Physikdidaktische Forschung und Entwicklung

Liebe Kolleginnen und Kollegen,

Vor einigen Jahren habe ich den Rahmen der Forschung am AECC Physik in dieser Zeitschrift vorgestellt [1]. Damals war ich frisch in Österreich und dabei, eine Forschungsgruppe für Physikdidaktik in Wien aufzubauen. Nur an wenigen Standorten gab es damals physikdidaktisch arbeitende Kollegen oder Forschungsaktivitäten. Es ist in meinen Augen wirklich bemerkenswert, wie stark sich die Landschaft hier in nur wenigen Jahren gewandelt hat: Die Universitäten Salzburg und Graz haben Assistenzprofessuren für Physikdidaktik berufen, die Universität Innsbruck hat versucht, eine Universitätsprofessur zu besetzen. Viele Pädagogische Hochschulen haben Professuren für Fachdidaktik in den Naturwissenschaften besetzt, Regionale Zentren und Arbeitsgruppen sind entstanden. Die Physikdidaktik arbeitet national gut zusammen, die Fachdidaktik insgesamt hat sich in der Österreichischen Gesellschaft für Fachdidaktik organisiert. In meinen Augen existiert in Österreich nun eine – auch international gut vernetzte – Community in der Physikdidaktik.

Das war auch bei einem Symposium der Universität Mainz zum Thema „Aktuelle Perspektiven in Fachdidaktik und Lehramtsausbildung Physik" zu beobachten: Dabei hatten „bereits etablierte Fachvertreterinnen und -vertreter aus dem gesamten deutschsprachigen Raum und vor allem auch jüngere Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler Gelegenheit [..], sich und ihre Arbeit zu präsentieren" [2]. In den zwei Tagen des Symposiums wurde ein – in meinen Augen beinahe einzigartiger – Überblick über aktuelle Forschungsgebiete der deutschsprachigen Physikdidaktik gegeben und KollegInnen aus Österreich waren prominent vertreten. Es freut mich daher ganz besonders, dass es gelungen ist, die Vortragenden der Veranstaltung dazu zu bewegen, ihre Themen auch in Plus Lucis darzustellen. Zusammen mit anderen Beiträgen bietet Ihnen das vorliegende Heft nun einen Überblick über physikdidaktische Forschung und Entwicklung. Weitere aus dem Symposium entstandene Beiträge werden in folgenden Heften abgedruckt werden. Sie finden sie bereits jetzt auf unserer Homepage.

In einem Überblicksartikel über Heterogenität im Physikunterricht beschreibt Rita Wodzinksi die fachdidaktischen Herausforderungen und Ansatzpunkte der veränderten Schule von heute. Besonders geht sie auf Diagnostizieren und Fördern und auf Differenzieren und Individualisieren ein. Wie man Physikunterricht kompetenzorientiert gestalten kann, beschreibt Josef Leisen an einem ausführlichen Beispiel. Wie da aus einem traditionellen Rechenbeispiel eine wirklich kompetenzorientierte Aufgabe wird, die verschiedene Handlungsdimensionen anspricht, finde ich bemerkenswert. Sophie Kirschner gibt einen Überblick über Forschungsarbeiten zur professionellen Kompetenz von Lehrkräften. Inzwischen hat sich hier z. B. herausgestellt, wie wichtig neben fachlichen Kompetenzen gerade das forschungsbasierte, fachdidaktische Wissen für den Unterrichtserfolg ist.

Die Entwicklung der Quantenphysik in den letzten Jahrzehnte und Wege, diese in der Schule zu unterrichten, erläutern Torsten Franz und Rainer Müller. Falls Sie noch nie bei milq oder quanth waren, sollten Sie das unbedingt nachholen! Thomas Wilhelm widmet sich den Trägheitskräften und diskutiert gründlich den Einfluss der Wahl verschiedener Bezugssysteme. Klar wird wieder einmal, dass eine Fokussierung auf die Newtonsche Sichtweise das Lernen deutlich erleichtert. Oder: Lassen Sie die „Zentrifugalkraft" einfach weg! Alexander Strahl erläutert seine Forschungsergebnisse zur Rolle der Mathematik in der Physik und formuliert einige Thesen zum Umgang mit Formeln in der Schule.

Wolfgang Hund begeisterte die TeilnehmerInnen der Fortbildungswoche 2016 mit seinen vielfältigen Zaubereien und seinen Spielzeugen. Wie man eine der Zaubereien dazu verwenden kann, um den Vorgang der Erkenntnisgewinnung im Unterricht zu bearbeiten, stellt er in seinem Beitrag kurz vor. Wussten Sie, dass Sie Unterrichtsfilme inzwischen kostenfrei und online im Unterricht verwenden dürfen? Das Ministerium hat dafür eine eigene Plattform geschaffen. Evangelia Tzoukas stellt diese Plattform vor und beschreibt einen der Filme im Angebot. Ein nettes kleines Spielzeug stellt Axel Donges am Ende des Heftes vor: Man kann offenbar gute Lautsprecher ganz ohne Membran bauen.

Viel Vergnügen bei der Lektüre!

Martin Hopf

[1] Hopf, M. (2009): Physikdidaktik als nutzerorientierte Grundlagenforschung. In Plus Lucis 1-2/2009, S. 3-8.

[2] *http://www.phmi.uni-mainz.de/9985.php* (Stand August 2016).

Heterogenität im Physikunterricht

Fachdidaktische Herausforderungen

Rita Wodzinski

Einführung

Das Erkennen dessen, wo Schülerinnen und Schüler im Lernen stehen, welche Potenziale und welche Schwierigkeiten sie in Bezug auf das Lernen haben, um sie von da ausgehend optimal zu unterstützen, ist seit jeher Kerngeschäft von Lehrkräften. Auch Heterogenität hat es schon immer in Schulklassen gegeben. Neu ist jedoch das Spektrum an Heterogenität und neu sind die Ansätze, mit denen Unterricht und moderne Schulen darauf zu reagieren versuchen. In diesem Zuge hat das Thema Diagnostizieren und Fördern an Bedeutung gewonnen. Im Kern geht es darum, der Heterogenität besser gerecht zu werden, indem man die Vielfalt der Lernenden in der Klasse als Ausgangspunkt für Unterricht wahrnimmt und den Unterricht daran ausrichtet. Dabei sind nicht nur die Unterschiede im Hinblick auf fachliche Leistungsfähigkeit gemeint, sondern auch z.B. sprachliche, soziale, kulturelle und motivationale Unterschiede.

Veränderungen im Schulwesen verstärken die Notwendigkeit der Auseinandersetzung mit Heterogenität. Neben dem traditionellen Gymnasium gibt es in vielen Bundesländern Deutschlands nur noch einen Schultyp, der als Gesamtschule für alle Schülerinnen und Schüler der Sekundarstufe I konzipiert ist[1] . An diesen Schulen werden in höherem Maß als am Gymnasium auch Kinder mit besonderem Förderbedarf unterrichtet. Die Frage des Umgangs mit der Heterogenität stellt sich hier sehr direkt. Mit den neuen Schulformen sind häufig auch neue Unterrichtsstrukturen verknüpft, die unmittelbar Auswirkungen auf den Physikunterricht haben.

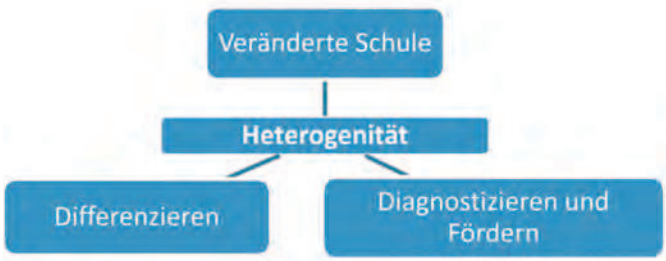


Abb. 1: Themenfelder im Zusammenhang mit Heterogenität

[1] Schularten mit drei Bildungsgängen sind Gemeinschaftsschule (Baden-Württemberg, Saarland, Sachsen-Anhalt, Schleswig-Holstein, Thüringen), Integrierte Sekundarschule (Berlin), Oberschule (Bremen, Niedersachsen), Regionale Schule (Mecklenburg-Vorpommern), Stadtteilschule (Hamburg), Sekundarschule (Nordrhein-Westfalen) (KMK, Stand 08/2014).

Prof. Dr. Rita Wodzinski leitet die Gruppe Didaktik der Physik an der Universität Kassel. E-Mail: *wodzinski@physik.uni-kassel.de*

Die Physikdidaktik hat sich Fragen der Heterogenität oder der veränderten Schulwirklichkeit bisher kaum gewidmet. Noch immer wird am Bild eines gymnasialen Physikunterrichts als Prototyp festgehalten, bei dem selbst Differenzierung kaum mitgedacht wird. Der Beitrag möchte deshalb dafür werben, sich von physikdidaktischer Seite stärker dem Physikunterricht in heterogenen Lerngruppen zu widmen und Ansatzpunkte für physikdidaktische Forschung und Entwicklung in diesem Feld aufzeigen. Die thematischen Anknüpfungspunkte dafür sind in der Abbildung skizziert.

Möglichkeiten des Umgangs mit Heterogenität

Aus allgemeinpädagogischer Perspektive lassen sich nach Weinert [1] vier Möglichkeiten unterscheiden, mit Heterogenität im Unterricht umzugehen:

1. Man kann die Unterschiede *ignorieren* und den Unterricht an einem fiktiven Durchschnittsschüler orientieren.

2. Man kann durch *äußere Differenzierung* die Passung der Schülerinnen und Schüler zu den Anforderungen des Unterrichts verbessern. Hierunter fällt die Zuweisung zu gymnasialen oder nicht-gymnasialen Schulen oder unterschiedlichen Niveaukursen. Auch das Sitzenbleiben oder das Einrichten von spezifischen Stützkursen sind Maßnahmen äußerer Differenzierung.

3. Man kann durch *innere Differenzierung* dafür sorgen, dass der Unterricht besser zu den Unterschieden der Schülerinnen und Schüler passt. Maßnahmen der inneren Differenzierung sind z.B. die Zuordnung unterschiedlicher (unterschiedlich schwieriger, unterschiedlich vieler) Lernaufgaben für unterschiedliche Schülergruppen innerhalb der Klasse oder das Gewähren von unterschiedlicher Unterstützung oder unterschiedlicher Bearbeitungszeit.

4. Oder man kann über *Individualisierung* die Förderung einzelner Schülerinnen und Schüler in den Mittelpunkt stellen.

Es ist wichtig zu betonen, dass der Übergang von der Differenzierung zur Individualisierung nicht fließend ist. Denn anders als bei der Differenzierung werden bei der Individualisierung unterschiedliche Lernziele festgelegt. Individualisierung macht sich darin bemerkbar, dass in Stillarbeitsphasen und Prüfungssituationen an unterschied-

lichen Aufgaben gearbeitet wird und unterschiedliche Maßstäbe zur Beurteilung angelegt werden. Dafür sind diagnostische Maßnahmen unumgänglich.

Veränderte Schule

Von Seiten der Bildungspolitik soll mit der Einführung neuer Schultypen ein Rahmen geboten werden, der Heterogenität konstruktiv zu begegnen. Viele dieser Schulen haben häufig die individuelle Förderung explizit im Schulkonzept verankert. Aber auch die räumlichen und schulorganisatorischen Randbedingungen von Unterricht verändern sich vor diesem Hintergrund mit. So gibt es an einigen neuen Schulen schuleigene Labore für naturwissenschaftliches Arbeiten, die Schülerinnen und Schüler in freien (d.h. schulfachunabhängigen) Lernzeiten nutzen können. Klassenraumstrukturen, in denen Schülerinnen und Schüler im Rahmen von so genannten Lernbüros an individuellen Arbeitsplätzen arbeiten können, finden zunehmend Verbreitung. Dabei verschwimmen die Fächergrenzen in projektbezogenen Unterrichtsphasen zunehmend.

