, sollte der Einplatinencomputer von der Energieversorgung getrennt werden. Nach dem Hochfahren des Raspberry Pi besitzt dieser eine IP-Adresse, die er z. B. von einem Router des Netzwerks erhalten hat, der per DHCP die IP-Adressen in diesem Netzwerk verteilt. Diese IP-Adresse des Einplatinencomputers wird benötigt, um vom PC aus eine Remote-Verbindung zum Raspberry Pi herstellen zu können. Am einfachsten lässt sich die Adresse herausfinden, indem man sich mit Adminrechten beim Router nach der IP-Adresse „erkundigt“. - Häufig ist der Router eine Fritzbox, die durch folgende Eingabe in der Adressleiste des Browsers erreichen werden kann: `http://fritz.box`. Alle im Netzwerk erkannten Geräte werden mit IP-Adresse gelistet, so auch der Raspberry Pi. Mit der freien Software „PuTTY“ (Download über [10]) und unter Angabe der IP-Adresse des Raspberry Pi gelingt per Secure Shell ein Fernzugriff auf den Mini-PC. Der Benutzername für den Einplatinencomputer lautet standardmäßig „pi“, das Passwort ist auf „raspberrypi“ gesetzt.

Nach der Eingabe der Zugangsdaten sollte der

Raspberry-Pi konfiguriert werden; der Befehl `sudo raspi-config` führt direkt zum *Raspberry Pi Configuration Tool*. Das Debian-Image ist für SD-Karten mit einer Größe von 2 GB ausgelegt. Daher wird bei einer größeren SD-Karte der Speicherplatz nicht voll ausgenutzt. Mit *Expand Filesystem* wird die Systempartition an die tatsächliche Größe der SD-Karte angepasst. Unter *Advanced Options* über die Option *Hostname* bekommt der Raspberry Pi eine eindeutige Bezeichnung, unter der er im Netzwerk erscheint. Standardmäßig heißt der Raspberry Pi „raspberrypi“; über diesen Namen kann der Mini-PC auch im lokalen Netzwerk angesprochen werden. Zur Vermeidung von Namenskonflikten sollten unterschiedliche Einplatinencomputer allerdings auch voneinander unterscheidbare Bezeichnungen bekommen; im Klassenverband bieten sich beispielsweise an „raspiarbeitsplatz1“, „raspiarbeitsplatz2“, ...

Für eine Messwerterfassung mit dem Raspberry Pi muss es möglich sein, weitere Hardware, z. B. Sensoren, an den Einplatinencomputer anschließen zu können; eine ordnungsgemäße „Kommunikation“ setzt die Aktivierung entsprechender Schnittstellen voraus. Viele Sensoren und andere Geräte arbeiten beispielsweise über die so genannte I2C-Schnittstelle, um Daten auszutauschen. Am Raspberry Pi befinden sich zwei I2C-Schnittstellen bzw. zwei I2C-Kanäle. Sofern entsprechende Sensoren eingesetzt werden sollen, kann eine Aktivierung von I2C einfach über die Option *I2C* unter *Advanced Options* erledigt werden. Analoges gilt für die SPI-Schnittstelle. Wirksam werden alle im Konfigurationstool vorgenommenen Änderungen übrigens erst nach einem Neustart des Raspberry Pi. Die Installation und Konfiguration des Raspberry Pi sollte mit einer Systemaktualisierung über die Kommandos `sudo apt-get update` und `sudo apt-get upgrade` abgeschlossen werden. Mit dem zweiten der beiden Befehle werden neue Pakete (Programme, Bibliotheken und Treiber) aus dem Internet geladen; der Raspberry Pi muss hierzu daher eine Verbindung ins Internet haben.

Sehr gute und vor allem ständig aktuelle Tipps zu Soft- und Hardware sowie zu Installation und Konfiguration des Raspberry Pi finden sich auch auf der offiziellen Webseite der Raspberry Pi Foundation [8].

3. Messwerterfassung mit dem Raspberry Pi

3.1. Temperaturmessung

Anhand der physikalischen Größe Temperatur werden wir in diesem Kapitel ausführlich erläutern, wie eine Messwerterfassung mit dem Raspberry Pi erfolgen kann. Das vorgestellte System stellt damit eine Alternative zu einem kommerziellen Messwerterfassungssystem, beispielsweise dem CASSY-System der Firma Leybold, in Kombination mit einem entsprechenden Temperatursensor dar. Typische Anwendungen im Physikunterricht mögen die Erarbeitung des so genannten „Erwärmungssatzes“ sein oder auch die Untersuchung des Energieaustausches zwischen zwei Flüssigkeiten unterschiedlicher Temperatur. Bei der Konzeption und Inbetriebnahme eines solchen „Low Cost“-Messwerterfassungssystems eventuell auftretende Herausforderungen sehen wir dabei durchwegs nicht als Lernhemmnisse; vielmehr fördern sie in besonderer Weise den Umgang mit naturwissenschaftlichen Arbeitsweisen: So wird nicht nur die Methode „Messen“ gefördert, sondern es wird auch viel über die naturwissenschaftliche Arbeitsweise „Messen“ gelernt.

Darüber hinaus kann bei dem von uns gewählten experimentellen Setup eine (von mehreren) Möglichkeiten einer Messbereichserweiterung thematisiert werden. Generell wird im Rahmen einer jeden computergestützten Messwerterfassung zur Registrierung einer physikalischen Größe ein geeigneter Sensor benötigt. Viele dieser Sensoren liefern ein (analoges) Spannungssignal, das zur Messgröße in definierter Abhängigkeit steht und das später im Computer in die Messgröße umgerechnet wird. Konkret zur Registrierung der Temperatur im Rahmen einer Messwerterfassung mit dem Raspberry Pi haben wir uns für den bereits kalibrierten (analogen) Temperatursensor LM35 (LM35CZ) entschieden: Der Zusammenhang zwischen dem registrierten Spannungssignal und der Messgröße ist linear und wird vom Hersteller *Texas Instruments* mit $+10\text{ mV}/^\circ\text{C}$ angegeben (Datenblatt zum Temperatursensor LM35 siehe [11]). Der Temperatursensor LM35CZ kann beispielsweise bei Reichelt Elektronik [2] zu einem Preis von etwa 3 Euro erworben werden; der Zusatz „CZ“ in der Bezeichnung des Sensors kennzeichnet den Gehäusotyp. Eingangsseitig kann der Temperatursensor LM35 mit einer Spannung von 4 V bis 30 V versorgt werden; verwendet wurde die seitens des Raspberry Pi zur Verfügung gestellte Referenzspannung von 5 V.

Die Genauigkeit des Sensors wird mit $\pm 0,5^\circ\text{C}$ bei einer Referenztemperatur von 25°C angegeben; die Selbsterwärmung des Sensors ($0,08^\circ\text{C}$) ist vernachlässigbar. Der Messbereich des Temperatursensors LM35 liegt zwischen -55°C und $+150^\circ\text{C}$, jedoch ist eine messtechnische Erfassung negativer Temperaturen nur mit einer Erweiterung des Messaufbaus (\rightarrow „Messbereichserweiterung“, vgl.

Kapitel 3.3) realisierbar.

Da der Raspberry Pi nur digitale Signale verarbeiten kann, müssen die (analogen) Spannungssignale in digitale Signale umgewandelt werden. Diese Aufgabe übernimmt typischerweise ein so genannter Analog-Digital-Wandler. Wir verwenden für unser Messwerterfassungssystem den *Analog/Digital-Wandler MCP3208* des amerikanischen Halbleiterherstellers *Microchip* (Datenblatt zum AD-Wandler MCP3208 siehe [12]). Dieser IC verfügt über eine 12-Bit-Auflösung, d.h. bei Division der seitens des Raspberry Pi zur Verfügung gestellten Referenzspannung von 3,3 V durch die Anzahl der Bitkombinationen erhält man einen *Spannungswert pro Bit-Sprung* von $U = U_{REF}/4096 = 3,3\text{ V}/4096 \approx 810\ \mu\text{V}$. Wie bereits der Temperatursensor, so kann auch der A/D-Wandler z. B. über Reichelt Elektronik [2] kostengünstig bezogen werden. Die Abbildungen 3 und 4 zeigen den experimentellen Aufbau des „Low Cost - High Fun“-Messwerterfassungssystems, bestehend aus Temperatursensor LM35, A/D-Wandler MCP3208 und Raspberry Pi 2 Modell B. Temperaturen von $+2^\circ\text{C}$ bis 150°C können so messtechnisch erfasst werden.

Der Baustein ist in der Lage, acht Analogkanäle gleichzeitig zu verarbeiten; für die Registrierung positiver Temperaturen in Kombination mit dem Sensor LM35 wurde jedoch nur ein Kanal (CH0, vgl. Abb. 3) verwendet, und auch bei einer Erweiterung des Messbereichs auf negative Temperaturen wurden nur zwei der acht Kanäle genutzt. Um Störeinflüsse zu vermeiden, wurden nicht verwendete Eingänge auf die gemeinsame Gerätemasse (*Ground GND*) gesetzt (vgl. Abb. 3).

Für die Kommunikation des A/D-Wandlers mit dem Raspberry Pi bietet sich das Serial-Parallel-Interface (SPI) an. Die konkrete Realisierung erfolgt softwareseitig; bei der Wahl der Programmiersprache haben wir uns für „Python“ entschieden, der nativen Programmiersprache des Raspberry Pi. Der Code unseres Programms „temperaturmessung_1_kanal.py“ lehnt sich sehr stark an dem von Erik Bartmann in seinen Skripten „PiMeUp. Raspberry Pi - AddOn. Der A/D-Wandler MCP3008“ (siehe [13]) und „PiMeUp. Raspberry Pi - AddOn. Der A/D-Wandler MCP3208“ (siehe ebenfalls [13]) ausführlich diskutierten Programm zur Kommunikation des A/D-Wandlers mit dem Mini-PC an. Unter [16] findet sich eine konkrete Realisierung dieses Programms. Gestartet von der Konsole des Raspberry Pi aus mit dem Befehl `sudo temperaturmessung_1_kanal.py` und gestoppt über die Tastenkombination Strg-C werden die Messwerte für die Temperatur, die der Sensor LM35 registriert, zusammen mit der seit Beginn der Messung laufenden Zeit auf die Konsole geschrieben und auch in eine mit einem Zeitstempel versehene Textdatei.

3.2. Messung von Schall(wechsel)druck und Kraft

Die in Kapitel 3.1 vorgestellte Konzeption eines Messwerterfassungssystems auf Basis eines Raspberry Pi (2 Modell B) ermöglicht die Registrierung einer Vielzahl an physikalischen Größen: So kann der Temperatursensor LM35 durch nahezu jeden beliebigen anderen Sensor ausgetauscht werden, der ebenfalls ein (analoges) Spannungssignal liefert. Sinnvollerweise sollte ein solcher Sensor auch über die Referenzspannung des Raspberry Pi ($U_{REF} = 3,3\text{ V}$ oder $U_{REF} = 5\text{ V}$) gespeist werden können und eine maximale Spannung von $U_{OUT} = 3,3\text{ V}$ zurückgeben. Die Digitalisierung der Spannungssignale erfolgt dann wiederum mit dem MCP3208, und das bereits vorgestellte Programm übernimmt nach kleineren Änderungen im Code (z. B. Anpassung der `initFile`- und der `writeln`-Methode) weiterhin die Kommunikation des Mini-PC mit dem A/D-Wandler.

Eine ausführliche Diskussion konkreter Beispiele (Schall(wechsel)druck und Kraft) mit Einbettung in den Physikunterricht ist unter [16] zu finden.

3.3. Messbereichserweiterung und Erfassung negativer Temperaturen

In Kapitel 3.1 wurde intensiv das „Low Cost - High Fun“-Messwerterfassungssystem im Hinblick auf speziell eine Temperaturmessung vorgestellt. Anschließend wurde auf Literatur zu weiteren Beispielen verwiesen, wie das bestehende System verwendet werden kann, um weitere physikalische Größen zu erfassen und Messwerte zu speichern sowie sie zu analysieren. Zu einem Lernen über die naturwissenschaftliche Arbeitsweise „Messen“ gehört darüber hinaus auch die Kenntnis von Möglichkeiten einer Erweiterung des Messbereichs eines Messgerätes. In diesem Kapitel soll exemplarisch die Erweiterung des Messbereichs des Temperatursensors LM35 diskutiert werden. Damit eignet sich „Low-Cost - High Fun“-System beispielsweise auch zur Untersuchung des Temperaturverlaufs beim Schmelzen von Eis bzw. allgemein bei Aggregatzustandsänderungen.

Da der Temperatursensor LM35 die Temperatur linear in eine Ausgangsspannung umwandelt, ergibt sich für negative Temperaturen auch eine negative Ausgangsspannung. Das negative Temperaturlimit des Sensors liegt bei $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$, was einer Ausgangsspannung von -550 mV entspricht. Da der A/D-Wandler jedoch nur positive Eingangsspannungen erlaubt, muss der Messaufbau dahingehend verändert werden, dass eine ausreichend hohe und vor allem positive Potentialdifferenz erreicht wird: Zwischen Temperatursensor und Gerätemasse werden daher zwei Dioden vom Typ (beispielsweise) 1N914 eingebaut. Die maximale Stromstärke des LM35 ist auf $I_{max} = 60\text{ }\mu\text{A}$ begrenzt, so dass diese Dioden unterhalb ihres Arbeitspunktes betrieben werden und die Durchlassspannung einer einzigen Diode nur $0,48\text{ V}$ beträgt. Mit einer

Diode wäre somit die Messung negativer Temperaturen auf $-48\text{ }^{\circ}\text{C}$ limitiert, mit zwei Dioden lässt sich der komplette Temperaturbereich des Sensors nutzen. Abb. 5 zeigt den experimentellen Setup für die Messung negativer Temperaturen mit dem Sensor LM35 und lässt auch erkennen, dass nun zwei Messpunkte auf je einen Kanal des A/D-Wandlers (CH0 und CH1) geführt werden; die Temperaturmessung mit dieser veränderten Schaltung erfolgt dann mithilfe einer Differenzbildung der beiden Kanäle. Der Programmcode aus Kapitel 3.1 muss an den veränderten experimentellen Aufbau angepasst werden: Die Bit-Zahlen der Kanäle des MCP3208 werden nacheinander ausgelesen und in eine Temperatur umgerechnet, dann wird eine Differenz der beiden Temperaturen ermittelt. Die beiden Spannungswerte der Messpunkte sowie die Differenzspannung werden abschließend in eine Datei geschrieben und gespeichert. Somit ist es gut möglich, die Teilspannungen mithilfe eines Spannungsmessgerätes zu überprüfen, da sich die Temperaturen in einen Spannungswert umrechnen lassen. In [16] wird der entsprechende Code gelistet.

Um die Funktion des angepassten Messaufbaus zu überprüfen, wurde der Sensor mithilfe von Peltier-Elementen im negativen Temperaturbereich bis $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ getestet.

4. Zusammenfassung und Ausblick

Wir haben gezeigt, dass der Raspberry Pi zusammen mit diversen Hardware-Zusätzen vergleichsweise einfach und vor allem kostengünstig zur computergestützten Messwerterfassung verwendet werden kann, und somit unser Messwerterfassungssystem zu Recht den Titel „Low Cost - High Fun“ trägt. Im Artikel wurde der experimentelle Grundaufbau für die Verwendung von Sensoren vorgestellt, die analoge Spannungssignale liefern; der Analog-Digital-Wandler übernimmt dann die Aufgabe der Digitalisierung für den Mini-PC. Darüber hinaus gibt es eine Vielzahl an Sensoren, die „direkt“ digitale Signale liefern; Setup und Programmierung sind nun noch einfacher. Exemplarisch seien hier genannt der Ultraschallsensor HC-SR04 von Cytron Technologies für Abstandsmessungen oder der digitale Sensor DHT22 zur Messung von Temperatur und Feuchtigkeit von Adafruit.

Smartphone-Experimente zu gleichmäßig beschleunigten Bewegungen mit der App *phyphox*

Simon Goertz, Heidrun Heinke, Josef Riese, Christoph Stampfer, Sebastian Kuhlen

RWTH Aachen University

simon.goertz@rwth-aachen.de, heinke@physik.rwth-aachen.de, riese@physik.rwth-aachen.de, stampfer@physik.rwth-aachen.de, kuhlen@physik.rwth-aachen.de

Kurzfassung

Die Bedeutung von Smartphones in der heutigen Gesellschaft nimmt stetig zu. Fast alle Jugendlichen besitzen ein eigenes Smartphone und nutzen dies täglich. Vielen ist nicht bewusst, welche verschiedenen Sensoren in den modernen Smartphones integriert sind, die insbesondere zur Erfassung verschiedenster (physikalischer) Daten verwendet werden können. Fast alle Sensoren können über die an der RWTH Aachen entwickelte App *phyphox* (phyphox.org) ausgelesen werden. Zudem bietet diese App die Möglichkeit, Experimente zu editieren, die individuell auf Lerngruppen angepasst werden können. Im Beitrag werden zwei Experimente vorgestellt, die im Bereich der Mechanik für die Sekundarstufe II des Gymnasiums entwickelt wurden und dabei den Einsatz des Smartphones mit der App *phyphox* nutzen. Konkret sind ein Lehrerdemonstrationsexperiment auf der Luftkissenbahn und ein Schülerexperiment für den freien Fall konzipiert worden, in denen das Smartphone zur Erfassung von Weg-Zeit-Daten dient. In diesem Beitrag werden die App *phyphox* und die beiden konzipierten Experimente aus physikalischer und didaktischer Sicht dargestellt.

1. Motivation

In der heutigen Gesellschaft nimmt die Bedeutung von Smartphones stetig zu. Fast jeder Jugendliche (95% der 12- bis 19-Jährigen nach der JIM-Studie 2016 (vgl. [1], S. 8)) besitzt sein eigenes Smartphone und nutzt dieses täglich. Die Smartphone-Nutzer verwenden dabei vor allem die Kommunikations- und Unterhaltungsfunktionen ihres Gerätes, welche durch die Hersteller immer wieder erweitert und verbessert werden. Zu den vielen Nutzern der Smartphones zählen vor allem die Schülerinnen und Schüler (SuS). Diese legen nur sehr selten das Smartphone aus der Hand, sodass es häufig auch in der Schule verwendet wird, wenn auch nicht immer im Sinne des Unterrichts. Schafft man es nun, das Smartphone zu unterrichtsdienlichem Nutzen einzusetzen, können eine neue Motivation für die Schülerinnen und Schüler geschaffen und der Lehrkraft neue Möglichkeiten des Experimentierens eröffnet werden.

In den modernen Smartphones sind verschiedene Sensoren integriert, die insbesondere im physikalischen Kontext verwendet werden können. So können Experimente mit diesen Geräten durchgeführt werden, wobei die Smartphones zur Messwerterfassung dienen. Die Größe und das Gewicht vieler Smartphones lässt einen vielseitigen Einsatz in verschiedenen Versuchsaufbauten zu. Zum Auslesen der unterschiedlichen Sensoren stehen zahlreiche, oft kostenlose Apps zur Verfügung, wobei jede Anwendung meist nur auf einen einzigen Sensor zugreifen kann. Die an der RWTH Aachen entwickelte App *phyphox* (**physical phone experiments**), die die Funktionalität vieler verschiedener Apps plattformübergreifend in sich vereint und damit den Nutzern erhebliche Vorteile bietet, soll in diesem Artikel erläutert und in

zwei Schulexperimenten angewandt werden. Konkret werden zwei Smartphone-Experimente im Bereich der Mechanik vorgestellt, die sich mit gleichmäßig beschleunigten Bewegungen beschäftigen und damit in Nordrhein-Westfalen laut Lehrplan der Sekundarstufe II zuzuordnen sind (vgl. [2]).

2. Die App *phyphox*

In den App-Stores existiert eine Reihe von Smartphone-Apps für experimentelle Anwendungen, die jedoch nur einzelne Sensoren auslesen können. Eine Auflistung einiger für den Physikunterricht geeigneter Apps findet sich in einem Artikel von M. Hirth (vgl. [3], S. 47-50). Da jedoch jedes Smartphone über verschiedene Sensoren verfügt, stellen diese Apps eine große unübersichtliche Vielfalt für den Anwender dar. Die App *phyphox* kann auf fast alle Sensordaten zugreifen und diese graphisch einheitlich auf dem Handydisplay oder auf einem Laptop darstellen. Verschiedene physikalische Smartphone-Experimente können damit mit derselben App durchgeführt werden. Dies führt für Lehrkräfte und SuS zu einem deutlich reduzierten Aufwand bei der Installation und Einarbeitung in die nötige App und damit zu einer erhöhten Attraktivität des Einsatzes von Smartphone-Experimenten im Unterricht.

Phyphox ist am 2. Physikalisches Institut A der RWTH Aachen University entwickelt worden und seit dem September 2016 in den App-Stores von Google und Apple frei erhältlich. Die App ist von Sebastian Kuhlen programmiert worden.

2.1. Funktionen und Möglichkeiten

Diverse Funktionen von *phyphox* lassen diese App aus der Masse an vorhandenen Programmen zur Sen-

sorauslesung hervorstechen. Zu den typischen Sensoren eines Smartphones gehören u.a. ein Beschleunigungssensor, ein Gyroskop, ein Magnetfeldsensor und ein Mikrofon. In den neusten Geräten ist zudem noch ein Temperatur-, Druck- und Luftfeuchtigkeitssensor verbaut (vgl. [4], S. 4).

Die App ermöglicht dem Anwender einerseits auf die Rohdaten des Sensors zuzugreifen und andererseits in bereits implementierten Experimenten berechnete Ergebnisse darzustellen. So kann z.B. mit dem Experiment *Aufzug* die Geschwindigkeit sowie die gefahrene Höhe des Aufzuges mittels des Drucksensors bestimmt werden.

Neben dem Zugriff auf die vielen Sensordaten des Smartphones bietet die App die Möglichkeit eines Fernzugriffs. Damit kann die App vom Computer aus ferngesteuert werden, ohne ein im Versuch eingesetztes Smartphone weiter zu betätigen. So können Live-Messdaten auf dem PC verfolgt und ggf. über einen angeschlossenen Beamer präsentiert werden, was einen erheblichen Vorteil für Demonstrationsexperimente darstellt. Zudem können die Messdaten sehr einfach gesichert und beispielsweise per Mail oder Bluetooth an einen PC gesendet werden (Formate: Komma-getrennte Werte (CSV), Tabulator-getrennte Werte und als Excel-Format (xls)).

Ein weiterer großer Vorteil der App *phyphox* besteht darin, einfache eigene Experimente erstellen zu können. Für Lehrer-Anwender ist dies eine gute Möglichkeit, kleine Parameter eines Versuches zu verändern, wie z.B. die Sensorrate des Experiments oder die aufgenommene Datenmenge. Weitere Informationen rund um die App und ihre Features finden sich auf der entsprechenden Internetseite *phyphox.org*. Diese beinhaltet neben kurzen Erklärungen zu den Funktionen auch ein wiki zur App, das den Benutzern ermöglicht, Erfahrungen und Kenntnisse über *phyphox* auszutauschen. Neben der eingebauten Funktion, Experimente selbst zu erstellen bzw. Parameter zu variieren, ist es auch möglich, über einen in der App implementierten Editor¹ ganze Experimente selbst zu programmieren. Für Lehrer-Experten bietet dies vielfältige Optionen,

Versuche zu verändern oder sogar ganz neue komplexere Experimente zu erstellen. Dies eröffnet insbesondere auch die Chance, die Ausgabe der Messdaten des Experiments an den Vorkenntnisstand und das Lernziel für die konkrete Lerngruppe anzupassen. Eine Erklärung sowie Beispiele für selbst erstellte Experimente mit dem *phyphox*-Editor finden sich bei Götze et al. (vgl. [5]).

2.2. Mit Magneten zu Weg-Zeit-Daten

Viele (Smartphone-)Experimente im Bereich der Mechanik erfordern das Aufnehmen von Weg-Zeit-Daten. Deshalb wurde zu Beginn der Entwicklungsphase der hier vorgestellten Smartphone-Experimente nach einem tragfähigen Konzept für die Aufnahme solcher Messdaten in typischen Experimentiersituationen im Physikunterricht gesucht. Hierzu wurde die Nutzung verschiedener, prinzipiell geeigneter Sensoren des Smartphones in Betracht gezogen. Dabei erschien der Lichtsensor im Sinne des Lichtschrankenprinzips als potentiell geeignet, erwies sich aber bereits bei moderaten Geschwindigkeiten der bewegten Objekte als zu träge. Die alternative Verwendung des Beschleunigungssensors erbrachte aufgrund seiner hohen Empfindlichkeit keine zuverlässigen Ergebnisse.

Durch diese Erkenntnisse ist der Magnetfeldsensor ins Blickfeld geraten. Dabei dienen Magnete entlang der Bewegungsstrecke als Signalgeber für den Magnetfeldsensor des Smartphones. Wenn das Smartphone die Magnete passiert, ergeben sich im zeitlichen Verlauf des magnetischen Flusses Extrema, die später zur Auswertung verwendet werden. Anhand der Peaks kann der zeitliche Abstand beim Passieren der Magnete bestimmt werden. Durch den bekannten örtlichen Abstand der Magnete können aus beiden Größen Weg-Zeit-Daten ermittelt werden. Eine schematische Darstellung dieser Mess-Methodik ist in Abbildung 1 dargestellt. Die ersten Testläufe haben gute Ergebnisse geliefert. Daher wurde der Aufbau mit Magneten entlang einer Fahrbahn weiterverfolgt und optimiert.

Der in Smartphones verbaute Magnetfeldsensor ist in der Lage eine dreidimensionale Angabe des mag-

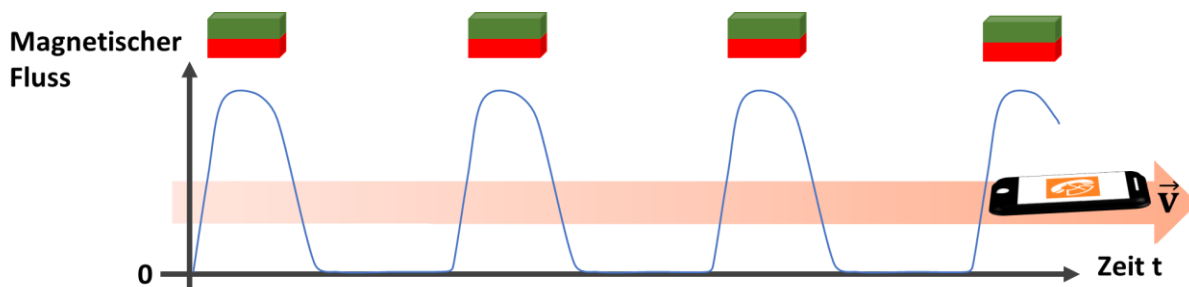


Abbildung 1: Schematisch dargestelltes Prinzip der verwendeten Methode zur Aufnahme von Weg-Zeit-Daten für eine gleichförmige Bewegung. Magnete entlang der Bewegungsstrecke dienen als Signalgeber für den Magnetfeldsensor, der die in blau dargestellte Kurve aufzeichnet. Anhand der Peaks des gemessenen Magnetfeldes kann man den zeitlichen Abstand zwischen den einzelnen Magneten bestimmen. Durch den bekannten örtlichen Abstand der Magnete ist es damit möglich, Weg-Zeit-Daten zu generieren und die Bewegung damit zu analysieren.

¹ Zugang zum Editor: <http://phyphox.org/editor/>

netischen Flusses zu liefern. Die für das Smartphone vorliegende Achsenausrichtung der Sensoren ist in Abbildung 2 gezeigt.

Die App enthält in der Standardversion das sogenannte Werkzeug *Magnet-Linear* in *phyphox*, welches die registrierten Signale äquidistanter Magnete entlang der Fahrbahn automatisch in Weg-Zeit-Daten umrechnet. Hierzu ist lediglich der Abstand der Magnete in der App einzugeben.



Abbildung 2: Koordinatensystem eines Smartphones. In diesem Koordinatensystem werden die Daten der Sensoren für die drei Raumrichtungen ausgegeben.

3. Demonstrationsexperiment

Im folgenden Abschnitt wird ein Smartphone-Experiment unter Nutzung einer Luftkissenfahrbahn vorgestellt. Es dient der Einführung in die gleichmäßig beschleunigte Bewegung sowie deren Gesetzmäßigkeiten.

3.1. Aufbau und Durchführung

Grundlage des Aufbaus ist die Luftkissenfahrbahn 337 501 von Leybold Didactic mit dem dazugehörigen Gebläse. Da an Schulen meist nur eine Luftkis-

senfahrbahn vorhanden ist, wird das Experiment typischerweise als Demonstrationsexperiment Verwendung finden.

In Abbildung 3 ist der für ein Smartphone-Experiment erweiterte schematische Aufbau gezeigt. Hauptbestandteil des Aufbaus ist neben der Luftkissenfahrbahn eine Holzleiste, an der Magnete angebracht worden sind (in den Testversuchen sind S-06-02-N Scheibenmagnete von supermagnete.de verwendet worden). Dabei sind Eisenschrauben in einem Abstand von 10 cm im Holz befestigt worden, woran die Magnete aufgrund ihrer magnetischen Wechselwirkungen haften bleiben. Um später möglichst jeden Magneten zu registrieren, sollten die Magnete mit gleicher Polung an den Schrauben befestigt werden. Die Holzleiste wird mit Stativmaterial so oberhalb der Fahrbahn platziert, dass sich der erste Magnet knapp vor der Startposition des Gleiters befindet und das Handy einen Abstand von ca. 5 cm zur Holzleiste aufweist. Dieser Abstand sollte bei Variation der Magnete ggf. verändert und durch einen Probelauf optimiert werden. Der Gleiter der Fahrbahn ist über eine Umlenkrolle mit einer Masse verbunden worden. Diese später lotrecht fallende Masse sorgt für die gleichmäßig beschleunigte Bewegung. Hierbei ist auf die richtige Fadenlänge zu achten, damit der Gleiter so lange durch die fallende Masse beschleunigt wird, bis diese auf den Boden aufkommt. Das Aufsetzen der Masse ergibt gleichzeitig die Position, an der der Gleiter gestoppt werden muss, damit ausschließlich eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung beobachtet wird. Weiter ist bei der Dimensionierung der Masse zu beachten, dass der Wagen mit einer nicht zu großen Geschwindigkeit an den Magneten vorbeigleitet, um die sichere Detektion der Maxima durch den Magnetfeldsensor zu gewährleisten. Bei der Wahl der fallenden Masse kann deshalb ein Blick auf die von *phyphox* wahrgenommenen Peaks im detektierten magnetischen Fluss hilfreich sein.

Das Smartphone wird mit einem Gummiband auf dem Gleiter zur Luftkissenfahrbahn befestigt. Eine

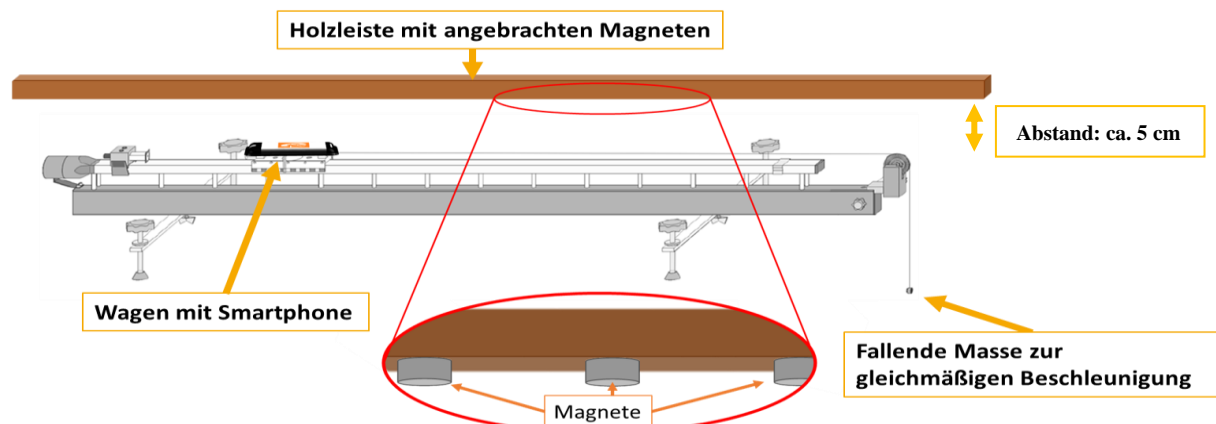


Abbildung 3: Schematischer Aufbau des Smartphone-Experiments auf der Luftkissenfahrbahn. Zur Inbetriebnahme der Luftkissenfahrbahn wird ein Gebläse benötigt. Auf dem Wagen zur Luftkissenfahrbahn, welcher über eine fallende Masse gleichmäßig beschleunigt wird, ist das Handy befestigt. Die fallende Masse ist über eine Umlenkrolle mit dem Wagen verbunden. Zudem ist für das Smartphone-Experiment eine Holzleiste vonnöten, an welcher äquidistante Magnete befestigt sind. Sie dienen als Signalgeber für den im Smartphone vorhandenen Magnetfeldsensor, sodass Weg-Zeit-Daten ermittelt werden können. Bild der Luftkissenfahrbahn aus [6], S. 4.

vergrößerte Ansicht des hier verwendeten Gleiters ist in Abbildung 4 gezeigt, welche die genaue Befestigung des Smartphones verdeutlichen soll. An den bereits vorhandenen Buchsen mit Fadenhaltern konnte das Gummiband angebracht werden. Zudem wurde eine Erhöhung durch zwei zylinderförmige 100 g-Massen geschaffen, sodass das Smartphone keine Kratzer durch die Fadenhalter erhält.

Für die Durchführung des Versuches muss nach dem erfolgreichen Aufbau kein großer Zeitaufwand eingeplant werden. Die Handlungsschritte in *phyphox* sind in einer erstellten Anleitung (über die Webseite zu *phyphox* zu erreichen) ausführlich beschrieben. In der App *phyphox* wird das Werkzeug *Magnet-Lineal* auf dem Smartphone gestartet und ein Fernzugriff zu einem PC eingerichtet. Es ist damit möglich, die Live-Messdaten über einen Beamer zu projizieren, um diese auch für eine größere Zahl von Beobachtern gut sichtbar darzustellen. Danach kann das Smartphone mit dem Gummiband nach Abbildung 4 auf dem Gleiter befestigt werden. Nachdem das Gebläse eingeschaltet worden ist, wird über den Computer das Experiment gestartet und der Gleiter losgelassen. Zum Abschluss einer Messung werden die Daten gespeichert.

Der Versuch kann sowohl vom Lehrer alleine als auch von einer kleinen Gruppe von SuS durchgeführt werden.



Abbildung 4: Aufbau des Wagens für das Smartphone-Experiment auf der Luftkissenfahrbahn aus zwei Perspektiven, (a) Bild von vorne, (b) Bild von schräg oben. Durch eine glatte Erhöhung wird das Smartphone vor Kratzern durch den Wagen geschützt. Die Befestigung des Smartphones erfolgt durch ein Gummiband, welches an den Fadenhaltern des Wagens befestigt wird.

3.2. Messergebnisse

In den Testversuchen zum Smartphone-Experiment auf der Luftkissenfahrbahn sollte die Reliabilität und Validität der gemessenen Daten überprüft werden. Hierzu ist der Versuch mit verschiedenen Massen mehrfach durchgeführt worden. Zur Verifizierung sind gleichzeitig Messdaten mit einem *Cassy*-Modul in Kombination mit dem Kombi-Speichenrad der Firma Leybold Didactic GmbH aufgenommen worden (vgl. Abbildung 5a).

Ein graphisch dargestellter Beispiel-Datensatz, der durch das Werkzeug *Magnet-Lineal* mit *phyphox* aufgenommen worden ist, ist in Abbildung 5a gezeigt. Zu erkennen sind die von *phyphox* erstellten Weg-Zeit-Daten, die in einem nächsten Schritt weiter analysiert werden.

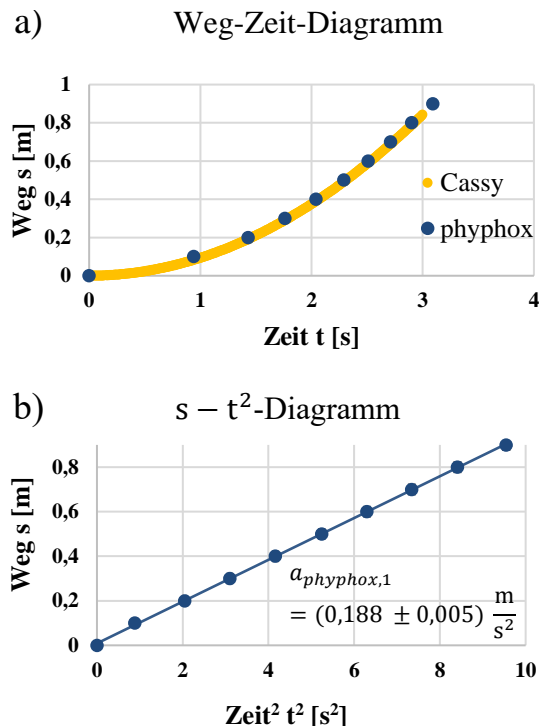


Abbildung 5: a) Weg-Zeit-Diagramm zu den Daten von *phyphox* (Werkzeug *Magnet-Lineal*) (blau) und *Cassy* (gelb). Aufgetragen ist der Weg in Abhängigkeit von der Zeit. b) Weg-Zeit²-Diagramm der Daten von *phyphox* zur Beispielmessung. Zudem ist eine Ausgleichsgerade (blau) zur Bestimmung der Beschleunigung eingezeichnet. Die Beschleunigung ist als doppelter Steigungswert berechnet und angegeben worden.

Der vermutete quadratische Zusammenhang zwischen Weg und Zeit wird überprüft, indem nun der Weg gegen die quadrierte Zeit aufgetragen wird. Dieser physikalische Ansatz findet sich in der Abbildung 5b wieder. Man erkennt den linearen Zusammenhang in der Graphik, der den vermuteten quadratischen Zusammenhang $s \propto t^2$ bestätigt. Zudem kann anhand der Steigung der Regressionsgeraden der Beschleunigungswert bestimmt werden.

Eine Auswertung über die quadrierte Zeit kann für SuS eine größere Hürde darstellen, da diese Größe nicht aus dem Alltag bekannt ist. Daher kann bei der Auswertung der Daten aus dem Weg-Zeit-Diagramm in Abbildung 5a auch ein alternativer, für SuS einfacher zugänglicher Ansatz verfolgt werden. Hierzu wird aus den Daten in Abbildung 5a ein Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm erstellt, welches in Abbildung 6 zu sehen ist. Die Geschwindigkeitsdaten ergeben sich dabei als Differenzenquotient aus den Weg-Zeit-Daten. Auch in Abbildung 6 lässt sich ein linearer Zusammenhang erkennen, dessen Steigung die Beschleunigung darstellt. Ein Vergleich der Daten in den Abbildungen 5b und 6 zeigt, dass dieser didaktisch naheliegendere Ansatz allerdings mit größeren Unsicherheiten bei der Ermittlung des Werts der Beschleunigung verbunden ist.

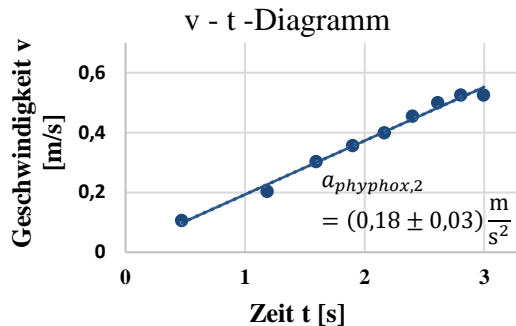


Abbildung 6: Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm der Daten von *phyphox* zur Beispielmessung. Zudem ist eine Ausgleichsgerade (blau) zur Bestimmung der Beschleunigung eingezeichnet. Dieser Beschleunigungswert ist angegeben.

Die experimentellen Daten belegen, dass das entwickelte Smartphone-Experiment auf der Luftkissenbahn sowohl reproduzierbar wie auch valide ist (siehe auch [7]).

4. Schülerexperiment

Aufbauend auf der in Abbildung 1 vorgestellten Methode mit Magneten Weg-Zeit-Daten aufzunehmen ist ein zweiter Versuch mit *phyphox* konzipiert worden. In diesem soll der freie Fall als Anwendung der gleichmäßig beschleunigten Bewegung zur Bestimmung der Erdbeschleunigung dienen.

4.1. Aufbau und Durchführung

Dieser Versuch soll von den SuS selbstständig durchgeführt und ggf. auch aufgebaut werden können. Daher ist auf einfach zugängliche Materialien im Aufbau geachtet worden.

In Abbildung 7 ist der Aufbau schematisch gezeigt. An einer 1,30 m hohen Stativstange werden im Abstand von 20 cm Markierungen für die Magnete angebracht. Diese Markierungen bestanden in den Testversuchen aus Kreppbandstreifen, die auch wieder leicht entfernt werden können, falls die Stange für weitere Zwecke verwendet werden soll. An den Markierungen werden Quadermagnete (in den Probeversuchen sind Q-20-10-05-N Quadermagnete von supermagnete.de verwendet worden) fixiert. Die Magnete haften gut an der Stativstange, die aus ferromagnetischem Material besteht. Im Gegensatz zum Luftkissenfahrbahn-Versuch aus Abschnitt 3 müssen hier stärkere Magnete verwendet werden, damit ein ausreichend großes Signal für das fallende Smartphone vorhanden ist. Durch die größere Haftkraft der Quadermagnete kann die in Schulen meist vorhandene Stativstange verwendet werden, da sich die Magnet-signale deutlich von der Stärke des magnetischen Flusses der magnetisierten Stange abheben. Dies war bei den kleinen schwächeren Scheibenmagneten nicht der Fall, weshalb für den Luftkissenfahrbahn-Versuch auf eine Holzleiste zurückgegriffen worden ist. Beim Anbringen der Magnete empfiehlt sich eine abwechselnde Polungsrichtung der Magnete, die das spätere Auswerten der Messdaten deutlich erleichtert.

Diese Auswertung kann aufgrund der hohen Geschwindigkeiten nicht von *phyphox* selbst mit Hilfe des Werkzeugs *Magnet-Linear* durchgeführt werden. Zudem ist eine geeignete Vorrichtung zum Auffangen des Smartphones erforderlich. Hierbei muss auf eine ausreichende seitliche Erhöhung sowie eine gute Polsterung geachtet werden, da das Smartphone aus einer Höhe von ca. 1 m frei fallen wird. In den Probendurchläufen hat sich ein Karton mit den Maßen Länge/Breite/Höhe: 37 cm/ 30 cm/ 18 cm bewährt, in dem sich ein dickes Kissen (ca. 8 cm) befindet. Alternativ kann der Karton auch mit einer weichen Jacke, einem Pullover etc. gepolstert werden. Die Stativstange wird so nah wie möglich an den Karton gestellt, damit das Smartphone sicher im Karton landet. Die Durchführung des Versuchs erfordert nach dem Aufbau nur einen geringen Zeitaufwand. Die genaue Beschreibung der Handlungsschritte in *phyphox* findet sich ebenfalls in einer Anleitung auf *phyphox.org*. In der App wird ein eigenes Experiment definiert, in dem die höchste Datenrate des Magnetfeldsensors ausgewählt wird (im derzeit neusten Update ist dies über das Rohdaten-Experiment bereits automatisch eingestellt). Anschließend kann optional ein Fernzugriff zu einem Computer oder einem anderen Endgerät eingerichtet werden. Das Smartphone wird mit dem Bildschirm nach oben, mit der langen Kante orthogonal zur Stange hin auf Höhe des obersten Magneten ausgerichtet und dort festgehalten. Dadurch kann in der Auswertung die Annahme getroffen werden, dass keine Anfangsstrecke s_0 sowie keine Anfangsgeschwindigkeit v_0 betrachtet werden müssen.

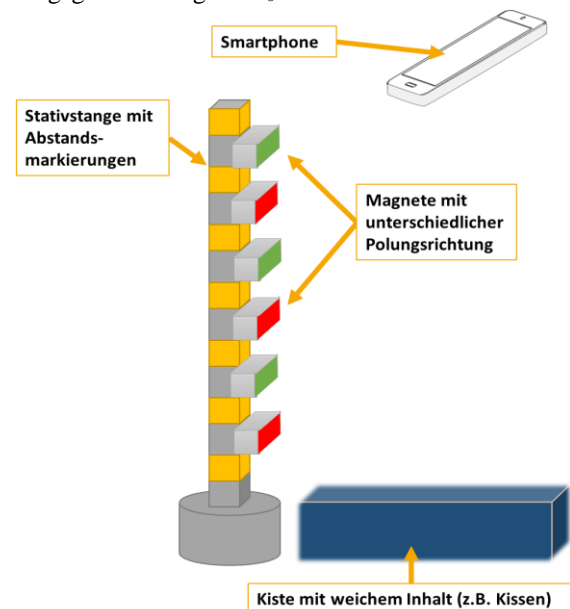


Abbildung 7: Schematischer Aufbau des Smartphone-Experiments zur Bestimmung der Erdbeschleunigung. An der Stativstange werden Markierungen für die Position der Quadermagnete angebracht. Die Magnete werden mit abwechselnder Polungsrichtung an der magnetischen Stativstange befestigt. Zudem ist eine Kiste mit weichem Innenleben (Kissen, Jacke oder Pullover) unterhalb der Fallstrecke des Smartphones platziert worden.

Nachdem die Messung (im eigens definierten Experiment) gestartet worden ist, wird das Smartphone losgelassen, wobei es beim Fallen seine horizontale Ausrichtung möglichst beibehalten soll. Im Anschluss an die Durchführung werden die Messdaten an den PC übertragen und dort als Excel-Datei gespeichert. Alternativ können die Messdaten als E-Mail versendet werden, sodass ein Öffnen und Bearbeiten auf dem Smartphone ebenfalls noch möglich ist.

4.2. Messergebnisse

Analog zum Luftkissenfahrbahn-Versuch soll auch dieses Experiment auf Reliabilität und Validität überprüft werden. Wie zuvor schon erwähnt, kann das Werkzeug *Magnet-Linear* aufgrund der hohen Geschwindigkeiten des fallenden Smartphones und der begrenzten Fallstrecken nicht verwendet werden, sodass die Auswertung manuell erfolgen muss.

Ein Beispieldatensatz ist in Abbildung 8 aufgetragen, wobei der vom Magnetfeldsensor des Smartphones gemessene magnetische Fluss als Funktion der Versuchszeit dargestellt ist. Zur Auswertung müssen nun die Extrema händisch ermittelt werden, sodass man die gewünschten Weg-Zeit-Daten erhält, wobei der Weg hier der Fallstrecke entspricht.

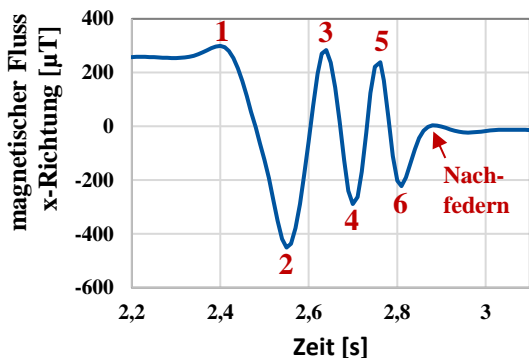


Abbildung 8: Auftragung der Magnetfeld-Daten in Abhängigkeit von der Zeit für die Beispielmessung. Es sind die einzelnen Peaks der Magnete (6 Stück) sowie durch das Nachfedern nach dem Aufprall ein zusätzliches Maximum zu sehen.