Als Beispiel sei die in Österreich 2012 eingeführte Neue Mittelschule erwähnt, die seit 2015 als einziger Regelschultyp neben dem Gymnasium existiert und als Gesamtschule mit individueller Förderung konzipiert ist. Das österreichische Bundesministerium für Bildung und Frauen macht die Unterschiede zur traditionellen Schule in einer Broschüre zur Vorstellung des Schulkonzepts deutlich. Dort heißt es „Schülerinnen und Schüler werden nach ihren Interessen und Möglichkeiten gefordert und gefördert. So können alle an ihre individuellen Höchstleistungen herangeführt werden, ohne über- oder unterfordert zu sein" [2]. Bezogen auf die Unterrichtsformen wird betont: „Nicht der Frontalunterricht, sondern das gemeinsame Erarbeiten von Themen und Inhalten steht im Vordergrund. Die Jugendlichen werden zu Forscherinnen und Forschern. Ziel ist nicht die bloße Wissenswiedergabe, sondern Dinge zu verstehen und zu begreifen" [2]. Als weitere Charakteristika der Neuen Mittelschule werden hervorgehoben:

- neue, kooperative und offene Unterrichtsformen (Kleingruppenunterricht, Lehrerinnen und Lehrer unterrichten im Team),
- praxisorientierter, forschender sowie themenzentrierter Unterricht,
- fächerübergreifendes, projektorientiertes und selbsttätiges Lernen,
- Förderkurse und individuelle Förderprogramme,
- die Klassengröße ist auf 25 begrenzt.

Die hier formulierten Bedingungen bedeuten für den Physikunterricht neue Akzentsetzungen und neue Möglichkeiten. So sollten Kompetenzen im eigenständigen Forschen hier leichter umgesetzt und z.B. Themen zur Bildung für nachhaltige Entwicklung einfacher realisiert werden können. Inwieweit der systematische Wissensaufbau gelingt, wenn der Unterricht in größeren Phasen auf selbstorganisiertes Lernen setzt, ist jedoch unklar. Diese veränderten Bedingungen und deren Bedeutung für die Qualität von Physikunterricht gezielt in den Blick zu nehmen ist zweifellos Aufgabe fachdidaktischer Forschung und Entwicklung.

Diagnostizieren und Fördern im traditionellen und individualisierten Unterricht

Die Bedeutung des Diagnostizierens und Förderns ist im Kontext der neuen Schulkonzepte unmittelbar klar. Im individualisierten Unterricht werden die Lernumgebungen individuell auf die Lernenden zugeschnitten. Fördermöglichkeiten können individuell und vergleichsweise kleinschrittig eingeleitet werden.

Derzeit wird eine Intensivierung von Maßnahmen zur Diagnose und Förderung jedoch auch in Schulen gefordert, die bisher selbst mit Maßnahmen der Differenzierung wenig Erfahrung haben. So durchlaufen beispielsweise alle Referendare ein entsprechendes Modul im Rahmen des Referendariats. Wie Diagnose und individuelle Förderung im Physikunterricht konkret aussehen kann, dazu gibt es bisher vergleichsweise wenige Vorschläge (vgl. [3]). Einige der Vorschläge erscheinen aufgrund des hohen Zeit- und Materialaufwandes weniger alltagstauglich. Es ist deshalb durchaus kritisch zu hinterfragen, inwieweit die Forderung nach mehr Diagnose und mehr individueller Förderung im Physikunterricht in traditionellen Schulen überhaupt sinnvoll umgesetzt werden kann und ob damit tatsächlich eine Steigerung der Qualität von Unterricht einhergeht.

Die räumliche und personelle Ausstattung der Schulen, verbindliche Absprachen in Lehrerteams sowie eine Flexibilisierung der Stundenplanstruktur vereinfachen die Umsetzung von Maßnahmen zur Diagnose und individuellen Förderung wesentlich. In der Diskussion zum Diagnostizieren und Fördern sollten deshalb die Rahmenbedingungen für den Unterricht nicht außer Acht gelassen werden.

Im traditionellen (zweistündigen) Physikunterricht kann Diagnose dazu beitragen, den Unterricht effektiv zu differenzieren. Da Physiklehrkräfte (insbesondere am Gymnasium) sich in erster Linie als Fachlehrer verstehen, werden Lerndiagnosen vorrangig aus einer fachlichen Sicht vorgenommen. Personale Kompetenzen (Fähigkeit zur Selbststeuerung, Lernbereitschaft, Reflexionsfähigkeit etc.) sind weniger im Blick. Gerade diese Kompetenzen haben jedoch für individualisiertes Lernen eine besondere Bedeutung.

Das Thema Diagnostizieren und Fördern im Physikunterricht ist deshalb für traditionelle Schulen und Gesamtschulen unterschiedlich zu akzentuieren. Die tendenziell eher gymnasial orientierte Physikdidaktik sollte aber die Fragen einer qualitätsvollen Schulbildung für Schülerinnen und Schüler außerhalb des Gymnasiums nicht aus dem Blick verlieren.

Differenzieren und Individualisieren im Physikunterricht als Gegenstand von Forschung

Die Diskussion zur Diagnose und individuellen Förderung führt die ältere Diskussion zur Differenzierung fort [4]. Zur Differenzierung im Physikunterricht liegen einige (wenige) Forschungsergebnisse vor [5].

Insgesamt zeigt sich, dass Differenzierung am Gymnasium seltener vorkommt als an anderen Schulen und in Mathematik häufiger praktiziert wird als in den naturwissenschaftlichen Fächern [6, 7, 8]. Dies deckt sich mit dem unterschiedlichen Umfang der Unterrichtsphasen, in denen Schülerinnen und Schüler eigenständig arbeiten. In der IPN-Videostudie wurden am Gymnasium etwa 15% der Physikunterrichtszeit als Schülerarbeitsphasen erfasst, während der Anteil an der Realschule 28% betrug [6]. Im Mathematikunterricht sind die prozentualen Anteile etwa doppelt so hoch. Bezogen auf die Formen der Differenzierung werden Aufgaben mit unterschiedlichem Schwierigkeitsgrad eher selten eingesetzt. Stattdessen sind häufiger Formen anzutreffen, die mit weniger Vorbereitungs- und Materialaufwand auf Seiten der Lehrkräfte durchgeführt werden können, nämlich die gezielte Unterstützung von lernschwachen Schülerinnen und Schülern, die Gewährung von unterschiedlich viel Bearbeitungszeit (Tempodifferenzierung) und das Angebot von Zusatzaufgaben für Leistungsstarke [9, 10, 8].

Im Hinblick auf die Wirkung von differenzierenden Maßnahmen im naturwissenschaftlichen Unterricht ist die Studie von Gruehn [7] interessant. Sie konnte anhand von Längsschnittdaten der BIJU -Studie[2] zeigen, dass der Lernzuwachs in Mathematik, Physik und Biologie in der 7. Jahrgangsstufe negativ mit dem von den Schülerinnen und Schülern wahrgenommenen Ausmaß an Differenzierung korreliert, und zwar unabhängig von der Schulform. (Die Daten wurden im Schuljahr 1991/92 erhoben.) Sie erklärt dies damit, dass für Differenzierung Unterrichtszeit beansprucht wird, die an anderer Stelle fehlt. Helmke [11] wertet die Ergebnisse in einer Rezension als Warnung: *„Angesichts der dominierenden Rolle, die Fragen der ‚Individualisierung' und 'Leistungsdifferenzierung' nach PISA 2000 spielen, sowohl innerhalb der KMK als auch in der wissenschaftlichen Diskussion, sollte diesen Ergebnissen der BIJU-Studie, die auf mögliche Sackgassen der Binnendifferenzierung hinweisen, große Aufmerksamkeit geschenkt werden"* [11].

Auch im Hinblick auf Individualisierung findet man ähnliche kritische Stimmen:
„Mit Blick auf die Wirksamkeit (von Individualisierung) kann schlicht und pointiert gefragt werden, ob der Zeitaufwand leistbar und angemessen ist oder ob sie (die Schülerinnen und Schüler) sich im Dienste einer hohen aktiven Lernzeit nicht eher mit fachbezogenen Aufgaben beschäftigen sollten statt mit der Verwaltung und Organisation von Kompetenzplänen. Andererseits kann eine sehr genaue Passung den individuellen Fortschritt in hohem Maße unterstützen" [12].

[1] "Bildungsverläufe und psychosoziale Entwicklung im Jugendalter": Studie am Max-Planck-Institut für Bildungsforschung (Berlin) in den 1990er Jahren

Ganz offensichtlich kommt es nicht darauf an, dass im Unterricht differenziert wird, sondern **wie** differenziert wird und inwiefern der Unterricht insgesamt qualitätsvoll ist (vgl. [13, 17]). Hier öffnet sich noch ein weites Feld für fachdidaktische Forschung und Entwicklung

Ansätze für die Weiterentwicklung von Unterricht und Lehrerbildung

Aus der fachdidaktischen und pädagogischen Forschung lassen sich Hinweise ableiten, unter welchen Bedingungen Differenzierung und Individualisierung gelingen kann.

Auf Seiten der Lehrkraft setzt Differenzierung und Individualisierung voraus, dass Lehrkräfte die Lernprozesse der Schülerinnen und Schüler im Blick haben. Dass dies nur in begrenztem Maß der Fall ist, zeigt die Studie von Kobarg [14]. Lehrkräfte müssen darüber hinaus diagnostische Kompetenzen besitzen, um Schwierigkeiten im Lernprozess vorherzusagen bzw. zu erkennen. Wie unterschiedlich ausgeprägt diese Kompetenz ist, zeigt beispielsweise eine Studie von Draude [15]. Physikdidaktische Studien zur Förderung diagnostischer Kompetenz von Lehrkräften fehlen bisher.

Um geeignet im Unterricht reagieren zu können, müssen Lehrkräfte über ein Repertoire an Maßnahmen verfügen, um den Unterricht den Bedingungen der Schülerinnen und Schüler anzupassen (vgl. [16, 14]). Auch das Geben passender und lernförderlicher Rückmeldungen zum Lernprozess scheint ein zentrales Element zu sein.

Gelingende Differenzierung und Individualisierung liegt aber nicht allein in der Verantwortung der Lehrkräfte. Im Optimalfall übernehmen Schülerinnen und Schüler Verantwortung für ihr Lernen. Auf Seiten der Schülerinnen und Schüler setzt gelingende Differenzierung deshalb Lernbereitschaft und Fähigkeit zur Selbststeuerung voraus, um Phasen selbständigen Arbeitens optimal zu nutzen. Dazu gehört auch die Fähigkeit, Lerndefizite zu erkennen und Unterstützung ggf. einzufordern.

Herausforderungen für die Fachdidaktik

Die Physikdidaktik hat sich bisher mit Fragen der Heterogenität wenig befasst. Insbesondere hat sie auf die Veränderungen im Schulwesen noch kaum reagiert. Die Frage des angemessenen Umgangs mit Heterogenität im Physikunterricht verlangt zwar vorrangig pädagogische und allgemeindidaktische, aber auch fachdidaktische Blickrichtungen.

Zusammenfassend sind einige Themenaspekte benannt, die aus physikdidaktischer Sicht bedeutsam sind:

Mit Blick auf Lehrkräfte

- Analyse gängiger Praktiken des Differenzierens, Diagnostizierens und Förderns im Physikunterricht (im traditionellen wie im Gesamtschulunterricht)

- Beiträge zur Weiterentwicklung physikspezifischer Diagnose- und Förderkompetenz von Lehrkräften

Mit Blick auf Schülerinnen und Schüler

- Analyse von Lernhürden und Schwierigkeiten beim selbständigen Lernen im Physikunterricht

- Entwicklung und Erprobung von Maßnahmen zur Stärkung von Selbststeuerungskompetenzen im Physikunterricht

Mit Blick auf den Unterricht

- Entwicklung und Evaluation praktikabler Formen der Differenzierung, Diagnose und Förderung. Hier scheinen insbesondere selbstdifferenzierende Lernumgebungen aussichtsreich.

- Entwicklung von Förderkonzepten beim selbständigen Forschen im naturwissenschaftlichen Unterricht

- Untersuchung zu Motivation und Interesse an Physik im individualisierten Unterricht

Literatur

[1] Weinert, F. E. (1997): Notwendige Methodenvielfalt: Unterschiedliche Lernfähigkeiten der Schüler erfordern variable Unterrichtsmethoden des Lehrers. In Friedrich-Jahresheft. Lernmethoden – Lehrmethoden – Wege zur Selbständigkeit. Seelze: Friedrich-Verlag.

[2] BMBF (2011): Die Neue Mittelschule: Qualität im Lernen um Lehren. Download unter *https://www.edugroup.at/fileadmin/DAM/Innovation/Schulentwicklung/Dateien/Qualitaet_im_Lernen_und_Lehren.pdf*

[3] Höttecke, D., Struck, Y., Wodzinski, R. (2015): Themenheft „Diagnostizieren und Fördern". Unterricht Physik Nr. 147/148. Seelze: Friedrich-Verlag.

[4] Wodzinski, R., Wodzinski, C. T. , Hepp, R. (Hrsg.) (2007): Themenheft „Differenzierung im Physikunterricht". Unterricht Physik Nr. 99/100. Seelze: Friedrich-Verlag.

[5] Wodzinski, R. (2015): Leistungsheterogenität im naturwissenschaftlichen Unterricht – methodische Ansätze und empirische Befunde. In Bernhold, S. (Hrsg.): Heterogenität und Diversität – Vielfalt der Voraussetzungen im naturwissenschaftlichen Unterricht. Jahrestagung der Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik 2014 in Bremen. Kiel: IPN.

[6] Seidel, T., Prenzel, M., Rimmele, R., Herweg, C., Kobarg, M., Schwindt, K., Dalehefte, I.M. (2007): Science teaching and learning in German physics classrooms. Findings from the IPN Video Study. In: Prenzel, M. (Hrsg.): Studies on the educational quality of schools. The final report on the DFG Priority Programme. Münster: Waxmann.

[7] Gruehn, S. (2000): Unterricht und schulisches Lernen: Schüler als Quellen der Unterrichtsbeschreibung. Münster: Waxmann.

[8] Mayr, J., Müller, F. H., Sturm, T. (2010): Skalenbericht zum Themenbereich Differenzierung und Individualisierung. In: Schwantner, U., Schreiner, C. (Hrsg.): PISA 2009. Internationaler Vergleich von Schülerleistungen. Technischer Bericht. Salzburg: BIFIE.

[9] Bruggmann-Minnig, M. (2011): Innere Differenzierung im Physikunterricht. Eine multimethodische Analyse von Lehr-Lern-Überzeugungen und unterrichtlichem Handeln. Basel: Universität Basel.

[10] Solzbacher, C. (2009): Positionen von Lehrerinnen und Lehrern zur individuellen Förderung in der Sekundarstufe I – Ergebnisse einer empirischen Untersuchung. In: Kunze, I. & Solzbacher, C. (Hrsg.): Individuelle Förderung in der Sekundarstufe I und II. 2. Aufl. Baltmannsweiler: Schneider-Verlag.

[11] Helmke, A. (2003): Buchbesprechungen: Sabine Gruehn: Unterricht und schulisches Lernen. Schüler als Quellen der Unterrichtsbeschreibung. Münster: Waxmann. Zeitschrift für Pädagogik, 3 (49), 443–447.

[12] Bohl, T., Batzel, A., Richey, P. (2012): Öffnung-Differenzierung-Individualisierung-Adaptivität. Charakteristika, didaktische Implikationen und Forschungsbefunde verwandter Unterrichtkonzepte zum Umgang mit Heterogenität. In: Bohl, T., Bönsch, M., Trautmann, M., Wischer, B. (Hrsg.): Binnendifferenzierung Teil 1: Didaktische Grundlagen und Forschungsergebnisse zur Binnendifferenzierung im Unterricht. Immenhausen bei Kassel: Prolog.

[13] Tomlinson, C. A., Brighton, C., Hertberg, H., Callahan, C. M., Moon, T. R., Brimijoin, K., Conover, L. A., Reynolds, T. (2003): Differentiating Instruction in Response to Student Readiness, Interest, and Learning Profile in Academically Diverse Classrooms: A Review of Literature. Journal for the Education of the Gifted, 27 (2–3), 119–145.

[14] Kobarg, M. (2009): Unterstützung unterrichtlicher Lernprozesse aus zwei Perspektiven. Eine Gegenüberstellung. Münster: Waxmann.

[15] Draude, M., Wodzinski, R. (2014): Diagnosekompetenz von Physiklehrkräften beim Schülerexperimentieren. In S. Bernholt (Hrsg.), Heterogenität und Diversität – Vielfalt der Voraussetzungen im Naturwissenschaftlichen Unterricht. GDCP – Jahrestagung Bremen 2014, 307–309. Kiel: IPN

[16] Kobarg, M. & Seidel, T. (2007): Prozessorientierte Lernbegleitung – Videoanalysen im Physikunterricht der Sekundarstufe I. Unterrichtswissenschaft, 35 (2), 148–168.

[17] Helmke, A. (2010): Unterrichtsqualität und Lehrerprofessionalität. Diagnose, Evaluation und Verbesserung des Unterrichts. Seelze: Klett-Kallmeyer.

Kompetenzorientierung in Lehramts-ausbildung und Physikunterricht

Josef Leisen

Zusammenfassung

Aufgabenstellungen sind fundamental für die Kompetenzentwicklung und für jedwedes Lernen, sei es physikalisches Lernen bei Schülerinnen und Schülern oder sei es fachdidaktisches Lernen bei Studierenden und Referendaren. An einem konkreten Beispiel aus der Elektrizitätslehre wird gezeigt, wie kompetenzorientierte Lernaufgaben für Schüler und Schülerinnen gestaltet werden und zu Lernprodukten führen, an denen der Kompetenzstand diagnostiziert und rückgemeldet werden kann. An der Aufgabe wird die Frage nach dem didaktischen Verhältnis von Kompetenzen und Kontexten erörtert. Aus der Lernaufgabe und den Lernprodukten werden fachdidaktische Ausbildungsaufgaben für Studierende und Referendare im Fach Physik entwickelt. Eine Ausbildungsaufgabe ist eine Aufgabe aus dem Lernraum der Studierenden bzw. der Referendare zum Zwecke der beruflichen Kompetenzentwicklung. Es werden immer auswertbare fachdidaktische Lernprodukte erstellt, an denen der Kompetenzstand diagnostiziert und rückgemeldet werden kann. Abschließend wird gezeigt, wie Ausbildungsaufgaben in fachdidaktische Seminare integriert werden.

Kompetenzorientierung auf verschiedenen Ebenen

Im Folgenden werden Aufgaben vorgestellt und beschrieben, die auf verschiedenen Ebenen liegen.

Lernaufgaben auf der **Lernerebene** dienen dem Lernen und der Kompetenzentwicklung im Fach. Dazu müssen diese Aufgaben eine lernpsychologisch stimmige Schrittfolge beachten und gleichzeitig die Kompetenzentwicklung in der Breite und in der Tiefe passend abdecken.

Prof. Josef Leisen hat an der Universität Mainz Physikdidaktik gelehrt.
E-Mail: *Leisen@josefleisen.de*

Ausbildungsaufgaben auf der **Studierendenebene** sind Lernaufgaben für Studierende, mit denen diese zum einen ihre fachdidaktische Kompetenz erwerben und entwickeln und zum anderen lernen, selbst kompetenzorientierte Lernaufgaben für den Physikunterricht zu entwickeln.

Auf der **Ausbildungsebene** bilden Ausbilder in der Fachdidaktik für das kompetenzorientierte fachdidaktische Lernen aus. Dies kann erfolgen mit fachdidaktischen Ausbildungsaufgaben, die Ausbilder zu diesem Zwecke entwickeln und gestalten. Im Sinne des Modelllernens bilden die fachdidaktischen Ausbildungsaufgaben das Modell für die Lernaufgaben für Schülerinnen und Schüler.

Eine kompetenzorientierte Lernaufgabe

Die folgende Aufgabe (VOGT, 2011) zum Unterricht in der Klassenstufe 9 im Bereich Elektrizitätslehre bezieht sich auf einen Wasserkocher mit dem Datenblatt aus dem Internet. Das authentische Lernmaterial dient nach Kuhn der materialen Situierung (KUHN u.a., 2010).

Artikel	**Wasserkocher**
Artikel-Nr. EAN.Nr.	**WK 3314 / schwarz-silber** 4008146331404
Abmessungen	245 mm (B) 235 mm (H) 187 mm (T)
Beschreibung	• leistungsstarker, abnehmbarer Wasserkocher • beidseitige, transparente Wasserstandanzeige • Beheizung ca. 3000W • Kochzeit für 1 Liter Wasser ca. 2,5 Min. • Inhalt bis 1,7 Liter • durch Edelstahlplatte verdecktes Heizelement • kabellos durch separaten Gerätesockel • Überhitzungsschutz • Dampfstopp-Automatik • Ein- und Ausschalter • Kontrolleuchte • Ausgusszotte mit Sieb zur sicheren Handhabung • Deckel mit Sicherheitsverschluss • 360° centra-cordless-system – aus jeder Richtung auf den Gerätesockel aufsetzbar • rutschfeste Gummifüße • Kabelaufwicklung

Abb. 1: Datenblatt

Aufgabe A1

1. Berechne die Zeit, um 1 Liter Wasser mit 3000 W zum Sieden zu bringen. Vergleiche mit den Angaben auf dem Datenblatt.
2. Berechne die elektrische Stromstärke und den elektrischen Widerstand des Wasserkochers.
3. Bestimme experimentell die Effektivleistung und berechne den Wirkungsgrad des Wasserkochers.
4. Berechne die Energiekosten, um 1 Liter Wasser zum Sieden zu bringen bei einem Kilowattstundenpreis von 20 Cent.

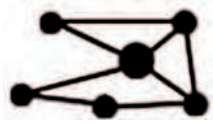
So attraktiv diese Aufgabe auf den ersten Blick ist, so ist sie – abgesehen vom attraktiven experimentellen Teil in Teilaufgabe 3 – eine "Berechnungsaufgabe". Nachfolgend ist die Aufgabe in die Sprache der "Gegeben-Gesucht-Aufgaben" des Jahres 1975 überführt.

Aufgabe A2

Gegeben ist ein elektrischer Widerstand mit einer elektrischen Leistung von 3000 W bei der Spannung 230 V.

1. Berechne die elektrische Stromstärke I und den elektrischen Widerstand R.
2. Berechne die Zeit, um 1 Liter Wasser mit der Leistung 3000 W zum Sieden zu bringen.
3. Wie würde man die Effektivleistung bestimmen, wenn der Widerstand ein Tauchsieder wäre? Berechne den Wirkungsgrad η, wenn die Effektivleistung 2500 W beträgt.
4. Berechne in 2. die Energiekosten bei einem kWh-Preis von 20 Pfennig.

Eine Einordnung der Aufgabe in die Kompetenzmatrix der Nationalen Bildungsstandards zeigt, dass im wesentlichen der Kompetenzbereich "Fachwissen" und im Aufgabenteil 3 der Kompetenzbereich "Erkenntnisgewinnung" angesprochen werden.