Sobald diese Weg-Zeit-Daten ermittelt worden sind, kann man analog zum Luftkissenfahrbahn-Versuch

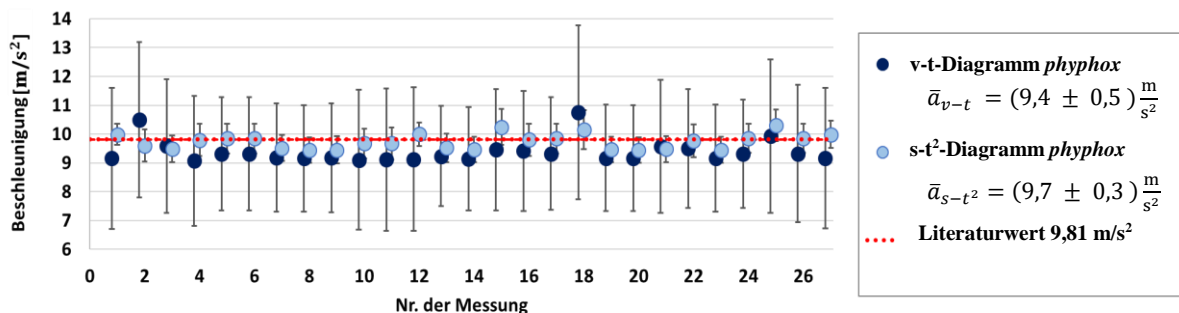


Abbildung 9: Ergebnisse von 27 Messungen zur Bestimmung der Erdbeschleunigung. Aufgetragen sind die bestimmten Beschleunigungswerte mit ihren Unsicherheitsintervallen. Sortiert nach Auswertungsmethoden: Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm (dunkelblau), Weg-Zeit²-Diagramm (hellblau) und der theoretische Wert (rot). Ebenso sind die Mittelwerte mit den Standardabweichungen zu den beiden Auswerteverfahren angegeben.

aus Abschnitt 3 zwei verschiedene Auswerteverfahren nutzen. Der Versuch ist insgesamt 27-mal durchgeführt worden, wobei zur Verifizierung der Literaturwert der Erdbeschleunigung von $g = 9,81 \frac{m}{s^2}$ herangezogen worden ist. Eine zusammenfassende Darstellung der gesamten Messergebnisse, die nach den beiden verschiedenen Auswertemethoden (Auftragungen der Fallstrecke über Zeit² bzw. der Fallgeschwindigkeit über der Zeit) ermittelt wurden, ist in der Abbildung 9 zu sehen. Folgende Mittelwerte haben sich ergeben:

$$\bar{a}_{s-t^2} = (9,7 \pm 0,3) \frac{m}{s^2} \text{ und } \bar{a}_{v-t} = (9,4 \pm 0,5) \frac{m}{s^2}$$

Sie bestätigen den Eindruck aus Abbildung 9, dass bei mehrfacher Messwiederholung die Erdbeschleunigung mit beiden Auswerteverfahren mit zufriedenstellender Genauigkeit ermittelt werden kann.

5. Materialien und Erfahrungen

Allgemein ist zu *phyphox* eine kurze Anleitung mit versuchsspezifischen Ergänzungen zusammengestellt worden.

Die in den vorherigen Kapiteln dargestellten Versuche werden durch verschiedene Unterlagen ergänzt, sodass der Einsatz im Schulalltag attraktiver und leichter gestaltet werden kann. Diese Unterlagen stehen zum kostenlosen Download über die Webseite *phyphox.org* zur Verfügung.

Zum Luftkissenfahrbahn-Versuch sind Arbeitsblätter und eine Lehrerhandreichung erstellt worden. Die Arbeitsblätter dienen dazu, die Messdaten aus dem Demonstrationsversuch zu sichern, um damit später weitere Auswertungs- und Lernschritte vollziehen zu können. Die Lehrerhandreichung soll der Lehrkraft in der Vorbereitung Unterstützung bieten, um einen reibungslosen Aufbau des Experiments und eine gelingende Durchführung zu gewährleisten. Zudem sind in dieser Handreichung Informationen zu den Arbeitsblättern aufgeführt, sodass eine individuelle Abstimmung auf die jeweilige Lerngruppe stattfinden kann. Das Experiment zum freien Fall wird ebenso durch Arbeitsblätter, eine vorprogrammierte Excel-Tabelle und eine Lehrerhandreichung ergänzt. Die Arbeits-

blätter sollen die SuS durch den Versuch sowie die anschließende Auswertung führen, um kontextbezogen die Erdbeschleunigung g zu bestimmen. Um die SuS bei der manuellen Auswertung der Magnetfeld-Zeit-Daten zu unterstützen, ist eine Excel-Tabelle erstellt worden, die bei diesen Schritten anleitend zur Seite steht. Abgerundet wird das Paket „Freier Fall“ durch eine Lehrerhandreichung, die wichtige praktische und methodische Hinweise zum Aufbau des Experiments, zur Durchführung sowie Informationen zu den Aufgaben auf den Arbeitsblättern enthält.

Der Versuch zum freien Fall ist im Rahmen eines physikalischen Praktikums mit Lehramtsstudierenden des 2. Semesters erprobt worden. Dabei haben die Studierenden die App *phyphox* sowie den Versuch mit den zugehörigen Materialien bewertet. Es hat sich dabei ergeben, dass keine sprachlichen oder inhaltlichen Schwierigkeiten in den Materialien empfunden worden sind. Die Studierenden haben in knapp 20 min die Daten der für die Fallstrecken benötigten Zeiten ermitteln können, sodass eine zeitliche Passung in eine Unterrichtsstunde gegeben scheint. Zur App *phyphox* hat es stets positive Rückmeldung gegeben. Besonders sind die einfache Bedienung, die genauen Messdaten sowie die vielen Funktionen von *phyphox* hervorgehoben worden.

6. Mögliche Einbettung in den Unterricht

Die beiden vorgestellten Smartphone-Experimente sind in sich unterschiedlich konzipiert, bauen jedoch in gewisser Weise aufeinander auf und können daher gemeinsam eingesetzt werden.

Der Luftkissenfahrbahn-Versuch ist aufgrund der meist an Schulen nur einmal existierenden Luftkissenfahrbahn als Lehrerdemonstrationsexperiment angedacht. Dieser erste Versuch dient dazu, die Formeln für die gleichmäßig beschleunigte Bewegung zu erarbeiten. Dabei soll die App *phyphox* den Lehrer unterstützen und einen neuen motivierenden Zugang für SuS zu einer Herleitung physikalischer Zusammenhänge schaffen. Die inhaltlichen Voraussetzungen, die die SuS mitbringen müssen, bestehen in der Kenntnis der Begriffe (Fahr-)Zeit, Strecke und Geschwindigkeit sowie ihres Zusammenhangs. Die Datenerfassung erfolgt über den Magnetfeldsensor des Smartphones. Magnete, die entlang der Fahrstrecke auf der Luftkissenfahrbahn als Signalgeber angebracht werden, sind die Grundlage für die Weg-Zeit-Daten, die mit der App *phyphox* errechnet werden. Den SuS soll die Methode des Magnet-Lineals anhand des Demonstrationsexperiments verdeutlicht werden, damit sie diese später in eigenen Versuchen anwenden können.

Im zweiten konzipierten Versuch zum freien Fall können die SuS die Methode des Magnet-Lineals anwenden. Dieser Smartphone-Versuch, der als Schülerexperiment entworfen ist, zielt auf die Bestimmung der Erdbeschleunigung ab. Dabei werden die Kenntnisse über die Gesetzmäßigkeiten der gleichmäßig beschleunigten Bewegung vorausgesetzt. Ebenso ist

es für den Versuch von großem Vorteil, wenn die SuS die oben benannte Methode „Magnet-Lineal“ kennen, da das zugrundeliegende Prinzip zur Datenerfassung und Auswertung benötigt wird. Die Auswertung erfolgt aus einem zu erstellenden Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm mit einer Ausgleichsgeraden. Dabei muss man voraussetzen, dass die SuS die Intervallgeschwindigkeit zwischen zwei Weg-Zeit-Punkten berechnen können.

7. Zusammenfassung und Ausblick

Smartphones stellen einen bedeutsamen Gegenstand im Alltag der Jugendlichen dar. Durch eine sinnvolle Einbeziehung dieser Geräte in den Unterricht eröffnen sich viele neue Möglichkeiten für die Gestaltung eines attraktiven naturwissenschaftlichen Unterrichts. In diesem Beitrag sind zwei Smartphone-Experimente für den Einsatz im Physikunterricht in der Sekundarstufe II im Bereich der Mechanik vorgestellt worden. Dabei sind Versuche sowie dazugehörige Materialien zu gleichmäßig beschleunigten Bewegungen konzipiert worden. In den Experimenten sollen Schülerinnen und Schülern wie auch Lehrkräften die Möglichkeiten eines Smartphones als Messinstrument für vielfältige physikalische Daten verdeutlicht sowie insbesondere die entwickelte App *phyphox* erläutert werden.

Der Versuch auf der Luftkissenfahrbahn dient zur Analyse der Gesetzmäßigkeiten der gleichmäßig beschleunigten Bewegung.

Die Einstellung des Fernzugriffes sowie die damit verbundene Hotspot-Einstellung erfordert auf jedem Smartphone andere Handlungsschritte, sodass dies im Vorfeld getestet werden sollte, um mögliche Probleme auszuräumen.

Eine Weiterentwicklung des Versuchs könnte an einer weitergehenden didaktischen Erprobung sämtlicher erstellter Materialien ansetzen. Dazu könnten Lehrkräfte den Aufbau sowie die Lehrerhandreichung und SuS das erstellte Arbeitsblatt erproben. Zudem könnte eine didaktische Untersuchung die Reaktion der SuS auf dieses Demonstrations-Smartphone-Experiment als Alternative zu einem „klassischen“ Lehrerdemonstrationsexperiment analysieren und Schlussfolgerungen für den Einsatz hervorbringen.

Der Versuch zum freien Fall kann aufbauend auf dem Luftkissenfahrbahn-Versuch eingesetzt werden. Die SuS sollen mit dem Schüler-Experiment selbstständig die Möglichkeiten des Einsatzes ihres Smartphones als Messinstrument erfahren und damit die physikalische Größe Erdbeschleunigung bestimmen.

Im Praxistest hat sich gezeigt, dass die Versuchsbeschreibung genau eingehalten werden sollte, um gute Messergebnisse zu erhalten. Ebenso stellt die Auswertung am PC über das Programm Excel eine neue Herausforderung dar, um die große Datenmenge aus dem Versuch zu analysieren und das gewünschte Ziel, die Bestimmung der Erdbeschleunigung, zu erreichen.

Eine Weiterentwicklung dieses Versuchs kann zu nächst ebenfalls an einer weiteren didaktischen Erprobung ansetzen. Hierbei sollte die Zielgruppe, die Einführungsphase eines Gymnasiums/ einer Gesamtschule, während der Versuchsdurchführung beobachtet werden, woraus neue Erkenntnisse gewonnen werden können.

Insgesamt können die Smartphone-Experimente viele neue Möglichkeiten des Experimentierens sowohl für die SuS wie vor allem auch für die Lehrkraft aufzeigen. Messungen in alltäglichen Situationen mit dem Smartphone, eine Verlagerung von Versuchen aus dem Physikraum in den Alltag, experimentelle Hausaufgaben oder auch eine Reihe von vorher schwer zu realisierenden Schülerexperimenten etc. gehören zu den vielen potentiellen Vorteilen des Smartphones im Kontext Physikunterricht. Natürlich müssen bestimmte Regelungen vorher getroffen und gewisse Aspekte beachtet werden, um einem Missbrauch vorzubeugen und ein sicheres Experimentieren zu gewährleisten. Durch eine offene Einstellung und einen Austausch von Erfahrungen können diese und weitere Experimente mit Smartphones, insbesondere mit der innovativen App *phyphox* (Webseite [phyphox.org](http://www.phyphox.org)), realisiert werden. Gemäß den Ausführungen von Thomas Wilhelm wird es möglicherweise bald zu der Aufforderung seitens der Lehrkräfte kommen: „Handy bitte einschalten!“ (vgl. [8]).

8. Literaturverzeichnis

- [1] Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest. *JIM-Studie 2016*. https://www.mpfs.de/fileadmin/files/Studien/JIM/2016/JIM_Studie_2016.pdf (Download 07.05.2017)
- [2] Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen (2014). *Kernlehrplan für die Sekundarstufe II, Gymnasium/Gesamtschule, in Nordrhein-Westfalen: Physik*. http://www.schulentwicklung.nrw.de/lehrpläne/upload/klp_SII/ph/KLP_GOSt_Physik.pdf (Download 20.04.2016)
- [3] Hirth, M., Hochberg, K., Klein, P., Molz, A., Kuhn, J. & Müller, A. (2015). Apps für den Physikunterricht. Geeignete Apps für Experimente mit Smartphones und Tablets. In: Kuhn, J. (Hrsg.) (2015). *Naturwissenschaften im Unterricht Physik*, Heft 145 (S. 47 - 50). Seelze: Friedrich Verlag.
- [4] Kuhn, J., Müller, A., Hirth, M., Hochberg, K., Klein, P. & Molz, A. (2015). Experimentieren mit Smartphone und Tablet-PC. Einsatzmöglichkeiten für den Physikunterricht im Überblick. In: Kuhn, J. (Hrsg.) (2015), *Naturwissenschaften im Unterricht Physik*, Heft 124 (S. 4-9). Seelze: Friedrich Verlag.
- [5] Götze, B., Heinke, H., Riese, J., Stampfer, C., Kuhlen, S. (2017). *Smartphone-Experimente zu harmonischen Pendelschwingungen mit der App phyphox*. In: PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung
- [6] Lehr- und Didaktiksysteme (o.J.). *Gebrauchsanweisung Lufikissenfahrbahn (337 501)*. <http://www.ld-didactic.de/documents/DE/GA/GA/3/337/337501d.pdf> (Download 26.08.2016)
- [7] Goertz, S. (2016). *Entwicklung von Smartphone-Experimenten zu gleichmäßig beschleunigten Bewegungen mit der App phyphox für den Einsatz in der Sekundarstufe II*. Bachelorarbeit, RWTH Aachen University, unveröffentlicht.
- [8] Wilhelm, Th. (2011). Handy bitte einschalten!. In: Wilhelm, Th. (Hrsg.) (2011), *Praxis der Naturwissenschaften Physik in der Schule*, Heft 7/60 (S. 4). Freising: Aulis Verlag.

Smartphone-Experimente zu harmonischen Pendelschwingungen mit der App *phyphox*

Benjamin Götze, Heidrun Heinke, Josef Riese,
Christoph Stampfer, Sebastian Kuhlen

RWTH Aachen University

benjamin.goetze@rwth-aachen.de, heinke@physik.rwth-aachen.de, riese@physik.rwth-aachen.de,
stampfer@physik.rwth-aachen.de, kuhlen@physik.rwth-aachen.de

Kurzfassung

Das Smartphone ist fester Bestandteil der alltäglichen Lebenswelt der heutigen Schülerinnen und Schüler. Aufgrund einer Ausstattung mit diversen Sensoren, die eine große Bandbreite physikalischer Daten erfassen können, sind die Einsatzmöglichkeiten des Messgeräts „Smartphone“ auch im schulischen Physikunterricht sehr vielfältig. Im Gegensatz zu den meisten auf dem Markt erhältlichen Apps kann die an der RWTH Aachen entwickelte, kosten- und werbefreie App *phyphox* verschiedene Sensoren des Smartphones auswerten und dem Kontext des Experiments entsprechend darstellen. Neben einer Reihe von vordefinierten Experimenten besteht mit einem Editor die Möglichkeit, eigene Experimente zu kreieren und bei Bedarf über einen Fernzugriff zu steuern. Exemplarisch wurden zwei Smartphone-Experimente zu harmonischen Schwingungen für die Sekundarstufe II entwickelt. Sie ermöglichen eine sehr kostengünstige Realisierung von Versuchen mit digitaler Messwerterfassung in dem Themenfeld und bieten die Möglichkeit, mit dem Editor gezielt auf die Rahmenbedingungen einzelner Lerngruppen einzugehen. Damit stellen sie eine attraktive Alternative zu aktuell in der Schulpraxis vorherrschenden Versuchsdurchführungen dar.

1. Einleitung

Das Smartphone ist aus dem alltäglichen Leben, besonders dem der heutigen Schülerinnen und Schüler (SuS), nicht mehr wegzudenken. Laut der aktuellen JIM-Studie [1] besitzen bereits 95 % der Jugendlichen zwischen 12 und 19 Jahren ein Smartphone mit Touchscreen. Die damit verbundenen vielfältigen technischen Möglichkeiten und die große Vertrautheit der SuS mit dem Gerät können den Unterricht somit durch einen gezielten Einsatz maßgeblich bereichern. Die hand(y)liche Größe und die Ausstattung mit diversen Sensoren verwandeln das Smartphone in „mobile Minilabore“ ([2], S. 4), die besonders für den Physikunterricht sehr interessant sind. Mit der am 2. Physikalischen Institut der RWTH Aachen University entwickelten Applikation (App) *phyphox* (**physical phone experiments**) (siehe auch [3]) können die meisten dieser Sensoren ausgelesen und ihre Messdaten graphisch dargestellt werden. Ergänzt durch eine Vielzahl weiterer innovativer Funktionen eignet sich *phyphox* sehr gut für den Einsatz in der Schule.

Im Folgenden soll ein gezielter Unterrichtseinsatz von Smartphone-Experimenten mit der App *phyphox* exemplarisch anhand zweier konkreter Beispiele vorgestellt werden.

2. Rahmenbedingungen und Voraussetzungen

Das theoretische Fundament der beiden hier behandelten Experimente bilden die mechanischen Schwingungen, explizit die harmonische Schwingung des

Feder- und des Fadenpendels. Im Physikunterricht werden Schwingungen im Inhaltsfeld der Mechanik behandelt und sind dort beispielsweise an Gymnasien in Nordrhein-Westfalen in der Jahrgangsstufe 10 vertortet [4].

Grundsätzlich kann die Einbettung der hier behandelten Experimente in den Unterricht an verschiedenen Stellen vorgenommen werden. Konzipiert ist der hier vorgestellte Einsatz jedoch während oder kurz nach der Einführungsphase zu den harmonischen Schwingungen. Die fachlichen Lernvoraussetzungen sollten demnach aus dem Verständnis über die grundlegenden Bewegungsabläufe eines schwingenden Körpers (Oszillators) und den dazugehörigen Begrifflichkeiten wie Periodendauer, Frequenz, Elongation und Amplitude bestehen. Die zu den Experimenten erstellten Arbeitsaufträge, auf die im Abschnitt 6 kurz eingegangen wird, setzen die Formeln der Schwingungsdauer der jeweiligen Pendel voraus, sodass diese ebenfalls aus dem Unterricht bekannt sein sollten. An dieser Stelle folgt diesbezüglich, in Anlehnung an die Lehrbücher von Demtröder [5] und Tipler [6], ein kurzer mathematischer Abriss der Zusammenhänge, um die Umsetzung der Experimente mit der App *phyphox* später besser nachvollziehen zu können.

3. Harmonische Schwingungsvorgänge

Von einer harmonischen Schwingung spricht man, wenn die rücktreibende Kraft, die den Oszillator zur Ruhelage hin beschleunigt, proportional zur Auslenkung ist. Der Betrag dieser Kraft F_r ist bekanntlich durch das Hookesche Gesetz gegeben:

$$F_r = -Dx \quad \{1\}$$

Der Proportionalitätsfaktor wird durch eine Rückstellkonstante D angegeben. Über die Synchronität der Bewegung eines Pendelkörpers zu der Projektion einer Kreisbewegung kann die zeitliche Abhängigkeit der Elongation einer harmonischen Schwingung mit Hilfe der Kreisfrequenz ω ausgedrückt werden:

$$x(t) = \hat{x} \sin(\omega t) \quad \{2\}$$

Durch Ableiten resultiert daraus unmittelbar das Beschleunigungsgesetz der harmonischen Schwingung:

$$a_x(t) = -\omega^2 x(t) \quad \{3\}$$

3.1. Das Federpendel

Bei einer ersten theoretischen Auseinandersetzung mit dem Federpendel (vgl. Abb. 1, links) im Unterricht wird zumeist die Annahme vorausgesetzt, dass die Pendelbewegung reibungsfrei vonstattengeht. Des Weiteren wird die Masse des Pendelkörpers als Punktmasse idealisiert und die Feder als masselos angesehen.

Befindet sich der Pendelkörper in seiner Ruhelage, so herrscht ein Kräftegleichgewicht zwischen der rücktreibenden Kraft F_r und der Gewichtskraft $F_G = mg$. Das Hookesche Gesetz (vgl. Gl. {1}) liefert unter Anwendung der Grundgleichung der Mechanik eine Proportionalität zwischen der Beschleunigung und der momentanen Auslenkung aus der Ruhelage:

$$a_x = -\frac{D}{m}x \quad \{4\}$$

Der Vergleich mit dem Beschleunigungsgesetz der harmonischen Schwingung (Gl. {3}) liefert den Ausdruck für die Schwingungsdauer eines Federpendels:

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{\frac{m}{D}} \quad \{5\}$$

In diesem Zusammenhang wird die Rückstellkonstante auch als Federkonstante bezeichnet.

3.2. Das Fadenpendel

Analog zum Federpendel wird in der mathematischen Betrachtung des Fadenpendels hier eine reibungsfreie Bewegung betrachtet und die Idealisierung eines mathematischen Pendels angesetzt. Abbildung 1 zeigt auf der rechten Seite die schematische Darstellung einer solchen Pendelbewegung mit ihren geometrischen Beziehungen und den wirkenden Kräften. Die Zerlegung der Bogenlänge $s = l \cdot \varphi$ liefert in Kombination mit der Grundgleichung der Mechanik folgenden Zusammenhang:

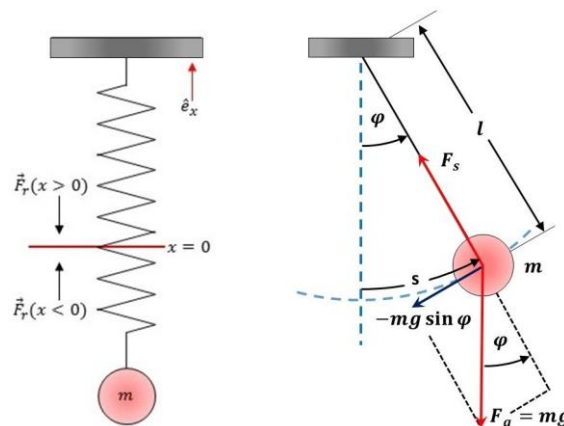


Abb. 1: Schematische Darstellung eines ungedämpften harmonischen Oszillators mit Ruhelage bei $x = 0$ (links) und einer Pendelschwingung mit den Kräften, die auf die Pendelmasse m wirken (rechts).

$$-mg \sin \varphi = m \frac{d^2 s}{dt^2} = m \cdot l \frac{d^2 \varphi}{dt^2} \quad \{6\}$$

Im Gegensatz zu der Betrachtung des Federpendels liegt hier nun eine nicht-lineare Differentialgleichung zweiten Grades vor, die im Bereich der elementaren Funktionen keine geschlossene Lösung besitzt. Um diesem Problem entgegenzutreten, muss die Kleinwinkelnäherung $\sin \varphi = \varphi$ herangezogen werden. Somit ergibt sich die lineare Differentialgleichung des harmonischen Oszillators (für kleine Winkelauslenkungen) zu:

$$\frac{d^2 \varphi}{dt^2} = -\frac{g}{l} \varphi \quad \{7\}$$

Analog zum Federpendel resultiert daraus der Ausdruck für die Schwingungsdauer eines Fadenpendels:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \quad \{8\}$$

3.3. Didaktische Anmerkungen zu den Versuchen

Lernziele von Unterrichtseinheiten, die eines der hier vorgestellten Smartphone-Experimente beinhalten, können wie folgt formuliert werden:

Die Schülerinnen und Schüler ...

- ... untersuchen den Zusammenhang der Größen Schwingungsdauer, Masse, Amplitude (bzw. Auslenkung) und Federkonstante (bzw. Fadenlänge) mit Blick auf die Formel für die Schwingungsdauer eines Federpendels (bzw. Fadenpendels).
- ... führen ein Experiment mit dem Smartphone und der App *phyphox* durch und wenden das Smartphone als Messinstrument zur Datenerfassung an.

Meist haben die SuS bereits durch „vielfältige Alltagserfahrungen tief verankerte Vorstellungen zu den Phänomenen, Begriffen und Prinzipien“ ([7], S. 3), die im Unterricht behandelt werden, dementsprechend auch im Themenbereich der Schwingungen. So sind z. B. die Einflussfaktoren auf die Schwingungsdauer, trotz bekannter Formel, nicht immer allen SuS ersichtlich. Die Experimente und die dazugehörigen Arbeitsmaterialien berücksichtigen mögliche Schüler Vorstellungen und sollen eventuellen Fehlvorstellungen entgegenwirken (siehe Abschnitte 5 und 6).

4. Die App *phyphox*

Es existieren diverse Apps auf dem Markt, mit denen die Daten einzelner Sensoren ausgelesen und ihre physikalischen Messwerte angezeigt werden können. Die hier verwendete App *phyphox* ist in der Lage, eine Vielzahl der gängigen Sensoren eines Smartphones (oder Tablets) anzusprechen, sowie die entsprechenden Messdaten graphisch darzustellen und auszulesen. Konzipiert wurde *phyphox* am 2. Physikalisches Institut der RWTH Aachen University. Sie ist kostenlos und werbefrei für die Betriebssysteme iOS und Android im App Store™ und Google Play Store™ erhältlich. Weitere Informationen können der Internetseite www.phyphox.org entnommen werden.

4.1. Funktionen und Möglichkeiten

Die App *phyphox* ist mit einigen Funktionen und Möglichkeiten ausgestattet, die gerade für den Physikunterricht von besonderem Interesse sein können. Da viele gängige Sensoren integriert sind, wird eine Anhäufung mehrerer Apps (vgl. [8]) beim Einsatz verschiedener Smartphone-Experimente vermieden. Dies spart Recherche-, Installations- und Einarbeitungsaufwand bei Lehrkräften und SuS und sollte somit die Hemmschwelle für den Einsatz von Smartphone-Experimenten senken.

Zusätzlich zur Möglichkeit, die einzelnen Sensoren direkt zur Datenaufnahme zu benutzen, kann der Benutzer auch direkt auf dem Home-Bildschirm auf eine Auswahl von vordefinierten Experimenten zurückgreifen. Dazu zählen u.a. auch das Experiment „Federpendel“, welches die Periode und Frequenz eines Federpendels ausgibt, und das Experiment „Fadenpendel“, welches die Bestimmung der Erdbeschleunigung erlaubt. Weitere Experiment-Ideen und die dazugehörigen Anleitungen sind aus der App heraus erreichbar.

Durch die Möglichkeit der Nutzung einer Zeitautomatik oder Fernsteuerung können auch komplexere Versuchsaufbauten realisiert werden. Dabei können Versuche durch die Zeitautomatik mit einem zeitlichen Vorlauf gestartet und beendet werden. Bei der Fernsteuerung können die Messungen extern, z. B. von einem Tablet oder Laptop, gesteuert und dann live an einem anderen Bildschirm verfolgt werden. Auf diese Weise kann das Smartphone als Messinstrument auch derart in den Aufbau des Experiments

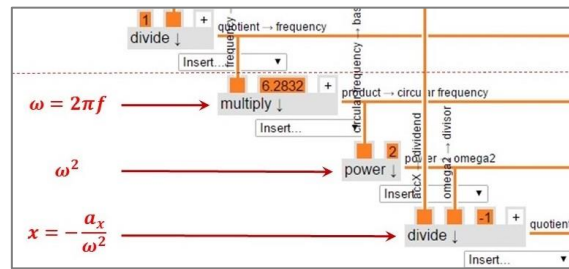


Abb. 2: Ausschnitt aus der „Analysis“ des *phyphox* Editors zum harmonischen Federpendel. Mit den Daten des Beschleunigungssensors a_x und der Frequenz f wird über das Beschleunigungsgesetz der harmonischen Schwingung die Elongation x in x-Richtung berechnet.

integriert werden, dass es zur Bedienung nicht erreichbar sein muss. Für eine Fernsteuerung müssen sich das Smartphone zur Messdatenaufnahme und das Steuergerät im gleichen Netzwerk befinden. Alternativ kann man die Möglichkeit des Smartphones zur Einrichtung eines Hotspots nutzen, mit dem man das Steuergerät verbindet.

Des Weiteren bietet *phyphox* über einen Datenexport die Möglichkeit, sämtliche Messdaten im Detail zu sichten, zu sichern und weiterzuverarbeiten. Zur Wahl stehen hier neben dem Excel-Datei-Format auch verschiedene CSV-Formate. Die Daten können u.a. per Bluetooth, Dropbox oder E-Mail transferiert oder bei einer Fernsteuerung direkt auf einem Computer gespeichert werden.

Die bisher genannten Aspekte bieten gleichermaßen technisch-praktische wie auch didaktische Vorteile. Dies kann man leicht am Beispiel der Fernsteuerung verdeutlichen, die nicht nur komplexere Versuchsaufbauten, sondern auch das Teilen der live aufgenommenen Messdaten mit einer größeren Schülergruppe, z. B. über einen Beamer, erlaubt. Gleichermäßen kann die einfache Handhabung des Datenexports an Gruppen von SuS den Unterrichtsalltag erleichtern und der Bereitstellung realer Messdaten für Modellierungsaufgaben der SuS dienen.

Die Vorteile der App können mit dem *phyphox* Editor um eine zusätzliche didaktische Komponente erweitert werden, welche die App für den Unterrichtseinsatz besonders wertvoll macht.

4.2. Der *phyphox* Editor

Mit dem speziell für *phyphox* entwickelten Editor eröffnet sich ein neuer Horizont an Anwendungsmöglichkeiten für die gezielte Messwerterfassung mit dem Smartphone. Der Editor bietet dem Nutzer die Möglichkeit darüber zu entscheiden, auf welche Art und Weise die Messdaten angegeben und dargestellt werden sollen. So können die Experimente an die didaktischen Vorstellungen der Lehrkraft und die Voraussetzungen der Lerngruppe individuell angepasst werden.

Der Editor ist über einen Link auf der Homepage (<http://phyphox.org/editor>) erreichbar und bedarf keiner separaten Software. Dort ist auch eine detaillierte Einführung in die Benutzung zu finden (<http://phyphox.org/editor-info>). Auf Grund der Funktionsvielfalt des Editors werden an dieser Stelle nur einige Elemente der Handhabung skizziert.

In einem „Analysis“-Segment des Editors können die Eingabedaten der gewünschten Sensoren mittels diverser mathematischer Operationen miteinander verknüpft und modifiziert werden (vgl. Abb. 2). Die auf diese Weise ‚neu‘ berechneten Werte können dann in gewünschter Form, z. B. graphisch oder numerisch, ausgegeben werden. Auf Grund der Point-and-Click orientierten Handhabung ist die Bedienung sehr intuitiv und ohne größere Programmierkenntnisse zu meistern. Erstellte Experimente können auf dem Computer gespeichert und von da aus auf das Smartphone übertragen werden. Darüber hinaus können bereits erstellte Experimente, somit auch alle bereits vordefinierten, in den Editor geladen werden, um sie dort zu verbessern, zu variieren oder auch nur nachzuvollziehen. Letzteres kann am Anfang helfen, die Struktur des Editors besser kennenzulernen und zu verstehen. So wurden auch die beiden hier erstellten Experimente durch Modifikationen und Ergänzungen an den bereits für die beiden Pendel vorhandenen Versuchen entwickelt. Bei der Erläuterung dieser Experimente im folgenden Abschnitt werden die konkreten Anpassungen, die im Editor vorgenommen wurden, nochmal detaillierter aufgegriffen.

5. Die konkreten Experimente

Die hier vorgestellten Smartphone-Experimente zu den harmonischen Pendelschwingungen sind nicht in der Liste der bereits vorinstallierten Versuche von *phyphox* enthalten. Um sie durchzuführen, müssen die Dateien „Harmonisches Federpendel (xyz)“ und

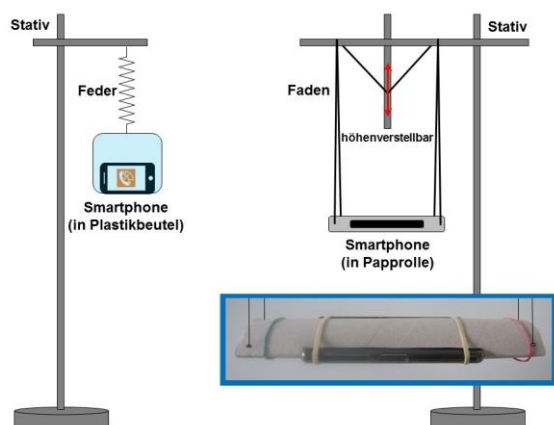


Abb. 3: Schematische Aufbauten der Smartphone-Experimente zu den harmonischen Pendelschwingungen. Links: Bei dem Federpendel ist das Smartphone in einem Plastikbeutel platziert, der an der Feder befestigt wird. Rechts: Der Versuchsaufbau des Fadenpendels wurde durch eine Schaukel realisiert. Als Halterung für das Smartphone dient ein Hohlzylinder aus Pappe.

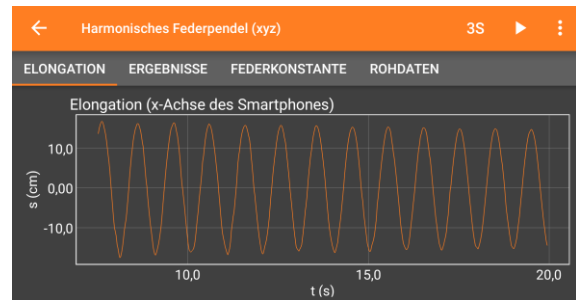


Abb. 4: Screenshot des Experiments „Harmonisches Federpendel (xyz)“ vom Smartphone-Bildschirm. Dargestellt ist die Änderung der Elongation eines Federpendels über die Zeit.

„Schaukel (y)“ auf die jeweiligen Smartphones geladen werden. Nachdem man die Dateien dann geöffnet hat, lassen sie sich dauerhaft zur eigenen Sammlung der vordefinierten Experimente hinzufügen. Die Dateien sowie detailliertere Anleitungen und ergänzende Videos finden sich auf der Homepage über die Links <http://phyphox.org/experiment/federpendel> bzw. <http://phyphox.org/experiment/fadenpendel>.

5.1. Das Experiment zum Federpendel

Der schematische Aufbau des Versuchs ist in Abbildung 3 (links) zu sehen. Eine schnelle und einfache Befestigung des Smartphones als Pendelkörper kann durch einen durchsichtigen Plastikbeutel realisiert werden. Das bietet den Vorteil, dass das Display des Smartphones durch das Plastik sowohl sichtbar als auch bedienbar bleibt.

Der Sensor, der diesem Experiment zugrunde liegt, ist der Beschleunigungssensor. Damit das Smartphone die Beschleunigung in jeder Richtung messen kann, ist es mit drei dieser Sensoren ausgestattet, die in den drei Raumrichtungen angeordnet sind. Aus diesem Grund sollte bei der Versuchsdurchführung stets darauf geachtet werden, dass das Gerät mit einer beliebigen, aber festen Achse parallel zur Schwingungsrichtung ausgerichtet ist. Bei diesem Versuch bietet sich die Möglichkeit der Zeitautomatik an. So kann man z. B. eine Messzeit von 30 Sekunden mit einer Startverzögerung von 5 Sekunden einstellen. Auf diese Weise verhindert man, dass der Start- und Stopp-Prozess mit aufgezeichnet werden und somit eventuell die Messdaten verfälscht werden. Selbstverständlich kann hier auch von vornherein auf die Fernsteuerung von einem externen Gerät zurückgegriffen werden, falls die Rahmenbedingungen das zulassen.

Wie bereits in Abschnitt 4.2 erwähnt, handelt es sich bei dem hier verwendeten *phyphox*-Experiment um eine Modifikation des bereits vorinstallierten Experimentes „Federpendel“. Dieses liefert dem Nutzer bereits die Werte der Periodendauer und Frequenz. Als zentrales Element des Versuches soll für die SuS jedoch der Bewegungsablauf bei der harmonischen Schwingung sichtbar werden. Der sinusförmige Verlauf ist zwar gemäß Gleichung {3} auch bei der zeitlich aufgetragenen Beschleunigung zu sehen. Jedoch

wird den SuS hier im Sinne einer didaktischen Reduktion der zusätzliche Transfer von der direkt aus den Sensordaten stammenden Beschleunigung auf die Auslenkung vorerst erspart. Damit wird durch das Design des Experiments bewusst ein Begriff vermieden, der in der fachdidaktischen Literatur mit sachbedingten Lernschwierigkeiten verbunden wird (vgl. [9], S. 35).

Die Periodendauer bzw. die Frequenz werden bereits in dem „Federpendel“-Versuch mit Hilfe einer Autokorrelation ermittelt. Der Ausschnitt des Editors in Abbildung 2 auf Seite 3 zeigt, wie aus der Kreisfrequenz und dem Beschleunigungsgesetz der harmonischen Schwingungen die Ermittlung der Elongation in x-Richtung realisiert wird (vgl. Gl. {3}). Diese wird dann über die Zeit aufgetragen und in einem Graphen auf dem Bildschirm dargestellt (siehe Abb. 4). Der Zusatz (xyz) im Namen des Experiments besagt, dass diese Berechnungen für alle drei Achsrichtungen durchgeführt wurden, sodass die Ausrichtung des Smartphones im Plastikbeutel keine Rolle spielt, solange eine Achsrichtung parallel zur Schwingung verläuft. Neben der ergänzenden Angabe der Kreisfrequenz ω wurde das Experiment um die Möglichkeit erweitert, die Masse des Pendelkörpers einzutragen. So kann *phyphox* über die Schwingungsdauer (vgl. Gl. {5}) auch die Federkonstante berechnen und angeben. Eine Variation der Masse im Sinne einer Variablenkontrolle ist problemlos durch Zugabe von Massestücken in den Plastikbeutel zu erreichen.

Im Rahmen einer Bachelorarbeit [10] wurden u.a. die Messungen, die mit dem Experiment „Harmonisches Federpendel (xyz)“ erhoben wurden, auf Reliabilität und Validität hin untersucht. Auf Grundlage der dort erlangten Ergebnisse kann die Aussage getroffen werden, dass die zentralen Messwerte dieses Smartphone-Experiments reliabel und valide sind. Gewonnene Messergebnisse können wiederholt und parallele Messungen verschiedener Versuchsgruppen miteinander verglichen werden. Diesbezüglich erfüllt dieses Smartphone-Experiment grundlegende Voraussetzungen, die ein gezielter Unterrichtseinsatz erfordert. Des Weiteren wurde die dargestellte Zeitspanne, auf der die Elongation aufgetragen wurde, so gewählt, dass die ‚sichtbare‘ Abnahme der Amplitude 10 % der Maximalwerte nicht überschreitet. Dies ist

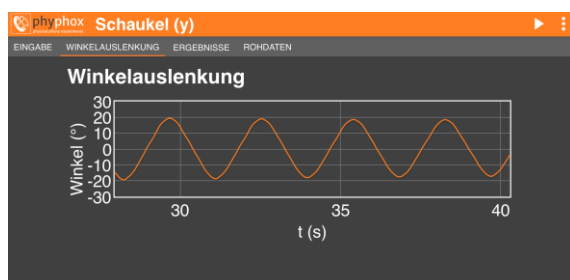


Abb. 5: Screenshot des Experiments „Schaukel (y)“ vom Laptop-Bildschirm. Dargestellt ist die Änderung der Winkelauslenkung einer Schaukel über die Zeit.

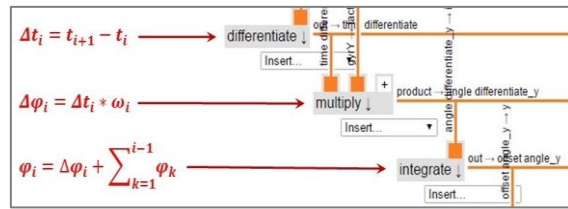


Abb. 6: Ausschnitt aus der „Analysis“ des *phyphox* Editors zum harmonischen Fadenpendel. Aus der Differenz aufeinanderfolgender Zeitdaten und den dazugehörigen Daten des Gyrometers wird die Winkeldifferenz zwischen zwei Messpunkten ermittelt. Deren Addition ergibt einen harmonischen Verlauf der Winkeländerung.

durch eine Variation der Größe des Zwischenspeichers (Buffer) für die Sensorwerte im Editor realisierbar. Dadurch kann die Betrachtung einer ungedämpften Schwingung im Unterricht legitimiert werden. Ist die Dämpfung allerdings als Untersuchungsgegenstand gewünscht, lässt sich der Buffer im Editor problemlos vergrößern.

5.2. Das Experiment zum Fadenpendel

Abbildung 3 zeigt auf der rechten Seite den schematischen Aufbau des Versuchs zum harmonischen Fadenpendel. Im Gegensatz zum Experiment des Federpendels wird hier auf den Sensor des Gyroskops zurückgegriffen. Dieser Sensor misst die Rotationsbewegung des Gerätes und gibt die Winkelgeschwindigkeit des Smartphones um eine seiner Achsen an. Auf Grund dieser Tatsache muss beim Versuchsaufbau dafür gesorgt werden, dass das Smartphone auch möglichst nur um eine seiner Achsen rotiert. Daher wurde der Aufbau so konzipiert, dass das Smartphone wie eine Schaukel in eine festgelegte Richtung schwingt. Dazu wurde, in Anlehnung an die Sitzfläche einer Schaukel, bei der hier vorgestellten Variante die Pappe einer Küchenrolle verwendet, in die das Smartphone durch zwei Längsschlitze eingeschoben werden kann. Grundsätzlich kann der Versuchsaufbau von der Lehrperson vorgegeben oder von den SuS selbst entwickelt werden. Der Phantasie und Kreativität sind dabei kaum Grenzen gesetzt. Neben der festen Achsrichtung sollte lediglich berücksichtigt werden, dass die Fadenlänge der Schaukel in irgendeiner Form veränderbar sein sollte, um die Abhängigkeit der Pendelbewegung gemäß Gleichung {8} untersuchen zu können. Auf Grund der Tatsache, wie das Smartphone hier in der Schaukel verbaut ist, empfiehlt sich für diesen Versuch, das Gerät von einem zweiten Gerät aus fernzusteuern.

Das Experiment „Schaukel (y)“ baut auf den Grundzügen des vorinstallierten Experiments „Fadenpendel“ auf. Nach Eingabe der Fadenlänge wird in diesem vordefinierten Experiment der Wert der Erdbeschleunigung bestimmt. Allerdings kann im Rückschluss auch die Fadenlänge aus der Erdbeschleunigung $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ errechnet werden. Bei der modifizierten Variante „Schaukel (y)“ sollte jedoch auch die eigentliche Pendelbewegung für die SuS im Vordergrund stehen.

Analog zum Federpendel erscheint an dieser Stelle die Auftragung der Winkelauslenkung ebenfalls didaktisch sinnvoller als die der Winkelgeschwindigkeit (vgl. Abb. 5). Mit der Winkelgeschwindigkeit als zeitliche Ableitung der Winkelauslenkung lassen sich die Winkeldifferenzen zweier aufeinanderfolgender Messpunkte durch die Multiplikation der zeitlichen Differenz und der jeweils dazugehörigen Winkelgeschwindigkeit (Sensoraten) berechnen. Die Summation aller Winkeländerungen ergibt bereits einen zeitlich harmonischen Verlauf der Winkeländerung (vgl. Abb. 6). Allerdings wäre die dargestellte Sinuskurve mit einem Winkeloffset versehen, da der Nulldurchgang vom Startpunkt der Messung abhängt. Um den Verlauf zu normieren, muss dieser Offset fortlaufend berechnet und mit den Werten der Winkelauslenkung verrechnet werden. Dazu wird über die maximalen und minimalen Werte die Amplitude berechnet und diese vom Maximum abgezogen. Zieht man diesen Offset wiederum ständig vom Winkelverlauf ab, so ergibt sich die gewünschte normierte Winkelauslenkung. Da der hier vorgestellte Aufbau nur die Drehung um die y-Achse des Smartphones zulässt, wurde auch nur die dazugehörige Winkelauslenkung im Editor ausgerechnet und graphisch angezeigt.

Auch hier haben tiefere Betrachtungen im Rahmen einer Bachelorarbeit [10] ergeben, dass die zentralen Messwerte von *phyphox* bei diesem Experiment im Rahmen der Kleinwinkelnäherung ebenfalls reliabel und valide sind und somit den Anforderungen eines Unterrichtseinsatzes genügen. Die Abweichung zwischen der von *phyphox* mit der Kleinwinkelnäherung errechneten und der mathematisch vollständigen Lösung (vgl. [11], S. 12) liegt bei einer Auslenkung von 45° unter 5 % und selbst bei 60° unter 10%. Da dieses Experiment in erster Linie der Veranschaulichung des Schwingungsvorgangs dient, ist der Grad der Genauigkeit der Messwerte völlig ausreichend. Zudem lagen sämtliche erhobenen Werte stets im Ungenauigkeitsbereich einer manuellen Messung der Periodendauer mit einer Stoppuhr.

Analog zum Federpendel ist auf Grund der dargestellten Zeitspanne die Betrachtung einer ungedämpften Schwingung legitimiert, da auch hier die Amplitudenabnahme im dargestellten Bereich unter 10 % des Maximalwertes liegt. Bei Bedarf kann durch eine Vergrößerung des Zwischenspeichers für die Messwerte dieser dargestellte Bereich ebenfalls vergrößert werden.

6. Materialien und weitere Informationen

Zu beiden hier vorgestellten Smartphone-Experimenten wurden Arbeitsblätter erstellt, welche die SuS durch die Versuche führen. Zentrales Element sind hierbei die jeweiligen Formeln für die Schwingungsdauer {5} und {8}. Grundsätzlich sind die Arbeitsblätter in drei didaktische Abschnitte unterteilt: eine inhaltliche Orientierung, eine Steuerung der Arbeitsabläufe und eine Vertiefung in Form von zu bearbei-

tenden Aufgaben. Diese beinhalten u.a. Hypothesenbildungen bezüglich des Einflusses unterschiedlicher Parameter auf die Schwingungsdauer, auf die dann eine Aufforderung zur Planung und Durchführung geeigneter Experimente (unter Beachtung der Variablenkontrolle) folgt. Neben der Förderung experimenteller Kompetenzen können hier eventuell vorhandene Fehlvorstellungen der SuS ausgemacht und diesen unter Begleitung der Lehrkraft entgegengewirkt werden.

Zusätzlich zu den Arbeitsblättern wurde zu jedem der beiden entwickelten Smartphone-Experimente jeweils eine Handreichung für Lehrkräfte ausgearbeitet, die bei der Planung und dem Einsatz im Unterricht behilflich sein soll. Hier werden Informationen zu den Rahmenbedingungen der Versuche, wie z. B. Thematik, notwendige Lernvoraussetzungen, angesprochene Kompetenzbereiche oder Lernzielformulierungen, geliefert. Des Weiteren werden methodische Anmerkungen zu den einzelnen Abschnitten des Arbeitsblattes gegeben sowie Variations- und Differenzierungsmöglichkeiten vorgeschlagen. Mit Hilfe dieser Angaben und Ratschläge können die Smartphone-Experimente passend zum Unterrichtsgeschehen ausgewählt und individuell an die Gegebenheiten der Lerngruppe angepasst werden.

Da die beiden vorgestellten Versuchsreihen in Thematik und Struktur sehr nah beieinanderliegen, kommt eine sequenzielle Bearbeitung beider Experimente, besonders unter Berücksichtigung des umfangreichen Lehrplans, im Regelfall nicht in Betracht. Anstatt sich als Lehrkraft für eine Variante, also Feder- oder Fadenpendel, entscheiden zu müssen, bietet sich auch ein kombinierter Einsatz, zum Beispiel in Form eines Expertenpuzzles (vgl. [12], S. 131), an.

Sämtliche erstellten Materialien, also die modifizierten Dateien, die Arbeitsblätter und Handreichungen, sind auf der Homepage über die Links <http://phyphox.org/experiment/federpendel> bzw. <http://phyphox.org/experiment/fadenpendel> zu beziehen. Weitere Anregungen für einen schulischen Einsatz mit *phyphox* in Form von Smartphone-Experimenten zu gleichmäßig beschleunigten Bewegungen finden sich bei Goertz et al [13].

7. Fazit

Die beiden entwickelten Smartphone-Experimente zur harmonischen Schwingung am Feder- bzw. Fadenpendel mit der App *phyphox* stellen eine vielseitige Alternative zu vorherrschenden Versuchsdurchführungen in diesem Themengebiet dar. Dabei ergänzt die App *phyphox* die Versuche durch einige innovative Aspekte, die sowohl der Lehrkraft als auch den SuS neue Möglichkeiten im Bereich der Schülerexperimente eröffnen. So können z. B. Experimente mit dem Editor an die Lernumgebung und Vorstellungen der Lehrkraft angepasst werden. Die Anwendung bei den hier vorgestellten Experimenten „Harmonisches Federpendel (xyz)“ und „Schaukel (y)“ gestattet einen ersten Einblick in die Vielseitigkeit, die sich

mit dem Editor ergibt. So wurde bei den Experimenten, unabhängig von den beiden zugrundeliegenden Sensoren, der Fokus auf die Veranschaulichung der Pendelbewegung und den Einfluss einzelner Schwingungsparameter gelegt. Weitere Freiheiten in der Versuchsplanung und -durchführung schafft die Möglichkeit eine Fernsteuerung oder Zeitautomatik zu nutzen. Eine Weiterentwicklung der Experimente könnte darin bestehen, sie um weitere Betrachtungen im Zusammenhang mit mechanischen Schwingungen, z. B. zur Energieerhaltung, zu ergänzen.

Im Rahmen einer Bachelorarbeit [10] haben erste didaktische Erprobungen in einem physikalischen Praktikum für Lehramtsanwärter und einem schulischen Einsatz bereits stattgefunden. Zur detaillierteren Ausarbeitung der Stärken und Schwächen dieser Versuche empfehlen sich weitere zu reflektierende Einsätze unter schulischen Bedingungen.

Zusammengenommen kann *phyphox* das Spektrum an Anwendungsmöglichkeiten im Bereich der Smartphone-Experimente erweitern und ihren Einsatz im Physikunterricht für Lernende und Lehrende interessant und flexibel gestalten.

Der allgemeine mobile Charakter der Smartphones birgt neben einem Alltagsbezug für SuS auch die Möglichkeit, den Experimentierraum aus dem Klassenzimmer zu verlagern. Statt ‚künstlicher‘ können reale Begebenheiten betrachtet werden, z. B. auf den Fahrgeschäften des Jahrmarkts oder der Schaukel des nächstgelegenen Spielplatzes.

8. Literatur

- [1] Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest: *JIM-Studie 2016 – Jugend, Information, (Multi-) Media*.
https://www.mpfs.de/fileadmin/files/Studien/JIM/2016/JIM_Studie_2016.pdf
(Stand: 5/2017)
- [2] Kuhn, J.; Müller, A.; Hirth, M.; Hochberg, K.; Klein, P.; Molz, A. (2015): Experimentieren mit Smartphone und Tablet-PC - Einsatzmöglichkeiten für den Physikunterricht im Überblick. In: Kuhn, J. (Hrsg.) (2015). *Naturwissenschaften im Unterricht Physik*, Heft 145 (S. 4-9). Seelze: Friedrich Verlag.
- [3] Kuhlen, S.; Stampfer, C.; Wilhelm, T.; Kuhn, J. (2017): *Phyphox bringt das Smartphone ins Rollen*. In: *Physik in unserer Zeit*, Volume 48 (2017), Issue 3 (S. 148-149). Weinheim: WILEY-VCH Verlag.
<http://www.online-library.wiley.com/doi/10.1002/piuz.201770311/abstract>
(Stand: 5/2017)
- [4] Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen (2014). *Kernlehrplan für die Sekundarstufe II, Gymnasium/Gesamtschule, in Nordrhein-Westfalen: Physik*.
http://www.schulentwicklung.nrw.de/lehrpläne/upload/klp_SII/ph/KLP_GOSt_Physik.pdf
(Stand: 5/2017)
- [5] Demtröder, W. (2015): *Experimentalphysik 1. Mechanik und Wärme* (7. Auflage). Berlin Heidelberg: Springer Verlag.
- [6] Tipler, P.A.; Mosca, G.; Wagner, J. (Hrsg.) (2015): *Physik. Für Wissenschaftler und Ingenieure* (7. deutsche Auflage). Berlin Heidelberg: Springer Verlag.
- [7] Müller, R.; Wodzinski, R. (2004): *Schülervorstellungen in der Physik*. Köln: Aulis Verlag.
- [8] Hirth, M.; Hochberg, K.; Klein, P.; Molz, A.; Kuhn, J.; Müller, A. (2015): Apps für den Physikunterricht – Geeignete Apps für Experimente mit Smartphone und Tablets. In: Kuhn, J. (Hrsg.) (2015). *Naturwissenschaften im Unterricht Physik*, Heft 145 (S. 47-50). Seelze: Friedrich Verlag.
- [9] Wiesner, J.; Schecker, H.; Hopf, M. (2011): *Physikdidaktik kompakt*. Halbergmoos: Aulis Verlag.
- [10] Goetze, B. (2016): *Entwicklung von Smartphone-Experimenten zu harmonischen Pendelschwingungen mit der App phyphox für den Einsatz in der Sekundarstufe II*. Bachelorarbeit am I. Physikalischen Institut IA der RWTH Aachen University, unveröffentlicht.
- [11] Hanser, F. (2011): *Medizinische Physik und Biophysik SS 2011 – Ausführliche physikalische Beispiele – Das mathematische Pendel*.
<https://www.umit.at/data.cfm?vpath=pdf-dokumente/mpbp-examples>
(Stand: 5/2017)
- [12] Green, N.; Green, K. (2012): *Kooperatives Lernen im Klassenraum und im Kollegium – Das Trainingsbuch* (7. Auflage). Seelze: Friedrich Verlag.
- [13] Goertz, S.; Heinke, H.; Riese, J.; Stampfer, C.; Kuhlen, S. (2017): Smartphone-Experimente zu gleichmäßig beschleunigten Bewegungen mit der App *phyphox*. In: *PhyDid B, Didaktik der Physik*, Beiträge zur DPG Frühjahrstagung (2017).

Entwicklung und Evaluation modularer Vorlesungseinheiten mit Smartphone-Einsatz

Simon Hütz*, Sebastian Kuhlen⁺, Christoph Stampfer⁺, Heidrun Heinke*

*I. Physikalisches Institut IA, RWTH Aachen, ⁺ II. Physikalisches Institut IIA, RWTH Aachen
huetz@physik.rwth-aachen.de, kuhlen@physik.rwth-aachen.de, stampfer@physik.rwth-aachen.de,
heinke@physik.rwth-aachen.de

Kurzfassung

In Deutschland besitzen 96% der 16- bis 19-Jährigen ein eigenes Smartphone, sodass Smartphones nunmehr systematisch auch für die Hochschullehre nutzbar werden. Für die Physik-Lehre erscheinen Smartphones dabei besonders auch als umfassend verfügbares, leistungsfähiges Messinstrument mit vielfältigen Sensoren interessant. In diesem Kontext wurde an der RWTH Aachen die App *phyphox* (www.phyphox.org) entwickelt. Mit dieser ist es möglich, die vielfältigen Sensoren, die in den meisten modernen Smartphones verbaut sind, in einer App auszulesen. Ein optionaler Fernzugriff auf das Smartphone erweitert dessen experimentelle Einsatzmöglichkeiten deutlich. Zudem kann die Darstellung der Messdaten an die Lerner-Voraussetzungen angepasst werden. Damit bietet die App *phyphox* ideale Voraussetzungen für einen gezielten Einsatz in der Lehre.

Insbesondere ermöglicht die App *phyphox* die Umsetzung vielfältiger experimenteller Aufgabenstellungen für Studierende. Dadurch können nicht nur die klassischen Übungsaufgaben der Experimentalphysik um experimentelle Aufgaben bereichert werden, sondern es kann auch das Prinzip des Flipped Classroom sinnvoll an die Besonderheiten der Ausbildung in der (experimentellen) Physik angepasst werden. Hierzu werden modulare Vorlesungseinheiten entwickelt, die darauf abzielen, dass die Studierenden als Vorbereitung auf die Vorlesung bereits Experimente zu Hause durchführen können, deren Ergebnisse dann in die Vorlesungsgestaltung einfließen können. Die modularen Vorlesungseinheiten sollen in den Einführungsveranstaltungen zur Physik für verschiedene Studienrichtungen eingesetzt werden.

1. Ausgangslage

Experimentalphysikvorlesungen stellen ein zentrales Element in der Ausbildung nicht nur von angehenden Physikern, sondern auch in anderen natur- und ingenieurwissenschaftlichen Studiengängen dar. Dabei sind diese Lehrveranstaltungen oft in den Anfangssemestern dieser von hohen Studienabbruchquoten gekennzeichneten Studiengänge verortet. Eine studierendenfokussierende Gestaltung der Vorlesungen zur Experimentalphysik kann damit in dieser kritischen Phase des Studiums über einen wirksamen Beitrag zur Aufrechterhaltung von Studienmotivation und -interesse entscheidend zur Erfolgsquote in diesen Studiengängen beitragen. Allerdings werden aktuell auch die Vorlesungen zur Experimentalphysik oft sehr theorielastig gestaltet. Dies bedeutet, dass das Experiment in der Vorlesung nur einen Demonstrationscharakter einnimmt, so dass die Studierenden hier in der Regel nur eine beobachtende Rolle ausfüllen [1, S.20]. Zusätzlich fehlt auch das praktische Experimentieren in den zur Experimentalphysik gehören-

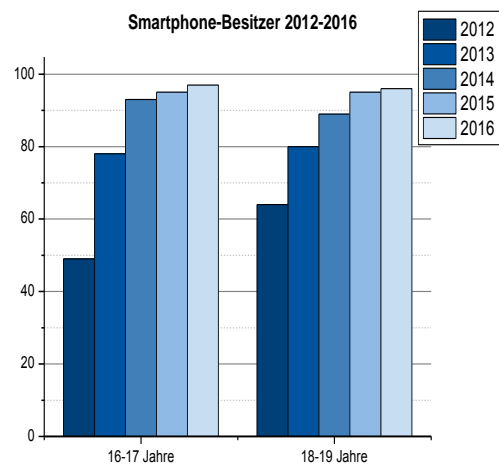


Abb.1: Verbreitung von Smartphones bei Jugendlichen zwischen 2012 und 2016. (nach [1, S.23])

den Übungen [1, S.20]. Dies stellt für viele Studierende eine größere Herausforderung zu Beginn ihres Studiums dar und trägt damit zu den hohen Studienabbruchquoten bei [1, S.20].

In Abbildung 1 sind Ergebnisse der JIM-Studie dargestellt, wonach im Jahr 2016 96% der 18- bis 19-jährigen Jugendlichen im Besitz eines eigenen Smartphones waren. Zusätzlich ist anhand von Abbildung 1 zu erkennen, dass der Verbreitungsgrad von Smartphones seit dem Jahr 2012 in den dargestellten Altersstufen deutlich bis auf Werte nahe 100% gestiegen ist [2, S. 23]. Somit ist davon auszugehen, dass die Verbreitung von Smartphones auch unter Studierenden so hoch ist, dass der systematische Einsatz dieser Geräte in der Hochschullehre gerechtfertigt erscheint. Dies ermöglicht es, die Lehrveranstaltungen zur Experimentalphysik näher an die Lebenswelt der Studierenden heranzuführen. Dabei wird ausgenutzt, dass die Studierenden mit Smartphones und den darin verbauten Sensoren physikalische Größen messen und mit einer entsprechenden App auch direkt analysieren können. Eine App, die dies ermöglicht, ist die App *phyphox* (www.phyphox.org).

2. Die App *phyphox*

Die App *phyphox* wurde am II. Physikalischen Institut der RWTH Aachen entwickelt [3, S. 148 f.]. Mit dieser App, die kostenfrei für Android ab Version 4.0 und iOS ab Version 8.0 zur Verfügung steht, können die Sensordaten der meisten im Smartphone verbauten Sensoren ausgelesen und analysiert werden. Momentan können Messungen mit dem Mikrophon, dem Beschleunigungssensor, dem Gyroskop, dem Magnetfeldsensor, dem Lichtsensor, dem Näherungssensor und dem Luftdrucksensor durchgeführt werden, wenn der entsprechende Sensor im Smartphone verbaut ist. Mit *phyphox* ist es im Gegensatz zu vielen anderen Apps, die nur einen Sensor auslesen können und meist auch nur die Rohdaten aufnehmen können, möglich, mehrere Sensoren (bspw. Beschleunigungssensor und Gyroskop) parallel auszulesen und die gewonnenen Daten in einer Analyse zu verbinden. Da die direkte Bedienung des Smartphones bei einigen Experimenten unpraktisch oder nicht möglich ist, ist *phyphox* zusätzlich mit einem Fernzugriff ausgestattet. Mit diesem ist es möglich, *phyphox* über einen Webbrowser fernzusteuern. Hierfür müssen Smartphone und Laptop/Tablet lediglich mit dem gleichen WLAN-Netzwerk verbunden sein. Über den Fernzugriff können die Messwerte im Excel- oder CSV-Format direkt auf den Laptop heruntergeladen werden. Alternativ können die Messwerte auch in den genannten Formaten per E-Mail verschickt oder über sozialer Netzwerke oder Messenger-Dienste geteilt werden. Neben der Export- und Fernsteuerfunktion ist es mit Hilfe des Fernzugriffes auch möglich, die Messwertaufnahme live über einen Beamer in Vorlesungen darzustellen. Somit können die Studierenden

die Messwertaufnahme direkt verfolgen und beispielsweise die Bewegung direkt mit den Messwerten vergleichen.

Neben den zahlreichen bereits in der App vorhandenen Experimenten bietet ein eigenes Dateiformat für die Experimente in *phyphox* die Möglichkeit, Experimente an vorhandene Versuchsaufbauten anzupassen oder neue Experimente zu erstellen. Dies kann direkt im *phyphox*-Dateiformat in XML geschehen oder über den einfach zu bedienenden grafischen Webeditor (www.phyphox.org/editor).

Die Entwicklung von *phyphox* ist nicht abgeschlossen. Der umfangreiche Funktionsumfang wird weiter vergrößert. Aktuell geplant sind unter anderem eine Zoom-Funktion für Graphen, das Auslesen des GPS-Sensors sowie die nutzerfreundliche Einbindung einer Bluetooth-Schnittstelle. Mit dieser wird es in Zukunft auch Nicht-Experten möglich sein, zusätzliche externe Sensoren mit der App anzusprechen. Hierdurch können dann noch weitere, nicht nur physikalische Größen gemessen werden und somit vielfältige Experimente zu Themenbereichen auch außerhalb der Mechanik und der Physik durchgeführt werden. Außerdem wird die Einbindung externer Sensoren die Wahrscheinlichkeit einer Beschädigung des Smartphones im experimentellen Einsatz reduzieren, da beispielsweise für Fallexperimente eine vergleichsweise kostengünstige Sensorbox wie der SensorTag von Texas Instruments verwendet werden kann [4]. Auch ist eine Einbeziehung der Kamera des Smartphones in die Messwertaufnahme geplant.

Weitere Informationen zur App sind auf der Webseite www.phyphox.org zu finden.

3. Einsatz von *phyphox* in der Hochschullehre

Die App wurde ursprünglich gezielt für den Einsatz in einführenden Vorlesungszyklen der Experimentalphysik entwickelt. Abbildung 2 illustriert den typischen Ablauf einer Lehrveranstaltung zur Experimentalphysik im Hauptfachstudium an vielen Hochschulen im deutschsprachigen Raum.

Typischerweise werden die Themen in der Experimentalphysikvorlesung mit Demonstrationsexperimenten behandelt. Diese Themen finden sich dann in den darauffolgenden Übungsaufgaben wieder, die einzeln oder in Gruppen bearbeitet und danach in kleinen Gruppen besprochen und diskutiert werden. In der Vorlesung nehmen die Studierenden durch die Verwendung der Demonstrationsexperimente eine passive Rolle ein. Die Übungsaufgaben sollen die Studierenden zur Vertiefung des gelernten Stoffes anregen, sind jedoch bisher eher theorielastig aufgebaut und enthalten in der Regel keine experimentellen Aufgabenstellungen. Die Besprechung in den Kleingruppen ist oft extrinsisch motiviert, da für die Übung häufig Anwesenheitspflicht besteht und für die Teilnahme an der Modulabschlussklausur eine bestimmte Punktzahl in den Übungen erreicht werden muss. Praktisches Experimentieren durch die Studierenden

Typischer Ablauf von Vorlesung und Übung in der Experimentalphysik

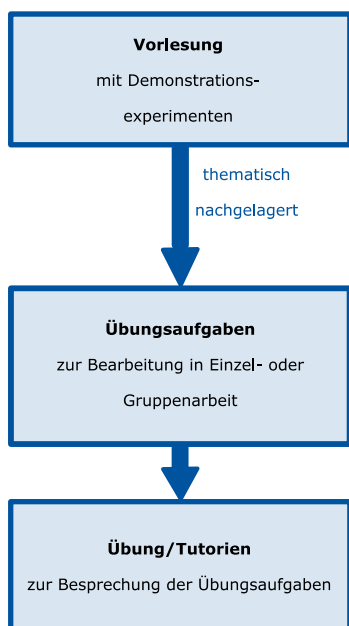


Abb. 2: Typischer Ablauf von Vorlesung und Übung in der Experimentalphysik. Die Inhalte der Vorlesung werden mit Demonstrationsexperimenten verdeutlicht. Anschließend werden Übungsaufgaben thematisch zur Vorlesung nachgelagert und in einer Übung oder einem Tutorium besprochen.

ist somit meist nicht vorgesehen. Erst in separaten Praktika erhalten die Studierenden die Möglichkeit eigenständig zu experimentieren. Diese Praktika finden auch nur in Ausnahmefällen (in kleinen Studiengängen an ausgewählten Standorten) parallel zu Vorlesung statt. In den meisten Fällen ist das Praktikum damit entkoppelt von der Vorlesung und deutlich nachgelagert. Dies führt zu einem Defizit in der die Motivation fördernden studentischen experimentellen Tätigkeit in der besonders stark von einem Studienabbruch bedrohten Phase des Physikstudiums. *phyphox* bietet die Möglichkeit, diesem Defizit entgegenzuwirken. Ein möglicher Ablauf für eine Veranstaltung, in der *phyphox* eingesetzt wird, ist in Abbildung 3 dargestellt. Demnach sind drei mögliche Einsatzszenarien denkbar, die miteinander ergänzt werden können:

A: Im Unterschied zum typischen Ablauf einer Veranstaltungsreihe zur Experimentalphysik, wie er in Abbildung 2 skizziert war, wird beim Einsatz von *phyphox* in diesem Szenario der Vorlesung ein weiterer Schritt vorgelagert. In Vorbereitung auf die Vorlesung wird den Studierenden eine experimentelle Aufgabe gestellt, zu der ihnen der theoretische Hintergrund noch unbekannt sein darf. Die Messdaten der Studierenden werden mit Hilfe einer Eingabe-

maske im Internet erfasst. Diese Daten können daraufhin in der Vorlesung aufgegriffen werden, so dass die dahinterliegende theoretische Gesetzmäßigkeit mit Hilfe der Daten der Studierenden nachgewiesen werden kann.

B: Zusätzlich kann die App auch in der Vorlesung für Demonstrationsexperimente eingesetzt werden. Dabei wurde die App ursprünglich mit besonderem Blick auf diese Anwendung entwickelt. Auch deshalb verfügt sie über einen Fernzugriff auf das Smartphone und ermöglicht einen Export der Messdaten auf einen zweiten Bildschirm und damit z.B. deren Präsentation über einen Beamer. Im Gegensatz zu klassischen Demonstrationsexperimenten können viele der entsprechenden *phyphox*-Experimente von den Studierenden zu Hause mit einfachen Mitteln selbst wiederholt oder um weitere Messdaten ergänzt werden, weil (fast) alle Studierenden über das entscheidende Messwertersystem in Form eines Smartphones selbst verfügen.

C: In den Aufgabenstellungen für die Übung können zur Vertiefung des gelernten Stoffes mit *phyphox* auch experimentelle Aufgaben in Ergänzung zu den bisher eingesetzten eher theorie-lastigen Aufgaben gestellt werden. In diesen Aufgabenstellungen können auch Demonstrationsexperimente aus der Vorlesung wieder aufgegriffen werden. Auch im neuen Ablauf werden die Übungsaufgaben in einer Übung oder in einem Tutorium in kleinen Gruppen besprochen.

Insgesamt kann somit durch den Einsatz von *phyphox* in verschiedenen Phasen der Lehrveranstaltung der

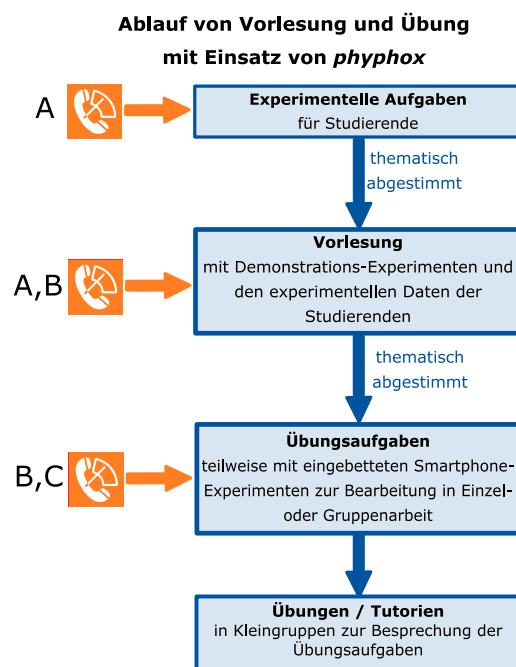


Abb. 3: Ablauf einer Vorlesung und Übung zur Experimentalphysik mit Einsatz von *phyphox*. Im Vergleich zum typischen Ablauf kann hier der Vorlesung eine experimentelle Aufgabe vorgelagert werden. Die Bedeutung der Beschriftung A-C kann dem Text entnommen werden.

Anteil an experimentellen Tätigkeiten bei den Studierenden und damit auch der Grad ihrer Eingebundenheit im Lehr-Lern-Prozess erhöht werden. Dies lässt eine erhöhte Lernwirksamkeit gegenüber einem klassischen Veranstaltungsablauf erwarten, der teils durch eine erhöhte Motivation der Studierenden, teils auch durch die veränderte Methodik bedingt wird.

Die App *phyphox* kann aber nicht nur in der Ausbildung von Physik-Studierenden, sondern auch in der sogenannten Nebenfachausbildung zur Physik gewinnbringend eingesetzt werden. Viele Studierende aus natur- und ingenieurwissenschaftlichen Studiengängen absolvieren in ihren ersten Studiensemestern eine physikalische Grundausbildung. Der Ablauf einer Experimentalphysikveranstaltung bei Nebenfachstudierenden unterscheidet sich von dem der Hauptfachstudierenden darin, dass bei den Nebenfachstudierenden die Übungen in der Regel nicht verpflichtend sind und meist als Globalübung abgehalten werden. Auch ist es für die Teilnahme an der Modulabschlussklausur meist nicht erforderlich, eine gewisse Punktzahl in den Übungen zu erreichen. Daher ist der Lehrende beim Aufgreifen der experimentellen Daten der Studierenden in der Vorlesung nach dem oben skizzierten Szenario A des *phyphox*-Einsatzes darauf angewiesen, dass eine ausreichende Anzahl an Studierenden die entsprechenden Aufgaben auf freiwilliger Basis bearbeitet und die Messdaten in die Eingabemaske einträgt. Prinzipiell erscheint es aber auch bei Nebenfachstudierenden möglich, den Anteil an motivationsfördernden studentischen experimentellen Tätigkeiten im Vorlesungszyklus zu erhöhen.

4. Erste Erfahrungen mit *phyphox*

Die App *phyphox* wurde erstmals im Wintersemester 2016/17 in der Vorlesung Experimentalphysik I an der RWTH Aachen umfassend eingesetzt. Diese Vorlesung ist im ersten Semester der Bachelorstudiengänge Physik und Lehramt Physik (für Gymnasien und Gesamtschulen sowie Berufskollegs) verankert. Zusätzlich ist diese Vorlesung im Mathematik- und Informatikstudium mit Anwendungsfach Physik vorgesehen. Weil es sich im WS 2016/17 um den ersten umfassenden Einsatz nach Veröffentlichung der App handelte, wurde von einer umfangreicheren fachdidaktischen Begleituntersuchung zunächst abgesehen.

Die App wurde in dieser Veranstaltung nach dem Ablaufplan aus Abbildung 3 eingesetzt. So gab es der

Studierende bewerten in einer Umfrage:
"phyphox macht mir Spaß und motiviert."

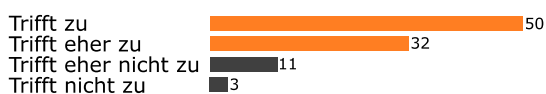


Abb. 4: Ergebnis der Befragung der Studierenden zum Einsatz von *phyphox*. Die Mehrheit der Studierenden hat den Einsatz positiv bewertet.

Vorlesung vorgelagerte Aufgaben, deren Messwerte in der Vorlesung aufgegriffen wurden. Auch wurde *phyphox* in der Vorlesung in Demonstrationsexperimenten eingesetzt und es wurden experimentelle Aufgaben zur Vertiefung der in der Vorlesung behandelten Inhalte gestellt. Gegen Ende des Semesters wurden die Studierenden im Rahmen einer Evaluation befragt, ob der Einsatz der App ihnen Spaß gemacht hätte und ob der Einsatz sie motiviert hätte. An der Befragung haben 96 Studierende teilgenommen. Ein Ausschnitt der Ergebnisse ist in Abbildung 4 dargestellt. Demnach sind die Studierenden mehrheitlich durch den Einsatz von *phyphox* motiviert worden und hatten Spaß am Experimentieren mit *phyphox*.

5. Ausblick

Momentan wird die App in der Vorlesung Experimentalphysik II der grundständigen Physikstudiengänge sowie in der Physikvorlesung für Studierende der Biologie und Biotechnologie eingesetzt. Mit dem Einsatz in einer Nebenfachvorlesung soll dabei eine umfassendere Studie vorbereitet werden, die Studierende anderer Naturwissenschaften sowie verschiedener Ingenieurwissenschaften adressieren soll. Der Schwerpunkt dieser Untersuchungen wird jeweils im Wintersemester liegen, in dem traditionell an der RWTH Aachen mehr Physikvorlesungen zum Themenbereich der Mechanik stattfinden, für den sich ein Einsatz von *phyphox* besonders anbietet.

Parallel zu dieser Erweiterung des *phyphox*-Einsatzes in der Nebenfachausbildung wird auch eine umfassendere Begleituntersuchung des *phyphox*-Einsatzes in der Experimentalphysik I-Veranstaltung im kommenden WS geplant. In dieser Veranstaltung sind die Teilnahme an der Übung und die Bearbeitung der Übungsaufgaben verpflichtend. Auch deshalb werden hier voraussichtlich anteilig deutlich mehr Studierende die Aufgaben zu *phyphox* bearbeiten als in den Nebenfachvorlesungen, in denen die Teilnahme an der Übung wie auch die Bearbeitung der Übungsaufgaben auf freiwilliger Basis erfolgt. Die skizzierten Untersuchungen sollen am Ende eine Bewertung des Einsatzpotentials und insbesondere auch der motivationalen Wirkung des *phyphox*-Einsatzes in Physikveranstaltungen im Haupt- und Nebenfachstudium ermöglichen.

6. Literatur

- [1] Klein, P. (2016). Konzeption und Untersuchung videobasierter Aufgaben im Rahmen vorlesungsbegleitender Übungen zur Experimentalphysik (Mechanik). Dissertation, Technische Universität Kaiserslautern.
- [2] Feierabend, Plankenhorn & Rathgeb (2016). *JIM-Studie 2016. Jugend, Information, (Multi-)Media. Basisstudie zum Medienumgang 12- bis 19-Jähriger in Deutschland*. Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest (mpfs). Verfügbar un-

- ter: https://www.mpfs.de/fileadmin/files/Studien/JIM/2016/JIM_Studie_2016.pdf
[18.05.2017]
- [3] Kuhlen, S., Stampfer, C., Wilhelm, T. & Kuhn, J. (2017). Phyphox bringt das Smartphone ins Rollen. *Physik in unserer Zeit*, 3|2017 (48), 148-149
- [4] Texas Instruments. *SensorTag*. Verfügbar unter: http://www.ti.com/ww/en/wireless_connectivity/sensortag2015/index.html?INTC=SensorTag&HQS=sensortag-pr
[18.05.2017]

ELIXIER: Demonstration einer kompetenzorientierten Mixed-Reality-Experimentierumgebung

Jürgen Kirstein, Dorothee Ermel, Sebastian Haase und Volkhard Nordmeier

Freie Universität Berlin, Didaktik der Physik
 juergen.kirstein@fu-berlin.de, dorothee.ermel@fu-berlin.de, sebastian.haase@fu-berlin.de,
 volkhard.nordmeier@fu-berlin.de

Kurzfassung

Das Projekt "Erfahrungsbasiertes Lernen durch interaktives Experimentieren in erweiterten Realumgebungen (ELIXIER)" wird im Rahmen des Förderschwerpunkts "Erfahrbares Lernen" durch das BMBF gefördert. Ziel ist die Demonstration und Evaluierung einer intelligenten Experimentierumgebung für Praktika, die eine "nahtlose" Lernbegleitung über alle Phasen des Experimentierprozesses (Vorbereiten - Durchführen - Nachbereiten) ermöglicht. Auf Grundlage der didaktischen Konzeption einer Autoren- und Lernumgebung zur Verknüpfung realer und virtueller Erfahrungen wurden erste Lernszenarios ausgestaltet, in denen es möglich ist, Wissen und Fertigkeiten effizient und praxisnah zu erwerben.

1. Das "Seamless Smart Lab"

Zentrales Element der Lernprozessunterstützung im Seamless Smart Lab (S2L) ist die direkte Rückkopplung von Handlungen während des Versuchsablaufs: Fehlbedienungen, Gefahrensituationen oder das Abweichen vom idealen Versuchsverlauf werden automatisch erkannt. Das multimodale Display des S2L lenkt die Aufmerksamkeit und blendet (animierte) Hinweise und Hilfen unmittelbar am Ort des Geschehens ein. Im digitalen Lernmaterial visualisiert das Zeigen auf einen Begriff oder ein grafisches Symbol das korrespondierende Objekt in der Realität – und umgekehrt. Ergänzende Inhalte (Erläuterungen, Handlungsanleitungen, Tests) lassen sich in der Bedarfssituation dynamisch bereitstellen und erhalten so eine für den Lernenden unmittelbare Relevanz im realen Experimentierprozess.

Anleitung wird in der Realität erfahrbar. Die Bedienung eines Gerätes oder der Aufbau einer

Versuchsanordnung wird durch Augmented-Reality-Unterstützung direkt in der Realität erfahrbar. Die Anleitungsschritte sind dabei mit den Benutzerhandlungen rückgekoppelt. Anleitungstexte werden so erheblich einfacher, da sie sich unmittelbar auf die realen Objekte oder Handlungen beziehen. Heute noch übliche sprachliche Anleitungen in der Form "Bringen sie Schalter (20) in Position (3) und lesen dann Display (12) ab.", werden überflüssig. Zudem kann durch die AR-Unterstützung gezielt die Aufmerksamkeit der Lernenden gesteuert werden, indem Bedienelemente oder Teile des Experiments hervorgehoben werden.

Berührungslose Interaktion. In einigen Experimentalsituationen kann eine berührungslose Interaktion mit der digitalen Umgebung nützlich sein. Damit wären experimentelle Handlung mit beiden Händen durchführbar, während gleichzeitig Informationen abgerufen oder sogar eingegeben werden.

ELIXIER Systemüberblick - Seamless Smart Lab (S2L)

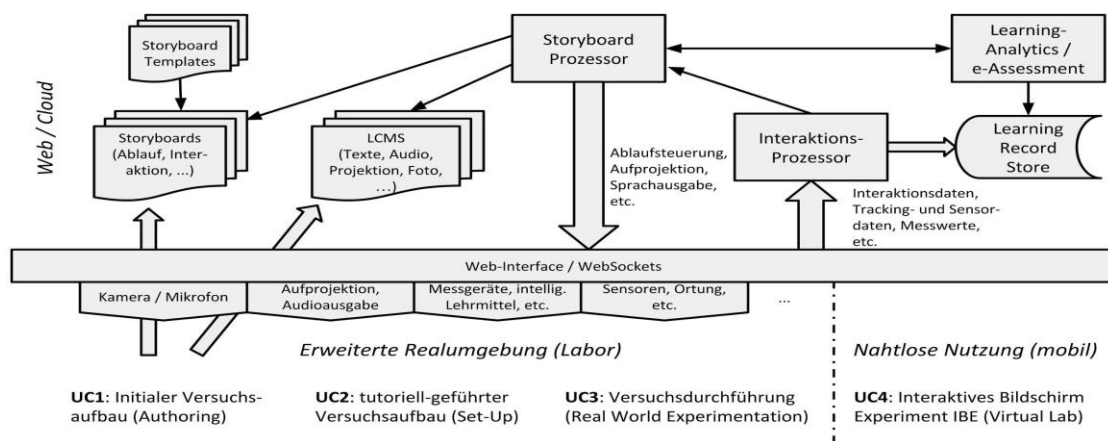


Abb.1: Das S2L-System integriert intelligente Laborausstattung mit Medientechnik und Lernmaterialien zu einer webbasierten Gesamtlösung.

Realisieren kann man diese berührungslose Interaktion u.a. durch Sprachsteuerung. ELIXIER setzt Elemente der kognitiven Theorie multimedialen Lernens (Mayer 2009) und darauf basierende Prinzipien für instruktionale Maßnahmen durch die Kombination von Hard- und Software in völlig neuer Weise um: Kontiguität (visuelle Hinweise und Feedback zur Gerätebedienung oder zur Anleitung des Experiments werden unmittelbar am Ort der Handlung gezeigt), Segmentierung (die hochgradige Modularisierung der Lerneinheiten erlaubt eine Individualisierung der Assistenzfunktion), Modalität (Sprachausgabe von Erklärungen und Bedienungshinweisen mit synchronen visuellen Hinweisen auf z.B. Lage und Handhabung von Bedienelementen).

Webbasierte Infrastruktur. Wesentliche Säule der technischen Umsetzung ist die S2L-Infrastruktur (vgl. Abb.1), die auf Grundlage der didaktisch-technischen Anforderungen konzipiert und implementiert wird. Als durchgängiges Lernkonzept für das Laborpraktikum realisiert das S2L neben der augmentierten Präsenzumgebung auch eine vom Endgerät unabhängige Nutzbarkeit (PC, Laptop, Tablet, interaktives Whiteboard) und verbindet so verschiedene (praxisnahe) Lernsituationen. Damit lässt sich die Relevanz curricularer Lerninhalte erhöhen (Ebner et al. 2010). S2L überwindet durch die universelle Nutzbarkeit und die in die Versuchsumgebung eingebettete Technologie typische Nutzungsbrüche im Kontext des Laborpraktikums: zwischen verschiedenen Lernzeiten und Lernorten, realem Experiment und digitalem Lernmaterial, Versuchsgeräten und Anleitungen sowie zwischen verschiedenen Lernaufgaben und -aktivitäten.

Das webservice-basierte S2L-Backend realisiert dabei einerseits die kontextgesteuerte Auslieferung der Inhalte zur Augmentierung und Anleitung. Andererseits werden alle im realen Versuchskontext produzierten Interaktions-, Sensor- oder Messdaten erfasst, analysiert und zur weiteren Steuerung des Ablaufs in das System zurückgekoppelt. In einem sogenannten "Learning Record Store" werden zusätzlich alle zur individuellen Analyse des Lernfortschritts benötigten Daten temporär gespeichert. Ein wesentlicher Beitrag zur Flexibilität der Experimente wird durch den Einsatz drahtloser, zu einem Netzwerk verknüpfter Sensorik geleistet.

Lernanalyse/E-Assessment. Die Lernanalyse (Chatti et al. 2012) beschäftigt sich mit der Aggregation, Analyse und Interpretation von Lerner-Daten, mit dem Ziel Lernfortschritte zu messen, Problembereiche aufzudecken und zu verbessern. Echtzeit-Lernanalyse ermöglicht zudem eine unmittelbare Rückmeldung über den Stand der individuellen Zielerreichung während des Lernprozesses – eine wesentliche Grundlage für Personalisierung von Lernwegen oder die Steuerung tutorieller Assistenz. Personalisierte E-Assessment Systeme (Saul & Wuttke 2013) erlauben die Lernanalyse auch in interaktiven simulierten Szenarien. Im Vorhaben

ELIXIER untersuchen wir, welche Messgrößen, Interaktions- oder Bewegungsmuster sich als Indikatoren für die Lernanalyse einbeziehen lassen.

Automatisches Generieren der IBE-Repräsentation. Im realen Experimentaufbau werden die verwendeten Gerätemodule und Komponenten erfasst und lokalisiert. Während der Durchführung erfasst das System laufend Zustandsdaten des Experiments sowie alle Benutzerhandlungen. S2L hält von allen verfügbaren Experimentkomponenten modulare IBE-Repräsentationen bereit, aus denen dann ein individuelles IBE generiert werden kann. Damit lässt sich das Realexperiment entweder zeitbasiert reproduzieren oder interaktiv, zur realitätsnahen Wiederholung der experimentellen Handlungen, einsetzen.

2. Erfahrungsbasiertes Lernen

Unser Konzept für erfahrungsbasiertes Lernen orientiert sich am Modell des Handlungszyklus, das in der allgemeinen naturwissenschaftlich-technischen Bildung dem Experimentieren eine Struktur gibt. Ausgehend von einer kontextorientierten Aufgaben- oder Problemstellung ist der Handlungszyklus durch die Phasen Planung, Durchführung und Reflexion gekennzeichnet (Kircher et al. 2015). Über die enge Vernetzung von realer Erfahrung mit virtuellen Elementen der Lernumgebung lässt sich dieser Zyklus über die Präsenzphase in neuer Qualität erweitern. Er bildet einen „roten Faden“, der den Lernenden Orientierung gibt und gleichzeitig Anlässe schafft, in Unter- oder Teilzyklen für den Problemlöseprozess erforderliches Wissen zu erarbeiten. So sieht unser didaktisches Konzept beispielsweise vor, die theoretischen Grundlagen nicht im Lernmaterial voranzustellen, sondern erst dann bereitzustellen, wenn sich für den Lernenden ein Theoriebedarf aus der Notwendigkeit für die Problemlösung ergibt. Das kann beispielsweise bereits in der Planungsphase der Fall sein oder auch später im Experimentierprozess selbst, etwa bei Problemen bei der sachgerechten Handhabung eines Gerätes.

Die berufliche Bildung greift das didaktische Modell des Handlungszyklus im Rahmen der Arbeitsprozessorientierung auf (Howe & Knutzen 2007). Der fortschreitende technologische und ökonomische Wandel wirft mehr denn je die Frage auf, mit welchen didaktischen Konzepten sich berufliche Bildung adäquat und effektiv gestalten lässt. Diese Frage besitzt eine besondere Brisanz mit Blick auf die Tatsache, dass umfassende berufliche Handlungs- und Gestaltungskompetenzen zunehmend an Bedeutung gewinnen. Aus dem Modell des Handlungszyklus abgeleitete arbeitsprozessorientierte Lehr-Lernkonzepte können durch die enge Verbindung von Lernen und Arbeiten die Entwicklung dieser Kompetenzen in besonderer Weise fördern (Fischer 2003). Auch hier bildet der Handlungszyklus von der Auftragsannahme, über die Planung, Durchführung bis zur abschließenden Reflexions-

und Übergabephase einen „roten Faden“ für die Gestaltung der S2L-Lernumgebung.

In den fachlichen Lernszenarien unseres Konzepts erfahrungsbasierten Lernens ist dabei das Ausbilden handlungsorientierter Kompetenzen (z.B. für den Versuchsaufbau, das Bedienen von Geräten) zentral. Mit S2L werden unter Anleitung durch das System und mit erweitertem Feedback auch motorisch-kinästhetisch praktische Fertigkeiten trainiert, welche nur am realen Gerät erlernt werden können. Die Lernenden verbinden diese realweltlichen Erfahrungen weiter mit der im IBE gespeicherten Version, die das Experiment realitätsnah abbildet und daher die Erinnerung auch im Sinne der Embodied Cognition reaktiviert. Die integrierte Umgebung bietet zudem multicodale Repräsentationen (Weidenmann 1997), die mit dem Experiment dynamisch verknüpft sind und so die das Problemlösen sowie den Lerntransfer unterstützen.

Mit dem beantragten Konzept soll eine Verbesserung der handlungsorientierten Experimentierkompetenz und des verstehenden Lernens vom Praktikumsexperiment bis zum Trainingssystem erreicht werden. Durch die Vernetzung des digitalen Lernmaterials mit den Komponenten des Experimentaufbaus und einer Augmentierung durch das S2L-System realisiert ELIXIER neue Formen realweltlicher Erfahrung wie auch der Anschauung. Die im Experiment erfassten Echtzeit- Messdaten dienen etwa zur Steuerung von aufprojizierten Animationen, mit denen sich nicht direkt sinnlich erfahrbare Vorgänge als unmittelbares Feedback der Folgen von Handlungen des Lernenden direkt im Experiment über fachspezifische Symbolsysteme veranschaulichen lassen. Beispielsweise sind das elektrische Leitungsvorgänge, Materieströme, Felder oder auch Details der technischen Funktion eines Gerätes, die von außen nicht wahrnehmbar sind. Interaktive Repräsentationen der individuellen experimentellen Erfahrung werden so auch zum integralen Bestandteil personalisierter Lernmaterialien. Die Vision: das digitale Portfolio als „Sammelmappe“ für experimentelle Erfahrung, die dem Studierenden über die akademische bzw. berufliche Ausbildung hinaus zur Verfügung stehen und mit anderen geteilt werden können. Damit wird ELIXIER zum Begleiter auf einem lebenslangen Bildungsweg und ermöglicht auch noch in der Berufspraxis anschauliche Rückgriffe auf grundlegende Ergebnisse erfahrungsbasierten Lernens mit dem Experiment im Praktikum oder Training. Auch die praktische Realisierung kumulativer Lernkonzepte erweitert ELIXIER damit entscheidend.

3. Die Demonstratoren

Die Innovationen des S2L-Systems sollen in drei verschiedenen naturwissenschaftlichen Experimenten in die Praxis umgesetzt und evaluiert werden. Die nachfolgend skizzierten Demonstratoren defi-

nieren jeweils spezifische didaktische sowie technische Anforderungen aus unterschiedlichen Fachdisziplinen an Funktionsumfang und Schnittstellen der prototypischen S2L-Infrastruktur, sowie an Präsentationsformen und Inhalte.

Chemie In vielen Bildungseinrichtungen mangelt es an Zeit und Experimentiererfahrung der Lehrenden. Mit dem Demonstrator für chemische Experimente wird durch eine enge Führung und Unterstützung die Vorbereitungszeit minimiert und die Erfolgswahrscheinlichkeit des Experimentes auch bei ungeübten Experimentatoren erhöht. Demonstriert wird das Experiment als Bestandteil einer nahtlosen Lernumgebung aus intelligenten Experimentiermodulen, Objekten der Laboreinrichtung und interaktiven Online-Lernmaterialien, die individuelle experimentelle Erfahrung über die Laborumgebung hinaus trägt. Die Geräte des Experimentaufbaus sind magnetisch auf einer Tafel fixiert, wobei das S2L-System Position und Verbindungen von Apparaturen und Geräten, ebenso wie Messdaten, in Echtzeit erfasst. Darauf basierende Daten werden über ein Projektionssystem direkt auf der Experimentiertafel

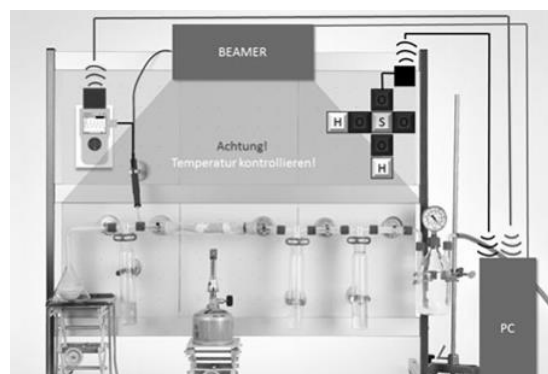


Abb. 2: Beispielhafte Darstellung einer Mixed-Reality-Experimentierumgebung (Chemie).

dargestellt (Abb. 2). Inhalte des Lernmaterials oder auch Gerätezustände passen sich situativ dem vom System erkannten oder dem vom Lernenden angeforderten Bedarf im Experimentierzyklus individuell an. Das System bietet damit unmittelbares und elaboriertes Feedback als Ergänzung experimenteller Erfahrung. Alle Ergebnisse des Experiments und alle weiteren relevanten Daten der Lernumgebung werden cloudbasiert gespeichert und sind damit jederzeit und überall verfügbar. Mobile Endgeräte sind in das webbasierte System transparent eingebunden. Diese Form der individualisierten digitalen Lernmaterialien ermöglicht ein vertiefendes Studium auch außerhalb der Experimentumgebung.

Die Orientierung, sowie die Vor- und Nachbereitung des Experiments erfolgen multimedial am Computer und nehmen unmittelbar Einfluss auf die Hinweise und Gestaltung der Versuchsdurchführung. So kann sich ein/eine Lernende/r individuell Schwerpunkte und Ziele setzen, den Handlungsablauf durch geeignete Hinweise selbstständig planen und interaktiv

den Versuchsaufbau am Computer vorbereiten. Begleitet wird dies von geeigneten Hilfestellungen oder weiterführenden Informationen. Während der Versuchsdurchführung werden Lerninhalte und Hinweise mit einem Beamer projiziert. Dies kann z.B. der individuell geplante Versuchsaufbau sein. Die Inhalte können sich situativ an den Experimentzustand anpassen, indem Sensordaten aufgenommen, Objekte getrackt oder Handlungen analysiert werden. So werden im Laufe der Versuchsdurchführung Hintergrundprozesse der chemischen Reaktionen sichtbar gemacht, simultan zum Versuchsfortschritt ändern sich die angezeigten Molekülbewegungen, die Reaktionsgleichung wird an der passenden Stelle angegeben oder Warnhinweise werden projiziert.

Elektromobilität Grundlage ist ein auf einer großflächigen Tafel in der Draufsicht schematisch dargestelltes Elektrofahrzeug. Die im Zusammenhang mit dem Elektroantrieb relevanten Komponenten lassen sich an den entsprechenden Fahrzeugpositionen platzieren. Den Bezug zum Realfahrzeug ermöglichen dabei passive Originalkomponenten. An den Punkten, wo der Einsatz von Originalkomponenten zu einem „Block-Box“-Effekt führen würde oder sich aus Aspekten der elektrischen Sicherheit verbietet, werden didaktisch aufbereitete Komponenten eingesetzt. Über Aufprojektion werden ergänzende Informationen, Erläuterungen oder Arbeitsanweisungen direkt am betreffenden Bauteil angezeigt, die im Gegensatz zu traditionellen Lehrunterlagen dynamisch an die aktuellen Anforderungen anpassbar sind, unmittelbare Rückmeldungen geben und interaktive Aufgaben- und Testformate in die Lernumgebung integrieren. Zusätzlich wird der Teil des öffentlichen Versorgungsnetzes auf der Tafel dargestellt, der zur Ladeinfrastruktur gehört, um diesen realitätsnah mit dem virtuellen Elektrofahrzeug verbinden zu können. Das S2L System stellt so die sonst nicht sichtbaren Energieströme nachvollziehbar dar.