		Kompetenzbereiche (Naturwissenschaften)			
		Fachwissen	Erkenntnis-gewinnung	Kommunikation	Bewertung
					
Anforderungsbereiche	I	Fakten und einfache Sachverhalte wiedergeben	Fachmethoden nachvollziehen	einfache Sachverhalte in vorgegebenen Formen darstellen	Auswirkungen fachlicher Erkenntnisse benennen
	II	Wissen in einfachen Kontexten anwenden	vorgegebene Fachmethoden nutzen	vorgegebene Kommunikationsformen situations- und adressatengerecht einsetzen	fachliche Erkenntnisse, Standpunkte und Lösungsvorschläge bewerten
	III	Wissen auf teilweise unbekannte Kontexte anwenden	Fachmethoden kombiniert und problembezogen auswählen und nutzen	Kommunikationsformen situations- und adressatengerecht auswählen und einsetzen	fachliche Erkenntnisse, Standpunkte und Lösungsvorschläge multiperspektivisch bewerten

Tab. 1: Kompetenzmatrix

Setzt man sich zum Ziel, auch die Kompetenzbereiche "Kommunikation" und "Bewertung" auszubauen, gehe man von der Frage aus: Welche Lernprodukte können die Lerner kompetenzfördernd erstellen?
Somit ist eine sinnstiftende Lernumgebung zu gestalten, die curriculare Vorgaben berücksichtigt, fachlich und fachdidaktisch relevante Kompetenzen entwickelt, die Lernvoraussetzungen beachtet, die methodisch herausfordernd und ansprechend ist mit einer lernpsychologisch wirksamen Lernschrittfolge.

Zuerst ist zu klären, was fachlich ansteht, nämlich die Stromkreisgesetze (vgl. Abb. 3). Gemäß den Lernvoraussetzungen sind die ersten vier Gesetze bekannt und geübt. Die letzten beiden Gesetze sind für die Lerner neu und sollen in der Lernaufgabe neu gelernt und angewendet werden. Folglich ist zu überlegen, wie das neue Wissen methodisch einspeist werden kann, über einen Lehrervortrag, einen Text, eine Materialbox, eine elektronische Präsentation, eine Expertenrunde, ...

Die Lernprozessorientierung fordert, die Lernschritte nicht entlang der Sachlogik der Stromkreisgesetze zu konzipieren, sondern als Lernschritte entlang der zu entwickelnden Kompetenzen. Dann rückt folgende Frage ins Zentrum: welche Lernprodukte können und sollen die Lerner erstellen, um die intendierten Kompetenzen zu entwickeln? Hier muss konsequent kompetenzorientiert und aus der Lernerperspektive heraus gedacht werden. Handlungsleitend ist die folgende Grundüberzeugung.

*Kompetenzen werden nicht unterrichtet, sondern in Handlungen und in unterrichtlichen Anforderungssituationen **an** fachlichen Inhalten **mit** und **durch** Aufgaben erworben. Kompetenzerwerb gibt es nur mit und an Inhalten!*

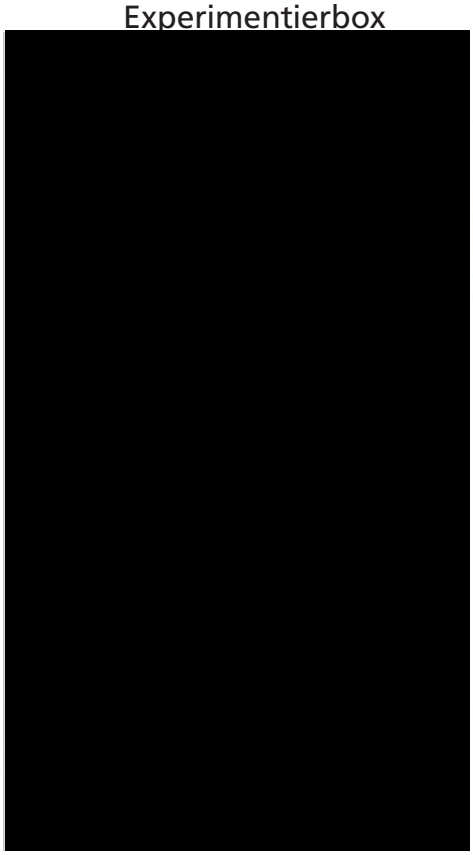
Die Lernenden müssen demnach mit Aufgaben und geeignetem Material zum handelnden Umgang mit den Stromkreisgesetzen am Wasserkocher gebracht werden. Im handelnden Umgang entstehen Lernprodukte. Was aber sind geeignete Lernprodukte im Zusammenhang mit den Stromkreisgesetzen am Wasserkocher zur Förderung der Kompetenzen "Fachwissen", "Erkenntnisgewinnung", "Kommunikation" und "Bewertung"?

Aufgabe B

1. Markiere im Datenblatt die Informationen zur Physik in blau und die zum Komfort in rot.
2. Ihr seid bei "Stiftung Warentest". Überprüft, ob die physikalischen Daten korrekt sind und erstellt einen Prüfbericht. Nutzt die Materialbox und die Hilfen.
3. Schreibe einen Testbericht für www.testberichte.de und vergleiche bewertend deinen Testbericht mit dem folgenden.
4. Ein Kunde fragt: "Kann ich den auch in den USA mit 115 V nutzen. Muss ich dann länger warten?"

Abb. 2: Aufgabenstellung

Experimentierbox



Wissensbox

Das Typenschild zeigt eine Leistung $P = 1800$ W.

Bestimme die Effektivleistung P_{eff}:
Erhitze 1 Liter Wasser um eine Temperaturdifferenz ΔT und berechne die Wärmeenergie.

Messe die Zeit t und berechne die Effektivleistung.

Suche Gründe für den Unterschied und erkläre dir den Begriff Wirkungsgrad.

Stromkreisgesetze

1. Elektrischer Widerstand: $R = U/I$
2. Elektrische Leistung: $P = U \cdot I$
3. Elektrische Energie: $E = P \cdot t$
4. Wärmeenergie: $E = c \cdot m \cdot \Delta T$
5. Effektivleistung: $P_{eff} = E/t$
6. Wirkungsgrad: $\eta = P_{eff}/P$

Abb. 3: Materialbox

Hilfe 1

Die Energie, die dem Wasser gegeben wird, kann berechnet werden mit: $\Delta E = c \cdot m \cdot \Delta T$

Hilfe 2

Die Zeit zum Erwärmen folgt aus der Definition für die Leistung: $P = E/t$

Hilfe 3

Die elektrische Leistung wird berechnet mit: $P = U \cdot I$ und der Widerstand mit $R = U/I$

Hilfe 4

Die Effektivleistung ist der Quotient aus der aufgenommenen Wärmeenergie und der Zeit.

Hilfe 5

Umrechnung:
1 kWs = 1/3600 kWh

Hilfe 6

Experiment: Zeit zwischen Ausgangstemperatur und Endtemperatur messen

Abb. 4: Hilfekarten (nach Vogt, 2011, S. 34)

Testbericht "Severin WK 3314": Ohne langes Warten

Der Severin WK 3314 erspart einem langes Warten, denn der Wasserkocher bringt Wasser innerhalb kurzer Zeit zum Kochen. Dafür arbeitet der Severin mit 3000 Watt, die laut Hersteller einen Liter in 2,5 Minuten zum Blubbern bringen. Für eine angenehme Handhabung ist das kabellose Gerät mit einem Zentralkontakt versehen. So kann der Kocher aus allen Richtungen auf den Sockel gesetzt werden. Damit der Kocher stabil steht und nicht verrutscht, steht der Sockel auf Gummifüßen. Der Deckel ist per Knopfdruck zu öffnen, was eine Einhandbedienung ermöglicht. Insgesamt passen 1,7 Liter in den WK 3314. Eine Mindestmenge wird an der Skala nicht angezeigt. Da die Skala erst bei 800 ml beginnt, könnte man vermuten, dass das auch die Mindestfüllmenge ist. Zum Bereiten von nur einer Tasse Tee ist der Kocher demnach weniger geeignet. Ebenfalls von Nutzern bemängelt wurde der Ausguss, der etwas zu groß geraten ist, so dass es gerade bei kleinen Gefäßen zu Kleckereien kommen kann.

http://www.testberichte.de/p/severin-tests/wk-3314-testbericht.html

Abb. 5: Testbericht

Erläuterungen zur Aufgabe B

Die Teilaufgaben sind so konzipiert, dass Lernprodukte im handelnden Umgang entstehen.

Zu Teilaufgabe B1: Als Vorübung, damit Lerner sich mit dem Datenblatt vertraut machen und in die Lesart hineinfinden, kategorisieren und markieren sie die angegebenen Daten in solche, die der Physik bzw. dem Komfort zugehörig sind.

Zu Teilaufgabe B2: Ausgehend vom Aufgabenteil 3 in Aufgabe A1 erstellen die Lerner einen "Prüfbericht" (Lernprodukt), in dem sie überprüfen, ob die im Datenblatt angegebenen Daten korrekt sind. Die Lerner müssen dazu experimentieren, bekannte Stromkreisgesetze anwenden, sich neue erarbeiten und einen bewertenden Bericht erstellen. Damit sind die Kompetenzbereiche "Fachwissen", "Erkenntnisgewinnung" und "innerfachliche Bewertung" abgedeckt. Außerdem werden diese Lernprodukte kooperativ in der Sozialform Gruppenarbeit erstellt und sie sind diskursiv verhandelbar, weil eine gewisse Vielfalt entsteht.

Zur Erstellung dieses Lernproduktes benötigen sie Lernmaterialien. Die Materialbox (Abb. 3) enthält neben den Experimentiermaterialien eine Liste mit den Stromkreisgesetzen und eine Wissensbox mit dem neuen Wissen (Effektivleistung, Wirkungsgrad).

Die Aufgabenstellung mag für manche Lerner zu anspruchsvoll sein, sie dürfen auf Hilfekarten (Abb. 4) zurückgreifen.

Zu Teilaufgabe B3: Um den Kompetenzbereich "Kommunikation" anhand des Wasserkochers zu entwickeln, wird ein weiteres Lernprodukt, nämlich ein "Testbericht" erstellt. Das Format "Prüfbericht" ist faktenbezogen, kühl und sachlich zu halten, wie z.B. ein TÜV-Bericht, geht es doch um die Überprüfung der Korrektheit angegebener Daten. Der Adressat ist ein Fachkundiger. Ein "Testbericht" hingegen richtet sich an den Laien und zielt auf den Rat zum Kauf oder Nichtkauf des Gerätes. Er ist wertend und empfehlend und der Stil ist individuell. Trotzdem müssen die Behauptungen und Fakten durch Argumente oder Experimente begründet sein.