Neurobiologische Experimente Der Demonstrator zum Thema Neurobiologie soll Experiment und Simulation verbinden. Im Aufbau wird die physiologische Messung am eigenen Körper mit dem modellhaften Aufbauen und Simulationen physiologischer Vorgänge, die der Messung zugrunde liegen, verknüpft. Das reale Experiment wird mit humanphysiologischen Sensoren und zugehörigen Peripherie-Geräten durchgeführt. So wird bei der Messung der Hörschwelle – durch das S2L-System gesteuert – Frequenz und Lautstärke eines Tons variiert. Die Lernenden geben ihr Feedback über die Hörbarkeit der Töne (Messergebnis) zurück an das System. Die Gerätemodule des Demonstrators werden auf der vertikalen CPS-Magnettafel mit zusätzlich benötigten Informationen über das Experiment verbunden. Messdaten werden unmittelbar in Echtzeit auf die Tafel projiziert. Die Simulation physiologischer

Vorgänge erfolgt mit Hilfe intelligenter Neuro-Bausteine auf der Magnettafel. Die Lernenden bauen hier im ersten Schritt aus den Bausteinen neuronale Verknüpfungen auf, u.a. mit den Neuro-Bausteinen Sinneszelle, Nervenzelle mit Dendriten und Axon oder Effektorzelle. Einmal aufgebaut, kann mit den Neuro-Bausteinen die Reizweiterleitung in der neuronalen Verschaltung simuliert werden, z.B. das Erkennen von Tönen über Hörsinneszellen. Das S2L-System stellt systemische, bzw. makroskopische Effektoren der Neuro-Bausteine dar, z.B. das Gehirn, und liefert damit einen vertieften Bezug zur Erlebniswelt des Lernenden. Vorgänge an Sinneszellen und Neuronen werden so anschaulich gemacht und die Übertragung dieser Vorgänge auf die makroskopische Erlebniswelt der Lernenden erleichtert. Durch die direkte Integration sowohl der humanbiologischen Sensoren für die Messung von Körperfunktionen als auch der intelligenten Neuro-Bausteine in die S2L-Umgebung erfolgt eine kontinuierliche Begleitung des Lernenden im gesamten Handlungszyklus des Experiments. Handlungsanweisungen und Zusatzinformationen werden zu passenden Zeitpunkten ein- und wieder ausgeblendet. Das gesamte Experiment mit Dokumentation kann im weiteren Verlauf der Lerneinheit auch auf mobilen Endgeräten verfolgt und bearbeitet werden.

4. Literaturverzeichnis

- Chatti, M. A., Dyckhoff, A. L., Schroeder, U. & Thüs, H. (2012). A Reference Model for Learning Analytics. *International Journal of Technology Enhanced Learning (IJTEL)* (4), 318–331.
- Ebner, M.; Kolbitsch, J.; Stickel, C. (2010). iPhone/iPad Human Interface Design. In: G. Leitner, M. Hitz & A. Holzinger (Hg.), *A Human-Computer Interaction in Work & Learning, Life & Leisure*, Berlin: Springer, 489-492.
- Fischer, M. (2003). Grundprobleme didaktischen Handelns und die arbeitsorientierte Wende in der Berufsbildung. In: bwp@H4. Online verfügbar: http://www.bwpat.de/ausgabe4/fischer_bwpat4.pdf
- Howe, F.; Knutzen, S. (2007). *Die Kompetenzwerkstatt*. Ein berufswissenschaftliches E-Learning Konzept. 1. Auflage. Göttingen: Cuvillier.
- Kircher, E.; Girwidz, R.; Häußler, P. (Hg.) (2015): *Physikdidaktik. Theorie und Praxis*. 3. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum.
- Mayer, R.E. (2009). *Multimedia learning*. 2.ed. Cambridge: Cambridge Univ. Press
- Saul, C.; Wuttke, H.-D. (2013). Assessment 3.0 meets Engineering Sciences. In: *Proceedings of the 16th International Conference on Interactive Collaborative Learning (ICL2013)*. Kazan
- Weidenmann, B. (1997). "Multimedia": Mehrere Medien, mehrere Codes, mehrere Sinneskanäle? *Unterrichtswissenschaft*, 25 (3), 197-206.

Integrativer Einsatz realer und interaktiver digitaler Repräsentationen in der Physik

Daniel Laumann

Institut für Didaktik der Physik
Westfälische Wilhelms-Universität
Wilhelm-Klemm-Str. 10
48149 Münster

daniel.laumann@uni-muenster.de

Kurzfassung

Die Wissensvermittlung in der Physik befindet sich im Spannungsfeld zwischen der Berücksichtigung realer Experimente und Phänomene sowie dem nutzbringenden Einsatz digitaler Medien. Das Projekt *Real:Digital – die Integration zweier Welten* (nf. *Real:Digital*) untersucht das Potential der integrativen Nutzung dieser zunächst isoliert erscheinenden Repräsentationsformen. Der Beitrag beschreibt die theoretische Grundlage des Projektes und verdeutlicht das Potential anhand eines Best Practice-Beispiels. Eine grundlegende Theorie zur Nutzung multipler Repräsentationsformen stellt die *Cognitive Theory of Multimedia Learning* (nf. *CTML*) dar. Diese Theorie beschreibt kognitive Lehr-Lernprozesse im Kontext multipler Repräsentationen. Aufgrund der ausschließlichen Berücksichtigung von Sprache und Visualisierungen innerhalb der aus den Bildungswissenschaften stammenden *CTML*, lässt sich jedoch kein unmittelbarer Bezug zu realen Repräsentationen als naturwissenschaftsspezifischer Medienform herstellen. Der Beitrag beschreibt diesbezüglich die Entwicklung einer Erweiterung der *CTML*. Die Anwendung der erweiterten Theorie wird dann in Form des Best Practice-Beispiels Magnetismuswaage zur Demonstration dia- und paramagnetischer sowie elektrischer Stoffeigenschaften dargestellt.

1. Einleitung

Zur Charakterisierung aktueller Lernender wird häufig der Begriff der *Digital Natives* genutzt. Die Gruppe der *Digital Natives* umfasst Personen jener Generationen, deren Alltag und Umwelt durch digitale Technologien bestimmt wird und die entsprechende digitale Elemente in multiplen Kontexten und unter Berücksichtigung verschiedenster Zielsetzungen nutzen.

Obwohl Definitionen zur spezifischen Charakterisierung von *Digital Natives* teilweise leicht unterschiedlich erscheinen, kann davon ausgegangen werden, dass aktuelle Lernende sowohl in den Schulen als auch an den Hochschulen im Sinne der meisten gängigen Definitionen als *Digital Natives* angesehen werden können [1].

Strebt man ausgehend von dieser Prämisse die Ableitung von Implikationen für die Vermittlungspraxis an, ergibt sich unmittelbar die Frage, ob *Digital Natives* digitale Technologien auch in natürlicher Weise zur Aneignung von Wissen und zum zielgerichteten Einsatz im Sinne des Lehrens und Lernens nutzen. Aktuelle Studien deuten diesbezüglich jedoch an, dass die Generation der *Digital Natives* gegenüber älteren Generationen kein andersartiges Nutzungsverhalten offenbart [2] und beispielsweise das Internet primär zur Kommunikation und Unterhaltung und nur sehr nachrangig zum Zweck der Informationssuche genutzt wird [3].

Ausgehend von diesen Befunden und unter Berücksichtigung eigener Lehrerfahrungen, erscheint es sinnvoll die Generation der *Digital Natives* nicht automatisch als *Digital Learners* zu behandeln. Vielmehr ist es notwendig aufgrund der zunehmenden Bedeutung digitaler Medien für die Lehre an Schulen und Hochschulen fachliches und methodisches Lernen in der digitalen Welt zu ermöglichen und zu organisieren, d.h. einerseits müssen Lehr-Lernmedien so gestaltet werden, dass die Aneignung und Vermittlung von Wissen gelingen kann und andererseits müssen sowohl Lernende als auch Lehrende auf Herausforderungen digitaler Technologien vorbereitet und zur planvollen Nutzung befähigt werden [4, 5].

Neben digitalen Lehr-Lernmedien bestimmen in besonderem Maße auch reale Repräsentationen in Form von Experimenten, Versuchen und Naturphänomenen die Wissensvermittlung im Fach Physik. Die Berücksichtigung realer Repräsentationen ermöglicht dabei die Auseinandersetzung mit einer fundamentalen Forschungsmethode der Naturwissenschaften [6] und wird häufig zur Vermittlung unterschiedlicher fachbezogener oder handlungsorientierter Kompetenzen genutzt. Hinsichtlich der Lernwirksamkeit weisen Studien jedoch auf die Bedeutung der Einbettung in den jeweiligen Lehr-Lernprozess [7] und damit eine angemessene Vor- und Nachbereitung experimenteller Arbeiten hin [8].

Der nachfolgende Beitrag diskutiert einen Ansatz zur integrativen Nutzung realer und interaktiver digitaler Repräsentationen, der im Projekt *Real:Digital* erarbeitet und untersucht wird. Dabei wird zunächst ausgehend von bestehenden Erkenntnissen zur Nutzung multipler Repräsentationen die theoretische Grundlage des Projektes erläutert. Unter Berücksichtigung aktueller Forschungs- und Entwicklungskonzepte in diesem Bereich sowie einer Beschreibung des Projektes *Real:Digital* soll dann am Beispiel eines spezifischen Experimentes (Magnetismuswaage) ein Beispiel zur integrativen Nutzung realer und interaktiver digitaler Repräsentationen diskutiert werden.

2. Theoretische Grundlage

Aufgrund der Berücksichtigung von sehr unterschiedlichen Repräsentationsformen im Projekt *Real:Digital*, erscheint es notwendig zunächst kurz die bisherigen Erkenntnisse zur Berücksichtigung von multiplen Repräsentationen in der Wissensvermittlung zu erläutern und das Projekt *Real:Digital* innerhalb dieser bestehenden Ansätze einzuordnen.

Weiterhin stellen digitale Lehr-Lernmedien eine bedeutsame Säule des Projektes dar. Hinsichtlich der Entwicklung entsprechender digitaler Inhalte wird in aller Regel die *CTML* sowie die darauf basierenden Gestaltungsprinzipien genutzt [9]. Zur theoretischen Fundierung von *Real:Digital* soll diese Theorie unter Berücksichtigung von realen Repräsentationen als zweiter bedeutsamer Säule des Projektes analysiert und angepasst werden.

2.1. Multiple Repräsentationen

Der Einbezug multipler Repräsentationen in die Wissensvermittlung findet sich als übergeordnetes Konzept fachdidaktischer Forschung. Bereits Anfang des 20. Jahrhunderts unterscheidet Peirce ikonische und symbolische Repräsentationen [10]. Dieser Ansatz wird später in den 1960er Jahren durch das *EIS-Prinzip* aufgegriffen und darin um enaktive Repräsentationen erweitert [11]. Gemäß des insbesondere in der Mathematik weit verbreiteten *EIS-Prinzips* gilt es bei der Vermittlung fachlicher Inhalte sämtliche Repräsentationsebenen zu berücksichtigen, um den Lernenden unterschiedliche und umfassende Zugänge zum Lerngegenstand zu eröffnen.

In Ergänzung zu dieser unmittelbaren Unterscheidung der Repräsentationsform des Lerngegenstandes, ergibt sich auch durch die Berücksichtigung des sensorischen Gedächtnisses ein Hinweis auf die Sinnhaftigkeit des Einbezugs multipler Repräsentationen zur Wissensvermittlung. So weist die *Dual-Coding Theory* dem Prozess der Wissensverarbeitung getrennte Kanäle, d.h. einen verbalen und einen non-verbalen Kanal, zu, innerhalb derer Informationen verarbeitet und Repräsentationen im Arbeitsgedächtnis konstruiert werden, wobei ein positiver Effekt auf die Lernwirksamkeit nachgewiesen werden kann [12]. Während der verbale Kanal gespro-

chene und geschriebene Informationen umfasst und somit sowohl mit dem Hören als auch mit dem Sehen verknüpft ist, ergibt sich für den mit bildhaften Repräsentationen verbundenen non-verbalen Kanal insbesondere ein Bezug zum Sehen.

Eine Analyse bestehender Ansätze und Untersuchungen im Kontext multipler Repräsentationen in der Fachdidaktik Physik deutet an, dass hier die zuvor im Rahmen der *Dual-Coding Theory* ausgeführte Unterscheidung verbaler und non-verbaler, d.h. im Sinne der Theorie bildhafter, Repräsentationen, Berücksichtigung findet [13, 14].

2.2. Erweiterung der *Cognitive Theory of Multimedia Learning*

Die zuvor genannte Einschränkung multipler Repräsentationen findet sich auch in der *CTML* [9], die häufig als Grundlage zur Legitimation und Entwicklung digitaler Medien genutzt wird. Die *CTML* ist konsistent mit der *Dual-Coding Theory* und berücksichtigt überdies Erkenntnisse der *Cognitive Load Theory* [15]. Folgt man der *CTML*, gelten Sprache und Visualisierungen als multiple Repräsentationen, deren Informationen durch das Hören und das Sehen im sensorischen Gedächtnis aufgenommen und im Arbeitsgedächtnis durch die Ausbildung von verbalen und visuellen Repräsentationen organisiert werden, sodass durch die Integration von Vorwissen neue Konzepte ins Langzeitgedächtnis übergehen können (siehe Abb. 1).

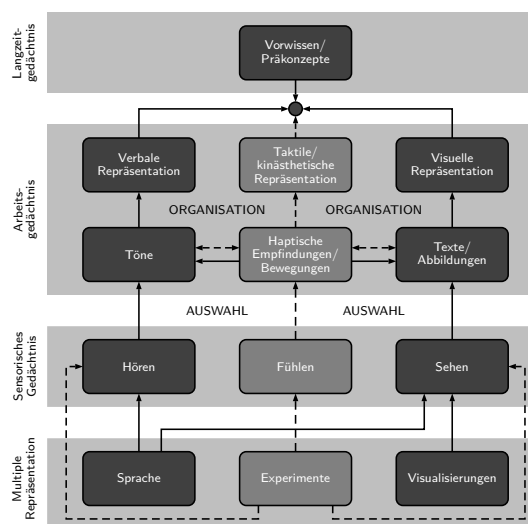


Abb.1: Darstellung der *CTML* nach Mayer [16] (dunkelgrau, außen) und naturwissenschaftsspezifische Erweiterung durch die Berücksichtigung realer Repräsentationen (grau, mittig).

Analysiert man die *CTML* jedoch unter Berücksichtigung spezifischer Merkmale der Wissensvermittlung in den Naturwissenschaften, ergeben sich zwei notwendige Erweiterungen. Einerseits werden durch die *CTML* reale Repräsentationen in Form von Experimenten, Versuchen oder Phänomenen nicht berücksichtigt. Andererseits und überdies in Zusammenhang zum erstgenannten Punkt erscheint der

Einbezug des Fühlens als weiterer Zugang zu Informationen im sensorischen Gedächtnis notwendig für eine angemessene Beschreibung von Lehr-Lernprozessen in den Naturwissenschaften. Eine Erweiterung der *CTML* unter Berücksichtigung naturwissenschaftsspezifischer Repräsentationen wird erstmals in Abb. 1 dargestellt und repräsentiert eine wichtige theoretische Grundlage des Projektes *Real:Digital*.

Die *CTML* beeinflusst die Erstellung digitaler Lehr-Lernmedien vor allem durch die aus der Theorie abgeleiteten Gestaltungsprinzipien [16]. Eines dieser Prinzipien, das Modalitätsprinzip, weist u.a. auf die Sinnhaftigkeit der simultanen Nutzung von Visualisierungen und gesprochenem Text hin. Berücksichtigt man gemäß der Erweiterung der *CTML* ein erweitertes Spektrum multipler Repräsentationen, erscheint auch die integrative Nutzung realer und digitaler Repräsentationen plausibel.

3. Forschungs- und Entwicklungskonzepte

Ausgehend von den theoretischen Hintergründen und im Anschluss an die grundsätzliche Legitimation, gilt es zunächst bestehende Forschungs- und Entwicklungskonzepte zu realen und digitalen Repräsentationen darzustellen, um im Anschluss die besonderen Merkmale des Projektes *Real:Digital* zu beschreiben.

3.1. Aktuelle Forschungs- und Entwicklungskonzepte

Die Verknüpfung realer und digitaler Repräsentationen findet sich bereits aktuell in unterschiedlichen Forschungs- und Entwicklungskonzepten.

Als ein in Deutschland umfassend bekanntes Projekt gelten die interaktiven Bildschirmexperimente [17]. Bei dieser Medienform ergibt sich durch eine große Anzahl einzelner Fotografien oder Videoaufnahmen eines realen Experimentes eine interaktive Simulation, deren Erscheinung und Darstellung dem realen Experiment bzw. Versuchsaufbau entspricht. Weiterführende modellierende Elemente zur Auswertung oder Interpretation der interaktiven Bildschirmexperimente finden sich jedoch nur in wenigen Beispielen.

International an Hochschulen, aber auch an Schulen weit verbreitet sind zudem die PhET-Simulationen [18]. Bei diesen interaktiven Medienelementen existiert im Gegensatz zu den interaktiven Bildschirmexperimenten jeweils ein äußerst starker Modellbezug. Insbesondere modellhafte makroskopische Visualisierungen mikroskopischer Prozesse kennzeichnen viele PhET-Simulationen. Unmittelbare Bezüge zu realen und in Analogie zum digitalen Medium nutzbaren Experimenten oder Versuchen existieren jedoch nur in wenigen Fällen.

3.2. Das Projekt *Real:Digital*

Das Projekt *Real:Digital* strebt die integrative Nutzung realer und digitaler Repräsentationen an. Dabei sollen die Stärken der jeweiligen Medienformen

durch den gegenseitigen Bezug genutzt werden, um den Lernenden das „Beste aus beiden Welten“ zu offerieren.

Digitalen Medien besitzen ein scheinbar unbegrenztes Potential zur transparenten Darstellung von fachlichen Inhalten und ermöglichen die Nutzung physikalischer Modelle zur Beschreibung, Idealisierung und Vermittlung fachlicher Inhalte. Lernende nutzen reale Experimente hingegen zur unmittelbaren Auseinandersetzung mit dem Lerngegenstand, sodass diese Repräsentationsform sich durch die direkte Erfahrbarkeit auszeichnet und aus Sicht der Lernenden ein hohes Maß an Glaubwürdigkeit besitzt.

Insbesondere durch die gemeinsame Nutzung der beiden Medienformen können zahlreiche Aspekte fachlicher Inhalte, die erst in ihrer Gesamtheit umfassendes Wissen ergeben, zugänglich gemacht werden. So erscheint beispielsweise die Existenz von Messunsicherheiten und Abweichungen von physikalischen Modellen im Realexperiment ebenso bedeutsam für die Vermittlung von Kompetenzen im Fach Physik, wie die Ableitung von verallgemeinernden und idealisierenden Modellen im digitalen Medium.

Auf welche Art und Weise reale und digitale Repräsentationen im Sinne des Projektes *Real:Digital* genutzt werden können, soll anhand eines Best Practice-Beispiels erläutert werden.

4. *Real:Digital* – Magnetismuswaage

Das nachfolgende Beispiel aus dem Inhaltsgebiet Magnetismus ist in der beschriebenen Form als Element der Ausbildung von Physiklehrkräften an Hochschulen anzusehen und umfasst ein Realexperiment sowie eine interaktive Simulation. Die Entwicklung erfolgte im Rahmen des Projektes *Magnetismus hoch 4* [19, 20, 21]. Beide Repräsentationen dienen der Analyse magnetischer Stoffeigenschaften.

Als Fachinhalt der Magnetismuswaage ist die qualitative Demonstration und quantitative Bestimmung dia- und paramagnetischer in Ergänzung zu ferromagnetischen Stoffeigenschaften anzusehen [20, 21]. Trotz der Präsenz von ferromagnetischen Phänomenen im Alltag, offenbaren einfache Experimente, wie die Magnetismuswaage, ein vielfältigeres Spektrum magnetischer Erscheinungen. Neben der starken Anziehung von ferromagnetischen Stoffen durch Magneten, ergibt sich für paramagnetische Substanzen, wie Aluminium, eine schwache Anziehung und für diamagnetische Stoffe, wie Wasser oder Graphit, eine schwache Abstoßung.

4.1. Realexperiment

Das reale Experiment, siehe Abbildung 2, ermöglicht die Untersuchung magnetischer Stoffeigenschaften durch eine elektronische Waage und einen starken Neodymmagneten [20, 21]. Zur Durchführung der Untersuchung wird die zu analysierende Probe zunächst auf der Waage positioniert. Durch

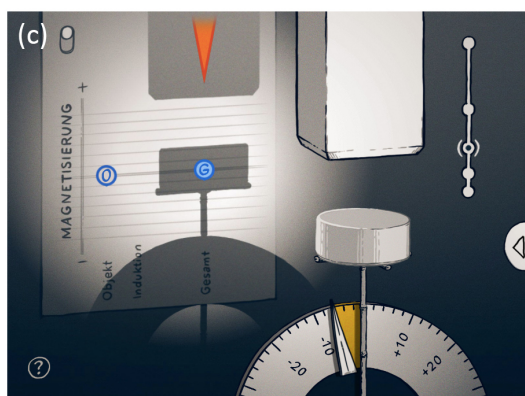
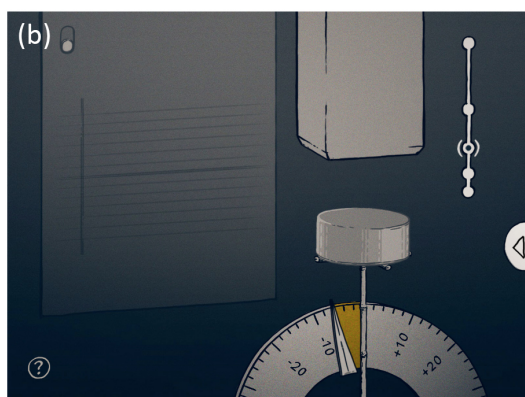
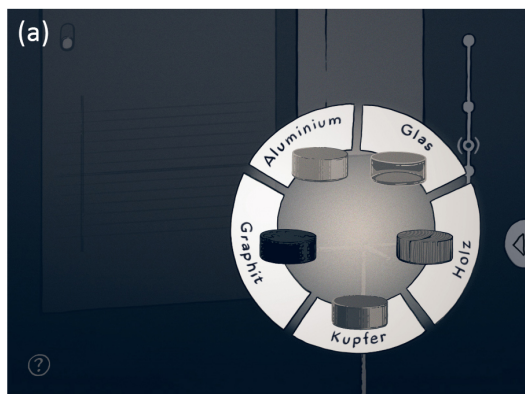


Abb.3: Darstellung der Benutzeroberfläche der interaktiven Simulation Magnetismuswaage in unterschiedlichen Betriebsmodi. Die interaktive Simulation ist unter www.magnetismushoch4.de verfügbar.

Das Projekt *Real:Digital* soll damit eine Grundlage für die Entwicklung neuartiger Medienkonzepte (adaptive Widgets, Augmented Reality Simulationen, etc.) in der naturwissenschaftlichen Lehre darstellen. Im Kontext des Projektes sollen in der Folge insbesondere auch Forschungsfragen mit Bezug zur graphischen Realisierung digitaler Medien untersucht werden. Dabei erscheint u.a. die Frage relevant, auf welche Art und Weise die Qualität der graphischen Gestaltung digitaler Medien in Ergänzung zu gestaltungstheoretischen Merkmalen die Lernwirksamkeit, Akzeptanz des Mediums oder Motivation zur Auseinandersetzung mit einem spezifischen Fachinhalt beeinflusst.

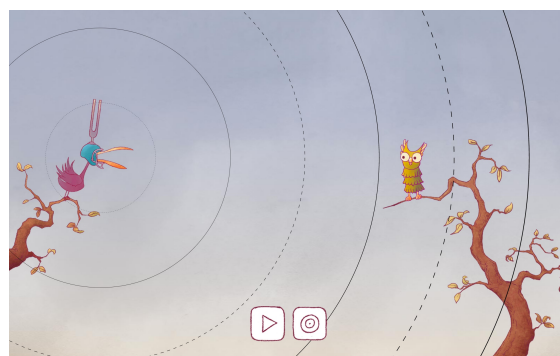


Abb.4: Darstellung der Benutzeroberfläche der interaktiven Simulation zum Doppler-Effekt.

Weiterhin wurde im Rahmen des Projektes ein exemplarisches Lehrkonzept zur Ausbildung von Physiklehrkräften entwickelt, das die integrative Nutzung realer und digitaler Repräsentationen berücksichtigt. In den zugehörigen Lehrveranstaltungen sollen die Studierenden zunächst zum planvollen Einsatz digitaler Medien in Ergänzung zu realen Experimenten befähigt werden. Dabei erscheint es von großer Bedeutung die angehenden Physiklehrkräfte hinsichtlich der gezielten Auswahl angemessener Inhalte aus bestehenden Materialien zu schulen. Darüber hinaus beinhalten die Lehrveranstaltungen auch Elemente, in denen die Lehramtsstudierenden den Umgang mit einfachen Techniken zur Erstellung digitaler Medieninhalte (Stop Motion, etc.) selbst erlernen.

Im Rahmen einer solchen Lehrveranstaltung im Wintersemester 2016/17 sowie im Sommersemester 2017 wird mit Lehramtsstudierenden der Universität Münster ein Konzept für eine interaktive Simulation zum Doppler-Effekt entwickelt, siehe Abbildung 4. Die konzeptuelle Entwicklungsarbeit erfolgt dabei ausgehend von einer Analyse bestehender digitaler Medien aus diesem Inhaltsbereich sowie einer fachlichen Auseinandersetzung. Durch die eigenständige Konzeption sollen die Studierenden zur vertieften Auseinandersetzung mit Kriterien zur Beurteilung von digitalen Medien in Ergänzung zu realen Experimenten angeregt werden. Die interaktive Simulation zum Doppler-Effekt und eine experimentelle Analyse des realen Phänomens stellen damit ein

weiteres Best Practice-Beispiel für die gemeinsame Nutzung realer und digitaler Repräsentationen dar.

6. Anmerkungen

Die Untersuchung von Forschungsfragen zum Einfluss der Qualität graphischer Gestaltung auf die Lernwirksamkeit, Akzeptanz eines Lehr-Lernmediums und die Motivation zur Auseinandersetzung mit einem spezifischen Fachinhalt erfolgt in Kooperation mit der *Deutsche Telekom Stiftung*.

Die Entwicklung des Lehrkonzepts und Durchführung der Lehrveranstaltungen sowie die Realisierung der interaktiven Simulation zum Doppler-Effekt erfolgt im Rahmen des *Kollegs Didaktik:digital* der *Joachim Herz Stiftung*.

Die Realisierung der interaktiven Simulationen Magnetismuswaage und Doppler-Effekt erfolgt durch Matthias Ries (graphisches Konzept, Animation, Illustration) sowie Stefan Denecke (Programmierung).

7. Literatur

- [1] Palfrey, J. & Gasser, U. (2008): *Born Digital: Understanding the First Generation of Digital Natives*. New York, NY: Basis Books.
- [2] Bullen, M., Morgan, T. & Qayyum, A. (2011): *Digital Learners in Higher Education: Generation is Not the Issue*. In: Canadian Journal of Learning and Technology 37, 1, 1-24.
- [3] Medienpädagogischer Forschungsverband Südwest (2015): *JIM-Studie 2015*. Stuttgart: mpfs.
- [4] Hanekamp, G. (2014): *Zahlen und Fakten: Allensbach-Studie 2013 der Deutsche Telekom Stiftung*. In J. Maxton-Küchenmeister & J. Meßinger-Koppelt (Hrsg.): *Digitale Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht* (S. 21-28). Hamburg: Joachim Herz Stiftung Verlag.
- [5] Pfisterer, S. (2014): *Eine digitale Agenda für die Schule*. In J. Maxton-Küchenmeister & J. Meßinger-Koppelt (Hrsg.): *Digitale Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht* (S. 15-20). Hamburg: Joachim Herz Stiftung Verlag.
- [6] Heinicke, S. & Peters, S. (2014): *Was ist Experimentieren? – Populäre Sichtweisen unter der Lupe*. In: *Naturwissenschaften im Unterricht Physik: Experimentieren gestalten* 25, 144, 10-14.
- [7] Börlin, J. (2012): *Das Experiment als Lerngelegenheit. Vom interkulturellen Vergleich des Physikunterrichts zu Merkmalen seiner Qualität*. In H. Niederrerr, H. Fischler & E. Sumfleth (Hrsg.): *Studien zum Physik- und Chemielernen* (Bd. 132). Berlin: Logos.
- [8] Fischer, H. E., Labudde, P., Neumann, K. & Viiri, J. (2014): *Quality of Instruction in Physics – Comparing Finland, Germany and Switzerland*. Münster: Waxmann.
- [9] Mayer, R. E. (1997): *Multimedia Learning: Are We Asking the Right Questions?* In: *Educational Psychologist* 32, 1, 1-19.
- [10] Peirce, C. S. (1906): *Prolegomena to an Apology for Pragmatism*. In: *The Monist* 16, 4, 492-546.
- [11] Bruner, J. S. (1966): *Towards a Theory of Instruction*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- [12] Paivio, A. (1986): *Mental Representations – A Dual Coding Approach*. New York, NY: Oxford University Press.
- [13] Meltzer, D. E. (2005): *Relation between Students' Problem-Solving Performance and Representational Format*. In: *American Journal of Physics* 73, 5, 463-478.
- [14] Kohl, P. B. & Finkelstein, N. D. (2005): *Student Representational Competence and Self-Assessment when Solving Physics Problems*. *Physical Review Special Topics – Physics Education Research* 1, 1, 010104.
- [15] Sweller, J., Ayres, A. & Kalyuga, P. (2011): *Cognitive Load Theory*. New York, NY: Springer.
- [16] Mayer, R. E. (2001): *Multimedia Learning*. Cambridge: Cambridge University Press.
- [17] Kirstein, J., Fröhlich, A., Hoedt, S. & Nordmeier, V. (2010): *Lernen mit interaktiven Bildschirmexperimenten in virtuellen Räumen*. In: *PhyDid B – Beiträge zur Frühjahrstagung*, Hannover.
- [18] Wieman, C. E., Adams, W. K. & Perkins, K. K. (2008): *PhET: Simulations That Enhance Learning*. In: *Science* 322, 5902, 682-683.
- [19] Laumann, D. & Heusler, S. (2016): *Welche Stoffe sind „nicht“ magnetisch?* In: C. Maurer (Hrsg.): *Authentizität und Lernen – das Fach in der Fachdidaktik*. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik. Jahrestagung in Berlin 2015 (S. 367-369). Universität Regensburg.
- [20] Laumann, D. (2017): *Is an Apple Magnetic: Magnetic Response of Everyday Materials Supporting Views About the Nature of Science*. In: *The Physics Teacher* 55, 3, 142-145.
- [21] Laumann, D. & Heusler, S. (2017): *Determining Magnetic Susceptibilities of Everyday Materials Using an Electronic Balance*. In: *American Journal of Physics* 85, 5, 327-332.

"Big Data" im Physikunterricht mit Handy und Tablet-PC

Martin Panusch*, Michael Kiupel⁺

*Europa-Universität Flensburg, Auf dem Campus 1, 24943 Flensburg
martin.panusch@uni-flensburg.de, michael.kiupel@uni-flensburg.de

Kurzfassung

Moderne Smartphones und Tablet-PCs haben eine Reihe von fest eingebauten Sensoren, die zur intuitiven Bedienbarkeit der Geräte erheblich beitragen. Es gibt inzwischen eine Vielzahl von Beiträgen, die zeigen, wie die Sensordaten über unterschiedliche Programme ("Apps") auch für den Physikunterricht genutzt werden können.

Hier wird ein System vorgestellt, mit dem die Sensoren eines Android-Gerätes direkt ausgelesen werden. Durch hohe Abtastrate stehen verhältnismäßig viele Rohdaten zur Verfügung, die dann auf verschiedene Fragestellungen hin ausgewertet werden können. Durch die Möglichkeit, die Daten auf einen Server zu laden stehen diese prinzipiell auch allen Lernenden zu Verfügung.

Die Verfügbarkeit und Nutzung eines populären Gerätes, die Qualität der Sensoren und die einfache lokale oder dezentrale Speichermöglichkeit der Daten ermöglichen so die exemplarische Thematisierung eines Auswertungs- und Interpretationsprozesses für (relativ) große Datenmengen.

1. Grundlagen

Computergestützte Mess-Systeme sind in der Lage, die gemessenen Rohdaten so aufzubereiten, dass der gesuchte Wert sofort angezeigt wird. So kann beispielsweise ein Navigationssystem die Geschwindigkeit aus der Änderung der Koordinaten berechnen und direkt anzeigen. Zumindest bei relativ einfachen Aufgabenstellungen lässt sich der beschriebene Verarbeitungsprozess von Rohdaten zu einem „Messwert“ nachvollziehen, insbesondere dann, wenn die Rohdaten digital zur Verfügung stehen. Mit Hilfe von Tabellenkalkulationsprogrammen können auch größere Datenmengen nachvollziehbar verknüpft werden.

Die Berechnung der gesuchten Größe aus den erfassten Rohdaten, die Einschätzung der Genauigkeit, die Anwendung von Glättungsverfahren sowie die angemessene graphische Darstellung sind Punkte, die – zumindest exemplarisch – in einem Bildungsprozess wichtig sind.

In Smartphones und Tablets („Device“) sind eine Reihe von Sensoren eingebaut, die für die Steuerung der eigentlichen Funktionen (Bildschirmhelligkeit, Drehung des Bildschirms, Abschaltung der Berührungsempfindlichkeit, Nutzung als Navigationsgerät usw.) erforderlich sind bzw. den beteiligten Unternehmen Nutzungsdaten zur Verfügung stellen können, die – zumindest vordergründig – die Nutzerin oder den Nutzer bei der Bedienung des Gerätes unterstützen.

Da das Betriebssystem die Daten der Sensoren zur Verfügung stellt, können diese auch von anderen Apps genutzt werden. Es gibt eine Reihe solcher Programme, die beispielsweise die aktuellen Beschleunigungswerte oder die Werte der magnetischen Feldstärke anzeigen und teilweise auch ansprechend graphisch darstellen.

Im Sinne des oben beschriebenen Ziels bietet die hier vorgestellte Lösung die Möglichkeit, die Rohdaten aller vorhandenen Sensoren in einem Device abzufragen, aufzuzeichnen, auf einen Server zu übertragen um sie dann in vielfältiger Weise übersichtlich am PC auswerten zu können.

Ein solches Verfahren ist grundsätzlich auch mit anderen Systemen (Datenloggern) möglich. Für die Verwendung von Smartphone oder Tablet sprechen allerdings die folgenden Punkte:

- Das Tablet / das Smartphone ist inzwischen ein Alltagsgegenstand. Die Motivation ist größer, wenn mit bekannten Geräten und nicht mit speziellen Apparaten, die vielleicht nur einmal zum Einsatz kommen, gearbeitet wird.
- Das Tablet / das Smartphone stellt hochwertige Sensoren zur Verfügung, die sonst nur selten in der Schule vorhanden sind.
- Das Tablet / das Smartphone kann frei bewegt werden, die Handlungsmöglichkeiten sind nicht durch Zuleitungskabel eingeschränkt.
- Es stehen viele Geräte zur Verfügung. Es können u.U. auch experimentelle Hausaufgaben gegeben werden.
- Die Sensoren lassen sich komfortabel abfragen; Schülerinnen und Schüler kennen und beherrschen die Bedienelemente.

Kritische Punkte sollten allerdings nicht aus den Augen verloren werden:

- Das Tablet / das Smartphone wird schon über die Maßen genutzt. Es auch im Unterricht einzusetzen kann das falsche Signal sein.

- Die Sensoren sind versteckt, die Wirkungsweise ist nicht zu durchschauen.

Es stehen zwei Apps zur Verfügung: „FLENSOR“ und „FLENSOR_GPS“. FLENSOR liest alle vom Betriebssystem verwalteten Sensoren aus und zeigt sie als Liste an. Wird ein Sensor ausgewählt, so werden die gelieferten Daten angezeigt bzw. es wird die Möglichkeit eröffnet, diese zu speichern. Es werden Abstraten in der Größenordnung einer Zehntelsekunde erreicht.

FLENSOR_GPS stellt die Daten der Positionsbestimmung als Koordinaten in gleicher Weise zur Verfügung. Auch hier handelt es sich um Rohdaten, wie sie vom Betriebssystem zur Verfügung gestellt werden.

Da eine Verarbeitung der relativ großen Datenmenge auf einem PC übersichtlicher und komfortabler erfolgen kann, können die im Device gespeicherten Daten auf einen Server übertragen werden. Damit ist auch ein Download von mehreren Rechnern möglich, so dass z.B. die gesamte Lerngruppe mit den Daten einer bestimmten Messung arbeiten kann.

Die oben beschriebene Auswertung der Daten, beispielsweise die Bestimmung der Geschwindigkeit aus gemessenen Koordinaten und/oder eine Glättung der Daten usw. kann zunächst mit einem Tabellenkalkulationsprogramm vorgenommen werden. Die erforderlichen Berechnungen können an wenigen Daten erarbeitet und dann per „copy and paste“ für eine große Datenmenge übertragen werden. Auch eine graphische Darstellung ist relativ komfortabel möglich. Dabei ist zu betonen, dass die Nutzung eines Tabellenkalkulationsprogramms nicht speziell für diese Aufgabenstellung eingeübt werden muss, sondern dass dies grundsätzlich bekannt ist bzw. bekannt sein sollte. Der Unterschied zwischen Rohdaten und Messwerten bzw. angezeigten Werten kann auf diese Weise deutlich herausgearbeitet und erfahren werden.

Natürlich können – bei entsprechenden Kenntnissen in der Lerngruppe – die Daten auch durch ein eigenes Programm (bspw. in Python geschrieben) ausgewertet, ggf. mit weiteren Werten (z.B. aus einer Datenbank) verknüpft und dargestellt werden.

2. Sensoren

Die Art und die Anzahl der Sensoren ist vom Gerätetyp abhängig. Ein etwas älteres Tablet nutzt deutlich weniger Sensoren als ein modernes Smartphone. Insofern sind allgemeine Aussagen schwierig. Allerdings ist davon auszugehen, dass alle Geräte mindestens einen Beschleunigungssensor haben. Telefone benötigen auch einen Annäherungssensor, da die Berührungsempfindlichkeit des Bildschirms abgeschaltet werden muss, wenn das Smartphone beim Telefonieren an das Ohr gehalten wird. Dieser kann allerdings technisch unterschiedlich realisiert sein. Im einfachsten Fall wird bei Annäherung wohl nur ein lichtempfindlicher Sensor abgedunkelt. Neben

reinen Hardware-Sensoren werden teilweise vom Betriebssystem auch Werte als „Sensoren-Werte“ generiert, die sich aus der Kombination von verschiedenen Hardware-Sensorwerten ergeben. Ein solcher typischer Software-Sensor ist „Orientation“, der die Werte 0, 1, 2, 3 und 255 zurückgibt, eben je nach Orientierung (der Wert 255 steht dabei für „unbestimmt“). Aber auch bei den anderen Sensoren – z.B. für die Beschleunigung – darf der Begriff „Rohdaten“ natürlich nicht zu eng verstanden werden. Die Werte des Sensors können durch das Betriebssystem bzw. durch „Treiber“ verändert, z.B. linearisiert worden sein. Das Betriebssystem gibt auch den Hersteller des Sensors zurück.

In Bezug auf den Beschleunigungssensor werden beispielsweise 3 Zahlen zurückgegeben, deren Bedeutung sich allein aus den Definitionen ergeben, die durch das Betriebssystem vorgegeben werden. Die App FLENSOR, die in der Hinsicht nur eine Schnittstelle zum Betriebssystem bildet, gibt daher die Zahlen ohne einen weiteren Bedeutungszusammenhang an. Eine rudimentäre Zusammenstellung der Bedingungen findet sich auf <http://www.flensor.de> oder bei developer.android.com/guide/topics/sensors/sensors_overview.html.

Wie viele Werte zurückgegeben werden, wird ebenfalls durch eine Variable des Betriebssystems bestimmt und nicht durch die App geprüft. So muss nicht in jedem Fall die Anzahl der Werte mit der Zahl der signifikanten Daten übereinstimmen, da u.U. Platzhalter für zukünftige Entwicklungen vorhanden sind.

3. Beispiele

Zwei Beispiele sollen die Verwendung des Systems und die Vorteile der Nutzung der Rohdaten zeigen.

3.1. Freier Fall und Schwerelosigkeit

Wird die Aufgabe gestellt, das Device bis fast an die Decke zu werfen und wieder aufzufangen, so lassen sich die Rohdaten des Beschleunigungssensors umfassend auswerten. Zunächst muss die Vektorsumme aus den Beschleunigungswerten in den 3 Achsen berechnet werden. Außerdem muss ein gleitender Durchschnitt gebildet werden. Nicht zuletzt muss entschieden werden, ab welchem Wert die Beschleunigung als „Null“ gesehen wird. Dieses sind Punkte, die allgemein für Messungen beachtet werden müssen, hier aber deutlich hervortreten. Insofern wird hier konkret eine zentrale Vorgehensweise in der Physik deutlich und kann explizit thematisiert werden.

	A	B	C	D
1	Systemzeit (ms) : 449471620			
2	MPL Accelerometer			
3	Typ: 1			
4	maxRange: 19.6133			
5	mAmps: 0.5			
6	Resolution: 0.039226603			
7	Vendor: Invensense			
8	Version: 1			
9				
10	Date_Time: 2017-03-02_11-11-11			
11				
12	Time [ms]	Data 1	Data 2	Data 3
13	10	-0,048	-0,188	9,997
14	35	-0,084	-0,14	9,953
15	50	-0,134	-0,132	9,647

Abb.1: Ausriss aus der Tabelle mit den Rohdaten

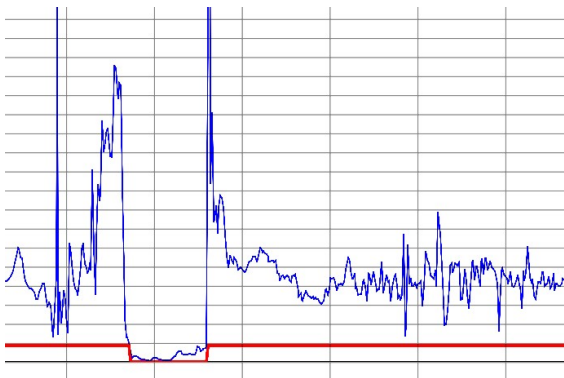


Abb.2: Graphische Darstellung der Gesamtbeschleunigung nach Mittelwertbildung

3.2. Auswertung eines Datensatzes mit GPS-Koordinaten

Anlass kann die Diskussion über Tarife der Versicherungen sein, die beim Einbau von Sensoren zur Messung der Beschleunigungswerte und der GPS-Daten Vergünstigungen anbieten.

Zunächst können die Daten auf eine Karte projiziert werden. Dazu werden die Koordinaten in einem Tabellenkalkulationsprogramm direkt graphisch dargestellt, z.B. auf der Abszisse die östliche Länge und auf der Ordinate die nördliche Breite. In einem Zeichenprogramm kann dieses Bild über eine Karte gelegt werden und so gedehnt und gestaucht werden, dass der gezeichnete Weg genau auf die Karte passt.

Für Aussagen über die Geschwindigkeit sind die in den Intervallen zurückgelegten Strecken zu berechnen, die sich – bei relativ kurzen Strecken, also ohne Berücksichtigung der Erdkrümmung – gut bestimmen lassen. Dazu reicht ein Rückgriff auf Kartenmaterial, das ein UTM-Koordinatenraster enthält. Dort kann der Abstand zweier Linien in x- und y-Richtung bestimmt werden, so dass (schülergemäß) mit einfachem Dreisatz eine Beziehung zwischen Koordinatenabständen und entsprechenden Strecken angegeben werden kann. Die Berechnung der in den Intervallen festzustellenden Geschwindigkeiten und Beschleunigungen können in ein Tabellenkalkulationsprogramm übertragen und dort graphisch dargestellt werden. Die Kernaufgabe besteht darin, die

Berechnungsmethode zu verstehen: Annahme einer konstanten Geschwindigkeit und einer konstanten Beschleunigung in einem Intervall sowie Festlegung der Zeitpunkte, denen die errechnete Geschwindigkeit bzw. Beschleunigung zugeordnet wird.

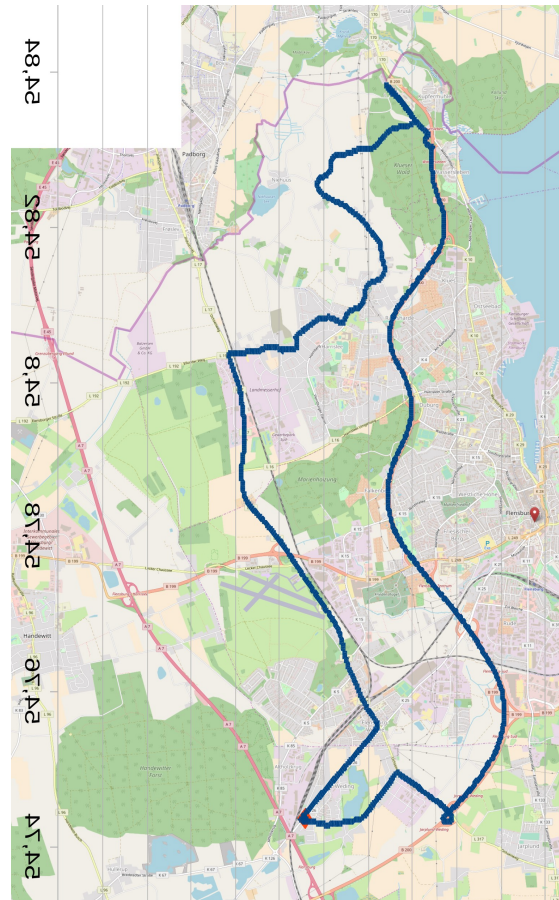


Abb.3: Projektion der gemessenen Koordinatenwerte auf eine Karte. (Karte: © OpenStreetMap-Mitwirkende)

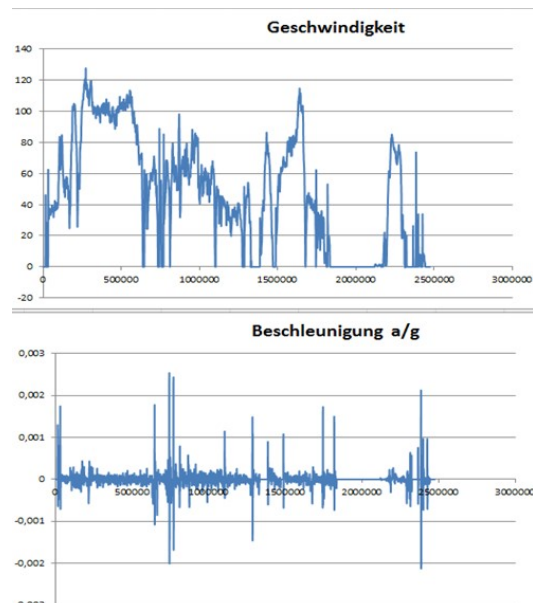


Abb.4: Geschwindigkeit und Beschleunigung berechnet aus den GPS-Daten

Zur Darstellung der Geschwindigkeit als Farbwert in der Graphik des zurückgelegten Weges sind fortgeschrittene Programmierkenntnisse erforderlich.