Testbericht

*Leider konnte uns das Model nicht überzeugen, da das Wasser erst bei 6 min anfing zu kochen. Das ist 3,5 min später als angegeben. Auch vom Design her kann er keine Pluspunkte sammeln. Nach ca. 3 min breitete sich ein unangenehmer Geruch um ihn herum aus. Auch die technischen Bedingungen mit 1010 Watt * und 220-240 Volt lassen zu wünschen übrig. Insgesamt gesehen, hält er nicht was er verspricht und kann deshalb unseren Test nicht bestehen. Wir empfehlen darum nicht zu einem Kauf. Ergebnis: durchgefallen.*

** Eig. sollte er 1010 Watt haben, doch aufgrund des fortgeschrittenen Alters oder mangelnder Leistung hat er nur 861 Watt.*

Abb. 6: Wörtlich transkribierter Testbericht einer Schülergruppe

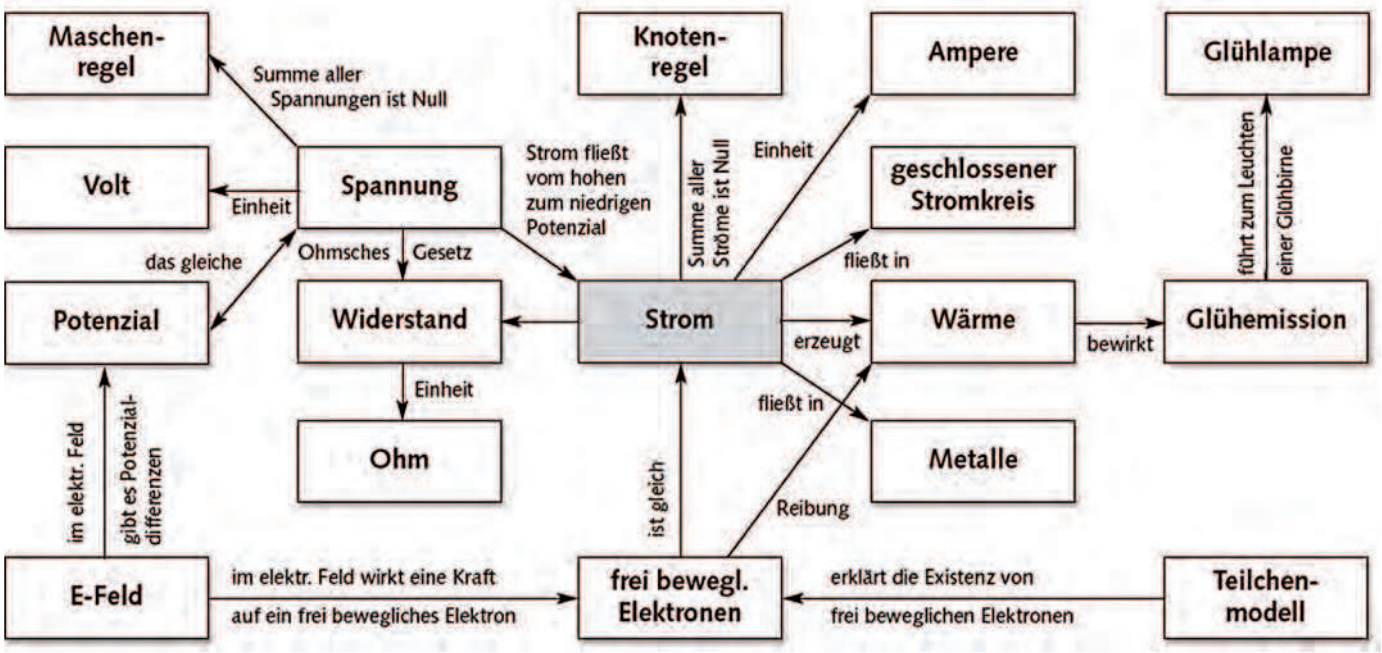


Abb. 7: Begriffsnetz zum elektrischen Stromkreis

Zu Teilaufgabe B4: In einer kleinen Transferaufgabe werden das Fachwissen und die Kompetenzen gesichert und transferiert. Die Festigung erfolgt durch Verortung der "neuen Stromkreisgesetze" im unterrichtsbegleitenden Begriffsnetz zur Elektrizitätslehre (Abb. 7).

Eine Aufgabenstellung für eine komplette Lernumgebung muss die lernpsychologisch stimmige Lernschrittfolge widerspiegeln. Diese Lernschrittfolge ist an anderer Stelle (LEISEN, 2011, S. 8) ausführlich beschrieben (Abb. 8).

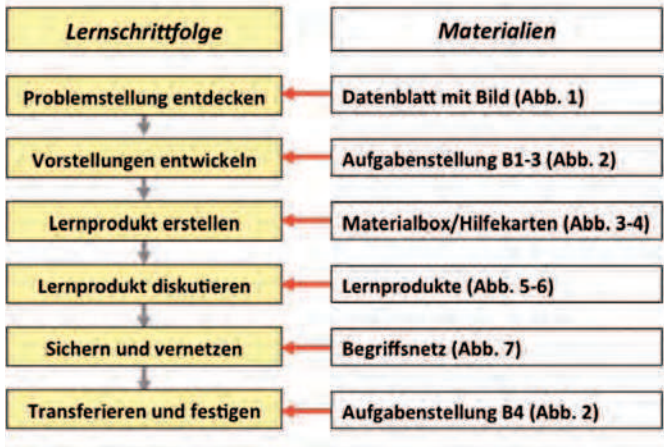


Abb. 8: Lernschrittfolge

Die beiden Aufgabenstellungen A und B zeigen deutliche Unterschiede.

Aufgabenstellung A	Aufgabenstellung B
• der Wasserkocher dient als Aufhänger zur Anwendung von Formeln • zielt direkt und fast ausschließlich auf die Berechnung anhand der Formeln ab, zzgl. einer experimentellen Bestimmung • gibt keine Hilfen • zeitsparend	• der Wasserkocher wird in den Kontext elektrischer Alltagsgeräte gestellt • zielt auf Erkenntnisgewinnung, die adressatengerechte Kommunikation und Bewertung ab • gibt Hilfen (Hilfekarten, Materialbox) • die Lerner werden in den handelnden Umgang mit Wissen gebracht • zeitaufwändig

Kompetenzorientierung muss schon in der Aufgabenstellung angelegt sein und darf nicht bloß als Nebeneffekt erhofft werden. Die Aufgabenstellung mit Hilfen und Materialien führt zu vielfältigen Lernprodukten. Diese unterschiedlichen Lernprodukte werden in der Lerngruppe diskutiert und verhandelt. In der Unterschiedlichkeit liegt ein didaktischer Mehrwert, der lernwirksam genutzt werden kann. Das Gelernte wird in einer neuen Schleife durchdacht, kommuniziert und damit gesichert. Andere Sehweisen und Akzentuierungen schärfen aus. Anhand dieser Lernprodukte kann die Lehrkraft den Kompetenzstand diagnostizieren und rückmelden (vgl. auch LEISEN, 2010).

Der Kompetenzbegriff und das didaktische Verhältnis von Kompetenzen und Kontexten

Die Diskussion um Kompetenzen ist keineswegs neu, sondern hat eine lange Tradition, wenngleich es eine deutliche Akzentverschiebung gibt: Kompetenzen müssen durch Handeln auch unter Beweis gestellt werden (Performanz). Die Referenzdefinition, die in den deutschsprachigen Veröffentlichungen zitiert wird, stammt von Weinert (WEINERT, 2001): Kompetenzen sind "die bei Individuen verfügbaren oder durch sie erlernbaren kognitiven Fähigkeiten und Fertigkeiten, um bestimmte Probleme zu lösen, sowie die damit verbundenen motivationalen, volitionalen (d. h. absichts- und willensbezogenen) und sozialen Bereitschaften und Fähigkeiten, um die Problemlösungen in variablen Situationen erfolgreich und verantwortungsvoll nutzen zu können."

Die Definition verdeutlicht, dass Kompetenz ein Gefüge und etwas Komplexes ist. Was unterscheidet die Kompetenzen von den vertrauten Lernzielen? Lernziele setzt die Lehrkraft, über Kompetenzen verfügen die Lerner. Lehrkräfte können Ziele erreichen, Lerner können Kompetenzen entwickeln und Lehrkräfte können die Entwicklung fördern.

Die obige Definition ist für die Verwendung im Schulalltag recht voluminös und kann in einem ersten Schritt handlicher formuliert werden: *Kompetenzen sind verfügbare Fertigkeiten und Fähigkeiten, bestimmte Probleme zu lösen und die Problemlösungen in variablen Situationen erfolgreich nutzen zu können und zu wollen.*

Eine noch handlichere Formulierung ist die Kurzformel: **Kompetenz = (willentlich) handelnder Umgang mit Wissen und Werten**. In dieser Definition wird deutlich, dass Kompetenz immer auch die Performanz (das Tun und Handeln) mit einschließt. Man muss es nicht nur können, man muss es auch zeigen. Das Zeigen geschieht ebenso wie das Erlernen im Handeln. Kompetenzen werden durch Handeln und im Handeln sichtbar. Aber man muss es auch wollen. Motivation, Interesse, Einstellungen, Verantwortungsbewusstsein, Lernwille, also die in der Definition von Weinert genannten motivationalen, volitionalen und sozialen Bereitschaften und Fähigkeiten werden jedoch nur bedingt im Handeln, wenn überhaupt, sichtbar.

Kurzformulierungen:

- Kompetenz schließt die Performanz mit ein
- Kompetenz = Wissen + (Wollen) + Handeln
- Kompetenz = handelnder Umgang mit Wissen und Werten
- Kompetenzen werden im Handeln gelernt und im Handeln gezeigt

Kompetenzen werden erworben und nachgewiesen, wenn die Lerner authentische Anforderungssituationen bewältigen müssen. *"Die Verknüpfung von Wissen und Können darf also nicht auf Situationen ‚jenseits der Schule' verschoben werden. Vielmehr ist bereits beim Wissenserwerb die Vielfalt möglicher Anwendungssituationen mit zu bedenken."* (KLIEME 2003, S. 79) Es werden Lernumgebungen gestaltet, welche die Lernenden in eine intensive, aktive, selbst gesteuerte kooperative Auseinandersetzung mit dem Lerngegenstand bringen. Das sind die idealen Lernsituationen.

Kompetenzen werden im handelnden Umgang mit Wissen erworben und zeigen sich im handelnden Umgang mit Wissen. Dieses Wissen umfasst das Fachwissen, aber auch das Methoden- und Strategiewissen, z.B. induktive, deduktive, experimentelle, ... Verfahren. Das Handeln umfasst auch das Sprachhandeln (vgl. LEISEN, 2005, 2013) in sprachlichen Standardsituationen, z.B. etwas (Gegenstand, Experiment, Prozess, Sachverhalt, Verfahren ...) darstellen und beschreiben, Darstellungsformen (Tabelle, Graph, Diagramm, Formel, Karte, Skizze, Bild ...) verbalisieren oder physiktypische Sprachstrukturen anwenden.

Der Zusammenhang von Kompetenzen und Kontexten

Die Kompetenzentwicklung ist nicht an Kontexte gebunden, diese begünstigen jedoch die Kompetenzentwicklung. Sinnstiftendes Lernen ist nachhaltiger und kann auf verschiedenen Wegen erfolgen. Ein in der Literatur immer wieder genannter Weg ist die Einbettung der Lerngegenstände in Kontexte, also die Kontextualisierung. Hinsichtlich der Wirksamkeit kontextorientierter und situierter Lernumgebungen gibt es noch einen Forschungsbedarf. "Trotz zahlreicher Analysen kann kein kohärenter empirischer Befund angeführt werden, der eine Überlegenheit eines Ansatzes aus dem Theorierahmen des Situierten Lernens gegenüber anderen Formen des Lehrens und Lernens aufweist." (KUHN, 2010, S. 18)

Kontextorientiertes Lernen erfolgt in folgenden Lernschritten:

1. Die Lernenden entdecken und entfalten die Problemstellung (Fragestellung, Thema, Aufgabe, Relevanz, ...) an Sachverhalten, die in einen Kontext eingebunden sind.
2. Die Lerner entwickeln Hypothesen, Deutungsansätze, Bearbeitungsideen und individuelle Vorstellungen zur Problemstellung. Dazu werden auch Vorerfahrungen, Vorwissen, Meinungen, Einstellungen etc. eingebracht. Die Vorstellungen entfalten sich am und im Kontext.
3. Zusätzlich zum "alten Wissen" brauchen Lerner "neues Wissen". Sie brauchen Informationen, Daten, Erfahrungen, Anstöße von außen um weiterzukommen. Diese erhalten sie durch Lernmaterialien (Texte, Arbeitsblätter, Bilder, Experimentiermaterialien, Datenmaterial, ...), direkt durch die Lehrkraft (Lehrervortrag, Infoinput) oder begleitet durch Methoden-Werkzeuge (vgl. HEPP u.a., 2003). Unter dem Blickwinkel der Kontextorientierung ist entscheidend, dass das neue Wissen kontextualisiert erworben wird.
4. Die entwickelten Lernprodukte werden diskutiert und verhandelt und verfestigen sich zu Erkenntnissen und Lernzuwächsen. Unter dem Blickwinkel der Kontextorientierung verbleibt die Diskussion am Kontext und im Kontext. Die Sachverhalte hängen noch sehr eng am

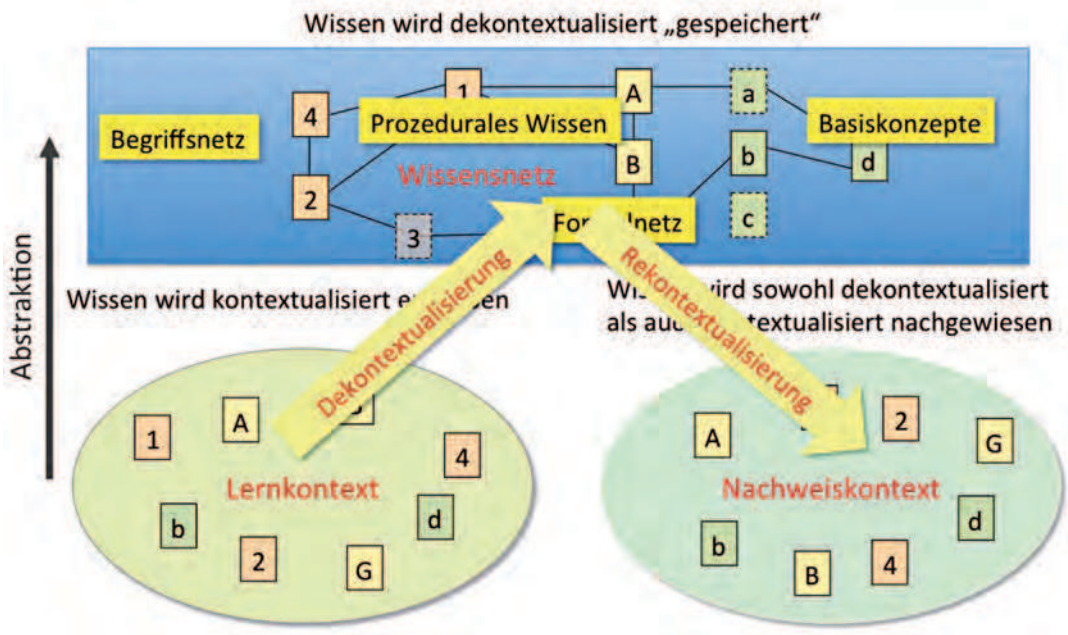


Abb. 9: Kontextualisierung, Dekontextualisierung und Rekontextualisierung

Kontext, Sachkontext und Lernkontext fallen nach wie vor zusammen. Hier darf der Unterricht nicht stehenbleiben und schon gar nicht abbrechen.

5. Wissen wird bei der Kontextorientierung kontextualisiert erworben, jedoch - wie wir aus der Neurobiologie wissen - dekontextualisiert gespeichert und rekontextualisiert gefestigt. Andernfalls entwickelt sich keine Wissensstruktur, die vom Kontext gelöst ist. Das neue Wissen wurde in einem bestimmten Kontext gelernt (= Lernkontext). Damit es aber verfügbar wird, muss es vom Kontext gelöst werden (Dekontextualisierung). Nachhaltiges Wissen wird in Begriffs- und Wissensnetzen verankert. Darüber hinaus wird in diesem Schritt Lernbewusstheit hergestellt, indem der Lernzuwachs dem Lerner deutlich und bewusst wird.
6. Im sechsten Schritt wird der Lernzuwachs nachhaltig im Langzeitgedächtnis verankert. Die Lerner wenden das Gelernte (= Wissensnetz) auf neue Aufgabenstellungen und in einem abgewandelten oder neuen Kontext (= Nachweiskontext) an. Es findet eine Rekontextualisierung statt. So wird erprobt, ob der Kompetenzzuwachs einem erfolgreichen handelnden Umgang standhält. Das Gelernte muss gefestigt und durch Übung verfügbar gemacht werden.

Kontextualisierung, De- und Rekontextualisierung sollten mit den Lernern metareflexiv angegangen und geübt werden. Kontextorientiertes Lernen unterstützt und fördert die Kompetenzentwicklung, ist aber weder eine notwendige noch eine hinreichende Bedingung für eine Kompetenzentwicklung (Abb. 9).

Fachdidaktische Ausbildungsaufgaben als ein Instrument der fachdidaktischen Ausbildung

Fachdidaktische Kompetenzen werden nicht gelehrt, sondern **durch fachdidaktisches Handeln** und in physikalischen und fachdidaktischen Anforderungssituationen **an physikalischen und fachdidaktischen Inhalten** u.a. mit fachdidaktischen Ausbildungsaufgaben erworben. Ausbildungsaufgaben sind in einen Ausbildungskontext und in ein Ausbildungscurriculum eingebettet. Das Ausbildungscurriculum ist nicht thematisch portioniert (kein Themenplan), sondern kompetenzorientiert nach Anforderungssituationen gestuft.

Definition der Ausbildungsaufgabe

- Eine Ausbildungsaufgabe ist eine Aufgabe aus dem Lernraum der Studierenden bzw. der Referendare zum Zwecke der beruflichen Kompetenzentwicklung.
- Sie sind an der Unterrichtspraxis orientiert.
- Sie sind dem Ausbildungsstand entsprechend gestuft gestaltet.
- Es werden immer auswertbare Lernprodukte erstellt, an denen der Kompetenzstand rückgemeldet werden kann.

Entsprechend dem Ausbildungsstand unterscheiden sich die Ausbildungsaufgaben:

- In den Ausbildungsaufgaben I wird in einem definierten Bereich in enger Betreuung fachdidaktisch analysiert, strukturiert, definiert, charakterisiert, Wissen umgewälzt, ... Die fachdidaktischen Lernprodukte sind oft "Schreibtischprodukte". Die Aufgabenstellungen sind dergestalt, dass der Studierende/ Referendar nachahmen und adaptieren muss.
- In den Ausbildungsaufgaben II wird darüber hinaus unter beratender Betreuung fachdidaktisch entwickelt, gestaltet und in einem engen Bereich reduzierter Komplexität erprobt. Die Lernprodukte umfassen zusätzlich eine Evaluation und Selbstreflektion. Die Aufgabenstellungen sind dergestalt, dass der Studierende/ Referendar adaptieren und entwickeln muss.
- In den Ausbildungsaufgaben III wird darüber hinaus unter beobachtender Betreuung in einem weiten Bereich mit der gesamten fachdidaktischen Komplexität erprobt. Die Lernprodukte umfassen zusätzlich eine Evaluation und

Selbstreflektion. Die Aufgabenstellungen sind dergestalt, dass der Studierende/ Referendar entwickeln und vernetzen muss.

Im Rückgriff auf die eingangs dargestellten Aufgaben A und B zum Wasserkocher werden drei gestufte Ausbildungsaufgaben konkret vorgestellt.

Ausbildungsaufgabe I:

Kompetenzen sehen und analysieren

1. Analysieren Sie die Aufgabenstellungen A und B im Hinblick auf Kompetenzbereiche und -stufen. Nutzen Sie dazu die Kompetenzmatrix.
2. Analysieren und bewerten Sie die Schreibprodukte der Schüler hinsichtlich der Kompetenzen.
3. Geben Sie den Schülern eine Rückmeldung.
4. Charakterisieren Sie die Aufgabenstellungen A und B vergleichend.
5. Beschreiben Sie die dahinterstehenden fachdidaktischen Konzepte und die Vorstellungen von Physikunterricht.

In der Ausbildungsaufgabe I analysieren die Studierenden und entdecken die zu fördernden Kompetenzen. Dazu werden Informationen zu den Nationalen Bildungsstandards incl. der Kompetenzmatrix eingespeist. Die Studierenden lernen Grundzüge der Diagnose und Rückmeldung kennen und geben den Schülern ein förderliches Feedback. Sie setzen sich anhand eines Skripts mit fachdidaktischen Konzepten und Vorstellungen auseinander und entdecken und formulieren diese an der konkreten Aufgabenstellung A bzw. B. Stellt sich die Ausbildungsaufgabe I im Sinne des Modelllernens noch als "Vormachaufgabe" dar, so erhöht sich der Grad der Selbstständigkeit in der Ausbildungsaufgabe II deutlich.

Ausbildungsaufgabe II:

Aufgabenstellungen entwickeln

1. Entwickeln Sie eine kompetenzorientierte Aufgabenstellung B zur "Physik des Wasserkochers" unter Nutzung des beigefügten Datenblatts und des Testberichts im Kontrast zu der Aufgabenstellung A.
2. Entwickeln Sie die Materialbox, die Hilfen und stellen Sie die Aufgabe in eine Lernlinie.
3. Beschreiben Sie mögliche Lernprodukte, Kompetenzen, notwendiges Vorwissen, zu erwerbendes Wissen, Hilfen, Dokumentationsformen, ...
4. Stellen Sie Ihre kommentierte Aufgabe in Moodle ein.
5. Sichten und kommentieren Sie die Aufgaben der Studierenden.

In der Ausbildungsaufgabe II entwickeln die Studierenden bzw. die Referendare selbst eine kompetenzorientierte Aufgabenstellung B unter der Voraussetzung, dass ihnen die Musterlösung nicht bekannt ist. Sie müssen die Materialbox und die Lernhilfen selbstständig entwickeln und mögliche Lernprodukte antizipieren. Notwendiges Vorwissen, zu erwerbendes Wissen und Dokumentationsformen sind als fachdidaktische Lernprodukte zu beschreiben und die fachdidaktischen Lernprodukte anderer Studierender sind zu kommentieren. Der Grad der Selbstständigkeit ist gegenüber der Ausbildungsaufgabe I erhöht. Dieser erhöht sich nochmals in der Ausbildungsaufgabe III.

Ausbildungsaufgabe III:

Lernprodukte diagnostizieren

1. Unterrichten Sie Ihre geplante Unterrichtsreihe zur "Physik des Wasserkochers".
2. Analysieren Sie drei ausgewählte Lernprodukte und diagnostizieren Sie die Kompetenzstände der Lerner.
3. Geben Sie den drei Lernern eine individuelle Rückmeldung.
4. Evaluieren Sie Ihre Aufgabenstellung und optimieren Sie diese.

Die Ausbildungsaufgabe III ist auf das erprobende Handeln im Klassenraum ausgerichtet und verweist auf den Vorbereitungsdienst.

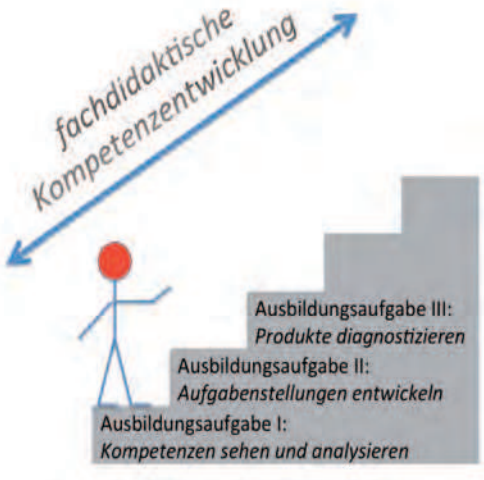


Abb. 10: Gestufte fachdidaktische Kompetenzentwicklung

Mit den gestuften Ausbildungsaufgaben werden fachdidaktische Kompetenzen gestuft entwickelt.

Der Studierende lernt

- in Aufgaben Kompetenzen zu sehen und zu analysieren,
- aus vorgefundenen Aufgaben kompetenzorientierte zu entwickeln,
- kompetenzorientierte Aufgaben in eine Lernlinie einzubinden.

Der Referendar lernt

- niveaudifferenzierte Aufgaben zu entwickeln und einzusetzen,
- kompetenzorientierte Aufgaben lernschrittgerecht und zeitökonomisch einzusetzen,
- an Lernprodukten den Kompetenzstand zu diagnostizieren und zum Weiterlernen zu nutzen.

Die Einbettung von fachdidaktischen Ausbildungsaufgaben im Fachdidaktikseminar

Zur Didaktik der Fachdidaktikseminare

- Die Studierenden werden durch Aufgabenstellungen in den handelnden Umgang mit physikalischem und fachdidaktischem Wissen gebracht.