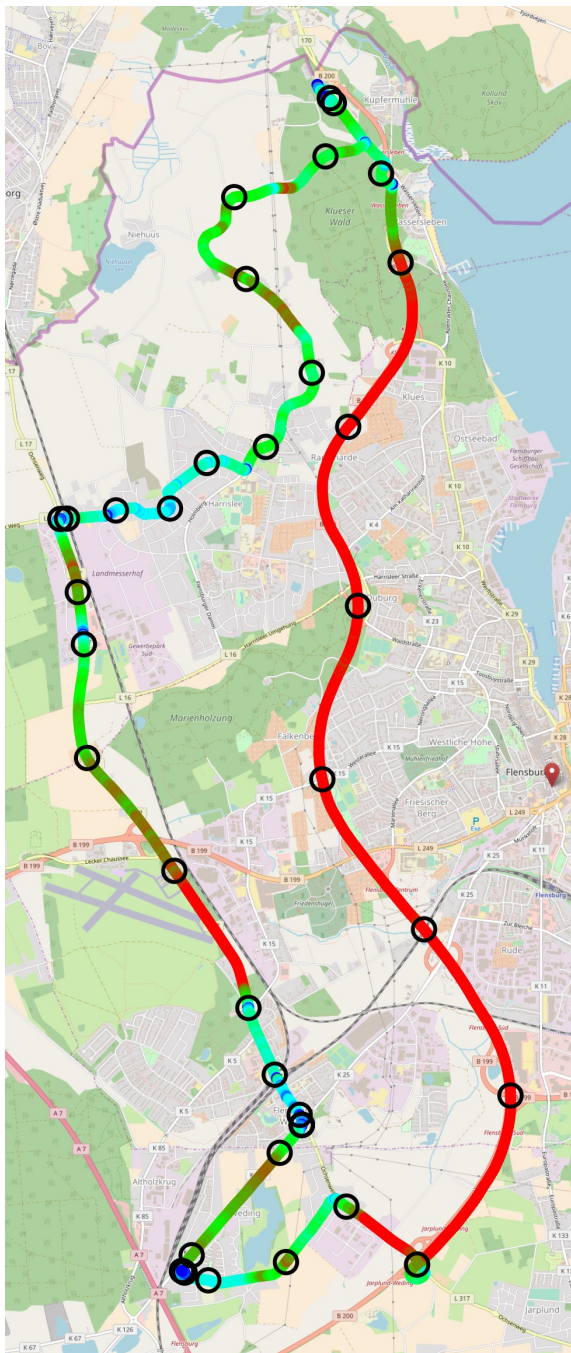


Abb.5: Fahrtstecke mit Farbwerten für die Geschwindigkeit. (Karte: © OpenStreetMap-Mitwirkende)

4. Zusammenfassung

Die Beispiele zeigen, dass die Nutzung der Rohwerte vielfältige Auswertungs- und Darstellungsmöglichkeiten auf verschiedenen Ebenen und unter verschiedenen Aspekten ermöglichen. Dies können die hier dargestellten Beispiele nur andeuten. Die folgenden Punkte fassen die inhaltlichen Potenziale zusammen.

- Elektrotechnik, Sensortechnik: Kenntnis der Sensoren um das Verhalten des Device zu verstehen: Ausrichtung, Touchempfindlichkeit, Displayhelligkeit, Orientierung bei VR
- Numerik und Signalverarbeitung: Auswertung von Rohdaten: Mathematik und Informatik,
- Physik: Lernanlass für klassische physikalische Begriffe wie Schwerelosigkeit, Koordinatensysteme, Geschwindigkeit, Beschleunigung, Drehbewegungen
- Digitalkompetenz: Arbeitsteilig Daten aufnehmen, interpretieren, aufarbeiten, visualisieren, kommunizieren und beurteilen
- Nature of Science: Praxis des theorie- und erfahrungsgelenkten Aufnehmens von Messdaten zur Verdeutlichung oder Untermauerung einer physikalischen Aussage und zur Herstellung von Konsens.

Beispiele, Informationen zur App und zum System und Beispieldateien sind auf der Seite www.flensor.de verfügbar.

5. Literatur

- [1] Eshet, Yoram (2012): Thinking in the Digital Era: A Revised Model. In: Issues in Informing Science and Information Technology, Vol. 9, S. 267-276
- [2] Hürth, Michael et al. (2014): Smartphones im Physikunterricht. In: MNU 67/3, S. 139-145
- [3] Lankshear, Colin; Knobel, Michele (2008): Digital literacies : concepts, policies and practices. New York: Peter Lang, Url: http://pages.ucsd.edu/~bgoldfarb/comt109w10/reading/Lankshear-Knobel_et_al-DigitalLiteracies.pdf
- [4] Warschauer, Mark, Matuchniak, Tina (2010): New Technology and Digital Worlds: Analyzing Evidence of Equity in Access, Use, and Outcomes. In: Review of Research in Education, Vol. 34, S. 179ff
- [5] Wilhelm, Thomas (Hrg.) (2011): PdN PHYSIK in der Schule. Themenheft Physik mit Handy und Smartphone. Heft 7/60

Interaktive Lernmaterialien mit dem tiptoi-Stift

Alexander Pusch

alexander.pusch@uni-muenster.de

Kurzfassung

Digitale Vorlesestifte wie z.B. *tiptoi*, *ting* oder *Anybook Reader* sind bei Kindern beliebte Text-Audio-Lerninstrumente. Tippt man mit solchen Stiften auf Stellen in speziellen Büchern oder auf Objekte, werden z.B. Wörter, Sätze oder ganze Texte vorgelesen. Die Technologie beruht auf kleinen optischen Codes (*OID-Codes*), die durch eine Kamera in den Stiften erfasst werden. Als Rückmeldung auf den Scan eines Codes oder einer bestimmten Kombination von Codes können die Stifte in ihrem Speicher hinterlegte Audiodateien wiedergeben.

Weil zusätzliche Informationen auditiv in unterschiedlichem Umfang und in verschiedenen Sprachen als Reaktion auf einfache Algorithmen wiedergegeben werden, sind interaktive Lernmaterialien mit digitalen Vorlesestiften zur Unterstützung von Lernprozessen sowie als Selbstlernmaterialien sehr interessant. In diesem Beitrag werden diesbezügliche Konzepte für den Physikunterricht sowie erste Ergebnisse aus dem Praxiseinsatz vorgestellt.

1. Einführung

Werden papierbasierte Lernmaterialien mit digitalen optischen Codes versehen, können mit einem digitalen Vorlesestift Audiodateien wiedergegeben werden. Bekannt und verbreitet sind vor allem der *tiptoi*-Stift [1] sowie der *ting*-Stift [2]. Dieser Beitrag stellt Konzepte für papierbasierte interaktive Lernmaterialien für den Physikunterricht vor, die prototypisch umgesetzt und in der Schule befohrt wurden.

2. Funktionsweise der Codes

Die Funktionsweise der optischen Identifikationscodes (*OID-Codes*, Abb. 1) sowie die Umsetzung in interaktiven Materialien wird nachfolgend am Beispiel des *tiptoi*-Stiftes der Firma Ravensburger beschrieben. Die Technologien anderer Stifte wie z.B. des *ting* und des *Anybook Readers* [3] sowie allgemein „digitaler Papiere“ funktionieren ähnlich.

Mithilfe einer in der Spitze eingebauten nahinfrarot-fähigen Kamera können digitale Vorlesestifte sehr kleine, mit bloßem Auge fast nicht zu erkennende, *OID-Codes* erfassen und weiterverarbeiten. Die *OID-Codes* für den *tiptoi*-Stift bestehen aus einem Punktraster von 4×4 Punkten pro mm^2 [4]. Von diesen 16 Punkten dienen neun Punkte der Wertbildung, indem diese durch Verschiebung aus der Mitte jeweils vier verschiedene Werte annehmen können (vgl. Abb. 2). Da einer der Wertepunkte für eine Prüfsumme verwendet wird, sind hier pro *OID-Code* theoretisch $4^8 = 65536$ verschiedene Werte möglich. Die Position der Wertepunkte sowie die Orientierung des gesamten Codes werden durch sieben

Rasterpunkte erfasst, wovon einer aus der Mitte verschoben ist (vgl. Abb. 1 und 2).

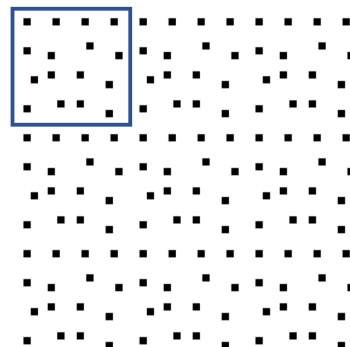


Abb.1: Vergrößerte *OID-Codes*. Eingerahmt ist ein einzelner Code bestehend aus 4×4 Punkten. Zu erkennen sind die regelmäßigen Rasterpunkte und die Verschiebungen aus der Mitte in vier Richtungen (vgl. dazu Abb. 2).

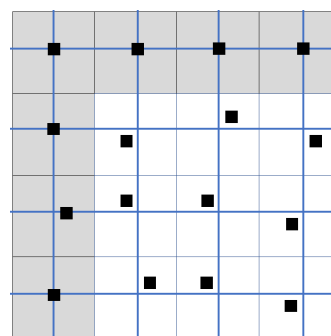


Abb.2: Struktur eines *OID-Codes*. Graue Felder: 7 Rasterpunkte. Weiße Felder: 9 Wertepunkte. Zu erkennen sind die Verschiebungen der 9 Wertepunkte diagonal aus der Mitte (blaues Gitter) sowie die geradlinige Verschiebung eines Rasterpunktes.

Nach dem Modell des „endlichen Automaten“ sind einfache Script-Programme in dem Format YAML möglich. Die Software *tttool* [5] generiert unter Einbezug von Audiodateien die Programmdatei für den Stift (.gme) und erstellt die zur Verwendung notwendigen *OID-Codes* als Bild-Datei. Diese *OID-Codes* müssen anschließend mit einer Bildbearbeitungssoftware auf den Lernmaterialien platziert bzw. überlagert werden. Die Bereiche mit den hinterlegten *OID-Codes* sind als graue Einfärbung zu erkennen (Abb. 3). Weiterführende Informationen und Beispiele für die Erstellung von Programmen für den *tiptoi*-Stift mit *tttool* sind z.B. unter [5], [6] und [7] zu finden.

Die erstellten interaktiven Materialien mit *OID-Codes* können aus einem PDF mit herkömmlichen Laserdruckern, die über eine Auflösung von mindestens 600 dpi verfügen, ausgedruckt werden. Die Programme inkl. der Audiodaten werden als Datei (.gme) per USB auf die Stifte kopiert.

3. Konzepte für den (Physik-)Unterricht

Weil digitale Vorlesestifte zusätzliche Informationen auditiv als Reaktion auf einfache Algorithmen wiedergeben können, sind sie zur Unterstützung von Lernprozessen und als Selbstlernmaterialien interessant. Im Rahmen einer Abschlussarbeit [8] wurden verschiedene Konzepte für interaktive Lernmaterialien auf Grundlage von Arbeitsblättern mit *OID-Codes* entwickelt und prototypisch an einfachen physikbezogenen Beispielen mit dem *tiptoi*-Stift umgesetzt. Diese und weitere Konzepte für den (Physik-)Unterricht werden nachfolgend beschrieben.

Die grundlegendste Funktion von interaktiven Arbeitsblättern mit *OID-Codes* ist die **Wiedergabe von Audiodateien** bei Berührung verschiedener *OID-Codes* auf dem Papier. Hier können neben der 1:1 Wiedergabe der Texte von Arbeitsmaterialien („vorlesen lassen“) auch Zusatzinformationen bereitgestellt werden. Es kann sich dabei z.B. um ausführliche Erklärungen oder kurze Definitionen zu Fachbegriffen, wie bspw. zum Begriff „Spannungsquelle“ handeln, die bei Bedarf, wie bei einem Hyperlink, abrufbar sind. Durch wiederholtes Antippen eines *OID-Codes* können auch nacheinander verschiedene Zusatzinformationen zugänglich gemacht werden, sodass bspw. gestufte Lernhilfen bis hin zur Lösung der Aufgabe bereitgestellt werden können (s. Kapitel 4).

Die Wiedergabe der Audiodateien kann in **verschiedenen Sprachen** erfolgen. Diese Mehrsprachigkeit kann z.B. „direkt“ durch unterschiedliche *OID-Codes*, bei denen jeweils eine Sprachdatei in einer Sprache hinterlegt ist, umgesetzt werden. Es ist auch möglich, die Sprache sämtlicher *OID-Code*-Felder

wie mit einem „Schalter“, z.B. durch Anwählen verschiedener Länderflaggen oder Symbole, festzulegen oder je nach Lernsituation zwischen diesen zu wechseln (vgl. Abb.3). Hierdurch können theoretisch sämtliche interaktiven Funktionen des Lernmaterials in verschiedenen Sprachen, wie bspw. Englisch, Türkisch oder Arabisch vorliegen, ohne dass hierfür jeweils Bedienfelder oder Lernmaterialien mehrfach vorliegen müssen, indem ein Arbeitsblatt mit einer „Schriftsprache“ sowie zusätzlich verschiedenen wechselbaren „Audiosprachen“ bereitgestellt wird. Diese Funktionen sind besonders für den sprachsensiblen Fachunterricht und für Lernende mit DAF/DAZ-Hintergrund interessant. Mehrsprachige interaktive Lernmaterialien können auf diese Weise Fachbegriffe, Aufgabenstellungen und Erklärungen - neben der regulären Unterrichtssprache - in der Herkunftssprache der Lernenden oder in einer weiteren Fremdsprache bereitstellen, um Lernprozesse zu unterstützen. Von verschiedenen Anbietern werden bereits für Fremdsprachenunterricht Lernmaterialien für digitale Vorlesestifte angeboten (z.B. [9] und [10]).

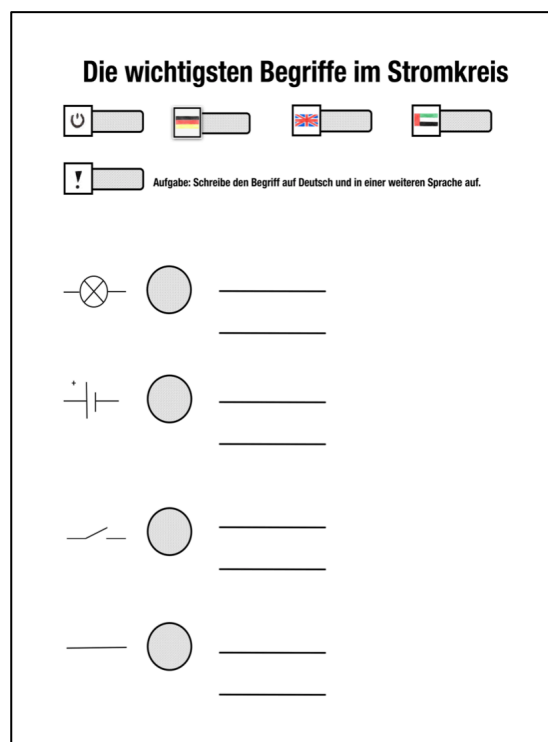


Abb.3: Konzept für die Umsetzung eines interaktiven Arbeitsblattes mit unterschiedlichen Sprachen. Die „Audiosprache“, die nach Berühren der einzelnen *OID-Codes* wiedergegeben wird, kann durch Antippen der Flaggen-symbole eingestellt und jederzeit geändert werden. Eine mögliche Aufgabe für Lernende wäre, die elementaren Fachbegriffe bei elektrischen Stromkreisen in Deutsch sowie einer weiteren Sprache wie z.B. Englisch oder Arabisch zu notieren. Als Hilfe und zur Überprüfung kann der digitale Vorlesestift genutzt werden.

Mit interaktiven Lernmaterialien sind auch einfache Such- und Zuordnungsaufgaben sowie Single-

Choice-Aufgaben zur **Lernkontrolle** umsetzbar. Neben einer unmittelbaren Rückmeldung zur Richtigkeit des Ergebnisses können bei falschen Antworten auch Erläuterungen und Erklärungen wiedergegeben werden. Es ist weiterhin möglich, auf Grundlage der Bearbeitung mehrerer Aufgaben ein automatisiertes **Feedback** mit dem Ziel einer **individuellen Förderung** zu geben. Dieses Feedback kann eine Ergebnisbewertung sowie eine von der Bearbeitung abhängige Empfehlung von Fördermaterialien (bspw. Buchkapitel, Aufgaben etc.) umfassen.

4. Einsatzmöglichkeiten im Unterricht

Im Rahmen einer weiteren Abschlussarbeit [11] wurden selbst erstellte interaktive Lernmaterialien mit *OID-Codes* für den *tiptoi*-Stift im Sachunterricht an einer Grundschule über mehrere Wochen eingesetzt und erprobt. Der Forschungsfokus lag dabei auf der Verwendung der interaktiven Arbeitsblätter durch die Schülerinnen und Schüler sowie der Nutzung der durch den Stift bereitgestellten gestuften Lernhilfen.

Als fachliche und curriculare Grundlage wurde eine bestehende Sachunterrichtsreihe mit Arbeitsmaterialien und Experimenten zum Thema Luft und Luftdruck [12] durch interaktive Funktionen des *tiptoi*-Stifts erweitert. Hierzu wurden die entwickelten Materialien mit einer einheitlichen „Bedienzeile“ ausgestattet (Abb. 4), mit der die Schülerinnen und Schüler die Funktionen *Vorlesen*, *gestufte Hilfen*, *Lösung überprüfen* sowie *Expertenaufgabe* in Kombination mit den verschiedenen Aufgaben und Inhalten der Arbeitsblätter anwählen konnten. Die hierbei realisierten gestuften Hilfen wurden in Anlehnung an Franke-Braun et al. [13] gestaltet und für die dritte Klasse einer Grundschule adaptiert. Sie umfassen in den Stufen jeweils eine Handlungsaufforderung oder Frage und eine dazugehörige Antwort als Teillösung.



Abb.4: Bedienzeile der interaktiven Arbeitsblätter aus der Studie von [11]. Von links: *Anschalten* zur Zuordnung zwischen den einzelnen Arbeitsblättern und Programmen (.gme-Dateien), *Wiederholung* der vorherigen Audio-Ausgabe, *Vorlese-Modus*, *Gestufte-Hilfen-Modus*, *Überprüfen-Modus*, *zusätzliche Expertenaufgabe*.

Erste Ergebnisse aus Interviews, Videoanalysen und Fragebogenevaluation dieser Studie zeigen, dass von den Schülerinnen und Schülern (N=25, dritte Klasse) auf den interaktiven Arbeitsmaterialien vor allem die Funktionen *Vorlesen* und *Lösung überprüfen* genutzt wurden. Schon das reine Vorlesen Lassen der Aufgabenstellungen sowie der Informationen wurde von vielen Schülerinnen und Schülern bereits als hilfreich und lernförderlich empfunden. Der mehrwöchige praktische Einsatz mit 10 interaktiven *tiptoi*-

Arbeitsblättern in 12 Unterrichtsstunden zum Thema Luft und Luftdruck bewirkte zudem eine Geräuschreduzierung in den Einzelarbeitsphasen (die Stifte wurden in Verbindung mit Kopfhörern eingesetzt) und ein damit einhergehend vermeintlich ungestörteres Arbeiten in den Einzelarbeitsphasen.

5. Ausblick und offene Fragen

Digitale Vorlesestifte sind weit verbreitet. Der *tiptoi*-Stift ist nach Branchenangaben in rund jedem zweiten Haushalt mit Kindern zwischen vier und acht Jahren vertreten [14]. Das Interesse von Kindern an solchen Materialien ist an Verkaufszahlen gemessen sehr hoch. Ihre prinzipielle Eignung zur Unterstützung des Wissenserwerbs ist unstrittig. Lernmaterialien für digitale Vorlesestifte sind sowohl für individualisierte Lernphasen in der Schule als auch für eigenständiges Lernen zu Hause prädestiniert.

Offen ist die Frage, ob - und falls ja, wie die im Rahmen des Beitrags beschriebenen Konzepte für interaktiven Lernmaterialien tatsächlich in der Lage sind, im (Physik-)Unterricht Lernprozesse zu initiieren. Neben der Möglichkeit der gestuften Hilfen [11], erscheint besonders das Potential mehrsprachiger interaktiver Lernmaterialien für den Erwerb von Fachsprachen sowie Fördermaterial zur Unterstützung einer Leseschwäche (z.B. Legasthenie) vielversprechend.

6. Literatur

- [1] <https://www.ravensburger.de> (Stand: 5/2017)
- [2] <http://www.ting.eu> (Stand: 5/2017)
- [3] <http://anybook.millennium2000.de> (Stand: 5/2017)
- [4] [https://github.com/entropia/tip-toi-reveng/wiki/OID-\(Optical-ID\)-and-codes](https://github.com/entropia/tip-toi-reveng/wiki/OID-(Optical-ID)-and-codes) (Stand: 5/2017)
- [5] <http://ttool.entropia.de> (Stand: 5/2017)
- [6] Breitner, Joachim & Podszun, Carsten (2015a). Stiftzauber. Eigene Bücher und Spiele für den TipToi vertonen, in: c't: Magazin für Computertechnik 8/2015, S. 156-158.
- [7] Breitner, Joachim & Podszun, Carsten (2015b). Punktgenau, in: Make: Kreativ mit Technik 6/2015, S. 108-114.
- [8] Kohnhorst, Carina (2016). *tiptoi – eine neue Möglichkeit für multimediale Lernmaterialien im Physikunterricht?* (Bachelorarbeit WWU Münster)
- [9] http://www.ting.eu/de/buecher_mehr/ting_fuer_kinder/sprachen_lernen/ (Stand: 5/2017)
- [10] <https://www.ravensburger.de/produkte/tiptoi/tiptoi-buecher/tiptoi-wir-lernen-englisch-32904/index.html> (Stand: 5/2017)
- [11] Haas, Elke (in Vorbereitung). *tiptoi im Sachunterricht – Interaktive Arbeitsblätter im Praxiseinsatz.* (Masterarbeit WWU Münster)

- [12] Möller, Kornelia et al. (2007) Klasse(n)kisten für den Sachunterricht, „Luft und Luftdruck“. Essen: Spectra-Verlag.
- [13] Franke-Braun, Gudrun; Schmidt-Weigand, Florian; Stäudel, Lutz & Wodzinski, Rita (2008) Aufgaben mit gestuften Lernhilfen – ein besonderes Aufgabenformat zur kognitiven Aktivierung der Schülerinnen und Schüler und zur Intensivierung der sachbezogenen Kommunikation. In: Kasseler Forschergruppe (Hrsg.). Lernumgebungen auf dem Prüfstand. http://www.staedel.de/schriften_LS/264%20forschergruppe_unipress_F.pdf (Stand: 5/2017)
- [14] <https://www.spielwarenmesse.de/branchennews/detailseite/ravensburger-eine-dekade-wachstum/?L=0&cHash=201ab040b00b4a88eec29ac7208d5879> (Stand: 5/2017)

Diagnostik experimenteller Vorgehensweisen am Beispiel eines Versuchs zur Radioaktivität

Leonard Büsch, Christina Guntermann, Heidrun Heinke

RWTH Aachen University

Buesch@physik.rwth-aachen.de, Christina.Guntermann@rwth-aachen.de, Heinke@physik.rwth-aachen.de

Kurzfassung

Der in Bildungsstandards und Kernlehrplänen ausgewiesene Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung ist wesentlich geprägt vom Experimentieren als wichtiger Methode naturwissenschaftlichen Arbeitens. Allerdings sind experimentelle Kompetenzen aktuell nicht vollständig abprüfbar, wobei speziell die Durchführung der Experimente nur mangelhaft erfasst wird. Um diese Diskrepanz abzubauen, wurden typische Versuchsverläufe in einem Experiment zur Radioaktivität im Physikpraktikum der RWTH Aachen im Wintersemester 2016/17 (N = 317) dokumentiert, wofür zwei Messinstrumente zum Einsatz kamen: Einerseits erlaubt die Protokollierung der Versuche mit Smartpens eine zeitökonomische Identifizierung und Erfassung prozessrelevanter Abläufe und Situationen. Andererseits wurde ein objektfokussiertes Messinstrument basierend auf dem Mikrocontroller Arduino entwickelt, das die prozeduralen Objektdaten im Experiment sammelt, die eine Rekonstruktion der experimentellen Abläufe ermöglichen. Die Kombination der beiden Messinstrumente verspricht einen tiefen Einblick in Vorgehensweisen einzelner Probandenteams beim Experimentieren. Gleichzeitig sind die Methoden mit limitiertem Auswerteaufwand verbunden, sodass auch größere Probandenzahlen untersucht werden können. Dies eröffnet einen Zugang zu einem breiten Spektrum experimenteller Strategien, die miteinander verglichen werden können. In diesem Beitrag stehen vor allem die Daten des objektfokussierten Messinstrumentes sowie erste Analyseansätze im Fokus.

1. Einleitung

Experimente und der Umgang damit sind zentrale Aspekte in der Physik. Daher ist es aus fachdidaktischer Sicht nur konsequent, die Kompetenzen im Bereich des Experimentierens als Methode naturwissenschaftlichen Arbeitens und deren Entwicklung in den Fokus fachdidaktischer Forschungsarbeiten zu stellen. Beim Experimentieren wird grundsätzlich zwischen drei Phasen unterschieden: Planung, Durchführung und Auswertung der Experimente [1]. Diese Phasen lassen sich zwar unterscheiden, sind jedoch nicht strikt in dieser Reihenfolge abzuarbeiten, sondern beeinflussen sich wechselseitig [2]. Der Erwerb weitergehender experimenteller Kompetenzen insbesondere in der Phase der Durchführung ist ohne den Umgang mit Realexperimenten schwer vorstellbar. Aus diesem Grund erscheint es wichtig, auch Erhebungen zur experimentellen Kompetenz an geeigneten Realexperimenten vorzunehmen. Die Erfassung des Umgangs mit einem Experiment wird als *performance assessment* bezeichnet und wurde bereits in mehreren Studien beforscht [1 bis 9]. Die Methoden zur Erfassung sind vielfältig und bergen verschiedene Vor- und Nachteile, die im Folgenden kurz beschrieben werden:

Durch *direkte Beobachtung* [3] kann der Umgang mit dem Experiment erfasst und analysiert werden. Dies bedeutet jedoch einen hohen Aufwand bei der Erfassung und der Auswertung der Daten. *Videostudien* [4] vereinfachten die Erfassung der Daten, konnten jedoch wegen des hohen Auswerteaufwands ebenfalls

nicht großflächig eingesetzt werden. Shavelson & Baxter ergänzten die direkten Beobachtungen um *Laborberichte* [5], die sie von Probanden während des Umgangs mit dem Experiment anfertigen ließen. Dadurch fließt zusätzlich das Endprodukt in die Bewertung ein, während der Prozess der Durchführung in den Laborberichten selbst in der Regel nicht näher betrachtet wird. Eine Weiterentwicklung stellen daher zeitlich bzw. phasenweise *vorstrukturierte Protokolle* [6] dar, die den Fokus auf die Aufzeichnungen während des Experimentierprozesses legen. Durch *Smartpen-Protokolle* [7] lässt sich dies auch mit den Probandenhandlungen vereinigen: Einerseits wird der Aufschrieb der Probanden zeitlich differenzierbar aufgenommen, andererseits wird aber auch eine Tonspur aufgezeichnet, die Gespräche von Probandenpaaren mitschneidet. Gleichzeitig werden (im Gegensatz zu Videostudien) nur sehr wenig zusätzliche Daten über den Umgang mit dem Experiment hinaus erhoben. Das birgt Vor- und Nachteile zugleich, da diese Daten essentielle Informationen über die experimentelle Kompetenz enthalten können, gleichzeitig aber auch der Auswerteaufwand deutlich geringer ist, was größere Probandenzahlen erlaubt. Eine Kombination vorstrukturierter Protokollformate mit dem Einsatz von Smartpens eröffnet interessante Möglichkeiten, den Informationsgehalt der Daten so entstehender *Smartpen-Verlaufsprotokolle* [8] auf die konkrete Untersuchungsfrage hin maßzuschneidern.

Eine relativ neue Herangehensweise an die Erfassung am Realexperiment stellt die *objektorientierte Datenerfassung* [9 & 10] dar. Hierbei stehen nicht mehr die Probanden im Fokus, sondern die Messparameter am Experiment selbst, die mit hoher Zeitauflösung aufgenommen werden können.

Der vorliegenden Arbeit liegen Daten zugrunde, die einerseits probandenfokussiert mit Smartpen-Protokollen und andererseits objektfokussiert mit dem Mikrocontroller Arduino und geeigneten Sensoren am Versuchsaufbau aufgezeichnet wurden. Dadurch konnten sowohl die Dokumentation des Experiments als auch die wesentlichen Messparameter aufgezeichnet werden. Dies gewährleistet eine detaillierte Erfassung des experimentellen Suchraums [11], lässt es aber gleichzeitig zu, auch größere Probandenzahlen zu untersuchen.

2. Experimenteller Suchraum

Die Erkundung von Strategien bei der Versuchsdurchführung geht mit der Untersuchung der Variation der verschiedenen Messparameter durch die Probanden einher. Dazu wird der experimentelle Suchraum im Sinne des Modells *Scientific Discovery as Dual Search* (kurz: SDDS-Modell) von Klahr [11] untersucht. Der experimentelle Suchraum wird dabei durch die Möglichkeiten aufgespannt, ein ausgewähltes Experiment durchzuführen. Bei der Untersuchung der gewählten Messparameter im Versuchsverlauf stehen in unseren Studien drei wichtige Aspekte im Mittelpunkt (Abb. 1), anhand derer die Qualität des Experimentierens bewertet werden kann:

- I. Durch Einsatz der *Variablenkontrollstrategie* (Abb. 1 links) wird sichergestellt, dass während des Experimentierens immer nur eine Variable gleichzeitig verändert wird, während die restlichen konstant gehalten werden. Dieses grundlegende Experimentierverhalten erlaubt es dem Experimentator, mögliche Zusammenhänge zwischen dem variablen Messparameter und dem Messergebnis herauszufinden.
- II. Eine systematische *Variation der Messparameter* (Abb. 1 Mitte) gibt Rückschlüsse auf die Konzeption und Planung des Experiments.

- III. Die *Bewertung der Sinnhaftigkeit* (Abb. 1 rechts) der eingestellten Messparameter (insbesondere auch der gewählten Kombinationen von Messparametern) lässt einen Rückschluss darauf zu, ob der Experimentator sich über sein Handeln bewusst ist und die experimentellen Zusammenhänge verstanden hat.

In der vorliegenden Arbeit wurden daher die von den Probanden im experimentellen Verlauf gewählten Messparameter für einen ausgewählten Versuch analysiert. Dabei handelt es sich um einen Praktikumsversuch an der RWTH Aachen zum Thema Radioaktivität.

3. Versuch zur Radioaktivität

In der vorliegenden Arbeit wird der Experimentierprozess anhand eines Versuchs zur Radioaktivität beschrieben und analysiert. Der Versuch wird im Rahmen des „Messtechnischen Labors“, eines physikalischen Praktikums für Bachelor-Studierende des Maschinenbaus im dritten Semester, angeboten. Im Wintersemester 2016/17 wurde dieser Versuch von 317 Studierenden in Gruppen zu je maximal 16 Personen durchlaufen. Die Gruppen wurden während der Versuchszeit von 135 Minuten durch zwei Betreuer unterstützt, wobei die Studierenden in der Regel zu zweit an einem Experimentieraufbau arbeiteten.

Zu Beginn des Versuchs zur Radioaktivität wird eine Vorbesprechung (ca. 30 Minuten) abgehalten, auf die sich die Studierenden inhaltlich vorbereiten sollen. Im Anschluss daran werden vorgegebene Messaufgaben vor Ort bearbeitet und die gewonnenen Ergebnisse werden ebenfalls vor Ort ausgewertet. Die Studierenden sollen dafür zunächst ein Geiger-Müller-Zählrohr in verschiedene Abstände zur radioaktiven Quelle (β^- -Strahler) bringen und daraus die quadratische Abstandsabhängigkeit der Zählrate verifizieren. Über eine graphische Auswertung soll aus diesen Ergebnissen die Aktivität des Präparates ermittelt werden. Im zweiten Aufgabenteil wird die Absorption von Strahlung durch verschiedene Materialien bestimmt. Dazu sind auf fünf Schienen Absorberplättchen verschiedener Dicke aus Aluminium und Kupfer platziert, die jeweils so verschoben werden

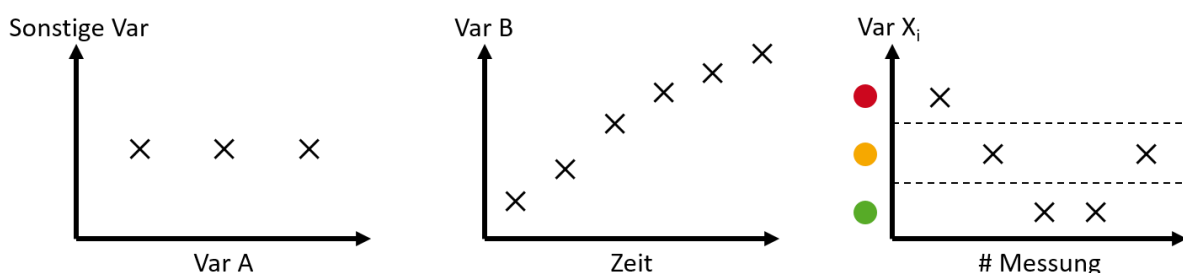


Abb. 1: Schematische Darstellung wichtiger Kriterien zur Bewertung experimenteller Vorgehensweis. *Links:* Umsetzung der Variablenkontrollstrategie. Während eine Variable variiert wird, sollten die anderen konstant gehalten werden. *Mitte:* Beobachtung systematischer Variationen der Messparameter im zeitlichen Verlauf. *Rechts:* (Ampel-)Bewertung der Sinnhaftigkeit der eingestellten Messparameter-Tupel.

können, dass auf jeder Schiene entweder das Plättchen aus Aluminium oder das aus Kupfer oder keins von beiden im Strahlengang steht. Durch Variation der Absorberplättchen zwischen Quelle und Detektor soll die exponentielle Abhängigkeit der Absorption von der durchstrahlten Dicke eines Materials untersucht werden. Durch graphische Auswertung und eine weitergehende Berechnung können die beiden Absorptionskoeffizienten von Aluminium und Kupfer bestimmt werden. Die vom Geiger-Müller-Zählrohr erfassten radioaktiven Ereignisse werden in beiden Versuchsteilen auf einer Messkonsole angezeigt. Hierüber lässt sich die Dauer eines Messvorgangs regulieren, welche einen bedeutenden Einfluss auf die Genauigkeit der Messung hat [12].

Die einzustellenden Messparameter sind in diesem Experiment daher begrenzt auf drei Komponenten: den *Abstand* zwischen Geiger-Müller-Zählrohr und radioaktivem Präparat (50 mm bis 350 mm), das *Absorbermaterial* und seine *Dicke* im Strahlengang (Aluminium: 0 bis 6,6 mm; Kupfer: 0 bis 1,5 mm) sowie die *Messdauer* eines Messvorgangs (10 s, 60 s, 100 s oder manuell frei einstellbar).

4. Methoden zur Datenaufnahme

Die Datenerfassung wurde durch zwei unterschiedliche Messinstrumente realisiert:

Einerseits konnte mit dem Smartpen die Dokumentation während des Versuches durch die Studierenden aufgenommen werden. Aus diesem Datenmaterial kann unter anderem erhoben werden, wann die Studierenden Datenpunkte aufnehmen, diese Daten für die weitere Auswertung umrechnen und die Zeichnungen für die graphische Auswertung anfertigen. Zudem können mittels der aufgenommenen Tonspur die Gespräche zwischen den Probanden angehört werden, sodass Handlungsmotive zugänglich werden. Andererseits wurden die prozeduralen Objektdaten mittels des Mikrocontrollers Arduino und geeigneter Sensoren aufgenommen. Hierzu wurden in jedem Versuchsaufbau verschiedene Sensoren verbaut und mit dem Mikrocontroller verbunden, um die wesentlichen Messparameter zu erfassen. Damit können die eingestellten Messparameter mit sehr hoher zeitlicher Auflösung ausgelesen werden.

Konkret misst ein am Geiger-Müller-Zählrohr befestigter Ultraschallsensor den Abstand zwischen Zählrohr und Präparat mit einer Genauigkeit von 5 mm (bei Abständen zwischen 50 mm und 350 mm). Ein System aus Lichtschranken erfasst die Position der Absorberplättchen und gibt ein Signal darüber aus, welches Plättchen (Material und Dicke) sich zu einem bestimmten Zeitpunkt im Strahlengang befindet. Ein Spannungssensor liest zudem die Aktivität einer LED an der Zählkonsole aus, die genau dann leuchtet, wenn gerade ein Messvorgang mit dem Geiger-Müller-Zählrohr stattfindet.

Mithilfe dieser Daten kann der experimentelle Suchraum detailliert erfasst werden. Dies erlaubt es, die

2	2	2	2	2	300	0
---	---	---	---	---	-----	---

Abb. 2: Beispielhafte Zeile mit Informationen für eine Sekunde im Versuchsverlauf, wie sie mit dem Mikrocontroller Arduino und geeigneten Sensoren aufgenommen werden.

Nutzung der Variablenkontrollstrategie, den Einsatz systematischer Variationen der Messparameter durch die Probanden sowie die Sinnhaftigkeit der gewählten Messparameter im Versuchsverlauf zu untersuchen. In diesem Beitrag werden weitestgehend die prozeduralen Objektdaten, die mit dem Arduino erfasst wurden, diskutiert. Auswertungen der Smartpen-Protokolle sind u.a. in Ref. [10] zu finden.

5. Messdaten

Der Mikrocontroller Arduino wird mit Informationen aus den oben genannten Sensoren gespeist und speichert sie als .csv-Datei auf einer SD-Karte. Von dort können die Informationen auf einen Computer geladen und dort mit Programmen wie *Excel* oder *R* (teil)automatisiert weiterbearbeitet werden. Zu jeder Sekunde sind dazu sieben Informationen gespeichert, die beispielhaft in Abb. 2 zu sehen sind.

Die ersten fünf Spalten enthalten die Informationen zu den fünf Absorberschienen. Eine „0“ bedeutet, dass sich kein Absorbermaterial dieser Schiene im Strahlengang befindet. Eine „1“ bzw. „2“ bedeutet, dass sich auf dieser Schiene jeweils das Plättchen aus Kupfer bzw. Aluminium im Strahlengang befindet. Aus diesen Informationen lässt sich zu jeder Sekunde bestimmen, welche Gesamtdicke der einzelnen Absorbermaterialien im Strahlengang eingesetzt ist. Die sechste Spalte gibt den Abstand vom Geiger-Müller-Zählrohr zum Präparat in Millimeter an. Die letzte Spalte zeigt an, ob zu diesem Zeitpunkt eine Messung stattfindet („1“) oder nicht („0“). Der Versuch dauert in der Regel zwischen zwei und zweieinhalb Stunden, sodass die Datei etwa 7200 – 9000 solcher Zeilen wie in Abb. 2 enthält. Daraus lassen sich mit dem Computerprogramm *R* Darstellungen des Versuchsverlaufs wie in Abb. 3 generieren. Darin abgebildet sind folgende Messparameter des Experiments:

In BLAU eingezeichnet ist der Abstand zwischen Geiger-Müller-Zählrohr und radioaktivem Präparat. Die zugehörige Skala ist am linken Rand der Abbildung zu sehen.

In GRAU zu sehen ist die eingestellte Absorberdicke des Materials Aluminium, in KUPFERFARBEN analog dazu die Dicke des Materials Kupfer. Die zugehörige Skala ist am rechten Rand der Abbildung zu sehen.

Die Versuchszeit in Sekunden ist auf der x-Achse des Diagramms abzulesen.

Zur weiteren Beschreibung der Abbildung sind zudem schwarze gestrichelte Hilfslinien im Diagramm eingezeichnet, die es in sechs Abschnitte einteilen.

Die Information, ob eine Messung stattfindet oder nicht ist in Abb. 3 noch nicht eingeblendet, da die Zeitskala dafür zu groß ist. In Einzelbetrachtungen

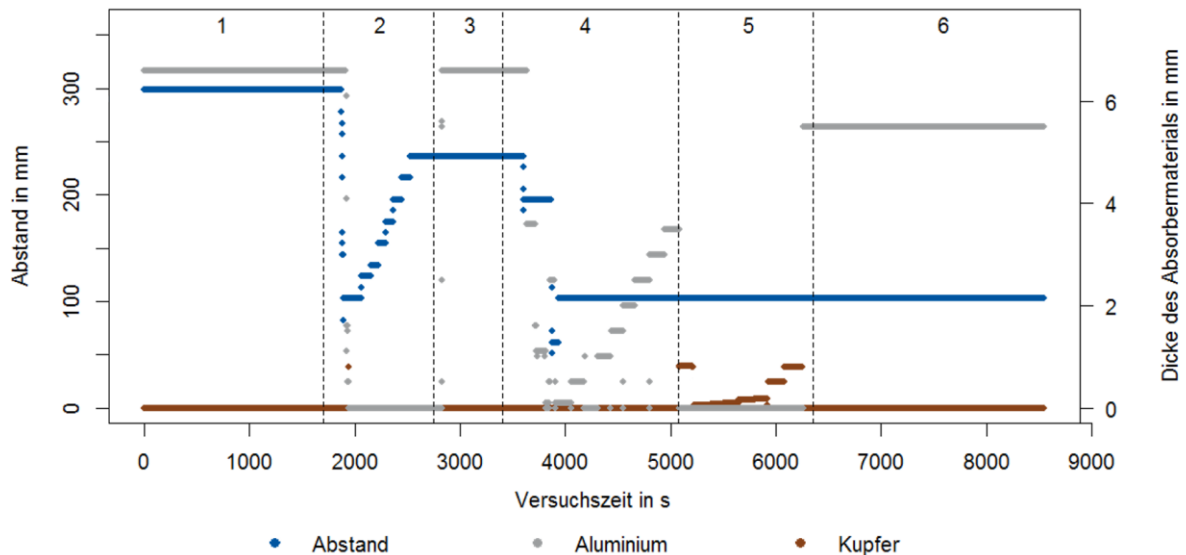


Abb. 3: Versuchsverlauf über die gesamte Versuchszeit mit eingezeichneten Abständen und Dicken der Absorptionsmaterialien. Die gestrichelten Linien teilen den Versuchsverlauf in sechs Abschnitte, die im Text ausführlicher diskutiert werden.

verschiedener Versuchsteile (Abb. 4 & 5) wird im Folgenden auch dieser Messparameter berücksichtigt.

6. Auswertung der Messdaten

Die Erkundung der Strategien bei der Versuchsdurchführung geht mit der Suche nach einer systematischen Variation der verschiedenen Messparameter durch die Probanden einher. Solche systematischen Vorgehensweisen werden zunächst bei den einzelnen Teams analysiert. Auf Basis der dabei erzielten Beobachtungen wird dann später auf der übergeordneten Ebene aller Gruppen untersucht, ob Strategien bei der Versuchsdurchführung in der gesamten Kohorte sichtbar werden.

Die Auswertung der Daten erfolgt in zwei Schritten. Zunächst werden einzelne Datensätze auf der Individualebene beschrieben. Damit sind Studierendenteams à zwei Probanden gemeint. Darauf aufbauend werden verschiedene Kategorien für die Wahl der Messparameter generiert, anhand derer die individuellen Teams auf der Gruppenebene miteinander verglichen werden können. Dabei wird auch die Häufigkeit des Auftretens der einzelnen Kategorien quantifiziert.

6.1. Individualebene

Für die Beschreibung auf Individualebene wird zunächst noch einmal Abb. 3 herangezogen. Darin werden im Folgenden die sechs gekennzeichneten Abschnitte getrennt voneinander betrachtet.

Im ersten Abschnitt wird keiner der Messparameter verändert. Dies lässt darauf schließen, dass zu dieser Zeit die Vorbereitungen des Versuchs liefen. Im Abschnitt zwei sind häufige Variationen des Abstandes erkennbar, während im dritten Abschnitt erneut keine Veränderung der Messparameter zu sehen ist. Aus der Erfahrung heraus ist zu vermuten (und kann anhand der Smartpen-Daten bestätigt werden), dass im Ab-

schnitt 2 die Durchführung der Messungen zur Abstandsabhängigkeit der Strahlungsintensität stattfand und sich darauf im dritten Abschnitt eine Auswertephase dieses Versuchsteils anschloss. Im vierten Abschnitt wird zunächst der Abstand verändert, bis er bis zum Ende konstant auf einem Wert bleibt. Zudem finden mehrere Variationen der Dicke der eingesetzten Aluminiumplättchen statt. Dies lässt darauf schließen, dass es sich um die Messungen zur Untersuchung der Absorption von Aluminium handelt. Ebenso verhält es sich mit dem fünften Abschnitt mit Kupfer. Hier wird ausschließlich die Dicke der eingesetzten Kupferplättchen variiert, während die restlichen Messparameter konstant gehalten werden. Im sechsten und letzten Abschnitt der Grafik wird zu Beginn Aluminium in den Strahlengang geschoben. Daraufhin wird keine weitere Variation der Messparameter vorgenommen. Dies lässt auf eine Auswertephase des Aufgabenteils zur Absorption schließen. Ebenfalls ist es möglich, dass das betroffene Studierendenteam während dieser Zeit auch den Versuch abgeschlossen und beendet hat. Das individuelle Versuchsende der Teams lässt sich durch die Arduino-Daten nicht bestimmen (den Smartpen-Daten lässt sich diese Information jedoch entnehmen).

Neben der Darstellung des gesamten Versuchszeitraums lassen sich nun auch die einzelnen Teile des Versuches genauer betrachten. Dazu wird beispielsweise der zweite Abschnitt aus Abb. 3 auf der Zeitskala detaillierter betrachtet. In Abb. 4 ist ein sogenannter Messverlauf der Abstandsmessung zu sehen. Neben der Einstellung des Abstandes zwischen Geiger-Müller-Zählrohr und radioaktivem Präparat ist nun auch der Parameter der Messdauer in das Diagramm mit eingezeichnet. In ROT sind solche Abstände markiert, bei denen eine Messung durchgeführt wurde. Anhand dieser Markierung lassen sich

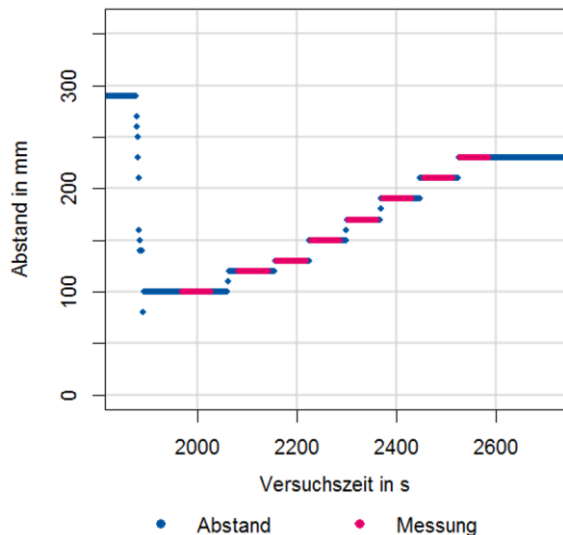


Abb. 4: Messverlauf der Abstandsmessung. Als rote Balken erkennbar sind hier neben den Abstandseinstellungen auch die einzelnen Messvorgänge.

einzelne Messvorgänge definieren die weitere Informationen enthalten. Durch die Länge der roten Balken lässt sich die Dauer der einzelnen Messvorgänge ermitteln. Des Weiteren lässt sich auch die Anzahl der Messvorgänge beziffern. Insgesamt dauert der Messprozess in diesem Versuchsteil knapp über 600 Sekunden und beinhaltet acht Messungen, die im dargestellten Beispiel jeweils 60s dauern.

Mit den Informationen, wie sie Abb. 3 exemplarisch zeigt, und den zusätzlichen Informationen über die Zeiträume, in denen Messvorgänge stattgefunden haben, lässt sich eine Aussage über die Nutzung der Variablenkontrollstrategie durch die Probanden treffen. Dabei ergab sich, dass die Variablenkontrollstrategie von fast allen Teams bei der Aufnahme ihrer Messdaten vollständig eingehalten wurde. Das heißt, dass jeweils in den einzelnen Versuchsteilen immer nur entweder der Abstand oder die Dicke der eingesetzten Absorber eines Materials variiert wurden.

Der Fokus weiterer Analysen lag daher auf der Beobachtung möglicher Systematiken in der Wahl der Messparameter sowie der Bewertung der Sinnhaftigkeit dieser Messparameter. Auf den ersten Punkt wird nachfolgend genauer eingegangen.