- An Schülermaterialien (Aufgaben, Experimenten, Schulbuchtexte, Lernprodukte, ...) entwickeln die Studierenden fachdidaktische Aufgabenstellungen für die Studierenden.
- Physikalisches und fachdidaktisches Wissen wird begleitend eingespeist.

Der Ablauf der Seminarsitzungen

Der Ablauf der Seminarsitzungen orientiert sich an dem Modell des Lernens, jedoch unter den Bedingungen der Erwachsenenpädagogik. Die Studierenden spielen nicht Schule, und spielen nicht Schüler. Die Studierenden setzen sich mit fachdidaktischen Fragestellungen und Konzepten auseinander und zwar an Schülermaterialien und fachdidaktischen Materialien mit Methoden wie sie auch im Fachunterricht eingesetzt werden.

Eine Seminarsitzung gliedert sich in mehrere Lernschritte. Das Herzstück des fachdidaktischen Lernens ist die Bearbeitung von fachdidaktischem Lernmaterial durch die Seminarteilnehmer. Die Teilnehmer arbeiten hart und intensiv an anspruchsvollen, herausfordernden Lernmaterialien. Das können sein: Unterrichtsmaterialien, Schulexperimente, Arbeitsblätter, Lernstationen, Unterrichtsbeispiele, Unterrichtsmitschnitte, Schülerumfragen, Lernprodukte von Schülern, Unterrichtsmethoden, Lehrbuchseiten, YouTube-Videos, ...

An passender Stelle wird fachdidaktisches Wissen durch Informationsinputs in Form von PPT-Vorträgen, Infoblättern, Handouts, Theorieeinschüben, ... eingespeist. Diese Theorieelemente haben eine doppelte Funktion. Einerseits begleiten sie die Lernmaterialien und andererseits verknüpfen sie die Erfahrungs- und Praxisebene mit der Theorieebene. Die fachdidaktischen Lernmaterialien müssen von den Gestaltern der Sitzungen mit passenden, guten Aufgabenstellungen verbunden sein. Es handelt sich bei diesen Aufgabenstellungen um fachdidaktische Aufgabenstellungen für Studierende und nicht um Aufgabenstellungen für Schüler. Die fachdidaktischen Aufgabenstellungen können sich durchaus gelegentlich auf Aufgabenstellungen für Schüler beziehen.

Steuerungen durch die Seminarleitung

Die Seminarleitung muss zur Steuerung fachdidaktische Lernmaterialien mit passenden Aufgabenstellungen einbringen und die Seminarveranstaltung passend moderieren und eine gute Diagnostik und Rückmeldung betreiben.

Die in die Seminarveranstaltung eingespeisten Materialien setzen sich in der Regel aus folgenden Elementen zusammen:

1. **Fachdidaktisches Hintergrundwissen**, z.B. in Form eines Vortrags, eines Basisartikels, eines Handouts, eines Infoblattes, ...
2. **Schülermaterialien**, z.B. Arbeitsblätter mit Aufgabenstellungen, eine Experimentierbox mit Aufgabenstellungen, eine Lernstation, ein Sortiment an Hausaufgaben, an Leistungsüberprüfungen, an verschiedenen Lernaufgaben, an Diagnoseaufgaben, ... oder **Schülerprodukten**, z.B. Lernprodukte von Schülern, Schülerprotokolle, ... oder **Unterrichtsszenen**, z.B. videografierte Unterrichtsszenen, transkribierte Unterrichtszenen, ...
3. **Fachdidaktische Aufgabenstellungen** (**Ausbildungsaufgaben**), die zu einem Lernprodukt der Seminargruppe führen, z.B. der Entwurf von Aufgabenstellungen für Schüler, die Diagnose und Bewertung von Lernprodukten der Schüler, Umarbeitung einer Unterrichtsreihe in eine kontextorientierte Reihe, ...
4. Ggf. muss auch **physikalisches Hintergrundwissen** eingegeben werden.

Die Eingabe von Materialien kann im Vorlauf, als vorbereitende Hausaufgabe oder in der Sitzung selbst erfolgen. In den Sitzungen werden gemäß der Erwachsenenpädagogik Methoden eingesetzt, die Modellcharakter für den Unterricht haben. Auch die personale Steuerung hat Modellcharakter. In diesem Sinne sind die Seminarveranstaltungen ein Modell für guten Unterricht nach dem Lehr-Lern-Modell gemäß dem Seminardidaktischen Imperativ: "Gestalte die Seminarsitzungen (unter Berücksichtigung erwachsenpädagogischer Bedingungen) so, dass sie als Modellfall für guten Unterricht gemäß dem Lehr-Lern-Modell dienen."

Literatur

HEPP, R., KRÜGER, A., LEISEN, J. (2003): Methoden-Werkzeuge. Naturwissenschaften im Unterricht Physik 75/76

KLIEME, E. et al. (2003): Zur Entwicklung nationaler Bildungsstandards. Eine Expertise, hrsg. vom Bundesministerium für Bildung und Forschung. Bonn

KUHN, J., MÜLLER, A., MÜLLER, W., VOGT, P. (2010): Kontextorientierter Physikunterricht. Praxis der Naturwissenschaften – Physik 5, 13–25

LEISEN, J. (Hrsg.) (2005): Muss ich jetzt auch noch Sprache unterrichten? – Sprache und Physikunterricht. Naturwissenschaften im Unterricht Physik 87, 4–9

LEISEN, Josef (2010): Lernprozesse mithilfe von Lernaufgaben strukturieren. Informationen und Beispiele zu Lernaufgaben im kompetenzorientierten Unterricht. Naturwissenschaften im Unterricht Physik 117, 9–13

LEISEN, J. (2011): Kompetenzorientiert unterrichten – Fragen und Antworten zu kompetenzorientiertem Unterricht und einem entsprechenden Lehr-Lern-Modell. Naturwissenschaften im Unterricht Physik, 123/124, 4–10

LEISEN, J. (2013): Handbuch Sprachförderung im Fach – Sprachsensibler Fachunterricht in der Praxis. Stuttgart: Klett

VOGT, P. (2011): Physik rund um den Wasserkocher. Experimentelle und theoretische Untersuchung eines Alltagsgeräts. In: Naturwissenschaften im Unterricht Physik 121, 33–35.

WEINERT, F. E. (2001): Leistungsmessung in Schulen – Eine umstrittene Selbstverständlichkeit. In: Weinert, F. E. (Hrsg.): Leistungsmessung in Schulen. Weinheim u. Basel

Professionelle Kompetenz von Lehrkräften

Sophie Kirschner

Das Ziel schulischer Lernprozesse sind kompetente Schülerinnen und Schüler (SuS), die nicht nur über kognitive Fähigkeiten und Fertigkeiten, sondern auch über motivationale, volitionale und soziale Bereitschaften und Fähigkeiten verfügen (nach [1]). Es kann angenommen werden, dass aus kompetenten SuS mündige Bürgerinnen und Bürger sowie fachkundige und lernbereite Auszubildende bzw. Studierende werden. Kompetente SuS können als Erwachsene Vorbilder, Multiplikator/innen und auch Lehrkräfte sein, die eine positiven Einstellung und Wertschätzung gegenüber (Natur-)Wissenschaft an weitere Generationen von SuS vermitteln und diese beim Kompetenzaufbau unterstützen. Entlang der Ziele von schulischen Lernprozessen wird in der fachdidaktischen Forschung untersucht, über welche Kompetenzen SuS zu einem Zeitpunkt verfügen und wie sich diese Kompetenzen durch den Fachunterricht verändern (z. B. [2]). Es ist dabei unstrittig, dass es für gelingende Lernprozesse darauf ankommt, dass Lehrkräfte über die notwendigen Kompetenzen für „guten" Fachunterricht verfügen, weshalb die Modellierung, Messung und Veränderung dieser Kompetenzen ebenfalls Gegenstand fachdidaktischer Forschung ist (z. B. [3]).

Professionelle Kompetenz von Lehrkräften – Beispiele

Auch ohne fundierte Kenntnisse der aktuellen Forschungslage ist plausibel, dass eine kompetente Physiklehrkraft

(1) fachlich „fit" ist,

(2) Physik verständlich machen kann und

(3) für ein angenehmes Lernklima sorgt.

Es ist schwer vorstellbar, dass Unterricht von Lehrkräften, die den Schulstoff selbst nicht beherrschen, nur zur Tafel gewandt erklären oder autoritär im Klassenzimmer agieren, interessierte und leistungsstarke SuS hervorbringt. Alle drei hier genannten Komponenten bilden wesentliche Bestandteile der Kompetenz von Lehrkräften.

(1) Ein Aspekt **fachlicher Kompetenz** ist die Fähigkeit zur Vorhersage und Erklärung von Phänomenen. Veranschaulichen lässt sich diese Fähigkeit an einer Reihenschaltung mehrerer identischer Lämpchen an einer Batterie (siehe Abb. 1). Diese leuchten weniger hell als ein einzelnes identisches Lämpchen. Eine Lehrkraft muss den Effekt für die Vorbereitung und Durchführung von Versuchen kennen und ihn erklären können. Dazu muss sie wissen, dass in beiden Fällen eine näherungsweise gleiche Klemmspannung anliegt, sich in der Reihenschaltung ein höherer Gesamtwiderstand ergibt und die Gesamtspannung sich auf die Lämpchen verteilt. Daraus ergibt sich eine geringere Stromstärke in der Reihenschaltung ($I = U/R$), eine geringere Leistung pro Lämpchen ($P = U \cdot I$) und damit eine geringere Helligkeit der Lämpchen in der Reihenschaltung. Der Effekt der Abnahme der Helligkeit wird mit der Anzahl der Lämpchen deutlicher, bis kaum mehr ein Leuchten der Lämpchen zu erkennen ist.

Abb. 1:
Stromkreis mit einem Lämpchen und Reihenschaltungen von zwei und drei Lämpchen. Alle Lämpchen: 2,5 V und 0,3 A.

(2) Die Fähigkeit, Physik verständlich zu machen, zählt zur **„fachdidaktischen Kompetenz",** sie umfasst u. a. die Fähigkeit der theoriegeleiteten Entwicklung von adressaten-orientierten Lernangeboten. Dabei stellen sich Lehrkräfte z.B. die Fragen, welche Verständnisprobleme bei SuS zu erwarten sind und ob ein bestimmter Versuch geeignet ist, diesen Problemen zu begegnen. Aus der fachdidaktischen Forschung sind für das oben genannte Beispiel mehrere typische Lernvoraussetzungen bekannt: Die Schülervorstellung, dass Strom verbraucht wird, weshalb die Lampen weniger hell leuchten und/oder untereinander unterschiedlich hell leuchten müssten. Es finden sich Hinweise auf ein lokales Verständnis, in dem der Stromkreis nicht als Gesamtsystem erfasst wird, d. h. die SuS vermuten, dass der Strom von der Quelle losgeht. Ebenfalls dokumentiert ist, dass die SuS zwischen Spannung, Strom und Energie nicht unterscheiden (z.B. [4]). Eine fachdidaktisch kompetente Lehrkraft könnte mit Kenntnis dieser Schülervorstellung begründen, dass der oben beschriebene Versuch nicht gut geeignet ist, um einer Stromverbrauchsvorstellung entgegenzuwirken, schließlich könnte jedes Lämpchen einen Teil des Stroms verbrauchen. Die Lehrkraft würde zudem wissen, dass die für die Erklärung erforderliche Differenzierung zentraler Größen für die SuS eine Hürde darstellt und sie deshalb selbst die Erklärung kaum entwickeln bzw. verstehen können.

Dr. Sophie Kirschner, Wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Didaktik der Physik der JLU Gießen.
E-Mail: *Sophie.Kirschner@didaktik.physik.uni-giessen.de*

(3) Eine Lehrkraft, die über **pädagogische Kompetenz** verfügt, würde darauf achten, ein Lernklima zu schaffen, in dem SuS z. B. Fehler machen können und kritisch-konstruktives Feedback zum Unterricht geben dürfen [5]. Bei Stromkreisen ist es z. B. wichtig, dass die Lehrkraft die Idee der SuS, dass Strom verbraucht wird, als eine aus den Alltagserfahrungen im Sprachgebrauch abgeleitete Annahme wertschätzt, statt diese schlicht als „falsch" zu bewerten.