Mit der Darstellung in Abb. 4 lässt sich sehr deutlich eine systematische Variation des Messparameters Abstand im Messverlauf feststellen. So ist zu sehen, dass dieses Team die erste Messung bei einem Abstand zwischen Zählrohr und radioaktivem Präparat von 100 mm beginnt und dann in Schritten von 10 mm bis 30 mm den Abstand monoton steigend verändert. Nach ähnlichen systematischen Variationen des Abstandes wurde auch bei anderen Teams gesucht. Davon ausgehend konnte ein Kategoriensystem entwickelt und eingeführt werden. In Abb. 5 sind reale Einstellungen verschiedener Teams zu sehen. Die eingezeichneten Pfeile stellen dabei Tendenzen der Varia-

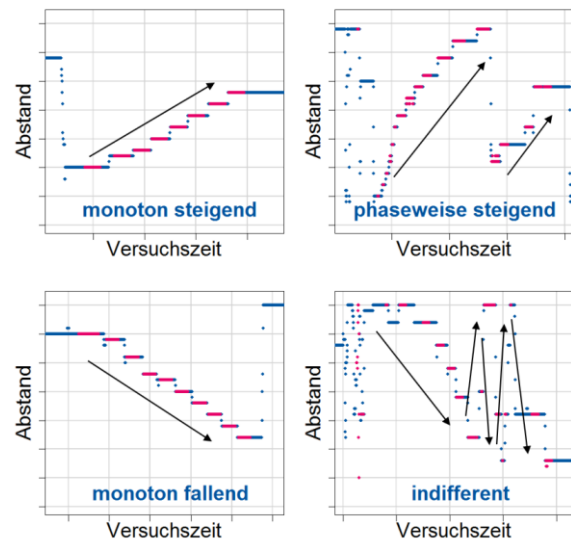


Abb. 5: Beispiele verschiedener Messverläufe. Die Benennung der verschiedenen Kategorien findet sich jeweils im dazugehörigen Graphen.

tion des Abstandes dar, welche zu einem Kategoriensystem erweitert werden konnten, dessen Kategorien im Folgenden vorgestellt und kurz erklärt werden sollen:

Ein Messverlauf wird *monoton steigend* genannt, wenn die variierten Messparameter im Verlauf der Messung sukzessive größer werden oder gleichbleiben. Eine analoge Definition gilt für *monoton fallende* Messverläufe (vgl. Abb. 5).

Ein Messverlauf wird *phasenweise steigend* genannt, wenn entweder in verschiedenen Sequenzen des Messverlaufs ausschließlich steigende Tendenzen zu sehen sind (vgl. Abb. 5) oder wenn einer monoton steigenden Systematik in der Messparameterwahl nur einzelne (maximal 2) Ausreißer widersprechen. Analog hierzu wird ein *phasenweise fallender* Messverlauf definiert.

Als *indifferent* werden solche Messverläufe bezeichnet, die den anderen vier Kategorien nicht zugeordnet werden können. Dies ist damit zu erklären, dass die Einstellungen der Messparameter im Versuchsablauf wechselnd steigende und fallende Tendenzen aufweisen.

Auf Grundlage dieser Kategorisierung lassen sich nun die Messverläufe der einzelnen Teams den Kategorien zuordnen und auf Gruppenebene miteinander vergleichen.

6.2. Gruppenebene

Auf Grundlage eines Manuals in Ref. [13] wurden die Datensätze in die Kategorien einsortiert. Ein Inter-rating bestätigte die Eindeutigkeit des Kategoriensystems. Bei zehn von insgesamt 51 Datensätzen wurden die Messverläufe von zwei unabhängigen Ratern kategorisiert. Die Übereinstimmung lag dabei bei 100%.

Aus der Zuordnung zu den Kategorien ergab sich eine Verteilung der Messverläufe gemäß dem Diagramm

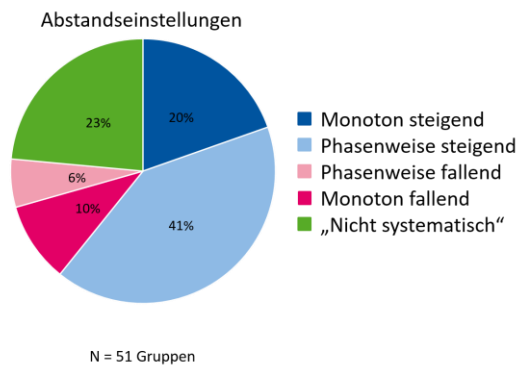


Abb. 6: Diagramm zur Einteilung der Versuchsverläufe in die Kategorien der Variation der Messparameter.

in Abb. 6. Mit 23% der Fälle, die der Kategorie der indifferenten Messverläufe zugeordnet werden, lassen sich mehr als drei Viertel der Datensätze den oben genannten vier Kategorien zuweisen, die auf eine zumindest phasenweise systematische Veränderung des Messparameters Abstand hindeuten. Rund 16% der Teams weisen einen phasenweise oder monoton fallenden Verlauf dieses Messparameters auf, während eine große Mehrheit von 61% eine phasenweise oder monoton steigende Systematik bei der Wahl des Abstands verfolgte. Dies ist insbesondere vor dem Hintergrund erwähnenswert, dass die Abstandseinstellung zu Beginn des Versuches immer auf 300 mm (bei einem maximalen Wertebereich von 50 mm bis 350 mm) eingestellt war. Somit haben diese Teams aktiv diese Grundeinstellung verändert und stattdessen bei niedrigen Abständen begonnen.

30% aller Teams wählten monoton steigende bzw. fallende Abstände im Verlauf ihrer Abstandsmessung.

7. Fazit

Mithilfe der objektfokussierten Daten ist es möglich, den experimentellen Suchraum detailliert zu erfassen. Auf Individualebene lassen sich die Messverläufe betrachten und daraus Rückschlüsse über die Tätigkeiten der Studierenden ziehen. Die Daten lassen es zu, die Messabfolge in Abschnitte einzuteilen, die den einzelnen Versuchsteilen zuzuordnen sind. Diese Zuordnungen lassen sich durch die Smartpen-Protokolle bestätigen. Innerhalb der einzelnen Abschnitte ist es möglich, vorhandene systematische Variationen der Wahl der Messparameter zu erkennen. Die Messverläufe lassen sich darauf aufbauend kategorisieren, sodass die Studierendenteams damit auch auf Gruppenebene miteinander verglichen werden können.

8. Ausblick

Neben der Analyse des zweiten Abschnitts (Abstandsmessung) ist es ebenso möglich, die Messverläufe der Versuchsteile zur Absorption von Strahlung (Abschnitte 4 & 5 in Abb. 3) in analoger Weise zu untersuchen. Auf Individualebene lässt sich darauf aufbauend betrachten, inwieweit sich Systematiken zwischen den einzelnen Versuchsteilen wiederholen

oder unterscheiden. Diese Analyse lässt sich auf Gruppenebene auch durch sogenannte Sankey-Diagramme realisieren [9].

In einem weiteren Schritt kann mithilfe der Arduino-Daten auch die Sinnhaftigkeit der eingestellten Messparameter analysiert werden. Dabei spielt im Wesentlichen die Dauer einzelner Messvorgänge eine wichtige Rolle (vgl. Abb. 4). Diese ist entscheidend, um die Anzahl der aufgenommenen Ereignisse im Geiger-Müller-Zählrohr zu beeinflussen. Je mehr Ereignisse aufgenommen werden, desto geringer fällt die relative Messunsicherheit einer Messung aus und die Daten werden belastbarer [12]. Gleichzeitig ist jedoch die gesamte Versuchszeit durch den Praktikumsablauf begrenzt, sodass einzelne Messungen auch nicht zu lange dauern sollten. Anhand dieser Rahmenbedingungen lassen sich die Kombinationen der Einstellungen aus Messdauer und Abstand bzw. Absorberdicke bewerten.

Mittels der Smartpen-Daten ist es einerseits möglich, die Einteilungen in die einzelnen Abschnitte zu validieren. Hierzu lässt sich über die Schriftspur erkennen, wann welche Versuchsteile bearbeitet werden. Andererseits gibt die Tonspur einen Einblick in die Gespräche zwischen den Teams und erlaubt dadurch einen Rückschluss auf die Handlungsmotive und mögliche Strategien, welche durch die Studierenden verfolgt wurden.

Die Kombination aus Smartpen-Protokollen und objektfokussierter Erfassung macht es somit möglich, ein umfassendes Bild der Handlungen der Studierenden zu erstellen und dieses im Hinblick auf den experimentellen Suchraum zu analysieren. Die Möglichkeiten der teilautomatisierten Bearbeitung der aus der objektfokussierten Erhebung gewonnenen Daten und der sehr zielführenden Auswertung der Smartpen-Daten lassen es zu, auch größere Probandenzahlen zu untersuchen. Dies eröffnet einen vielversprechenden Zugang zur Untersuchung eines breiten Spektrums experimenteller Strategien für verschiedene Probandengruppen sowohl auf der Individualebene als auch auf der Ebene der gesamten Kohorte.

Die individuelle Betrachtung solcher Datensätze und insbesondere der Einbezug der Tonspur der Smartpen-Daten kann dabei tiefe Einblicke in die experimentellen Prozesse einschließlich der Handlungsmotive der Probanden liefern.

In Ergänzung zu solchen Studien kann auch die angedachte vollständig automatisierte Auswertung der objektfokussierten Arduino-Daten im Hinblick auf die Sinnhaftigkeit der eingestellten Messparameter es zukünftig erlauben, den Lernern noch während des Experimentierprozesses z.B. über interaktive Versuchsanleitungen Feedback über ihr Experimentierverhalten zu geben. Dies eröffnet völlig neue Möglichkeiten für die Vermittlung experimenteller Fertigkeiten am echten Realexperiment.

9. Literatur

- [1] Walpuski, M. (2006): Optimierung von experimenteller Kleingruppenarbeit durch Strukturierungshilfen und Feedback. (H. Niedderer, H. Fischler & E. Sumfleth, Hrsg.) Studien zum Physik- und Chemielernen (Bd. 49). Berlin: Logos Verlag.
- [2] Schreiber, N. (2012): Diagnostik experimenteller Kompetenz. Validierung technologiegestützter Testverfahren im Rahmen eines Kompetenzstrukturmodells. (H. Niedderer, H. Fischler & E. Sumfleth, Hrsg.) Studien zum Physikalernen (Bd. 139). Berlin: Logos Verlag.
- [3] Lock, R. (1989): Assessment of Practical Skills Part 1. The Relationship between Component Skills. *Research in Science & Technological Education*, 7(2), 221-233.
- [4] Neumann, K. (2004): Didaktische Rekonstruktion eines physikalischen Praktikums für Physiker. (H. Niedderer, H. Fischler & E. Sumfleth, Hrsg.) Studien zum Physikalernen (Bd. 38). Berlin: Logos Verlag.
- [5] Shavelson, R. J., Baxter, G. P. & Pine, J. (1991). Performance Assessment in Science. *Applied Measurement in Education*, 4(4), 347–362.
- [6] Emden, M. (2011). Prozessorientierte Leistungsmessung des naturwissenschaftlichen-experimentellen Arbeitens. Eine vergleichende Studie zu Diagnoseinstrumenten zu Beginn der Sekundarstufe I. (H. Niedderer, H. Fischler & E. Sumfleth, Hrsg.) Studien zum Physik- und Chemielernen (Bd. 118). Berlin: Logos Verlag.
- [7] Fraß, S., Lammertz, I. Magdans, U. & Heinke, H. (2014). Erhebung von Daten für IBE mit Smartpens. In S. Bernholt (Hrsg.), Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik. Jahrestagung in München 2013. Münster: Lit.
- [8] Fraß, S., Weyers, C., Heinke, H. (2014): Können IBE experimentelle Fertigkeiten vermitteln? Entwicklung eines prozessorientierten Analyseinstrumentes. In: PhyDid B – Didaktik der Physik – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung, Frankfurt.
- [9] Fraß, S., Heinke, H. (2016): Auf der Suche nach Strategien bei der Manipulation von Experimenten. In C. Maurer (Hrsg.), Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik. Jahrestagung in Zürich 2016. Münster: Lit.
- [10] Büsch, L., Schöneberg, M., Heinke, H. (2016): Einblick in Prozesse im Realexperiment: Chancen für Forschung und Lehre. In C. Maurer (Hrsg.), Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik. Jahrestagung in Zürich 2016. Münster: Lit.
- [11] Klahr, D. (2000). *Exploring Science: The Cognition and Development of Discovery Processes*. Cambridge, Massachusetts, London, England: The MIT Press.
- [12] Eichler, H. J., Kronfeldt, H.-D., Sahn, J. (2001): *Das neue Physikalische Praktikum*. Berlin: Springer.
- [13] Guntermann, C. (2017): Analyse von experimentellen Prozessen am Beispiel eines Versuchs zur Radioaktivität. Masterarbeit, RWTH Aachen University, unveröffentlicht.

Prä-Post-Vergleich des Erstellungsprozesses von Concept Maps im Physikpraktikum

Christina Lüders, Katharina Plücker, Heidrun Heinke

RWTH Aachen University

christina.lueders@rwth-aachen.de, plueckers@physik.rwth-aachen.de, heinke@physik.rwth-aachen.de

Kurzfassung

Medizinstudierende der RWTH Aachen müssen im ersten Semester ihres Studiums physikalisches Wissen erwerben. Um den Studierenden die Relevanz dieses Wissens aufzuzeigen, werden durch ein adressatenspezifisches Praktikum die physikalischen Inhalte in einem medizinischen Kontext vermittelt [1]. Dies lässt eine zunehmende Vernetzung der medizinischen und physikalischen Wissensdomäne bei den Studierenden im Verlauf der einzelnen Praktikumsversuche erwarten. Um dies zu untersuchen wurde im WS 2015/16 eine Prä-Post-Studie mit Concept Maps als Diagnoseinstrument durchgeführt [2]. Dabei erstellten die Studierenden ($N \approx 280$) digitale Concept Maps am Beginn und Ende eines Versuchs mit ausgewählten Begriffen der medizinischen und physikalischen Wissensdomäne im Kontext dieses Versuchs, wobei ein neu entwickeltes Tool zur Erstellung und Auswertung der Concept Maps zum Einsatz kam. Das Tool zeichnete dabei auch die Erstellungsprozesse der Concept Maps auf, was Einblicke in typische Vorgehensweisen bei der Erstellung der Concept Maps ermöglicht. Nachfolgend wird gezeigt, dass nicht nur Merkmale der Endprodukte der Concept Maps im Prä-Post-Vergleich auf Veränderungen in der Vernetzung der medizinischen und physikalischen Wissensdomäne schließen lassen, sondern auch die beobachteten Vorgehensweisen im Erstellungsprozess solcher Concept Maps.

1. Einleitung

In der Vermittlung naturwissenschaftlicher Inhalte hat der Begriff des Kontextes in den letzten Jahren zunehmend an Bedeutung gewonnen. Dies belegen z.B. die aktuellen Kernlehrpläne des Landes NRW, in denen das Unterrichten im Kontext verbindlich vorgeschrieben wird (vgl. z.B. [3] und [4]). Der aus lerntheoretischer Sicht erwartete Nutzen einer kontextbezogenen Vermittlung von fachwissenschaftlichen Inhalten ist auch in der Hochschullehre bereits erkannt worden. Dies spiegelt sich z.B. in der Entwicklung adressatenspezifischer Physikpraktika wieder. Ein solches Praktikum wurde von Theyßen in Form eines adressatenspezifischen Physikpraktikums für Medizinstudierende entwickelt. Ein Charakteristikum dieses Praktikums ist es, dass physikalisches Wissen in durchgehenden medizinischen Kontexten vermittelt werden soll [1].

2. Ausgangssituation und Zielsetzung

Die Medizinstudierenden der RWTH Aachen führen im ersten Semester ihres Studiums ein Physikpraktikum durch, welches nach dem Vorbild des adressatenspezifischen Physikpraktikums von Theyßen entwickelt wurde [1]. Eine Umfrage unter den Praktikumssteilnehmern am Ende des Praktikums im WS 2013/14 ergab jedoch, dass der medizinische Bezug der physikalischen Inhalte nur noch ca. 50% der befragten Studierenden ($N=139$) deutlich wurde, obgleich dieser Anteil bei der Einführung des Praktikums ca. 10 Jahre zuvor deutlich höher war [2]. Aus diesem Anlass wurde im WS 2015/16 eine

fachdidaktische Studie durchgeführt, mit der unter anderem die Entwicklung des Verständnisses des medizinischen Bezugs der physikalischen Inhalte des Praktikums im Verlauf einzelner Praktikumsversuche untersucht wurde. Hierfür erstellten die Studierenden ($N \approx 280$) digitale Concept Maps am Beginn und Ende eines Versuchs mit Hilfe eines neu entwickelten Online-Tools. Dabei wurden ihnen ausgewählte Begriffe der medizinischen und physikalischen Wissensdomäne im Kontext einzelner Versuche vorgegeben und die Studierenden mussten diese Begriffe durch beschriftete Pfeile verbinden.

Nachfolgend werden erste Ergebnisse der Analysen eines Teils der erstellten Concept Maps präsentiert, wobei insbesondere die Frage nach der Veränderung der Vernetzung zwischen der medizinischen und physikalischen Wissensdomäne im Verlauf eines ausgewählten Praktikumsversuches untersucht wird. Hierzu wird ein Prä-Post-Vergleich der Concept Maps eines Versuches zur Ionenleitung von 118 Studierenden verwendet.

3. Concept Maps und deren Verwendung in der Studie

Concept Maps sind Netzwerke aus Begriffen und beschrifteten Pfeilen zur Darstellung von Wissensstrukturen [5]. In Prä-Post-Studien wurden Concept Maps verwendet, um Veränderungen in der Vernetzung der Begriffe sichtbar zu machen (vgl. z.B. [6] und [7]). Auch können durch Concept Maps Vernetzungen zwischen medizinischer und physikalischer Wissensdomäne sichtbar gemacht

werden [8]. In der vorliegenden Studie können durch die Verwendung von prä und post Concept Maps, die am Beginn und am Ende eines Praktikumsversuches erstellt werden, Veränderungen in der Vernetzung der medizinischen und physikalischen Wissensdomäne bei den Praktikumsteilnehmern untersucht werden.

Die Studierenden erstellten mit Hilfe eines Online-Tools Concept Maps zu ausgewählten Versuchen¹, in diesem Fall einem Versuch zur Ionenleitung. Ihnen wurden 16 Begriffe aus dem Versuchskontext vorgegeben. Diese Begriffe stammen aus der medizinischen und/oder physikalischen Wissensdomäne. Für die Erstellung der Concept Map hatten die Studierenden 10 min. Zeit. Sie erhielten dabei die folgenden formalen Vorgaben:

- Begriffe sind durch beschriftete Pfeile zu verbinden, die den Zusammenhang der Begriffe darstellen.
- Jeder Pfeil muss beschriftet sein und ein Verb enthalten.
- Beziehungen sollen nur zwischen direkten Nachbarn bestehen.

In Abbildung 1 ist beispielhaft eine Concept Map aus fünf Begriffen und sechs Verbindungen der verschiedenen Wissensdomänen dargestellt. Die Nummern an den Verbindungen geben hier lediglich den Zeitpunkt der Erstellung der jeweiligen Verbindung an, der für eine spätere prozessorientierte Analyse der Erstellung der Concept Maps von Bedeutung ist.

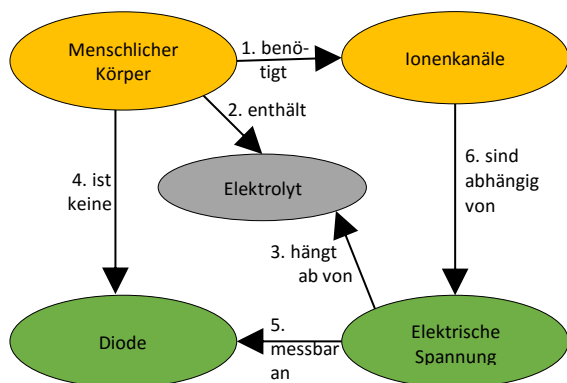


Abb. 1: Beispiel einer Concept Maps zu einem Versuch zur Ionenleitung. Verwendet wurden fünf Begriffe. Die gelben Begriffe sind der medizinischen Wissensdomäne zuzuordnen, die grünen Begriffe der physikalischen Wissensdomäne und der Begriff Elektrolyt kann sowohl der medizinischen als auch der physikalischen Wissensdomäne zugeordnet werden.

Zusätzlich zur Erstellung der Concept Maps bietet das entwickelte Tool auch Möglichkeiten zur Auswertung der erstellten Concept Maps. Dabei ist eine produktorientierte und eine prozessorientierte Analyse möglich. Für die produktorientierte Analyse können quantitative Merkmale der Concept Maps

erfasst und ggfs. zwischen verschiedenen Sammlungen von Concept Maps (z.B. in einem Prä-Post-Vergleich) miteinander verglichen werden. Diese quantitativen Merkmale sind die Anzahl der verwendeten Begriffe, die Anzahl der Verbindungen und die Komplexität, die als Quotient aus der Anzahl der Verbindungen und der Zahl der verwendeten Begriffe als Index für die Dichte einer Concept Map erfasst wird [9]. Das Tool bereitet diese Daten bereits in grafischer Form auf.

Zusätzlich zu dieser Analyse der fertigen Produkte der Erstellung der Concept Maps wird in tabellarischer Form auch die zeitliche Abfolge dargestellt, in der die einzelnen Verbindungen durch die Studierenden erstellt wurden. Da vermutet werden kann, dass die Studierenden bei der Erstellung einer Concept Map verschiedene Vorgehensweisen verfolgen, eröffnet dies Einblicke in den Erstellungsprozess der einzelnen Concept Maps. Eine prozessorientierte Analyse der Concept Maps wird somit möglich.

4. Methoden der Auswertung

Mit den oben benannten quantitativen Merkmalen der Concept Maps ist es nun möglich, im Rahmen einer Prä-Post-Erhebung von Concept Maps auf eine eventuelle Veränderung der Vernetzung zwischen der medizinischen und physikalischen Wissensdomäne durch eine Intervention in Form der Teilnahme an einem vollständigen Praktikumsversuch zu schließen.

Zunächst werden die Verbindungen der Concept Maps auf ihre formale Korrektheit und ihren inhaltlichen Gehalt, d.h. ihre inhaltliche Korrektheit, untersucht. Die Verbindungen, die formal falsch sind, werden für die Auswertung der Daten nicht weiter betrachtet.

Die für die Concept Maps vorgegebenen Begriffe werden in medizinische Begriffe (gelb), physikalische Begriffe (grün) und Begriffe, die gleichermaßen in der Medizin und Physik verwendet werden (grau), kategorisiert (siehe Abb. 1 und 2). Von den 16 vorgegebenen Begriffen lassen sich acht Begriffe der physikalischen Kategorie, sechs Begriffe der medizinischen Kategorie sowie zwei Begriffe der medizinischen sowie physikalischen Kategorie zuordnen.

Wie in Abbildung 2 gezeigt, sind durch Verbinden der Begriffe unterschiedlicher Wissensdomänen verschiedene Verbindungstypen möglich. Eine Verbindung des Typs „Med ↔ Phy“ kann beispielsweise erstellt werden, indem ein medizinischer Begriff mit einem physikalischen Begriff verbunden wird. Dabei wird nicht beachtet, in welcher Reihenfolge die Begriffe miteinander

¹ Das Erstellen einer Concept Map wurde von den Studierenden vorab in einer Hausaufgabe geübt.

verbunden wurden. Somit kann für jede Verbindung bestimmt werden²,

- ob sie den formalen Vorgaben entspricht,
- ob es sich um eine Inter- oder Intradomänenverbindung handelt,
- welcher Wissensdomäne bzw. welchen Wissensdomänen sie angehört und
- ob die Aussage der Verbindung inhaltlich richtig ist.

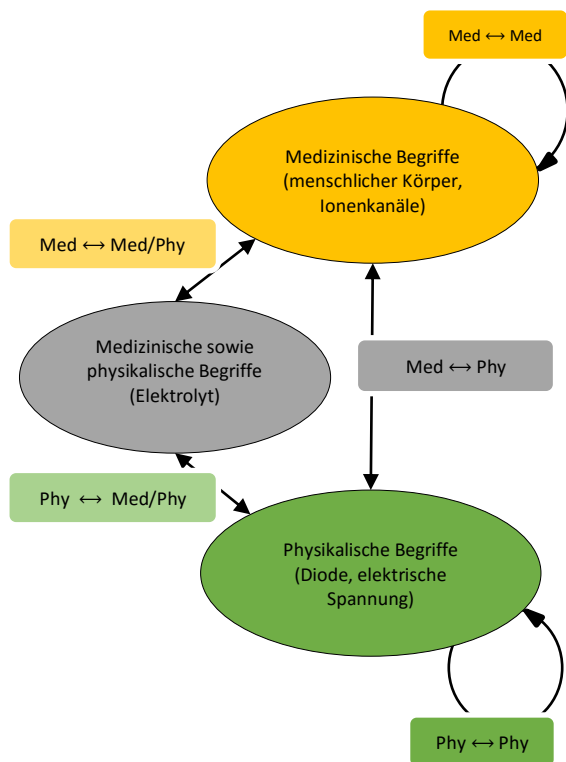


Abb. 2: Mögliche Verbindungen zwischen medizinischen, physikalischen oder gleichermaßen medizinischen und physikalischen Begriffen.

Bei allen o.g. Bewertungen handelt es sich um produktorientierte Analysen der erstellten Concept Maps. Sie werden durch die prozessorientierte Analyse der Erstellung der Concept Maps ergänzt, die durch die spezielle Fähigkeit des Tools zur Registrierung des zeitlichen Verlaufs der Eingaben bei der Erstellung der Concept Maps ermöglicht wird. Es kann vermutet werden, dass die Studierenden bei der Erstellung der Concept Maps und damit auch bei der sichtbar werdenden Integration beider Wissensdomänen unterschiedliche Vorgehensweisen verfolgen. Eine eventuelle Veränderung dieser Vorgehensweise im Prä-Post-Vergleich kann auf eine Veränderung in der Vernetzung zwischen der physikalischen und medizinischen Wissensdomäne



Abb. 3: Darstellung der zeitlichen Abfolge der Erstellung von Verbindungen unterschiedlichen Verbindungstyps für die in Abb. 1 dargestellte Concept Map. Hierbei werden zunächst medizinische Verbindungen und im weiteren Verlauf physikalische Verbindungen erstellt.

hindeuten. Ein Beispiel für den zeitlichen Verlauf der Eingaben bei der Erstellung einer Concept Map ist in Abbildung 3 zu sehen.

In dieser Abbildung ist der Erstellungsprozess der in Abbildung 1 gezeigten Concept Map zu sehen. Für jede Verbindung kann der jeweilige Verbindungstyp bestimmt werden. So zeigt sich, dass in diesem Beispiel zunächst medizinische Verbindungen und danach erst physikalische Verbindungen erstellt wurden. Diese Concept Map ließe sich demnach als eine Prozessfolge „Medizin → Physik“ kategorisieren.

Wie bereits angedeutet, lassen sich typische Abfolgen im Erstellungsprozess in Prozessfolgen klassifizieren. Dabei gibt es zum einen eindeutige Prozessfolgen, bei denen die Erstellung der Verbindungen stark auf eine der beiden Wissensdomänen fokussiert ist. Zum anderen treten auch Prozessfolgen auf, die sich in zwei unterschiedliche Teile separieren lassen. Weitere Prozessfolgen werden einer komplexeren Mischkategorie zugeordnet, in welcher es zu mehrfachen Wechseln der Wissensdomäne kommt.

Eindeutige Prozessfolgen, in denen sich die Studierenden auf eine Wissensdomäne konzentrieren, sind:

- Medizin: Es werden überwiegend Verbindungen zwischen medizinischen Begriffen erstellt.
- Physik: Es werden überwiegend Verbindungen zwischen physikalischen Begriffen erstellt.

Prozessfolgen mit einem einfachen Wechsel zwischen den Wissensdomänen sind:

- Medizin → Physik: Zunächst werden überwiegend Verbindungen zwischen

² Alle Kategorisierungen der Verbindungen wurden durch Interratings überprüft.

medizinischen Begriffen, im Anschluss überwiegend solche zwischen physikalischen Begriffen erstellt.

- Physik → Medizin: Zunächst werden überwiegend Verbindungen zwischen physikalischen Begriffen, im Anschluss überwiegend solche zwischen medizinischen Begriffen

5. Vorstellung der Ergebnisse

Der ausgewählte Datensatz von prä und post Concept Maps der 118 Studierenden lässt sich nun anhand der vorgestellten Methoden zur Auswertung untersuchen, um eine Aussage über die eventuelle Veränderung der Vernetzung zwischen der medizinischen und physikalischen Wissensdomäne im Verlauf eines Praktikumsversuchs treffen zu können. Verwendet werden hierbei nur die formal richtigen Verbindungen der Concept Maps. Dies sind 97% aller durch die Studierenden erstellten Verbindungen.

Die Versuche, in denen die vorgestellte Studie durchgeführt wurde, wurden von den Studierenden in unterschiedlicher Reihenfolge durchlaufen. Für den folgenden Prä-Post-Vergleich der Concept Maps wurde zunächst festgestellt, ob es schon alleine durch die unterschiedliche Reihenfolge der Versuchsdurchführungen zu signifikanten Unterschieden in den Concept Maps kommt. Grund hierfür könnte ein Lerneffekt sein, da die Studierenden zum Zeitpunkt des jeweiligen Versuches eine unterschiedliche Anzahl von Concept Maps erstellt haben. Jedoch sind für die Anzahl der erstellten Verbindungen und die Anzahl der verwendeten Begriffe keine signifikanten Unterschiede festzustellen (vgl. [10]). Somit werden die Daten aller Studierenden im Folgenden zusammengefasst.

5.1. Produktorientierte Ergebnisse

Für eine produktorientierte Analyse werden zunächst die quantitativen Aspekte im Prä-Post-Vergleich der Concept Maps betrachtet werden, ohne die inhaltlichen Aspekte zu berücksichtigen.

Gemäß Tabelle 1 lässt sich feststellen, dass in den post Concept Maps im Durchschnitt mehr Verbindungen benutzt wurden als in den prä Concept Maps. Sowohl die Anzahl der Verbindungen als auch die Anzahl der verwendeten Begriffe steigt mit einem mittleren Effekt an. Somit verbalisierten die Medizinstudierenden nach dem Versuch erkennbar mehr Vernetzungen in dem für den Versuch relevanten Wissensgebiet.

	Prä		Post		r
	μ	σ	μ	σ	
Begriffe	11	4	14	4	0,36**
Verbindungen	11	3	14	3	0,45**

Tab. 1: Prä-Post-Vergleich der Zahl der verwendeten Begriffe und Verbindungen pro Studierenden. Angegeben werden jeweils der Mittelwert μ und die Standardabweichung σ sowie die errechnete Effektstärke r und das durch den Wilcoxon-Test³ angegebene Signifikanzniveau (** steht für ein Signifikanzniveau <1%).

Um auch eine Aussage über einen eventuellen Wissenszuwachs treffen zu können, werden die vorgestellten quantitativen Merkmale für inhaltlich richtige und inhaltlich falsche Verbindungen untersucht. Eine gesonderte Betrachtung der Zahl der verwendeten Begriffe ist nicht notwendig, da sich eine Kategorisierung nach inhaltlich richtig und inhaltlich falsch nur auf eine Verbindung beziehen kann.

Aufbauend auf diesen Ergebnissen wird untersucht, inwieweit sich die quantitativen Veränderungen auf die physikalische bzw. medizinische Wissensdomäne verteilen und inwieweit die Wissensdomänen miteinander vernetzt werden.

	Prä		Post		r
	μ	σ	μ	σ	
Inhaltlich richtige Verbindungen	9	4	11	4	0,24**
Inhaltlich falsche Verbindungen	1,9	1,6	2,9	2,1	0,26**

Tab. 2: Prä-Post-Vergleich der Zahl der verwendeten Verbindungen pro Studierenden, aufgeteilt in inhaltlich richtige und inhaltlich falsche Verbindungen. Angegeben werden jeweils der Mittelwert μ und die Standardabweichung σ sowie die errechnete Effektstärke r und das durch den Wilcoxon-Test angegebene Signifikanzniveau (** steht für ein Signifikanzniveau <1%).

In Abbildung 4 ist dargestellt, wie sich die durchschnittliche Anzahl der verwendeten Verbindungen verschiedener Verbindungstypen, aufgeschlüsselt nach inhaltlich falschen und inhaltlich richtigen Verbindungen, im Prä-Post-Vergleich verändert. Für den Verbindungstyp „Med ↔ Med“ kommt es zu einer Verringerung der Zahl der inhaltlich richtigen Verbindungen mit geringem bis mittlerem Effekt, während die Zahl der inhaltlich falschen Verbindungen konstant bleibt. Da es insgesamt zu einer Verringerung der Zahl der verwendeten Verbindungen dieses Typs kommt,

³ Die für den Wilcoxon-Test erforderlichen Voraussetzungen sind jeweils überprüft worden.

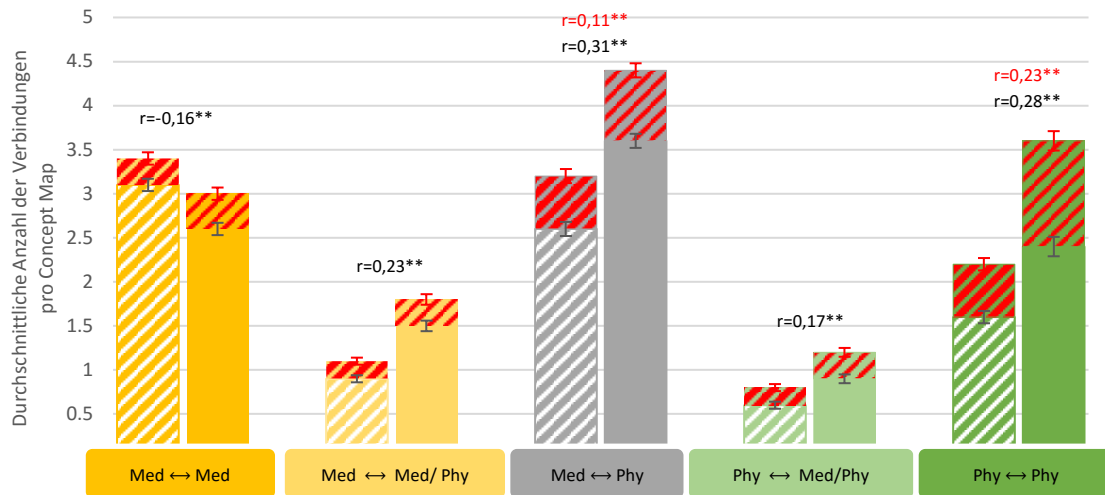


Abb. 4: Durchschnittliche Anzahl der Verbindungen verschiedener Verbindungstypen pro Concept Map mit jeweiliger Standardmessunsicherheit des Mittelwertes⁴ (inhaltlich richtig (schwarz) und inhaltlich falsch (rot)). Daten für die prä Concept Map sind schraffiert dargestellt, die Daten der post Concept Maps sind einfarbig dargestellt. Rot markierte Säulenteile markieren inhaltlich falsche Verbindungen, die anderen Säulenteile sind inhaltlich richtigen Verbindungen zuzuordnen. Angegeben ist bei einem signifikanten Unterschied außerdem die Effektstärke für die inhaltlich richtigen (schwarz) und inhaltlich falschen (rot) Verbindungen mit dem nach dem Wilcoxon Test errechneten Signifikanzniveau (** steht für ein Signifikanzniveau <1%).

steigt der Anteil der falschen Verbindungen des Typs „Med ↔ Med“ in den post Concept Maps. Für die Verbindungstypen „Med ↔ Med/Phy“ sowie „Phy ↔ Med/Phy“ kommt es nur zu einer Steigerung der Anzahl inhaltlich richtiger Verbindungen mit einem kleinen bis mittleren Effekt. Die Anzahl der inhaltlich falschen Verbindungen bleibt hier nahezu gleich. Somit beruht die Zunahme der Zahl der Verbindungen auf der Zunahme der inhaltlich richtigen Verbindungen und es wurde in der post Concept Map mehr richtig formuliert als in der prä Concept Map.

Für die Verbindungstypen „Med ↔ Phy“ sowie „Phy ↔ Phy“ kommt es jeweils zu einer signifikanten Steigerung der Anzahl inhaltlich richtiger, aber auch inhaltlich falscher Verbindungen. Dies deutet auf größere Lernschwierigkeiten in der physikalischen Wissensdomäne im Praktikumsversuch hin.

Zusammenfassend lässt sich für die produktorientierte Analyse der Concept Maps sagen, dass es sowohl bei der Anzahl der Verbindungen als auch bei der Anzahl der verwendeten Begriffe zu einer Steigerung kommt. Betrachtet man die Ergebnisse differenziert für einzelne Verbindungstypen kommt es zu einer Verringerung der Anzahl der Verbindungen des Typs „Med ↔ Med“. Die weiteren Verbindungstypen wurden in der post Concept Map häufiger benutzt als in der prä Concept Map. Den größten Effekt beobachtet man für die Verbindungstypen „Med ↔ Phy“ und „Phy ↔ Phy“. Betrachtet man dieses Ergebnis fokussiert auf die inhaltlich richtigen Kanten, so ist dieser Zuwachs in erster Linie auf die Verbindungstypen „Med ↔

Med/Phy“, „Med ↔ Phy“ und „Phy ↔ Med/Phy“ zurückzuführen. Durch eine Schwerpunktverlagerung kommt es dazu, dass der Verbindungstyp „Med ↔ Med“ weniger oft in den post Concept Maps vorhanden ist. Somit hat der Versuch nach den Ergebnissen der produktorientierten Analyse nicht das reine physikalische Wissen der Medizinstudierenden erhöht, sondern wie auch von Theyßen gefordert, zu einer Vernetzung der medizinischen und physikalischen Wissensdomäne geführt [1].

5.2. Prozessorientierte Ergebnisse

Zusätzlich zu den produktorientierten Analysen werden auch der Prozess der Erstellung der Concept Maps untersucht werden um eventuelle Veränderungen in der Vernetzung von medizinischer und physikalischer Wissensdomäne festzustellen. Wie bereits erläutert, können verschiedene Erstellungsprozesse definiert werden. Diese sind:

- Medizin
- Physik
- Medizin → Physik
- Physik → Medizin

Alle weiteren Vorgehensweisen bei der Erstellung von Concept Maps werden einer komplexeren Mischkategorie zugeordnet. Für diesen Analyseschritt werden nur Concept Maps mit mindestens sechs Verbindungen ausgewertet. Somit sind noch 225 Concept Maps der 236 Concept Maps für eine Auswertung von Bedeutung.

⁴ Die Standardmessunsicherheit des Mittelwertes ist definiert durch $u = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$.

In Tabelle 3 ist getrennt nach dem Zeitpunkt der Erstellung dargestellt, wie viele Concept Maps sich einer Prozessfolge zuordnen lassen. Von diesen Concept Maps lassen sich 19,1% einer eindeutigen Prozessfolge zuordnen, wobei dies 21,5% der prä Concept Maps und 18,5% der post Concept Maps betrifft. Dies zeigt, dass die meisten Studierenden keine dieser eindeutigen Prozessfolgen verfolgen und sich somit nicht auf eine Wissensdomäne fokussieren.

	prä	post
Medizin	8	0
Physik	1	5
Medizin → Physik	13	13
Physik → Medizin	1	2
Mischkategorie	84	98

Tab. 3: Zuordnung der prä und post Concept Maps zu den jeweiligen Prozessfolgekategorien ($N_{\text{prä}} = 107$, $N_{\text{post}} = 118$).

Für die Untersuchung der Veränderung der Vernetzung zwischen der medizinischen und physikalischen Wissensdomäne muss der Wechsel zwischen den Kategorien von Prozessfolgen im Prä-Post-Vergleich herangezogen werden. Diese sind in Tabelle 4 gezeigt. Hierzu werden nur diejenigen Studierenden betrachtet, die in der prä und post Concept Map mindestens sechs Verbindungen erstellt haben. Dies betrifft 107 der ursprünglich 118 Studierenden.

Prä \ Post	Post					Mischkategorie
	Medizin	Physik	Medizin → Physik	Physik → Medizin	Mischkategorie	
Medizin	-	-	1	-	7	
Physik	-	-	-	-	1	
Medizin → Physik	-	-	2	-	11	
Physik → Medizin	-	-	-	-	1	
Mischkategorie	-	5	8	-	71	

Tab. 4: Übersicht über beobachtete Kombinationen der Prozessfolgekategorien bei der Erstellung der prä (fett gedruckt) und post Concept Map ($N = 107$).

Zunächst ist festzuhalten, dass sich die Vorgehensweise im Prä-Post-Vergleich im Rahmen dieser groben Kategorisierung bei zwei Drittel der Studierenden nicht ändert. Bei dem verbleibenden

Drittel verändert sich die Vorgehensweise im Prä-Post-Vergleich. Den größten Aufwuchs erfährt die Mischkategorie (siehe auch Tab. 3). Dabei kommen die dorthin wechselnden Studierenden aus allen Prozessfolgekategorien, vorrangig aber aus der Medizin und der Medizin → Physik. Die in den prä Concept Maps noch (dünn) besetzte Prozessfolgekategorie Medizin ist in den Erstellungsprozessen der post Concept Maps nicht mehr aufzufinden. Alle diese Aussagen deuten auf eine stärkere Vernetzung zwischen der medizinischen und physikalischen Wissensdomäne am Ende des Praktikumsversuchs hin. Es werden andererseits auch einige wenige Probanden identifiziert, die in den prä Concept Maps der Mischkategorie zugeordnet wurden, in der post Concept Map aber den Prozessfolgekategorien Physik ($N = 5$) und Medizin → Physik ($N = 8$) zugewiesen werden. Insbesondere der zweite Fall könnte auf eine strukturiertere Bearbeitung der Concept Map hindeuten, was aber durch Einzelfallstudien zu bestätigen ist. Ähnliches gilt für eine genauere Erklärung des Wechselverhaltens in die vorab nur mit einem Fall besetzte Prozessfolgekategorie Physik.

Insgesamt lässt sich für die prozessorientierte Betrachtung sagen, dass es möglich ist Vorgehensweisen für den Erstellungsprozess der Concept Maps zu kategorisieren. Diese Vorgehensweisen verändern sich im Prä-Post-Vergleich ausgewählter Concept Maps. Dass die meisten Studierenden, deren Prozessfolgekategorie bei der Erstellung der Concept Maps sich ändert, in die Mischkategorie wechseln, wird als Indiz für eine stärkere Vernetzung der physikalischen und medizinischen Wissensdomäne interpretiert. Solche Zuschreibungen müssen aber durch genauere Einzelfallstudien bestätigt werden.

6. Fazit und Ausblick

Am Beginn und am Ende eines Praktikumsversuchs in einem adressatenspezifischen Physikpraktikum für Medizinstudierende wurden Concept Maps erstellt. Sowohl die quantitativen Merkmale dieser Concept Maps als auch Veränderungen der Vorgehensweise im Erstellungsprozess der Concept Maps zeigen für den ausgewählten Datensatz eine stärkere Vernetzung zwischen der physikalischen und medizinischen Wissensdomäne am Ende des betrachteten Praktikumsversuchs. Somit vermittelt der Versuch nicht nur physikalisches Wissen, sondern verbindet dieses Wissen auch mit medizinischen Inhalten.

Eine vertiefende Auswertung ist sowohl für die produktorientierte als auch für die prozessorientierte Analyse möglich.

Aufbauend auf den produktorientierten Ergebnissen kann eine weitergehende inhaltliche Analyse der Verbindungen vorgenommen werden. Untersucht man den Gehalt der inhaltlich falschen

Verbindungen, könnten z.B. mögliche physikalische Fehlvorstellungen aufgedeckt werden, die entweder schon vor dem Versuch bestehen, diesen ggfs. überdauern oder sich auch während des Versuchs entwickeln.

Aufbauend auf der prozessorientierten Analyse ist es möglich, die umfangreich besetzte Mischkategorie der Prozessfolgen bei der Erstellung der Concept Maps weiter zu unterteilen und so einen tieferen Einblick in Aspekte des Erstellungsprozesses zu bekommen, die auf eine Vernetzung zwischen der medizinischen und physikalischen Wissensdomäne hindeuten.

Gegenstand der Studie war neben dem Versuch zur Ionenleitung ein weiterer Versuch. Die Ergebnisse können durch die Auswertung der prä und post Concept Maps dieses weiteren Versuches ergänzt werden, wodurch eine Einschätzung der Versuchsspezifika der beobachteten Effekte möglich wird.

7. Literatur

- [1] Theyßen, H. (2000): Ein Physikpraktikum für Studierende der Medizin: Darstellung der Entwicklung und Evaluation eines adressatenspezifischen Praktikums nach dem Modell der Didaktischen Rekonstruktion. Berlin: Logos Verlag
- [2] Plückers, K.; Heinke, H. (2015): Einsatz neuer Medien im Physikpraktikum für Medizinstudierende – Einstiegsvideos zur Förderung des situationalen Interesses. In: PhyDid B – Didaktik der Physik – Beitrag zur DPG Frühjahrstagung, URL: <http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/638/731> (Stand: 5/2017)
- [3] Kernlehrplan des Faches Physik in der Sekundarstufe 1 in NRW: https://www.schulentwicklung.nrw.de/lehrplaene/upload/lehrplaene_download/gymnasium_g8/gym8_physik.pdf (Stand: 5/2017)
- [4] Kernlehrplan des Faches Physik in der Sekundarstufe 2 in NRW: https://www.schulentwicklung.nrw.de/lehrplaene/upload/klp_SII/ph/KLP_GOSt_Physik.pdf (Stand: 5/2017)
- [5] Stracke, I. (2004). Einsatz computerbasierter Concept Maps zur Wissensdiagnose in der Chemie. Empirische Untersuchungen am Beispiel des Chemischen Gleichgewichts. Münster: Waxmann Verlag
- [6] Hucke, L. (1999): Handlungsregulation und Wissenserwerb in traditionellen und computergestützten Experimenten des physikalischen Praktikums. Berlin: Logos-Verlag
- [7] Wallace, J.; Mintzes, J. (1990). The concept map as a research tool: Exploring conceptual change in biology. In: Journal of Research in Science Teaching, 27(10), 1033-1052
- [8] Plomer, M. (2011): Physik physiologisch passend praktiziert. Eine Studie zur Lernwirksamkeit von traditionellen und adressatenspezifischen Physikpraktika für die Physiologie. Berlin: Logos-Verlag
- [9] Bonato, M. (1990): Wissensstrukturierung mittels Struktur-lege-Techniken. Eine graphentheoretische Analyse von Wissensnetzen. Frankfurt a.M.: Peter Lang Verlag
- [10] Lüders, C. (2016): Prä-Post-Vergleich des Erstellungsprozesses von Concept Maps zum Versuch „Elektrische Leitung – Ionenleitung“. Bachelorarbeit am I. Physikalischen Institut IA der RWTH Aachen University, unveröffentlicht

Optische Phänomene im Technikmuseum

- Entwicklung eines Konzeptes für einen außerschulischen Lernort -

Ina Militschenko

Adolf-Reichwein-Straße 2, 57068 Siegen
militschenko@physik.uni-siegen.de

Kurzfassung

In der regionalen Bildungslandschaft nehmen Museen als außerschulische Lernorte einen besonderen Platz ein. Viele Ansätze bezüglich der Arbeit mit Kindern und Jugendlichen lassen sich auf Museen übertragen, doch für jeden Einzelfall muss ein spezifisch angepasstes didaktisches Konzept erarbeitet werden. Verschiedene zielgruppengerechte Führungen, die zum Konzept eines jeden Museums gehören, reichen allein nicht aus, um das Interesse für solche außerschulischen Lernorte aufrechtzuerhalten. Hinzukommen müssen mindestens Workshops für Lernende, denn solche Veranstaltungen berücksichtigen das Bedürfnis der Kinder und Jugendlichen nach Eigenaktivität. Darüber hinaus sind wechselnde Ausstellungen neben den dauerhaft angebotenen Exponaten enorm wichtig. Im Vortrag wird hierzu ein Beispiel aus dem Technikmuseum Freudenberg (Siegerland) vorgestellt, indem eine Ausstellung zu optischen Phänomenen geplant, durchgeführt und durch Workshops zum Bau eines einfachen Fernrohrs begleitet wurde. Ein Teil der Exponate und Versuchsanordnungen wurde von der Physikdidaktik der Universität Siegen angefertigt. Die Herausforderung bei der Gestaltung von Exponaten besteht in der Anpassung der Versuchsanordnungen an räumliche Gegebenheiten und in der Berücksichtigung einer größtmöglichen Eigenaktivität bei gleichzeitiger Beachtung von Sicherheits- und Kostenfaktoren.

1. Einleitung

In den letzten Jahren wurde Schülerlaboren als außerschulischen Lernorten für Naturwissenschaften viel Aufmerksamkeit geschenkt. Eine viel längere Tradition für außerschulisches Lernen haben jedoch die Museen, die in den letzten Jahren ein wenig in den Hintergrund geraten sind. Dabei zeigen Wirksamkeitsanalysen von Museen, dass diese bei günstigen Bedingungen über ein hohes Potenzial verfügen, Lernende in ihren Lernprozessen zu unterstützen [1].

2. Wirksamkeit der Museen als außerschulische Lernorte für naturwissenschaftliches Lernen

Die Wirksamkeit eines Museumsbesuches hängt von vielen Faktoren ab, unter anderem auch vom Grad der Vor- und Nachbereitung, wie eine Reihe von Untersuchungen zeigt [2], [3], [4]. Ein weiterer nicht unwesentlicher Faktor ist der Zeitpunkt des Museumsbesuches innerhalb der Unterrichtsreihe, wie Orion und Hofstein [5] herausgefunden haben. Dabei erwiesen sich Museumsbesuche am Anfang der Unterrichtssequenz wirksamer als am Ende einer solchen Reihe.

Es existieren unterschiedliche Modelle, die die Wirksamkeit von Museen beschreiben und erfassen. Eines davon ist das Modell von Falk und Dierking [6], das auf verschiedenen Ebenen unterschiedliche Faktoren identifiziert, die für Lernerfahrungen bedeutsam sein können wie z.B. auf der Persönlich-

keitsebene des Besuchers oder auf der physischen Ebene der Ausstellung. Auf der letztgenannten Ebene ist z.B. der Faktor „Gestaltung der Museumsausstellung“ enorm wichtig.

Die Studie von Waltner und Wiesner [7], [8] zeigt, dass Optikunterricht mit einem integrierten Museumsbesuch lernförderlicher ist als ohne einen solchen Besuch und zwar unter der Bedingung, dass die Museums- bzw. die Lernumgebung stark strukturiert ist. Darüber hinaus kommen die Autoren der Studie zu dem Schluss, dass Schülerexperimente zur Verbesserung der Lernumgebung des Museums beitragen können [7].

Nicht nur große Museen, wie das deutsche Museum in München, das in der Studie von Waltner und Wiesner als Untersuchungsort fungierte, sondern auch kleinere Museen wie Heimatmuseen spielen für das außerschulische Lernen auf der regionalen Ebene eine große Rolle. Solche kleinen Museen weisen gegenüber den großen eine Reihe von Vorteilen auf, unter anderem die viel privatere Atmosphäre und der enge persönliche Kontakt zu den Museumsbetreibern.

3. Kooperation zwischen Museen und Hochschulen

3.1 Gründe für enge Kooperationen

Naturwissenschaftliche Museen sowie Technikmuseen stellen für entsprechende Fachdidaktiken an

Hochschulen interessante Kooperationspartner dar und zwar sowohl im Rahmen von Konzeptentwicklungsarbeiten als auch bei fachdidaktischen und pädagogischen Untersuchungsvorhaben.

Eine enge Kooperation zwischen Hochschulen und kleineren Museen ist aus einem weiteren Grund besonders wichtig: In solchen kleinen Museen sind aufgrund ihrer Größe oft keine Stellen für pädagogisch-didaktisch ausgebildete Mitarbeiter eingerichtet, sodass die Entwicklung von didaktischen Konzepten für Schülerinnen und Schüler unterschiedlicher Altersgruppen ohne fachdidaktische oder pädagogische Expertise geleistet werden muss.

3.2 Kooperation zwischen der Physikdidaktik der Universität Siegen und dem Technikmuseum Freudenberg (Siegerland)

Seit über einem Jahr existiert an der Universität Siegen eine interdisziplinäre Arbeitsgruppe für Sachunterricht (IAG-SU) mit dem Arbeitstitel „Den Sachunterricht vernetzen - Perspektiven öffnen“ [9]. Die Fachdidaktiken der Universität Siegen haben sich im Rahmen dieses Projektes zusammengeschlossen, um verschiedenen Zielen wie z.B. dem Aufbau eines regionalen Netzwerkes aus Fachdidaktiken, Schulen und außerschulischen Lernorten nachzugehen. Der Schwerpunkt der Teilprojekte liegt im Bereich der Grundschule, doch Projekte auf der Ebene der Übergangphase sowie der Sekundarstufe I sind nicht ausgeschlossen.

Die Didaktik der Physik engagiert sich im Rahmen des genannten Teilziels für eine enge Kooperation zwischen dem Institut für Physikdidaktik, dem Schülerlabor für Physik und dem Technikmuseum Freudenberg. Die bisherigen Kooperations Schwerpunkte bei der Zusammenarbeit mit dem Technikmuseum bestehen im Austausch von didaktischen Konzepten für außerschulische Lernorte, in der Unterstützung des Museums bei der Entwicklung eigener Konzepte für Kinder und Jugendliche unterschiedlicher Altersstufen sowie in der Konzeption von didaktischen Materialien, die im Rahmen von Bachelorvorhaben ausgearbeitet und gesammelt werden.

4. Das Technikmuseum Freudenberg

Das Technikmuseum Freudenberg zeigt nicht nur vielfältige technische Exponate aus früheren Zeiten, vielmehr steht das Museum für die geschichtliche Entwicklung der Region, in der Bergbau, Metallverarbeitung und Maschinenbau eine lange Tradition haben, die sich bis in die Gegenwart hinein fortsetzt.

Das Museum wurde im Jahr 2002 von Mitgliedern eines regionalen Technikvereins gegründet und wird seit diesem Zeitpunkt von ihnen ehrenamtlich betrieben. Das Herzstück des Museums bildet die an ihrem Originalstandort stehende, vollkommen funktionstüchtige, über 100 Jahre alte Dampfmaschine. Die Vorführung ihrer Funktionsweise stellt ein ech-

tes Erlebnis für große und kleine Museumsbesucher dar.

Das Hauptgebäude des Museums bildet eine Fachwerkhalle mit einer historischen Maschinenwerkstatt, vielen Oldtimernutzfahrzeugen und – Motorrädern, einigen landwirtschaftlichen Geräten, einer alten Schmiede, einigen historischen Webstühlen sowie einer Sammlung von Oldtimermodellen und Modelldampfmaschinen. Im Jahr 2015 wurde das Museum um eine zusätzliche Ausstellungsfläche und insbesondere um eine Werkstatt für Grundschulen erweitert. [10]

5. Konzeptentwicklung

5.1 Der Rahmen des Konzeptes

Die dauerhaft ausgestellten Exponate des Technikmuseums sind sehr sehenswert, doch sie allein können die Schulklassen der umgebenden Schulen nicht dazu bewegen, das Technikmuseum wiederholt (z.B. mindestens einmal im Jahr) zu besuchen. Aus diesem Grund behilft sich das Museum Freudenberg seit einigen Jahren mit Sonderausstellungen. So wurde z.B. im Jahr 2015 die Leonardo da Vinci-Sonderausstellung erfolgreich durchgeführt.

Doch für kleinere Museen ist es sowohl finanziell als auch organisatorisch nicht einfach, passende Sonderausstellungen zu veranstalten. Hinzukommt auch, dass nicht jede beliebige Ausstellung zum Konzept des Museums passt, diese sollte selbstverständlich eine Verbindung zur Technik bzw. zur Physik aufweisen. Neben den genannten Herausforderungen liegt genau darin die hauptsächliche Schwierigkeit des Konzeptrahmens.

5.2 Der Beitrag der Physikdidaktik zum Gesamtkonzept

Im Jahr 2016 konnten Teile der Wanderausstellung „Tour der Sinne“ für das Technikmuseum organisiert werden, deren Schwerpunkt bei optischen Täuschungen lag. Eine Verbindung zum Technikmuseum musste also zunächst durch einen didaktisch aufbereiteten Rahmen geschaffen werden. Diese Aufgabe übernahm das Institut für Physikdidaktik der Universität Siegen.

Um eine Verbindung zwischen optischen Täuschungen und der Technik bzw. der Physik zu schaffen, wurden von Mitarbeitern der Physikdidaktik ergänzende Exponate zu optischen Naturphänomenen sowie optischen Instrumenten geplant und konstruiert, z.B. mehrere Stationen zum Aufbau und zur Funktionsweise eines Fernrohrs (Abb. 1.).



Abb. 1: Eines der Exponate zur Erläuterung des Aufbaus eines astronomischen Fernrohrs.

Das vorgestellte Konzept wurde darüber hinaus durch Workshops zum Bau eines eigenen Galileischen Fernrohrs ergänzt, die in der Werkstatt des Technikmuseums durchgeführt wurden. Auf diese Weise konnte das Bedürfnis der Schülerinnen und Schüler nach Eigenaktivität berücksichtigt sowie die Funktionsweise eines Fernrohrs vertieft und handlungsaktiv erkundet werden. Der Workshop sowie die Sonderausstellung zusammen bildeten somit das Programm für einen kompletten Vormittag im Museum für eine Grundschul- bzw. eine Sekundarstufenklasse. Auf diese Weise konnten auch die Schülerinnen und Schüler, denen das Technikmuseum bereits bekannt war, das Museum von seiner neuen thematischen Seite kennenlernen.

5.3 Anforderungen an die entwickelten Exponate

Das Konstruieren und Aufbauen von Museumsexponaten ist eine vollkommen neuartige Aufgabe für die Mitarbeiter der Physikdidaktik in Siegen. Die bisherigen experimentbezogenen Tätigkeiten lagen im Bereich der Planung und Durchführung von Versuchsaufbauten für Lehramts- sowie für Schülerlaborveranstaltungen.

Im Vergleich zu Vorführversuchen, Schülerexperimenten bzw. Versuchen zum Zwecke der Lehrerbildung werden an Museumsexponate bzw. Museumsexperimente zusätzliche Anforderungen gestellt. Neben den für die aufgezählten Experimente wichtigen Sicherheitsaspekten spielen hier Faktoren wie robuster Aufbau zum Zwecke der wiederholten Nutzung eine wichtige Rolle. Darüber hinaus erfordern Ausstellungsexponate aufgrund einer anderen Betreuungssituation als z.B. im Rahmen einer Schülerlaborveranstaltung andere Sicherheitsmaßnahmen und damit einen viel umfangreicheren konstruktions-technischen Aufwand. Diese bautechnischen Maßnahmen dürfen das Kernphänomen des Experiments jedoch nicht verfälschen. Ein weiterer Unterschied besteht darin, dass Beobachtungs- und Durchführungshinweise im Rahmen einer Museumsausstellung nur kurz ausfallen dürfen und zwar bei gleichzeitiger möglichst hoher Besucheraktivität.

6. Vorstellung der Beispielexponate

Neben Exponaten, die von vornherein nur einen kleinen baulichen Aufwand aufweisen, wie die Ausstellungsstücke zur Entstehung der Mondphasen, der Regenbogenfarben sowie zur additiven Farbmischung, wurde eine Reihe von Exponaten mit einem hohen Konstruktionsaufwand entwickelt. Diese werden im Folgenden exemplarisch für die konzipierte Teilausstellung beschrieben.

6.1 Beispielexponat „Fluoreszenz in Olivenöl“

In der Abb. 2 ist ein weniger bekanntes, jedoch sehr interessantes optisches Phänomen dargestellt, nämlich das der Fluoreszenz in Flüssigkeiten. Diese Erscheinung kann durch Anregung von Elektronen in Flüssigkeitsatomen durch Licht sowie durch anschließende Emission des in der Regel energieärmeren Lichtes erklärt werden. Im konkreten Fall heißt es, schickt man einen grünen Laserstrahl durch Olivenöl, wird das Licht des Lasers von Atomen des Olivenöls absorbiert und regt diese an. Die Fluoreszenz äußert sich darin, dass ein rötliches (energieärmeres) Licht im Inneren des Olivenöls wieder emittiert wird.

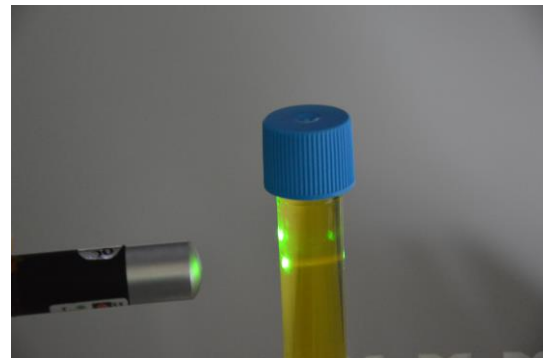


Abb. 2: Fluoreszenz in Olivenöl als Vorführversuch.

Das Experiment lässt sich noch spannender gestalten, wenn man unterschiedliche Flüssigkeiten der „Prüfung“ mit dem grünen Laserlicht unterzieht (z.B. Olivenöl, Sonnenblumenöl und gelb gefärbtes Wasser). Nur eine der genannten Flüssigkeiten lässt sich auf diese Weise zur Fluoreszenz anregen, daher müssen die Besucher das Experiment sehr genau beobachten. Eine sehr ähnliche äußere Erscheinung der drei Flüssigkeiten trägt dazu bei, dass das Exponat für Besucher zu einem Rätsel wird, bei dem es darum geht, das Olivenöl zu identifizieren.

In der Form wie in der Abb. 2 dargestellt, kann der beschriebene Versuch im Museum jedoch nicht als Exponat ausgestellt werden. Es müssen Sicherheitsmaßnahmen getroffen werden, die das Gelangen des Laserstrahls in die Augen der Besucher sowie das Auslaufen des Öls verhindern. Hierfür wurde der Versuch in einem Acrylglasaquarium aufgebaut, der zusätzlich mit einer schwarzen, lichtundurchlässigen Folie beklebt sowie anschließend von oben ver-

geschlossen wurde. Da ein Dauerbetrieb des Lasers nicht sinnvoll ist, wurde der Laser so präpariert, dass er per Druckschalter von außen durch die Besucher betätigt werden konnte (Abb. 3).

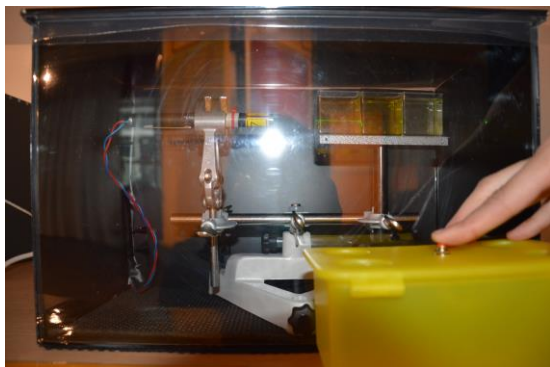


Abb. 3: Fluoreszenz in Olivenöl als Museumsexponat.

6.2 Beispielxponat „Funktionsweise von Lichtwellenleitern“

Eine Anwendung, die in der Ausstellung eines Technikmuseums zum Thema Optik nicht fehlen darf, sind die Lichtwellenleiter oder auch Glasfaserkabel genannt. Diese werden zur Datenübertragung mit hoher Geschwindigkeit verwendet. Die Funktionsweise der Lichtwellenleiter basiert auf der Totalreflexion, die im Schulunterricht oder im Rahmen einer Schülerlaborveranstaltung durch ein einfaches Demonstrationsexperiment veranschaulicht werden kann, indem man mit einem Laser durch einen durchsichtigen gebogenen Kunststoffstab leuchtet. Im Museum kann dieser Versuch aus Sicherheitsgründen nicht in seiner ursprünglichen Form gezeigt werden. Genauso wie im Beispielxponat 1 mussten Maßnahmen getroffen werden, bevor der genannte Versuch zum Ausstellungsexponat wird (siehe Abb. 4).



Abb. 4: Exponat zur Funktionsweise der Lichtwellenleiter.

6.3 Beispielxponat „Veranschaulichung von Abendrot und Himmelsblau“

Das allseits bekannte Experiment zur Veranschaulichung des Abendrots und des Himmelsblaus, der mit Lichtstreuung in der Erdatmosphäre (Rayleigh-Streuung) erklärt werden kann, gilt im Rahmen des Schulunterrichts in Bezug auf das verwendete Material fast als ein Freihandversuch. Für die Ausstellung

musste dieser jedoch in vielfältiger Weise präpariert werden, dabei durfte das Grundphänomen aber nicht verfälscht werden. Ein wichtiger Parameter für die Änderung des Versuchsaufbaus neben dem Sicherheitsaspekt ist der modellhafte Charakter des fertiggestellten Exponates, wodurch sich die Erklärung des Versuchszwecks erübrigen sollte.

Auf folgende Weise wurde der Versuchsaufbau geändert: Das Acrylglasgefäß wurde mit Ausnahme eines schmalen Sichtfensters mit einer schwarzen Folie beklebt, um eine entsprechende Abdunkelung des Umgebungsraums zu erreichen. Von oben wurde dieses mit einer robusten, ebenfalls schwarz gefärbten Holzplatte abgedeckt, um den Kontakt mit dem Wasser-Milch-Gemisch zu verhindern.

Anschließend wurde auf die vordere Seite des Acrylglasgefäßes eine Abbildung der Erde sowie der Erdatmosphäre (mit Aussparungen an entsprechenden Stellen) angebracht. Durch Betätigen eines Druckschalters konnte die Leuchtquelle durch die Besucher ein- und ausgeschaltet werden (Abb. 5).



Abb. 5: Exponat zur Veranschaulichung von Abendrot und Himmelsblau.

6.4 Beispielxponat „Winkelvergrößerung eines Fernrohrs“

Zu den bereits erwähnten Exponaten, die den Aufbau eines astronomischen Fernrohrs zeigen und erklären, wurde zusätzlich eine etwas aufwändigere Station vorbereitet, die die Winkelvergrößerung eines Fernrohrs demonstriert: Hierzu wurde auf einer optischen Schiene eine Linsenkombination aus zwei Linsen im Abstand der Summe ihrer Brennweiten aufgebaut. Durch einen Laserstrahl, der die beiden Linsen durchquert, wird die Winkelvergrößerung verdeutlicht. Ein mindestens 1,5-meter langer schwarzgefärbter Kasten (z.B. aus dünnen Holzplatten) verhindert das Gelangen des Laserstrahls in die Augen der Besucher und sorgt für die entsprechende Abdunkelung. Um den Verlauf des Laserstrahls sichtbar zu machen, wird mit einer Nebelmaschine für eine kleine Menge Nebels gesorgt, der in der Kiste mit einem kleinen Ventilator gleichmäßig verteilt wird. Der Laser sowie die Nebelmaschine

können mit entsprechenden Schaltern durch den Besucher von außen betätigt werden (Abb. 6).

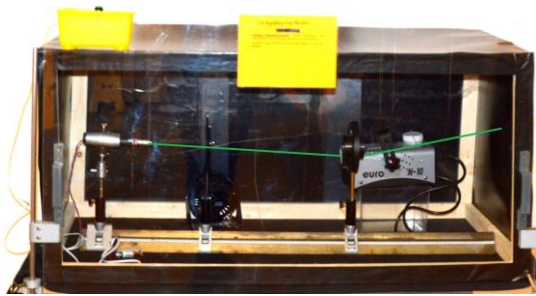


Abb. 6: Exponat zur Veranschaulichung der Winkelvergrößerung eines Fernrohrs.

7. Zusammenfassung

Das Technikmuseum Freudenberg hat sich aus physikdidaktischer und pädagogischer Sicht als interessanter Kooperationspartner erwiesen. Wie auch zu erwarten war, haben beide Seiten von der Zusammenarbeit profitiert und sich auf mögliche zukünftige Kooperationsvorhaben geeinigt.

Im Rahmen der beschriebenen Kooperation entstand für das Technikmuseum ein erfolgreiches didaktisches Konzept der Sonderausstellung in Verbindung mit Workshops, das an etwa 300 Schülerinnen und Schülern erprobt und durch persönliche Gespräche mit Lehrpersonen zum Teil evaluiert werden konnte. Die Mitarbeiter der Physikdidaktik der Universität Siegen haben im Rahmen dieser Zusammenarbeit die ersten Einblicke in die Gestaltung einer Museumsausstellung erhalten und Expertise in der Entwicklung und Aufbau von Museumsexponaten erworben.

Auf der Ebene des unter 3.2 beschriebenen Projektes wurde ein wichtiger Schritt in Richtung des Aufbaus eines regionalen Netzwerkes aus Fachdidaktiken, Schulen und außerschulischen Lernorte getan. Die konstruierten Exponate finden nach Beendigung der Sonderausstellung im Schülerlabor der Physikdidaktik ihre Anwendung.

8. Literatur

[1] Lewalter, D., Geyer, C. (2005): Evaluation von Schulklassenbesuchen im Museum. Zeitschrift für Pädagogik, 51(6), 774-785.
 [2] Anderson, D., Lucas, K. B. (1997). Effectiveness of orienting students to the physical features of a science museum prior visitation. Research in Science Education, 27, 485 - 495
 [3] Bitgood, S. (1993). Putting the horse before the cart: a conceptual analysis of educational exhibits. In: Bicknell, S., Farmelo, G. (Eds.). Museum visitor studies in the 90s. London: Science Museum, 133-139.
 [4] Gilbert, J., Priest, M. (1997). Models and discourse: A primary school science class visit to a museum. Science Education 81, 749-762.

[5] Orion, N., Hofstein, A. (1994). Facts that influence learning during a scientific field trip in a natural environment. Journal of Research in Science Teaching, 31, 1097-1119.
 [6] Falk, J. H., Dierking, L. D. (2000). Learning from Museums. Altamira Press
 [7] Waltner, C.; Wiesner, H.: Optikunterricht mit und ohne Museumsbesuch. Ergebnisse einer Vergleichsstudie. In Jahrestagung der Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, S. 286-288, 2008.
 [8] Waltner, C.; Wiesner, H.: Lernwirksamkeit eines Museumsbesuchs im Rahmen von Physikunterricht. In Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, Jg. 15, 2009.
 [9] <http://www.bildung.uni-siegen.de/sachunterricht/iag-su/?lang=de>
 [10] <http://www.technikmuseum-freudenberg.org/main.php>
 [11] Langensiepen, F. et al.: Optik. Handbuch des Physikunterrichtes. Band 4/II, 1995.

Prozessorientierte Analyse der Erstellung von Diagrammen mit Fehlerbalken

Lena Nikodemus, John Hamacher, Heidrun Heinke

RWTH Aachen University

lena.nikodemus@rwth-aachen.de, hamacher@physik.rwth-aachen.de, heinke@physik.rwth-aachen.de

Kurzfassung

Experimentell ermittelte Messwerte besitzen Messunsicherheiten, welche für naturwissenschaftliches Arbeiten besonders wichtig sind [1]. Allerdings stellt für viele Studierende sowohl das Bestimmen von Messunsicherheiten als auch der Umgang mit ihnen ein großes Problem dar. Diese Defizite werden besonders in Physikpraktika an Universitäten erkennbar, in denen die meisten Studierenden erstmals selbstständig mit Messunsicherheiten arbeiten [2]. Um effektive Lernumgebungen zur Unterstützung der Studierenden entwickeln zu können, sind Kenntnisse über die Schwierigkeiten der Studierenden bei der Berücksichtigung von Messunsicherheiten notwendig. Zur Identifikation solcher Schwierigkeiten wurden im Rahmen einer Studie im WS 2015/16 [3] drei Ansätze zur Analyse von Diagrammen, welche von Studierenden der Biologie und Biotechnologie im Rahmen eines Physikpraktikums im Selbststudium erstellt wurden, entwickelt. Das erste Analyseinstrument basiert auf einem Kategoriensystem, mit dem die formale Qualität von Diagrammen beurteilt werden kann. Beim zweiten Analysezugang wurden auf Basis dieses Kategoriensystems Erstellungsprozesse von Diagrammen untersucht. Zuletzt wurden anhand der verbalen Kommunikation der Studierenden während ihrer Arbeit an Diagrammen mit Fehlerbalken Rückschlüsse auf ihr Verständnis von Messunsicherheiten gezogen. In diesem Beitrag werden die drei Analyseansätze vorgestellt und erste Ergebnisse ihrer Anwendung diskutiert.

1. Einleitung

Physikalische Praktika an Hochschulen stellen in vielen natur- und ingenieurwissenschaftlichen Studiengängen ein wichtiges Ausbildungselement dar. Diese Praktika sind für viele Studierende auch diejenige Lehrveranstaltung, in der sie zum ersten Mal ernsthaft mit der für die Naturwissenschaften essenziellen Thematik der Messunsicherheiten konfrontiert werden [4]. Dies gilt, obwohl die Bewertung von Daten inzwischen explizit in den schulischen Bildungsstandards verankert ist [5]. Trotzdem werden im Regelfall die Praktika an den Hochschulen die Aufgabe wahrnehmen müssen, dass die Studierenden dort den richtigen Umgang mit Messunsicherheiten erlernen [6]. Dies betrifft gleichermaßen die Interpretation von Messunsicherheiten, ihre rechnerische Ermittlung und ihre korrekte Darstellung. Letzteres umfasst die korrekte Angabe von Messunsicherheiten im numerischen Ergebnis eines Experiments und ihre Veranschaulichung in grafischen Darstellungen wie Diagrammen, deren Erstellung und Interpretation ebenfalls wichtige Inhalte physikalischer Praktika sind.

In der Realität stellt die Beschäftigung mit Messunsicherheiten bei den Studierenden oft eine sehr unbeliebte Tätigkeit dar [1], weshalb diese bei vielen Studierenden ausschließlich extrinsisch motiviert ist. Von Studierenden werden die Messunsicherheiten zwar als wichtiges Thema erachtet, jedoch empfinden sie dieses Thema als uninteressant [6].

Auch daher kommt es, dass es Studierende in physikalischen Praktika häufig nicht schaffen, die ange-

strebten Lernziele im Bereich Messunsicherheiten in ausreichendem Maße zu erreichen. Diesbezüglich zeichnen diverse Studien ein sehr ernüchterndes Bild. Demnach bleiben Misskonzepte häufig über das ganze Praktikum hinweg bestehen [7] und es gibt selten einen Aufbau eines grundlegenden Verständnisses zum Thema Messunsicherheiten [1]. Studierende lernen häufig bloße Rechenroutinen auswendig, welche sie nicht verstanden haben [2]. Zudem benutzen viele Studierende intensiv lediglich auswendig gelernte Faustregeln [8]. Dadurch sind Studierende mehrheitlich auch nach dem Absolvieren eines physikalischen Praktikums nicht in der Lage, Messunsicherheiten korrekt anzugeben [6].

Die großen Lernschwierigkeiten der Studierenden im Themengebiet der Messunsicherheiten sind teilweise auch durch die typische Praktikumslogistik bedingt, die nachfolgend am Beispiel der physikalischen Anfängerpraktika an der RWTH Aachen erläutert wird.

2. Physikalische Anfängerpraktika an der Universität

Auch an der RWTH Aachen müssen viele Studierende, die im Hauptfach ein natur- oder ingenieurwissenschaftliches Fach studieren, physikalische Praktika absolvieren, um experimentelle Kompetenzen zu erwerben. Dabei handelt es sich oft um physikalische Anfängerpraktika, bei welchen die Studierenden nach vorgegebenen Versuchsanleitungen eine feste Anzahl von verschiedenen Versuchen absolvieren.

Das wöchentliche Praktikum beginnt in der Regel mit einer Vorbesprechung, bei welcher die Studierenden im Gespräch mit dem Versuchsbetreuer zeigen müssen, dass sie sich ausreichend mit der Versuchsanleitung und den Inhalten des Versuchs auseinandergesetzt haben. Nach einer erfolgreichen Vorbesprechung folgt die Versuchsdurchführung. Hierbei wird der Versuch in Zweierteams selbstständig nach der Versuchsanleitung durchgeführt, wobei ein Betreuer je maximal acht Studierende bei Problemen unterstützen kann.

Nach erfolgreicher Durchführung des Versuchs müssen die Studierenden in ihren Zweierteams zu Hause und damit ohne direkte Betreuungshilfe einen Versuchsbericht verfassen, in welchem sie u.a. die Auswertung der Messwerte darstellen. Diese Auswertung enthält häufig graphische Darstellungen der Messergebnisse in Form von Diagrammen und sollte ebenfalls Aussagen zu den Messunsicherheiten umfassen.

Damit sind gerade der Auswertephase wichtige Aufgaben beim Zusammenführen der theoretischen Grundlagen des Versuchs mit den experimentellen Daten zuzuordnen. Gleichzeitig dient die Phase der Auswertung dem Erlernen geeigneter Darstellungen der experimentellen Ergebnisse sowie ihrer sinnhaften Interpretation. Alle genannten Aspekte sind als wichtige Ziele physikalischer Praktika anerkannt [9]. Dazu passt, dass die Phase häufig auch deutlich mehr Zeit in Anspruch nimmt als die Präsenzphase im Praktikum [6]. Gleichzeitig fehlt aber aufgrund der Praktikumslogistik in dieser Auswertephase in der Regel auch die Unterstützung durch die Betreuer, was auf Seiten der Studierenden bei auftretenden Problemen zu einem großen Zeitaufwand oder zu lernunwirksamen Ausweichstrategien führen kann.

Die geschilderte Problematik kann durch effiziente Lernhilfen zur Unterstützung der Selbststudienphasen der Studierenden im Praktikumsablauf gelöst oder abgeschwächt werden. Studien unserer Arbeitsgruppe haben allerdings gezeigt, dass die Konzeption lernwirksamer Unterstützungsangebote ein tieferes Verständnis der für die Auswertephase typischen Prozessabläufe und Probleme erfordert [3]. Deshalb wurde eine Studie konzipiert, die eben diese Fragestellungen in den Blick nimmt.

3. Studie zu Erstellungsprozessen von Versuchsberichten in physikalischen Anfängerpraktika

Im WS 2015/16 wurde eine Studie zur Analyse der Erstellungsprozesse von Versuchsberichten im physikalischen Anfängerpraktikum für Studierende der Biologie und Biotechnologie an der RWTH Aachen durchgeführt [3]. Das Ziel dieser Studie bestand darin, die Arbeits- und Lernprozesse der Versuchsberichterstellung während der unbetreuten Arbeitsphase außerhalb der universitären Praktikumsräume möglichst vollständig zu erfassen. Dazu sollten die Studierenden sowohl während ihrer Versuche an der Universität als auch während der Erstellung ihrer

Versuchsberichte zu Hause eigenständig mit einem Smartpen und einem bereitgestellten Notebook mit Office-Paket und vorinstallierter Screen Recorder Software arbeiten.

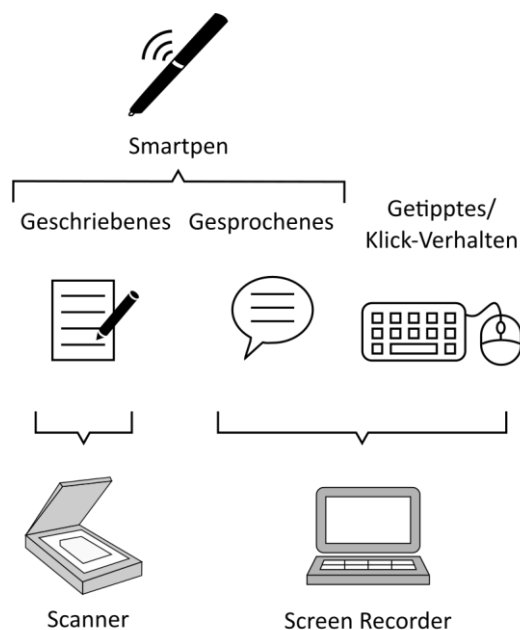


Abb.1: Erhobenes Datenmaterial der Studie zur Analyse der Erstellungsprozesse von Versuchsberichten im WS 2015/16.

In Abbildung 1 ist zu erkennen, dass mit Hilfe des Smartpens die verbale Kommunikation und das handschriftlich Geschriebene aufgezeichnet wurden, während mit Hilfe der Screen Recorder Software das Tipp- und Klick-Verhalten der Studierenden am Notebook sowie ebenfalls die verbale Kommunikation aufgenommen wurden. Zusätzlich wurden alle Produkte der Auswertephase digital erfasst. Dies geschah teils durch die Sicherung eingereicherter Files und teils durch das Scannen ausgedruckter Versuchsberichte.

Die Stichprobe der Studie bestand aus zwölf Studierenden der Biologie und Biotechnologie, die freiwillig an der Studie teilnahmen. Diese zwölf Studierenden waren auf sechs Teams aus jeweils zwei Studierenden verteilt und sollten jeweils bei drei aufeinanderfolgenden Versuchen während des physikalischen Praktikums an der RWTH Aachen die Versuchsdurchführung in der Universität und die Berichterstellung zu Hause mit Hilfe des Smartpens und der Screen Recorder Software möglichst vollständig dokumentieren, so dass ein umfassendes Bild vom vollständigen Versuchsablauf entstehen konnte. Insgesamt wurde in der Studie Datenmaterial von 18 Versuchen der sechs Studierendengruppen vollständig aufgezeichnet, welches zur Analyse zur Verfügung steht.

Die Kombination aller dieser Daten erlaubt somit detaillierte Einblicke in die studentischen Arbeits- und teilweise Denkprozesse, sowohl in der Universi-

tät als auch zu Hause. Dadurch ergibt sich ein grundlegender Einblick in den Entstehungsprozess der Berichte und die dabei von den Studierenden eingesetzten Vorgehensweisen.

Bei der Auswertung des Datenmaterials wurden aufgrund der großen Menge erhobener Daten zunächst Schwerpunkte gesetzt. Konkret wurde davon ausgegangen, dass wichtige und typische Vorgehensweisen bei der Auswertung von experimentellen Daten bei der Erstellung von Diagrammen besonders anschaulich werden. Zudem bieten Diagramme, die Fehlerbalken enthalten, einen deutlich sichtbaren Indikator dafür, dass die Studierenden sich mit dem Thema Messunsicherheiten auseinandergesetzt haben.

Aus diesem Grund sind neben dem Umgang mit Messunsicherheiten auch die Diagrammerstellung und die Bewertung der dabei von den Studierenden nachgewiesenen Kompetenzen in den Blickpunkt der Untersuchung gerückt. Hierzu finden sich bereits in einigen anderen Arbeiten erste Anhaltspunkte, wobei insbesondere Kategoriensysteme und Schemata zur Bewertung von erstellten Diagrammen vorgeschlagen wurden [10 - 12]. Aufbauend auf diesen Arbeiten wird nachfolgend ein ergänztes Bewertungsschema vorgestellt. Dieses Bewertungsschema liegt einem der drei im Abschnitt 4 vorgestellten Analyseansätze des erhobenen Datenmaterials zugrunde.

4. Drei Analyseansätze

Der Fokus bisheriger Studien der Lehr-Lern-Prozesse in physikalischen Praktika lag zumeist bei den Versuchsdurchführungen an Universitäten (siehe z.B. [12]). Somit wurde die lange und wichtige Arbeitsphase der Studierenden zu Hause bisher kaum erforscht. Dies ist jedoch gerade im Hinblick auf die zuvor beschriebenen Probleme Studierender mit der Bestimmung und der Interpretation von Messunsicherheiten wichtig, um Kenntnisse über die dabei auftretenden Schwierigkeiten zu gewinnen.

Um diese Kenntnisse zu erlangen wurden drei Analyseansätze entwickelt, um die Daten aus der zuvor beschriebenen Studie dahingehend auswerten zu können. Dabei bestand die Datengrundlage aus $N_0 = 55$ Diagrammen aus den Versuchsberichten, die im Rahmen der Studie von den Probanden erstellt wurden. Aus diesen Diagrammen wurden all jene Diagramme ausgewählt, in denen Fehlerbalken verdeutlicht haben, dass eine Auseinandersetzung der Studierenden mit Messunsicherheiten stattgefunden haben muss. Deshalb wurden $N_1 = 11$ Diagramme mit Fehlerbalken detaillierter untersucht.

Die drei Analyseansätze sind:

- i. Analyse der Ausführungsqualität
- ii. Analyse der Diagrammerstellungsprozesse
- iii. Analyse der verbalen Auseinandersetzung mit Fehlerbalken

4.1. Analyse der Ausführungsqualität

Zur Untersuchung der Ausführungsqualität der $N_1 = 11$ Diagramme aus den Versuchsberichten wurde ein Kategoriensystem entwickelt, das eine Bepunktung und damit auch einen Vergleich der erstellten Diagramme erlaubt. Dabei wird unter Ausführungsqualität die Qualität der erstellten Diagramme auf formaler Ebene verstanden. Dieses Kategoriensystem wurde in Anlehnung an Lachmayer [11], Effertz [10] und Nixon et al. [12] erstellt. Dazu wurden die drei genannten Modelle zur Diagrammkonstruktion miteinander verglichen, um darauf aufbauend ein Modell für die Untersuchung der Ausführungsqualität zu entwickeln. Das entwickelte Kategoriensystem ist in Tabelle 1 zu sehen.

Basiskategorien	x-Achse	Physikalische Größe
		Einheit für physikalische Größe
		Achsenkalierung
		Zahlen an Achsenkalierung
	y-Achse	Physikalische Größe
		Einheit für physikalische Größe
		Achsenkalierung
		Zahlen an Achsenkalierung
	Datenpunkte	
	Fehlerbalken	
Zusatzkategorien	Legende	
	Ausgleichsgerade	
	Gleichung für Ausgleichsgerade	
	Ausgleichsgerade mit minimaler Steigung	
	Ausgleichsgerade mit maximaler Steigung	
	Gleichung für Ausgleichsgerade mit minimaler Steigung	
	Gleichung für Ausgleichsgerade mit maximaler Steigung	

Tabelle 1: Kategoriensystem für die Bewertung der Diagramme mit Fehlerbalken.

Im Kategoriensystem wird bei den Bewertungen der Achsen zwischen der x-Achse und der y-Achse unterschieden. Zu diesen beiden Achsen gibt es jeweils die vier Unterkategorien „Physikalische Größe“, „Einheit für physikalische Größe“, „Achsenkalierung“ und „Zahlen an Achsenkalierung“. Die Bewertung dieser Merkmale bildet ebenso wie die Bewertung des Einzeichnens von Datenpunkten eine Bewertung von Basiskategorien. Diese Basiskategorien sollten in jedem erstellten Diagramm vorhanden sein, da ein Diagramm ohne diese Basiskategorien keine sinnvolle Aussage trifft. Zusätzlich gehört die Bewertung der Fehlerbalken in der vorliegenden Studie zu den Basiskategorien, da diese einen Schwerpunkt in der Studie und deshalb auch

ein Auswahlkriterium für die analysierten Diagramme bilden.

Darüber hinaus wurden Zusatzkategorien eingeführt. Dazu gehören für die hier vorgenommenen Auswertungen das Einzeichnen von Ausgleichsgeraden sowie von Ausgleichsgeraden mit minimaler und maximaler Steigung ebenso wie die Angabe der zur jeweiligen Geraden gehörenden Gleichung. Darüber hinaus sollte bei Diagrammen mit mehreren Datenreihen eine Legende vorhanden sein. Diese beschriebenen Kategorien werden Zusatzkategorien genannt, da sie nicht in jedem Diagramm auftreten müssen. So ist es beispielsweise bei einem exponentiellen Zusammenhang und linearer Achsenskalierung physikalisch nicht sinnvoll eine Ausgleichsgerade durch die Datenpunkte zu legen. Des Weiteren ist bei einem Diagramm, in welchem nur eine Datenreihe abgebildet ist, keine Legende vonnöten.

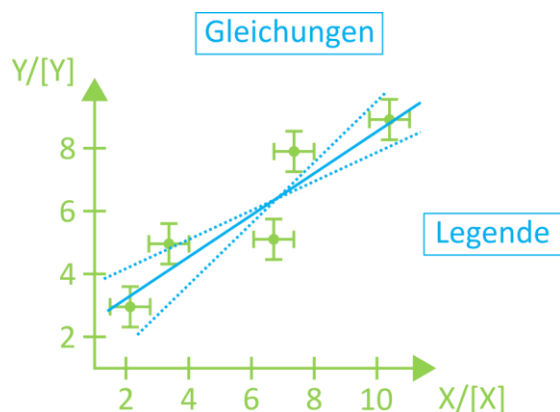


Abb.2: Zuordnung verschiedener Elemente eines Diagramms zu den Basis- (grün) und Zusatzkategorien (blau) des entwickelten Kategoriensystems.

Die im obigen Kategoriensystem aufgeführten Kategorien sind in Abbildung 2 noch einmal verdeutlicht, wobei die Basiskategorien in grün und die Zusatzkategorien in blau dargestellt sind.

Um die formale Qualität der Diagramme mit Punkten bewerten zu können, werden die Diagramme einem zweistufigen Bewertungsprozess unterzogen. Dabei wird im ersten Schritt das Vorhandensein der Merkmale der verschiedenen Kategorien und im zweiten Schritt die physikalische Korrektheit ihrer Ausführung überprüft.

Bei der Bewertung der Kategorien kann im ersten Bewertungsschritt 1 Punkt vergeben werden, wenn die Kategorie vorhanden ist. Andernfalls wird diese Kategorie mit 0 Punkten bewertet. Im zweiten Bewertungsschritt kann bei vorhandenen Kategorien 1 weiterer Punkt vergeben werden, wenn die Kategorie korrekt beziehungsweise sinnvoll ist. Andernfalls wird die Kategorie mit 0 Punkten bewertet. Somit kann eine Kategorie im Allgemeinen in der Summe 0, 1 oder 2 Punkte erreichen. Davon abweichend wurde in der Kategorie „Fehlerbalken“ maximal 1 Punkt für die physikalische Korrektheit vergeben, da

alle für die detaillierten Analysen ausgewählten Diagramme gerade durch das Vorhandensein von Fehlerbalken gekennzeichnet sind.

Des Weiteren ist zu beachten, dass einige der vorliegenden Diagramme aufgrund nicht digital abgegebener Versuchsberichte eingescannt wurden. Falls somit aufgrund einer zu geringen Scanqualität Komponenten des Diagramms, zum Beispiel die Achsenskalierung, nur schwer sichtbar sind, wird vor einem Rating das zugehörige Excelfile, welches ebenfalls bei allen Teams von den Leih-Notebooks gesichert wurde, überprüft.

Somit kann jedem Diagramm mit Hilfe dieses Kategoriensystems eine Bewertung in Form einer Punktzahl zugeordnet werden.

4.2. Analyse der Diagrammerstellungsprozesse

Zur Untersuchung der Diagrammerstellungsprozesse wurden die Screen Recorder-Dateien hinzugezogen, um das Tipp- und Klick-Verhalten der Studierenden bei der Diagrammerstellung zu untersuchen. Hierbei wurde je ein Erstellungsprozess eines Diagramms pro Praktikumsversuch detailliert analysiert, wodurch sich eine Stichprobe von $N_2 = 9$ Diagrammen ergab.

Die Phasen der Diagrammerstellung wurden im weiteren Verlauf an die Kategorien des Kategoriensystems in Tabelle 1 angelehnt. Dabei wird die Kategorie „Fehlerbalken“ noch einmal in die drei Kategorien „Fehler ermitteln“, „Fehlerbalken einzeichnen“ und „Fehlerbalken zur weiteren Auswertung nutzen“ unterteilt.

Bei der Diagrammkonstruktion mit Excel ist es möglich, dass die Software mehrere verschiedene Diagrammelemente zum gleichen Zeitpunkt erstellt. Für die Analyse hat dies zur Folge, dass zu einem Zeitpunkt mehrere Kategorien gleichzeitig zugeordnet werden können. Beispielsweise wählt Excel bei der Erstellung eines Diagramms automatisch eine zu den Datenpunkten passende Achsenskalierung, womit bei der Ersterstellung eines Diagramms für dieses Diagrammelement kein gesonderter Arbeitsschritt notwendig ist.

Aus der abgeleiteten Abfolge der Behandlung der verschiedenen Kategorien des Kategoriensystems für die Diagrammerstellung wurden Prozessdiagramme erstellt, in denen die zeitliche Abfolge der durchgeführten Arbeitsschritte während einer Diagrammerstellung dargestellt ist. Ein solches Prozessdiagramm ist beispielhaft in Abbildung 3 dargestellt.

In Abbildung 3 kann man erkennen, dass im ersten Arbeitsschritt zunächst die Größen der Fehlerbalken ermittelt wurden, um anschließend das Diagramm zu erstellen, wobei Excel die Achsenskalierung automatisch durchgeführt hat. Diesem Diagramm wurden in den Schritten drei und vier zwei weitere Datenreihen hinzugefügt, wobei sich die Achsenskalierung nicht verändert hat. Im fünften Schritt wurde

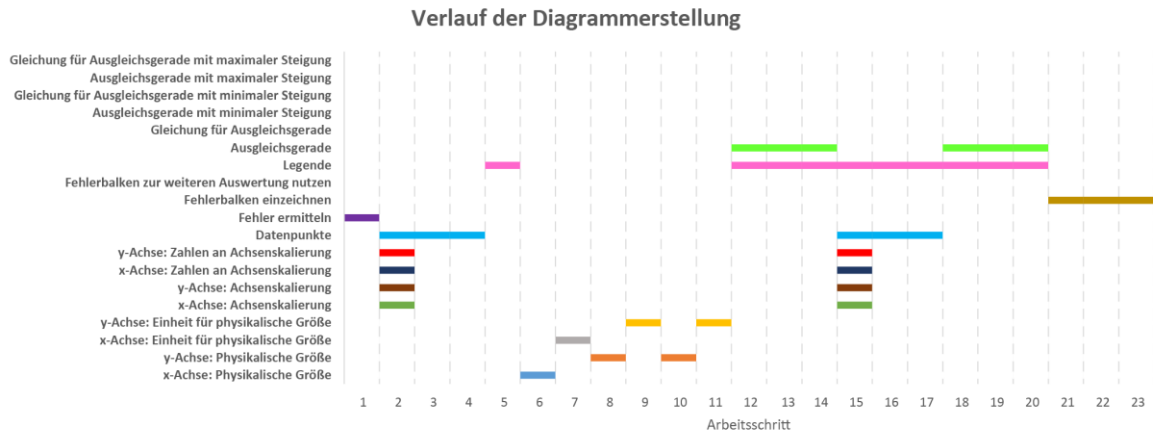


Abb.3: Beispiel eines Prozessdiagramms zur Analyse des Verlaufs einer Diagrammerstellung.

eine Legende erstellt und in den Schritten sechs bis elf wurden den Achsen physikalische Größen mit Einheiten zugeordnet, wobei die physikalische Größe der y-Achse sowie ihre Einheit einmal korrigiert wurden. Im Anschluss wurde durch alle drei Datenreihen jeweils eine Ausgleichsgerade gelegt, wobei durch Excel automatisch Legendeneinträge für diese erstellt wurden. Jedoch hatten die Studierenden die x- und die y-Werte vertauscht, so dass die Datenreihen in den Schritten 15, 16 und 17 gelöscht und neu hinzugefügt wurden, wodurch Excel die Legende in jedem Schritt automatisch angepasst hat. Durch die Punkte dieser neuen Datenreihen wurde in den Schritten 18, 19 und 20 erneut jeweils eine Ausgleichsgerade gelegt, welche von Excel automatisch in die Legende aufgenommen wurde. Zuletzt wurden in den Schritten 21, 22 und 23 diverse Fehlerbalken zu den Punkten aller drei Datenreihen hinzugefügt.

Anhand dieses Prozessdiagramms ist zudem zu erkennen, dass die Studierenden, die dieses Diagramm erstellt haben, weder eine Ausgleichsgerade mit minimaler Steigung noch eine Ausgleichsgerade mit maximaler Steigung in das Diagramm eingezeichnet haben, weshalb auch keine zugehörigen Gleichungen zu finden sind. Somit haben sie die Fehlerbalken nicht zur weiteren Auswertung genutzt. Zudem wurden keine Gleichungen der Ausgleichsgeraden im Diagramm angegeben.

Der Vergleich der für die verschiedenen Versuche erstellten Prozessdiagramme zum Ablauf der Diagrammerstellung ermöglicht es, typische Abfolgen ebenso wie häufige Auslassungen von Einzelschritten des Prozesses oder besondere Probleme bei der Ausführung einzelner Schritte zu identifizieren.

4.3. Analyse der verbalen Auseinandersetzung mit Fehlerbalken

Zur Untersuchung, wie Studierende sich während der Diagrammerstellung mit Fehlerbalken auseinandersetzen, wurden erneut die Screen Recorder-Dateien der $N_2 = 9$ Diagramme aus der Stichprobe aus Abschnitt 4.2. hinzugezogen. Dabei wurde zusätzlich zum Tipp- und Klick-Verhalten auch die

verbale Kommunikation der Probanden bei der Erstellung der Diagramme analysiert, indem mit Hilfe der Software Videograph zu jedem der $N_2 = 9$ Diagramme für die Phase der Diagrammerstellung ein Transkript erstellt wurde.

Zur Erstellung der Transkripte wurde in Intervallen von 20 Sekunden die gesamte verbale Kommunikation transkribiert, die zwischen dem Beginn der Arbeit an einer Excel-Datei und dem Beenden der Arbeit an dem in der Excel-Datei erstellten Diagramm zwischen den Probanden des Zweierteam stattgefunden hat. Nicht transkribiert wurden private Gespräche und Gespräche, die keinen direkten Bezug zur graphischen Auswertung besitzen sowie Internetrecherchen und Diktate von Zahlenwerten und Formeln. Hierbei lehnen sich die befolgten Transkriptionsregeln an die Regeln zur Transkription von Seidel an [13]. Die erstellten Transkripte sollten Rückschlüsse auf das Verständnis der Studierenden von Messunsicherheiten erlauben.

Im Folgenden werden sechs beispielhafte Auszüge aus Transkripten aufgeführt, wobei sich der vorangestellte Code aus einem T als Abkürzung für den Begriff Team mit der darauffolgenden eindeutigen Teamnummer sowie einer einstelligen Zahl nach dem Buchstaben S als Abkürzung für den Begriff Studierender (des jeweiligen Teams) zusammensetzt:

- T1S2: „Oder ne warte der Fehler war erinnerst du dich auch richtig Standardabweichung durch ähm Messunsicherheit Standardabweichung durch Wurzel n ne?“
- T2S2: „Ja unser Fehler ist schon groß genug der überdeckt das wir hätten ja genauso gut sagen können wir haben nen Fehler von 40 counts das ist ja in unserm Ermessen.“
- T3S1: „Die Messunsicherheiten hierfür ist die Gleichung mit der Fehlerfortpflanzung ne?“
- T3S2: „Ja die minimale Steigung ist ja wenn du vom beim ersten vom größten Fehler zum kleinsten Fehler beim zweiten versuchst.“

T5S1: „Ja das sieht gut aus das ist jetzt auch gar nicht so riesig wie // wir dachten.“

T6S2: „Immer irgend n bestimmtes Prozentfehler ist auf I und U das kann man ja bestimmt irgendwie bei Excel auch wieder machen.“

An diesen Beispielen ist bereits zu erkennen, dass die Studierenden zum einen konzeptionelle Probleme bei der richtigen Bestimmung der Größe der Fehlerbalken haben und zum anderen auch Schwierigkeiten bei der technischen Umsetzung der Darstellung von Fehlerbalken in Excel auftreten.

5. Ergebnisse

Mit Hilfe der drei vorgestellten Analyseansätze konnten die Daten der Studie ausgewertet und erste Ergebnisse ermittelt werden.

Nach Anwendung des ersten Analyseansatzes auf Basis des vorgeschlagenen Kategoriensystems kann gefolgert werden, dass alle von den Studierenden angefertigten Diagramme hohe Punktzahlen in den Basiskategorien aufweisen. So wurden bei einer Maximalpunktzahl von 19 Punkten zwei Diagramme mit 16 Punkten und je drei Diagramme mit 17, 18 bzw. 19 Punkten bewertet. Somit sind alle Diagramme bei den Basiskategorien von hoher Qualität. Dies deutet darauf hin, dass die Teilnehmer der Studie Grundfertigkeiten bei der Erstellung von Diagrammen mit Excel gut beherrschen, da sie beispielsweise über die Notwendigkeit der Achsenbeschriftung mit physikalischen Größen und deren Einheiten Bescheid wissen und dies im Wesentlichen auch umsetzen. Häufiger beobachtete Defizite betreffen zum Beispiel das richtige Einzeichnen von Fehlerbalken.

Auch bei den Zusatzkategorien weisen 7 der 9 Diagramme hohe Punktzahlen in Bezug auf die maximal möglichen Punktzahlen auf, da die Teilnehmer der Studie beispielsweise über die Notwendigkeit von Ausgleichsgeraden bei linearen Zusammenhängen Bescheid wissen und dies im Wesentlichen auch umsetzen. Typische Defizite sind dabei das richtige Angeben der Gleichung der Ausgleichsgeraden, da die zugehörigen Einheiten in allen entsprechenden Diagrammen nicht vorhanden waren. Bei den beiden Diagrammen mit niedrigerer Bewertung in den Zusatzkategorien bestehen große Defizite beim Einzeichnen von Geraden mit minimaler und maximaler Steigung und beim Angeben der zugehörigen Gleichungen. Dabei handelt es sich um das im Praktikum für diverse Studiengänge empfohlene Verfahren, um auf relativ intuitivem Wege eine Abschätzung der Unsicherheit der aus einer linearen Regression resultierenden Daten vorzunehmen.

Aus den Prozessdiagrammen ist zu erkennen, dass alle Diagramme im Detail einen unterschiedlichen Erstellungsprozess aufweisen, denn kein Erstellungsprozess gleicht einem anderen Erstellungsprozess. Des Weiteren ist zu erkennen, dass die Diagramme, selbst wenn die Größen der Fehlerbalken

vor dem Beginn der Erstellung des Diagramms ermittelt wurden, in praktisch allen Fällen in einem iterativen Prozess entstehen, bei dem zum Beispiel die Datenpunkte mindestens einmal erneuert werden. Für ein Team wurden für zwei erstellte Diagramme deutlich unterschiedliche Verläufe der Diagrammerstellung beobachtet, wobei der Verlauf beim zweiten Diagramm mit 11 Schritten wesentlich kürzer war als der beim ersten erstellten Diagramm (23 Schritte).

Aus der Analyse der Diagrammerstellungsprozesse ließen sich zwei verschiedene Einstiege in den Erstellungsprozess eines Diagramms beobachten. Dies war einerseits der Beginn mit dem Einzeichnen von Datenpunkten und zum anderen der Start mit dem Berechnen der Größe der Fehlerbalken. Ersteres hat den Vorteil, dass die Studierenden ein nahezu fertiges Diagramm vor sich haben, wenn sie die Größe der Fehlerbalken bestimmen. So können sie anhand des Diagramms schnell überblicken, ob ihre errechneten Größen der Fehlerbalken plausibel erscheinen, wenn sie diese Fehlerbalken in das Diagramm eintragen. Das Berechnen der Größe der Fehlerbalken im ersten Schritt der Erstellung eines Diagramms hat hingegen den Vorteil, dass das Diagramm im Anschluss ohne weitere Unterbrechungen erstellt werden kann, da während der Diagrammerstellung keine Pause zur Berechnung eingelegt werden muss.

Es sei hier betont, dass die Tatsache, ob ein Erstellungsprozess eines Diagramms ohne oder mit zwischenzeitlichen Korrekturen erfolgt, keine Rückschlüsse auf die formale Qualität der erstellten Diagramme erlaubt. So gibt es Diagramme, welche die volle Punktzahl bei den Basiskategorien erreicht haben, obwohl im Verlauf ihrer Erstellung die Datenreihen noch einmal verändert wurden.

Auch in der hier beschriebenen Studie zeigten die Studierenden konzeptuelle Schwierigkeiten beim Thema Messunsicherheiten. Dies offenbarte sich z.B. darin, dass die Studierenden nicht verstanden, wie unter Berücksichtigung der Fehlerbalken mit den Geraden mit minimaler und maximaler Steigung die Unsicherheit auf Steigung und y-Achsenabschnitt der Ausgleichsgeraden bestimmt werden kann. Stattdessen wurde zur Bestimmung der Unsicherheiten auf Steigung und y-Achsenabschnitt der Ausgleichsgeraden die lineare Regression in Excel verwendet. Dabei ist den Transkripten zu entnehmen, dass die Studierenden in einem Vortrag an der Universität wohl gezeigt bekommen haben, wie eine lineare Regression in Excel durchzuführen ist. Jedoch wurde nicht verstanden, wann die lineare Regression sinnvoll einzusetzen ist und was die von Excel ausgegebenen Werte aussagen.

Aus der Analyse der Transkripte ergibt sich, dass zwei Typen von Schwierigkeiten beim Umgang mit Fehlerbalken auftreten. Zum einen haben die Studierenden konzeptionelle Probleme bei der Ermittlung

der Größe der Fehlerbalken. Dies zeigt sich beispielsweise deutlich in einer sehr schematischen Anwendung von vorgegebenen Formeln zur Bestimmung von Messunsicherheiten. Jedoch wissen sie offenbar nicht, wann und warum welche Formel anzuwenden ist und wie das Ergebnis dieser Formel interpretiert werden kann. Es werden also auch von den an dieser Studie teilnehmenden Studierenden schematisch Rechenroutinen und Faustregeln verwendet, ohne dass die Studierenden ein grundlegendes Verständnis zum Thema Messunsicherheiten aufbauen. Dabei bleiben auch hier die Misskonzepte über den Studienzeitraum hinweg bestehen. Zudem sind die Studierenden nicht in der Lage, Messunsicherheiten korrekt anzugeben. Zum anderen haben die Studierenden Schwierigkeiten bei der technischen Umsetzung der Darstellung von Fehlerbalken in Excel.

Zuletzt zeigte sich anhand des dritten Analyseansatzes, der Transkription, dass einige Studierende mathematische Schwächen hatten, da sie beispielsweise einen Logarithmus oder eine etwas kompliziertere Formel nicht nach einer Variablen ableiten konnten. So kam es zu Problemen bei der Bestimmung der Unsicherheiten, da hierfür bei Anwendung der Gaußschen Fehlerfortpflanzung oft das Ableiten von Funktionen notwendig ist.

6. Fazit und Ausblick

Abschließend lässt sich konstatieren, dass man durch die drei vorgestellten Analyseansätze (i) der Analyse der Ausführungsqualität von Diagrammen auf der Basis eines Kategoriensystems, (ii) der Analyse der Diagrammerstellungsprozesse und (iii) der Analyse der verbalen Auseinandersetzung mit Fehlerbalken einen umfassenden Eindruck davon bekommt, wie die Studierenden im Umfeld der Erstellung von Diagrammen zu Hause mit dem Thema Messunsicherheiten umgehen.

Die Bewertung der formalen Qualität der erstellten Diagramme erlaubt es, die einzelnen Diagramme miteinander zu vergleichen. Zudem kann mit Hilfe der Prozessdiagramme festgestellt werden, welchen Verlauf der Diagrammerstellung die einzelnen Studierenden für ihr Diagramm nutzen. Zuletzt können mit Hilfe der Transkripte konkrete Schwierigkeiten der Studierenden beim Umgang mit dem Thema Messunsicherheiten identifiziert und genauer analysiert werden. Somit bieten diese drei Analyseansätze gute Möglichkeiten zur Aufklärung typischer Prozesse und häufig auftretender Schwierigkeiten in der Auswertephase von Versuchen in physikalischen Praktika.

Die vorgestellten Analyseansätze stellen einen ersten Annäherungsversuch an den riesigen Informationsgehalt des umfangreichen Datenmaterials dar, der in der Zusammenfassung als erfolgreich bewertet werden kann und gleichzeitig weitere Untersuchungen nach sich ziehen wird.

7. Literatur

- [1] Heinicke, Susanne (2012): *Aus Fehlern wird man klug*. Berlin: Logos
- [2] Buffler, Andy; Allie, Saalih; Lubben, Fred (2001): The development of first year physics students' ideas about measurement in terms of point and set paradigms. In: *International Journal of Science Education*, 23, 11, 1137-1156
- [3] Hamacher, John; Heinke, Heidrun (2016): Analyse studentischer Lernprozesse zu Messunsicherheiten im Physikpraktikum. In: *PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*
- [4] Hamacher, John; Erkelenz, Jan; Heinke, Heidrun (2015): Lehrvideos zum Umgang mit Messdaten. In: *Authentizität und Lernen – das Fach in der Fachdidaktik, Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Berlin*, 527-529
- [5] Kultusministerkonferenz (Hrsg.) (2004): *Bil-dungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss*. München: Luchterhand
- [6] Hamacher, John; Erkelenz, Jan; Heinke, Heidrun (2015): Messunsicherheiten mit Hilfe von Lernvideos verstehen – Entwicklung von Lehrvideos zum Umgang mit Messdaten für Physikpraktika. In: *PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*
- [7] Séré, Marie-Geneviève; Journeaux, Roger; Larcher, Claudine (1993): Learning the statistical analysis of measurement errors. In: *International Journal of Science Education*, 15, 4, 427-438
- [8] Allie, Saalih; Buffler, Andy; Campbell, Bob; Lubben, Fred; Evangelinos, Dimitris; Psillos, Dimitris; Valassiades, Odysseas (2003): Teaching Measurement in the Introductory Physics Laboratory. In: *The Physics Teacher*. 41, 23-20
- [9] Welzel, Manuela; Haller, Kerstin; Bandiera, Milena; Hammelev, Dorte; Koumaras, Panagiotis; Niedderer, Hans; Paulsen, Albert; Robin-ault, Karine; von Aufschnaiter, Stefan (1998): Ziele, die Lehrende mit dem Experimentieren in der naturwissenschaftlichen Ausbildung verbinden – Ergebnisse einer europäischen Umfrage. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 4, 1, 29-44
- [10] Effertz, Christian. *Arbeitsgruppeninternes Dokument*
- [11] Lachmayer, Simone (2008): *Entwicklung und Überprüfung eines Strukturmodells der Diagrammkompetenz für den Biologieunterricht*. Dissertation: Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
- [12] Nixon, Ryan S.; Godfrey, T. J.; Mayhew, Nicholas T.; Wiegert, Craig C. (2016): Undergraduate student construction and interpretation of graphs in physic lab activities. In: *Physical review physics education research*, 12, 1, 010104

- [13] Seidel, Tina; Prenzel, Manfred; Duit, Reinders; Lehrke, Manfred (2004): Technischer Bericht zur Videostudie "Lehr-Lern-Prozesse im Physikunterricht". Kiel: IPN

Der Umgang mit Daten aus erster und zweiter Hand im Physikunterricht

Stephan Pfeiler, Burkhard Priemer

Humboldt-Universität zu Berlin, Institut für Physik, Newtonstraße 15, 12489 Berlin
pfeilers@physik.hu-berlin.de, priemer@physik.hu-berlin.de

Kurzfassung

Der Umgang mit und die Evaluation von Daten ist Teil wissenschaftlichen Arbeitens. Um Fertigkeiten im Umgang mit Daten im Unterricht zu vermitteln, werden in der Regel Daten aus Experimenten verwendet. Diese können von den Schülerinnen und Schülern selbst (Daten aus erster Hand) oder von anderen Personen (Daten aus zweiter Hand) erhoben werden. Die Akzeptanz von Daten kann als Ergebnis einer Einschätzung der Glaubwürdigkeit dieser Daten oder des Überbringers der Daten betrachtet werden. Das Konstrukt der Glaubwürdigkeit kann somit ein Werkzeug sein, um die unterschiedliche Wirkung verschiedener Datentypen zu verstehen. Diese Arbeit stellt eine Interviewstudie vor, welche die Nutzung von Kriterien für die Bewertung von Glaubwürdigkeit durch Schülerinnen und Schüler untersuchte, nachdem diese entweder mit Daten aus erster Hand oder Daten aus zweiter Hand konfrontiert wurden. Die Studie konnte keine nennenswerten, signifikanten Unterschiede zwischen den Versuchsgruppen ausmachen. Das gilt sowohl für die Nutzung der Kriterien durch die Probanden als auch für ein Ranking von vorgegebenen Aspekten der Glaubwürdigkeitsbewertung.

1. Theorie

Daten sind ein zentraler Bestandteil von naturwissenschaftlichem Unterricht. Sie sind in verschiedensten Modellen des wissenschaftlichen Denkens zentrales Element (Klahr, 2002; Koslowski, 1996; Kuhn, 2002). Daten oder Evidenz werden genutzt, um Entscheidungen für oder gegen bestimmte Vorstellungen zu untermauern. Sie dienen der Koordination von Theorien über die Welt mit den Beobachtungen in dieser Welt. In einfachen Modellen dienen Daten zur Entscheidung zwischen konkurrierenden Hypothesen (Chinn & Brewer, 1993). Diese Hypothesen sind Vorhersagen darüber wie die Natur auf Veränderungen reagiert, basierend auf Theorien über die Funktionsweisen der Natur. Eine Grundlage der Entscheidung für oder gegen eine Hypothese ist die Interpretation der Daten bezüglich der Hypothese. Außerdem müssen Daten evaluiert werden. Nicht jede Interpretation von Daten ist berechtigt. Es kann verschiedenste Gründe für die Ablehnung von Daten geben. So wird die Evaluation von Daten ebenfalls als wichtiger Bestandteil des Umgangs mit Daten verstanden. Im SDDS-Modell entspricht die Evaluation von Evidenz einer von drei zentralen Tätigkeiten im wissenschaftlichen Prozess (Klahr, 2002). Leider spielt die Evaluation von Daten im Physikunterricht eine untergeordnete Rolle. Auch der Bezug zu Hypothesenentscheidungen fehlt in der Regel (Tesch, 2005). Schülerinnen und Schüler lernen nur in seltenen Fällen den Umgang mit Messunsicherheiten (Heinicke, 2012).

Im Physikunterricht spielen immer wieder Daten verschiedenen Typs eine Rolle. Zwei Grundformen

des Experiments im Unterricht sind das Demonstrations- und das Schülerexperiment. Des Weiteren können Daten aus anderen Quellen herangezogen werden. Dies führt zu einer Unterscheidung in Daten aus erster Hand und Daten aus zweiter Hand (Hug & McNeill, 2008). Daten aus erster Hand sind im eigenen Experiment gewonnene Daten. Daten aus zweiter Hand stammen aus anderen Quellen.

Es ist von didaktischer Bedeutung zu wissen, mit welchen alltäglichen Einstellungen Schülerinnen und Schüler an die Evaluation von Daten aus unterschiedlichen Quellen herantreten. Welche Kriterien nutzen die Schülerinnen und Schüler, um zu entscheiden, ob Daten in einem physikalischen Kontext für oder gegen eine Hypothese sprechen? Zur Beschreibung des Prozesses der Entscheidung für oder gegen einen Hypothesenwechsel nutzen wir in dieser Arbeit das Konstrukt der Glaubwürdigkeit von Daten. Glaubwürdigkeit taucht in verschiedenen Arbeiten zur Evaluation von Daten auf (Chinn & Brewer, 2001; Driver, Newton, & Osborne, 2000). Oft bleibt der Begriff lediglich auf Personen beschränkt. Eine umfassendere, aber weniger spezifische Definition von Glaubwürdigkeit versteht diese als Eigenschaft, die sowohl Personen, Organisationen sowie ihren kommunikativen Produkten zugewiesen werden kann. Dies umfasst alle an der Evaluation von Daten beteiligten Akteure: den Autor der Daten sowie die Daten selbst (als kommunikatives Produkt). Welche Kriterien für oder gegen die Glaubwürdigkeit sprechen ist in hohem Maße vom Kontext abhängig, in dem diese Glaubwürdigkeit bewertet werden soll (Rieh & Danielson, 2007). Glaubwürdigkeit dient in

diesem Verständnis als Konstrukt zur Beschreibung der Evaluation von Daten aus unterschiedlichen Quellen durch Schülerinnen und Schüler. Dieses Konstrukt gilt es auf den Physikunterricht zu beziehen und zu spezifizieren.

2. Fragestellung

Es ergeben sich die folgenden Forschungsfragen:

- a) Welchen Einfluss haben Daten aus erster und Daten aus zweiter Hand auf die Entscheidung für oder gegen eine eingangs aufgestellte Hypothese?
- b) Welchen Einfluss haben Daten aus erster und Daten aus zweiter Hand auf die Verwendung von Kriterien für die Bewertung der Glaubwürdigkeit dieser Daten?

3. Vorarbeiten

Im Rahmen einer Vorstudie wurden 19 Schülerinnen und Schüler zur Glaubwürdigkeit von verschiedenen Datensätzen zum Zusammenhang zwischen schwingender Masse und Periodendauer eines Fadenpendels befragt. Die Aussagen der Schülerinnen und Schüler wurden hinsichtlich der von ihnen genannten Kriterien analysiert und kategorisiert. Auf diese Weise ist ein Codesystem bestehend aus 4 Codes und jeweils 5-6 Subcodes entstanden. Die Codes lauten „Eigenschaften des Experiments“, „Eigenschaften von Autoren“, „Eigenschaften der Daten“ und „Prüfen und Abgleichen“. Die drei erstgenannten Codes konnten bereits vor der Untersuchung deduktiv abgeleitet werden. Sie entsprechen den von einer Glaubwürdigkeitsbewertung betroffenen Aspekten: Daten und die damit verbundene Methodik der Datenerhebung sowie der Quelle der Daten. Damit ist in diesem Fall der Autor gemeint (eine Systematik von Kriterien für die Glaubwürdigkeit wurde auf Basis der folgenden Quellen erarbeitet: Bentele, Brosius, & Jarren, 2012; Driver, Newton, & Osborne, 2000; Nicolaidou, Kyza, Terzian, Hadjichambis, & Kafouris, 2011; Rieh & Danielson, 2007; Wilson, 1983) Der vierte Code „Prüfen und Abgleichen“ umfasst Aussagen, welche sich nicht mit einer spezifischen Charakteristik des Datensatzes auseinandersetzen, sondern Daten Glaubwürdigkeit zusprechen, wenn sie überprüft oder mit Referenzen verglichen wurden.

4. Methode

4.1. Datenerhebung

In der Studie haben insgesamt 21 Schülerinnen und 21 Schüler der neunten Klassenstufe an drei Berliner Gymnasien im Alter von 14 bis 16 Jahren (MW: 14,2 Jahre) Messdaten zu einem Experiment mit dem Fadenpendel aufgenommen. Sie untersuchten den Zusammenhang zwischen der Schwingungsdauer des Pendels und der schwingenden Masse. Dieser Versuch wurde gewählt, da er gezielt Alltagsvorstellungen der Schülerinnen und Schüler aufgreift, wonach schwerere Massen schneller schwingen, also

eine kleinere Schwingungsdauer aufweisen. Die entstandenen Daten sind aus Sicht vieler Schülerinnen und Schüler deshalb nicht erwartungskonform. Der Versuch ist zudem vergleichsweise einfach durchzuführen und generiert Datensätze in angemessener Qualität (Kanari & Millar, 2004). Diese dienen dazu die eigenen Vorstellungen in Frage zu stellen (Chinn & Brewer, 1993) und werden hier als Gesprächsanlass genutzt. Vor dem Experiment entschied sich jeder Proband für eine von drei möglichen Hypothesen bzgl. der Periodendauer des Fadenpendels: Bei steigender Masse wird die Schwingungsdauer (a) kleiner, (b) bleibt gleich oder (c) wird größer. Danach nahmen die Teilnehmer zu drei verschiedenen Massen jeweils 10 Messwerte auf, sodass jedem Probanden ein Datensatz mit insgesamt 30 Einzelmessungen zur Verfügung stand. Zusätzlich zu den eigenhändig aufgenommenen Daten standen zwei vorbereitete Datensätze im gleichen Umfang zur Verfügung. Sie bestanden aus den gleichen Einzelmessungen und wurden randomisiert angeordnet, sodass dies für die Probanden nicht ersichtlich war. Diese beiden Datensätzen wurden einer Teilstichprobe der Probanden mit dem Hinweis vorgelegt, dass die Autoren der Daten „Schüler“ bzw. „Lehrer“ sind. „Schüler“ bedeutete, dass die Daten von einem fiktiven Schüler der neunten Klasse eines anderen Berliner Gymnasiums stammten. „Lehrer“ bedeutete, dass die Daten von einem fiktiven Physiklehrer eines anderen Berliner Gymnasiums stammten. So ergaben sich drei Versuchsgruppen à 14 Probanden. Die erste Versuchsgruppe behielt ihre eigenen Daten. In der zweiten und dritten Versuchsgruppe wurden die eigenen Daten durch einen der beiden Datensätze „Schüler“ oder „Lehrer“ ersetzt.

Im Anschluss an die Messungen wurden alle Probanden in einem halbstrukturierten Interview befragt, ob die vorliegenden Daten die eingangs aufgestellte Hypothese bestätigen oder widerlegen. Es wurde gezielt nach der Glaubwürdigkeit des Datensatzes gefragt, wobei Wert darauf gelegt wurde, dass die Nennung von Kriterien für die Glaubwürdigkeit durch die Interviewten erfolgte. Die Rolle des Interviewers beschränkte sich auf die Motivierung der Interviewten, ihre Aussagen zu ergänzen oder zu spezifizieren. Zum Abschluss des Interviews wurden die Interviewten gebeten ein Rating der vier Codes aus der Vorstudie vorzunehmen. Das Rating bestand darin, die Codes in eine Rangfolge zu bringen, wobei die Bedeutung der Codes als „Für die Bewertung der Glaubwürdigkeit am wichtigsten“ bis hin zu „Für die Bewertung der Glaubwürdigkeit am unwichtigsten“ beschrieben wurde.



Abb. 1: Häufigkeitsverteilungen von Aussagen in den Codes. Jeder Punkt symbolisiert ein Interview. Die vertikale Position gibt die Anzahl der Aussagen an, welche in diesem Interview mit dem jeweiligen Code codiert wurden. E bezeichnet Probanden mit eigenen Daten, L bezeichnet Probanden mit Lehrerdaten, S bezeichnet Probanden mit Schülerdaten.

4.2. Auswertung

Die Interviews wurden transkribiert. Auf Basis eines Regelkatalogs wurden anschließend Aussagen für die Codierung aus der Vorstudie ausgewählt und in Codiereinheiten vorstrukturiert. Zwei unabhängige Rater codierten in zwei Durchläufen jeweils 9 Interviews und konnten im Gespräch eventuelle Unstimmigkeiten ausräumen und das Codiermanual anpassen. Die Beurteilerübereinstimmung wurde sowohl auf Ebene der Codes als auch auf Ebene der Subcodes bestimmt. Für die Subcodes griffen wir auf ein gewichtetes Kappa κ_w (Cohen, 1968) zurück. Dies erlaubt fehlende Übereinstimmungen zwischen Subcodes verschiedener Codes unterschiedlich stark in den Wert der Beurteilerübereinstimmung einzubeziehen. Für die Beurteilerübereinstimmung auf Ebene der Codes wurde die Gewichtungsmatrix des κ_w so angepasst, dass ein ungewichtetes κ für die 4 Codes berechnet werden konnte, ohne das Interviewmaterial erneut zu codieren. Nach Gwet (2012) wurden die κ -Werte angepasst, um eine realistischere Abschätzung der Beurteilerübereinstimmung unter Berücksichtigung von Randbedingungen (Anzahl der beurteilten Aussagen, Anzahl der Rater, Anzahl der Kategorien) zu gewährleisten. Die Beurteilerübereinstimmung auf Code-Ebene beträgt $\kappa_w = .66$. Dies entspricht einer substantiellen Übereinstimmung (Landis & Koch, 1977). Auf Subcode-Ebene beträgt die Beurteilerübereinstimmung $\kappa = .59$. Dies entspricht einer moderaten Übereinstimmung (ebenda). Die restlichen Interviews wurden anschließend von einem der beiden Rater codiert.

Inwiefern die Daten einen Einfluss auf den Hypothesenwechsel der Probanden hatten, wurde festgestellt, indem Aussagen identifiziert wurden, die einen Rückschluss darüber zuließen, ob der Proband seine eingangs aufgestellte Hypothese im Licht der neuen Daten beibehält oder nicht. Im Falle eines Hypothe-

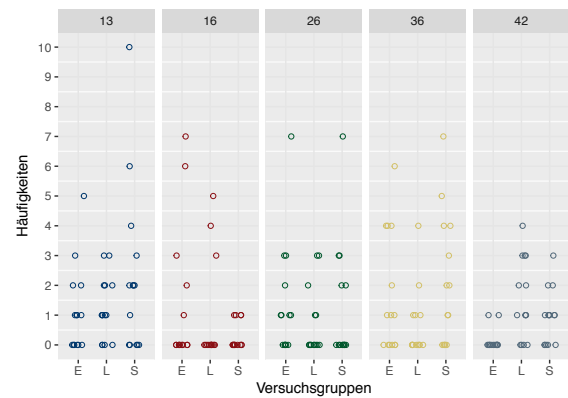


Abb. 2: Verteilung der Häufigkeiten ausgewählter Subcodes (Durchführung (13), Menschentoleranz (16), Fehlerbarkeit (26), Streuung (36), Abgleich mit eigenen Daten (42))

senwechsels wurde festgehalten, für welche neue Hypothese sich die Probanden entscheiden. Dies war für 39 der 42 Interviews möglich. Ob signifikante Unterschiede zwischen den verschiedenen Wechselmöglichkeiten und Versuchsgruppen bestanden, wurde mit $k \times l$ - χ^2 -Test unter Zuhilfenahme von Fishers exaktem Test (auf Grund zu geringer Randsummen) berechnet (Bortz & Schuster, 2010; Field & Miles, 2012).

Alle Aussagen der Probanden, in denen die Glaubwürdigkeit angesprochen wurde, wurden mit dem Codesystem codiert. So konnten Häufigkeiten bezüglich der Verwendung einzelner Subcodes und der Codes ermittelt werden. Aufgrund der nur moderaten Beurteilerübereinstimmung auf Subcode-Ebene erfolgte eine Bestimmung von Signifikanzen bezüglich der Unterschiede der Häufigkeiten in Abhängigkeit von der Versuchsgruppe nur auf Ebene der Codes. Dafür wurde der Kruskal-Wallis-Test (Field & Miles, 2012) verwendet.

Auf Subcode-Ebene wird die Analyse von Codierungshäufigkeiten auf die fünf häufigsten Subcodes beschränkt. Die Analyse von Unterschieden zwischen den Versuchsgruppen wurde ebenfalls mit dem Kruskal-Wallis-Test durchgeführt.

Die Ergebnisse aus dem Ranking der Codes nach Wichtigkeit durch die Probanden wurden numerisch festgehalten. Für jeden Probanden erhielten die gerankten Codes einen von vier Rängen (1→am wichtigsten bis 4→am unwichtigsten) und konnten so analysiert werden. Unterschiede zwischen den Häufigkeiten konnten auch hier mit Hilfe des Kruskal-Wallis-Tests ermittelt werden.

5. Ergebnisse

5.1. Hypothesenwechsel

Diese Studie konnte frühere Ergebnisse zum Fadenpendel reproduzieren (Kanari & Millar, 2004; Ludwig & Priemer, 2013). Von den 39 Probanden, deren Hypothesenwechsel nachvollzogen werden konnte, entschieden sich 34 für die fachlich falsche

Hypothese. Nach dem Experiment und der Konfrontation mit einem der verschiedenen Datensätze wechselten 18 Probanden von einer fachlich falschen Hypothese zu der fachlich richtigen Hypothese. 16 Probanden behielten die fachlich falsche Hypothese bei oder wechselten zu der anderen fachlich falschen Hypothese. Es gab keine signifikanten Unterschiede zwischen den drei Versuchsgruppen: $\chi^2(2) = .654, p > .05$.

5.2. Glaubwürdigkeitskriterien

Die Anzahl an Aussagen, die codiert wurden, sehen wir folgt aus:

- a) Eigenschaften des Experiments: 197
- b) Eigenschaften von Autoren: 147
- c) Eigenschaften der Daten: 123
- d) Prüfen/Abgleichen: 78.

In Abbildung 1 sind die Verteilungen der Häufigkeiten der vier Codes für die drei Versuchsgruppen getrennt dargestellt. Für keinen der Codes bestehen signifikante Unterschiede zwischen den Versuchsgruppen. Die Werte des Kruskal-Wallis-Tests sind in Tabelle 1 aufgelistet.

Code	H	p	df
Eigenschaften des Experiments	0.993	>.05	2
Eigenschaften von Autoren	2.002	>.05	2
Eigenschaften der Daten	2.756	>.05	2
Prüfen/Abgleichen	2.996	>.05	2

Tabelle 1: Ergebnis des Kruskal-Wallis-Tests für die Unterscheidung der Versuchsgruppen für Häufigkeiten der Codes.

Die fünf häufigsten Subcodes und die entsprechende Anzahl an Codierungen sind:

- a) Eig. des Experiments/Durchführung: 65
- b) Eigenschaften der Daten/Streuung: 61
- c) Eigenschaften von Autoren/Fehlbarkeit: 46
- d) Prüfen/Abgleichen/Abgleich m. eig. Daten: 36
- e) Eig. des Experiments/Menschentoleranz: 35

Die Verteilungen der Häufigkeiten für die einzelnen Subcodes sind in Abbildung 2 getrennt für die drei Versuchsgruppen dargestellt. Auf den ersten Blick sind auch hier keine signifikanten Unterschiede zwischen den Versuchsgruppen erkennbar. Für vier Subcodes zeigt der Kruskal-Wallis-Test keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen (vgl. Tabelle 2).

Subcode	H	p	df
Eig. d. Exp./Durchführung	1.350	>.05	2
Eig. d. Exp./Menschentoleranz	0.880	>.05	2
Eig. v. Aut./Fehlbarkeit	1.067	>.05	2
Eig. d. Daten/Streuung	3.810	>.05	2
Prüfen/Abgleich m.e. Daten	11.723	<.05	2

Tabelle 2: Ergebnisse des Kruskal-Wallis-Tests für die Unterschiede zwischen den Versuchsgruppen für die Häufigkeiten der fünf am häufigsten codierten Subcodes.

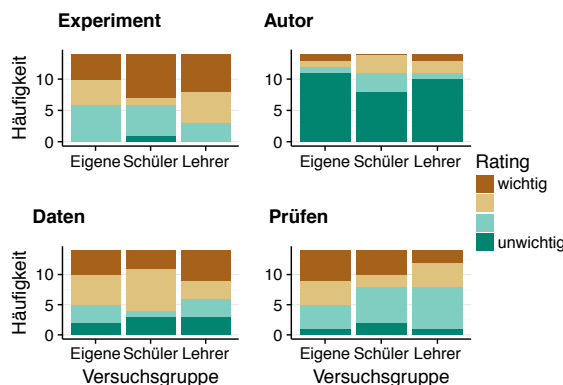


Abb. 3: Häufigkeiten der Einordnung der Codes in die Ränge dargestellt als Höhe der Teile der einzelnen Balken.

Für den Subcode „Abgleich mit eigenen Daten“ aus dem Code „Prüfen/Abgleichen“ ergibt sich ein signifikanter Unterschied zwischen den drei Versuchsgruppen. Ein multipler Vergleichstest nach Kruskal und Wallis (Field & Miles, 2012) ergibt, dass der signifikante Unterschied zwischen der Versuchsgruppe „Eigene Daten“ und „Lehrerdaten“ besteht. Zwischen den Versuchsgruppen „Eigene Daten“ und „Schülerdaten“ verfehlt der Test nur knapp den kritischen Wert. Hier ist also ein Unterschied zwischen den Versuchsgruppen mit Daten aus zweiter Hand und den Daten aus erster Hand zu erkennen.

5.3. Ranking der Wichtigkeit

Für das Ranking der Wichtigkeit der Codes durch die Probanden wurde die Einordnung der einzelnen Codes auf die verschiedenen Ränge gezählt (Abbildung 3). So ist es möglich zu vergleichen, wie oft ein Code z.B. als „am unwichtigsten“ oder auch „am wichtigsten“ gerankt wurde. Wichtig für das Verständnis von Abbildung 3 ist, dass ein höherer Anteil an grünen und dunkelgrünen Säulen für eine häufigere Einteilung in „eher unwichtig“ und „am unwichtigsten“ steht. So lässt sich nach Unterschieden in der Bewertung der einzelnen Codes suchen. Auch ein Vergleich des Rankings eines Codes durch verschiedene Versuchsgruppen ist möglich. Augenscheinlich wird der Code „Eigenschaften von Autoren“ deutlich häufiger als „unwichtig“ bewertet als andere Codes. Dies wird durch den Kruskal-Wallis-Test bestätigt: $H(3) = 42.512, p \ll .01$. Der multiple Vergleichstest nach Kruskal und Wallis zeigt, dass paarweise signifikante Unterschiede zwischen den drei Codes „Eigenschaften des Experiments“, „Eigenschaften der Daten“, „Prüfen/Abgleichen“ und dem Code „Eigenschaften von Autoren“ bestehen. Zwischen den anderen Paarungen dieser Codes bestehen keine signifikanten Unterschiede. Innerhalb der Codes bestehen bezüglich der Versuchsgruppen keine signifikanten Unterschiede (vgl. die Ergebnisse des Kruskal-Wallis-Tests in Tabelle 3).

Code	H	p	df
Eigenschaften des Experiments	1.067	>.05	2
Eigenschaften von Autoren	0.988	>.05	2
Eigenschaften der Daten	0.026	>.05	2
Prüfen/Abgleichen	1.592	>.05	2

Tabelle 3: Die Ergebnisse des Kruskal-Wallis-Tests für die Unterschiede zwischen Versuchsgruppen in den einzelnen Codes.

6. Diskussion

Die Ergebnisse der vorgestellten Studie lassen keine Unterschiede bezüglich der Versuchsgruppen erkennen. Offenbar stellten die unterschiedlichen Datensätze, die als Grundlage für die Interviews dienten, keinen Anlass dar, andere Kriterien für die Bewertung der Glaubwürdigkeit anzuwenden. Einen signifikanten Unterschied fanden wir zwischen den Versuchsgruppen „Eigene Daten“ und „Lehrerdaten“ beim Subcode „Prüfen/Abgleichen/Abgleich mit eigenen Daten“. Da zwischen „Eigene Daten“ und den „Schülerdaten“ ein signifikanter Unterschied nur knapp verfehlt wurde, wird angenommen, dass hier eine relevante Unterscheidung zwischen Daten aus erster und Daten aus zweiter Hand ersichtlich ist. Diese Unterscheidung ist allerdings trivial und war so zu erwarten. Der Subcode „Abgleich mit eigenen Daten“ beschreibt Aussagen, die thematisieren, dass Daten mehr oder weniger glaubwürdig werden können, wenn man sie mit eigenen Daten vergleicht. In Abbildung 2 in der Spalte 42 für die Versuchsgruppe „Eigene Daten“ (E) ist zu erkennen, dass in nur zwei Interviews jeweils eine Aussage zu diesem Code gefunden wurde. Das ist gut erklärbar, denn für Schülerinnen und Schüler, die mit ihren eigenen Daten gearbeitet haben, bestand kein Anlass diese ihnen vorliegenden Daten mit ihren eigenen Daten zu vergleichen.

Die Ergebnisse liefern somit in ihrer Gesamtheit keine Hinweise darauf, dass die Verwendung von Daten aus erster und zweiter Hand einen Einfluss auf die Nutzung von Kriterien für die Bewertung von Glaubwürdigkeit hat. Dabei ist jedoch das Studiendesign zu beachten. Im Gegensatz zu anderen Studien (Hug & McNeill, 2008; Ludwig & Priemer, 2013; Magnusson & Palincsar, 2001) haben die Probanden dieser Untersuchung ein Realexperiment durchgeführt und eigene Daten aufgezeichnet. Dabei wurde darauf geachtet, dass die Ergebnisse der Probanden den gleichen Umfang und die gleiche Qualität haben, wie die fremden Daten. Es ist jedoch denkbar, dass die verschiedenen Datenquellen an Bedeutung gewinnen, wenn die Beteiligung am Experiment und damit das Wissen über das Experiment verändert wird.

Da es sich in diesem Versuch um eine Kombination von physikalischen Größen handelt, die in erster Näherung keinen Zusammenhang aufweisen, waren Schwierigkeiten beim Umgang mit Messunsicherheiten zu erwarten (Kanari & Millar, 2004). Das Design der Experimentierumgebung hat aber offen-

bar dazu geführt, dass die Daten auch den nicht vorhandenen Zusammenhang deutlich machen konnten. Dazu kommt, dass den Schülerinnen und Schülern die Suche im Hypothesenraum (Klahr, 2002) erspart blieb. Mögliche Hypothesen standen zur Auswahl. Dadurch war die Möglichkeit, dass kein Zusammenhang besteht, bereits vorgegeben. Werden Schülerinnen und Schüler aufgefordert eigene Hypothesen zu formulieren, wird diese Möglichkeit oft nicht beachtet (Kanari & Millar, 2004). Zudem thematisierten ein großer Teil der Aussagen der Schülerinnen und Schüler Messunsicherheiten und damit verwandte Themen. Die Subcodes „Durchführung“, „Menschentoleranz“, „Fehlbarkeit“ und „Streuung“ thematisieren allesamt Fehlerquellen des Experiments, die Rückwirkung zwischen Experimentator und Experiment oder Abweichungen in den Daten. Somit wurden in vier der fünf am häufigsten genannten Subcodes Aspekte von Messunsicherheiten (Hellwig, 2012) angesprochen.

Bemerkenswert ist das Ergebnis, dass die Schülerinnen und Schüler zwar sehr oft über den Autor geredet haben, den Code „Eigenschaften von Autoren“ aber sehr häufig als „am unwichtigsten“ für die Bewertung der Glaubwürdigkeit bewertet haben.

Die Analyse der Häufigkeiten von Codierungen wurde zunächst aus der Annahme heraus durchgeführt, dass eine größere Anzahl an Aussagen, die mit einem Code codiert werden, ein Indiz für die Relevanz dessen ist, was mit dem Code umschrieben wird. Mehr Aussagen im Code „Eigenschaften von Autoren“ wurden also vorerst als Indiz dafür gewertet, dass die Probanden diesen Aspekt der Daten als relevant empfinden, wenn die Glaubwürdigkeit der Daten bewertet werden soll. Vielleicht haben die Schülerinnen und Schüler den ersten Interviewteil aber eher als Aufforderung zur Aufzählung von möglichst vielen Kriterien zur Glaubwürdigkeitsbewertung verstanden und haben dadurch ohne Rücksicht auf die Relevanz einzelner Punkte alles genannt, was ihnen in den Sinn kam. Demnach wäre die Häufigkeit ein ungenügendes Maß, um einen Rückschluss darauf zu gewinnen, welcher Aspekt im Denken der Probanden wichtiger ist als ein anderer.

Wie in anderen Studien zuvor, konnte das Fadenpendel auch hier sehr erfolgreich genutzt werden, um nicht-erwartungskonforme Daten zu erzeugen. Erfreulich hoch war die Anzahl von Schülerinnen und Schülern, welche nach der Durchführung des Experiments und der Konfrontation mit den Daten bereit waren, ihre eingangs aufgestellte, fachlich falsche Hypothese zugunsten der fachlich richtigen Hypothese aufzugeben. Es sei aber bemerkt, dass wir die Antworten der Schülerinnen und Schüler nur in Wechsel oder nicht Wechsel eingeteilt haben. Nicht alle Schülerinnen und Schüler waren vollständig von ihrem Ergebnis überzeugt. Vielmehr ergibt sich eine Abstufung an Reaktionen auf die Daten, ähnlich dem was bereits an möglichen Reaktionsty-

pen auf anomale Daten vorgeschlagen wurde (Chinn & Brewer, 1998).

7. Ausblick

Wie oben beschrieben finden sich zwar keine Hinweise darauf, dass der Datentyp einen Einfluss auf die Verwendung von Kriterien zur Glaubwürdigkeitsbewertung hat. Es muss aber das Studiendesign mitgedacht werden. Zwei Möglichkeiten für die Deutung dieses Ergebnisses könnten für weitere Forschungsarbeiten von Bedeutung sein. Es wurde vermutet, dass das Maß an Beteiligung an der Datenerhebung einen Einfluss auf die Wahrnehmung der Daten als „eigene Daten“ hat. Die Beteiligung an der Datenerhebung vermittelt Wissen über die Daten, welches genutzt wird, wenn sie evaluiert werden. Fehlt dieses Wissen könnten andere Kriterien wieder an Bedeutung gewinnen. Es steht also die Frage im Raum, ob die Unterscheidung des Datentyps im Allgemeinen keine Rolle für die Verwendung von Glaubwürdigkeitskriterien spielt, oder ob der Datentyp diese Verwendung beeinflusst, wenn sich andere Rahmenbedingungen der Wahrnehmung der Daten verändern.

Die Codierung des Interviewmaterials hatte notwendigerweise einen Informationsverlust zur Folge. Verschiedene Aussagen, die zwar thematisch gruppiert werden können, unterscheiden sich aber dennoch in Details. Diese Informationen können für das Verständnis der Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler von Bedeutung sein. Eine inhaltliche Analyse der Aussagen für die fünf häufigsten Subcodes wird deshalb angestrebt.

8. Literatur

- [1] Bentele, G., Brosius, H.-B., & Jarren, O. (2012). *Lexikon Kommunikations- und Medienwissenschaft*. Springer-Verlag.
- [2] Bortz, P. D. J., & Schuster, P. D. C. (2010). Analyse von Häufigkeiten. In *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler* (S. 137–152). Springer Berlin Heidelberg.
- [3] Chinn, C. A., & Brewer, W. F. (1993). The Role of Anomalous Data in Knowledge Acquisition: A Theoretical Framework and Implications for Science Instruction. *Review of Educational Research*, 63(1), 1–49.
- [4] Chinn, C. A., & Brewer, W. F. (2001). Models of Data: A Theory of How People Evaluate Data. *Cognition and Instruction*, 19(3), 323–393.
- [5] Cohen, J. (1968). Weighted kappa: Nominal scale agreement provision for scaled disagreement or partial credit. *Psychological Bulletin*, 70(4), 213.
- [6] Driver, R., Newton, P., & Osborne, J. (2000). Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms. *Science education*, 84(3), 287–312.
- [7] Field, A., & Miles, J. (2012). *Discovering Statistics Using R*. London ; Thousand Oaks, Calif: Sage Publications Ltd.
- [8] Gwet, K. L. (2012). *Handbook of Inter-Rater Reliability* (3. Aufl.). Advanced Analytics, LLC.
- [9] Heinicke, S. (2012). *Aus Fehlern wird man klug*. Logos Verlag, Berlin.
- [10] Hellwig, J. (2012). *Messunsicherheiten verstehen* (Dissertation). Ruhr-Universität Bochum.
- [11] Hug, B., & McNeill, K. L. (2008). Use of First-hand and Second-hand Data in Science: Does data type influence classroom conversations? *International Journal of Science Education*, 30(13), 1725–1751.
- [12] Kanari, Z., & Millar, R. (2004). Reasoning from data: How students collect and interpret data in science investigations. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(7), 748–769.
- [13] Klahr, D. (2002). *Exploring Science – The Cognition and Development of Discovery Processes*. The MIT Press.
- [14] Koslowski, B. (1996). *Theory and Evidence: The Development of Scientific Reasoning*. MIT Press.
- [15] Kuhn, D. (2002). What is Scientific Thinking and How Does it Develop? In U. Goswami (Hrsg.), *Blackwell Handbook of Childhood Cognitive Development* (1. Aufl., S. 497–523).
- [16] Landis, J. R., & Koch, G. G. (1977). The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. *Biometrics*, 33(1), 159–174.
- [17] Ludwig, T., & Priemer, B. (2013). Secondary School Students' Reasoning from Anomalous Data. Gehalten auf der NARST Annual International Conference, Puerto Rico.
- [18] Magnusson, S. J., & Palincsar, A. S. (2001). The interplay of first-hand and second-hand investigations to model and support the development of scientific knowledge and reasoning, in *Cognition and instruction: twenty-five years of progress* (S. 151–194), Psychology Press.
- [19] Nicolaidou, I., Kyza, E. A., Terzian, F., Hadjichambis, A., & Kafouris, D. (2011). A framework for scaffolding students' assessment of the credibility of evidence. *Journal of Research in Science Teaching*, 48(7), 711–744.
- [20] Rieh, S. Y., & Danielson, D. R. (2007). Credibility: A multidisciplinary framework. *Annual Review of Information Science and Technology*, 41(1), 307–364.
- [21] Tesch, M. (2005). *Das Experiment im Physikunterricht*. (H. Niedderer, H. Fischler, & E. Sumfleth, Hrsg.). Logos Verlag.
- [22] Wilson, P. (1983). *Second-Hand Knowledge - An Inquiry Into Cognitive Authority*. Greenwood Press.