Professionelle Kompetenz von Lehrkräften – Modellierung und Erfassung

Um professionelle Kompetenz fassen zu können, wird sie von Wissenschaftler/innen modelliert. Die oben angedeuteten drei Komponenten bilden dabei zentrale Dimensionen üblicher Modellierungen (Abb. 2). Neben dem fachlichen, fachdidaktischen und pädagogischen Wissen werden auch Überzeugungen, Ziele, Wertehaltungen, motivationale Orientierungen und Selbstregulation als Bestandteil angenommen. Diese Aufteilung entspricht den kognitiven und affektiven Komponenten nach der Kompetenzdefinition von Weinert. Der Schwerpunkt aktueller fachdidaktischer Forschung liegt vor allem auf den Dimensionen Fachwissen und fachdidaktisches Wissen. Dabei wird der Begriff „Wissen" im Sinne von Kompetenz verwendet, d. h. im Sinne von Fähigkeiten und Kenntnissen zur fachlichen Durchdringung und unterrichtlicher Aufbereitung gedeutet.

Abb. 2: Die professionelle Kompetenz von Lehrkräften nach [6, S. 32].

Um professionelle Kompetenz von Lehrkräften zu erfassen, werden auf Basis der Modelle Messinstrumente entwickelt. Das in Abb. 2 dargestellte Modell ist allerdings nicht differenziert genug, da es nicht definiert, was sich hinter Schlagworten wie „fachdidaktisches Wissen" verbirgt. Daher liegen zahlreiche detailliertere Modelle zum Professionswissen vor, die meistens die einzelnen Dimensionen mit Hilfe von Facetten beschreiben [7]. Das fachdidaktische Wissen wird häufig mit den Facetten *Wissen über das Verständnis von SuS* und *Wissen über Instruktionsstrategien* beschrieben [7, 8, 9], das Fachwissen mit den Facetten *Schulwissen, vertieftes Schulwissen* und *universitäres Wissen* [10].

Bei den entwickelten Messinstrumenten zur Erfassung professioneller Kompetenz handelt es sich häufig um schriftliche oder mündliche Befragungen. Die Lehrkräfte werden z. B. gebeten, fachlich korrekte Vorhersagen zu treffen und zu begründen, typische Schülerantworten und ihre Ursachen zu nennen, kurze Unterrichtsszenen (schriftlich oder in Form von Videos) zu analysieren oder alternative Instruktionen zu beschreiben. Abb. 3 zeigt eine Aufgabe aus einer schriftlichen Befragung.

Zentrale Gütekriterien, an denen sich all diese Instrumente messen lassen müssen, sind Objektivität, Reliabilität und Validität. Zur Abschätzung der Objektivität wird analysiert, ob die Messung immer unter den gleichen Bedingungen durchgeführt wurde und die Antworten immer gleich ausgewertet wurden [13, S. 195]. So müssen z. B. alle Befragten gleich viel Zeit zur Verfügung gestellt bekommen und ähnliche Antworten müssen zur selben Punktezahl führen – unabhängig von Sympathien gegenüber den Befragten. Die Reliabilität macht eine Angabe darüber, wie genau das Instrument misst. In der fachdidaktischen Forschung wird als Reliabilitätsmaß meist Cronbachs Alpha angegeben, das die interne Konsistenz erfasst. Es steht dafür, dass alle Aufgaben im Messinstrument das gleiche Konstrukt erfassen [13, S. 196, 198]. Es ist beispielsweise möglich, dass eine Mischung von Aufgaben zu Mechanik und E-Lehre breiter, aber weniger genau misst und damit eine geringere Reliabilität hat als zwei getrennte Aufgabensätze. Mit der Untersuchung der Validität eines Messinstruments soll sichergestellt werden, dass es mit den Kenntnissen und Kompetenzen bearbeitet wird, die es zu messen vorgibt [13, S. 200]. So muss zum Beispiel nachgewiesen werden, dass eine Befragung zum fachdidaktischen Wissen nicht nur das Fachwissen oder die kognitive Fähigkeiten der Lehrkräfte erfasst; das erfasste Konstrukt wird gegen andere Konstrukte abgegrenzt. Ein weiterer wichtiger Aspekt der Validitätsprüfung betrifft die Vorhersagekraft der Ergebnisse: SuS von Lehrkräften mit höherer professionellen Kompetenz sollten kompetenter sein ([14], für fachdidaktisches Wissen [15]).

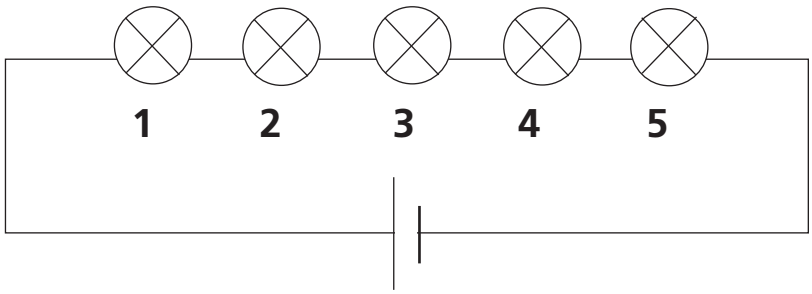
Professionelle Kompetenz von Lehrkräften – Forschung

Eine typische Frage der Forschung betrifft die Struktur der professionellen Kompetenz [16, 17, 18], also z. B. ob Lehrkräfte, die über ein hohes Fachwissen verfügen, auch über ein hohes fachdidaktisches Wissen verfügen, und andersrum: Gibt es Lehrkräfte, die bei hohem fachdidaktischen Wissen nur über ein niedriges Fachwissen verfügen? Diese Fragen helfen zu verstehen, wie die drei Dimensionen zusammenhängen bzw. miteinander wechselwirken und klären damit auch die Struktur der Modellierung, also ob es sich um eine oder mehrere Dimensionen handelt. Die aktuellen Befunde zeigen trennbare Dimensionen, im Detail ist aber kein einheitliches Bild zu erkennen.

Neben der Erfassung der professionellen Kompetenz, die zu einem Zeitpunkt vorliegt, untersucht die Forschung auch,

8. Sie möchten mit Ihren Schülerinnen und Schülern das Thema "Stromstärke in Reihen- und Parallelschaltungen" besprechen. Der Begriff der Stromstärke ist den Schülerinnen und Schülern schon bekannt. Sie verwenden diese Aufgabe für die Unterrichtsstunde:

Fünf gleiche Lampen werden in Reihe an eine Batterie angeschlossen



Was kannst Du über die Helligkeit der fünf Lampen sagen?

Bitte geben Sie alle Schülerantworten an, mit denen Sie rechnen, wenn Sie diese Aufgabe stellen. Nummerieren Sie die Schülerantworten, damit Sie sich leichter darauf beziehen können.

① alle gleich hell

② von 1 bis 5 abnehmende Helligkeit

③ von 5 bis 1 abnehmende Helligkeit

Welche Begründungen würden die Schülerinnen und Schüler für Ihre Antworten geben?
Benennen Sie möglichst viele Schülerargumente. Darunter sollte auch die physikalisch korrekte Begründung zu finden sein.

① Stromstärke überall gleich groß, kein Ladungsspeicher

② Stromstärke nimmt ab, da Ladungen verbraucht werden oder bereits Energie abgegeben haben

(Vor: 5 gleiche Lampen)

Abb. 3: Aufgabe aus einem Messinstrument zur Erfassung fachdidaktischen Wissens ([11] nach [12, S. 113]).

wie sich Kompetenzen über die Bildungsspanne hinweg verändern [19, 20]. Dazu werden häufig unterschiedlich erfahrene Lehrkräfte befragt und die Kompetenzen miteinander verglichen. Allerdings fehlen zur genaueren Untersuchung Längsschnittuntersuchungen von Lehrkräften.

Eine weitere typische Forschungsfrage zur professionellen Kompetenz von Lehrkräften betrifft den Zusammenhang von fachdidaktischem Wissen und gutem Unterricht [12, 21, 22]. Obwohl sich die Forschung intensiv mit der Modellierung und Messung von Kompetenz befasst, ist im Moment noch wenig geklärt, welche der gemessenen Kompetenzen tatsächlich zu gutem Unterricht führen. Hier zeigt sich, dass die Komplexität von Lehren und Lernen, also die große Zahl an Faktoren, die einen Einfluss nehmen können, nur schwer kontrollier- und messbar ist. Die Untersuchung des Zusammenhangs von professioneller Kompetenz und gutem Unterricht wird auch dadurch erschwert, dass nicht nur die professionelle Kompetenz, sondern auch die Güte des Unterrichts objektiv, reliabel und valide erfasst werden müssen. Auch die Merkmale guten Unterrichts liegen nicht auf der Hand – und vermutlich nicht auf der Oberflächen-

ebene [23]. In einzelnen Studien kann keine der beiden Seiten erschöpfend erfasst werden. Wird der Zusammenhang untersucht, liegt der Schwerpunkt zurzeit auf dem Lernangebot der Lehrkraft. Im Fokus steht u. a., ob die Lehrkraft „kognitiv aktivierende" Lernangebote macht [21, 22]. Mit Blick auf die Heterogenität im Klassenzimmer ist aber nicht anzunehmen, dass ein ganz bestimmtes Angebot alle SuS gleichermaßen „aktiviert", für die Einschätzung der Qualität des Unterrichts ist es deshalb auch wichtig, die individuelle Nutzung von Lerngelegenheiten durch SuS in den Blick zu nehmen [24].

Literatur

[1] Weinert, F. E. (2001): Vergleichende Leistungsmessung in Schulen - eine umstrittene Selbstverständlichkeit. In: F. E. Weinert (Hrsg.) Leistungsmessungen in Schulen. Weinheim: Beltz, 17–31.

[2] Prenzel, M. & Allolio-Näcke, L. (Hrsg.) (2006): Untersuchungen zur Bildungsqualität von Schule. Abschlussbericht des DFG-Schwerpunktprogramms. Münster: Waxmann.

[3] Abell, S. K., (2007): Research on science teachers' knowledge. In: S. K. Abell, N. G. Lederman (Hrsg.): Handbook of Research on Science Education. Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, 1105–1149.

[4] Rhöneck, C. von (1986): Vorstellungen vom elektrischen Stromkreis. Naturwissenschaften im Unterricht Physik/Chemie, 34 (13), 10–14.

[5] Hattie, J. A. C. (2009): Visible learning. A synthesis of metaanalyses relating to achievement. London, Routledge.

[6] Baumert, J. & Kunter, M. (2011): Das Kompetenzmodell von COACTIV. In: M. Kunter, J. Baumert, W. Blum, U. Klusmann, S. Krauss, M. Neubrand (Hrsg.): Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. Ergebnisse des Forschungsprogramms COACTIV. Münster: Waxmann, 29–53.

[7] Park, S. & Oliver, S. J. (2008): Revisiting the conceptualisation of pedagogical content knowledge (PCK): PCK as a conceptual tool to understand teachers as professionals. Research in Science Education, 38 (3), 261–284.

[8] Gramzow, Y. (2015): Fachdidaktisches Wissen von Lehramtsstudierenden im Fach Physik. Modellierung und Testkonstruktion. Berlin: Logos.

[9] Tepner, O., Borowski, A., Dollny, S., Fischer, H. E., Jüttner, M., Kirschner, S., Leutner, D., Neuhaus, B. J., Sandmann, A., Sumfleth, E., Thillmann, H. & Wirth, J. (2012): Modell zur Entwicklung von Testitems zur Erfassung des Professionswissens von Lehrkräften in den Naturwissenschaften. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 18, 7–28.

[10] Woitkowski, D., Riese, J. & Reinhold, P. (2011): Modellierung fachwissenschaftlicher Kompetenz angehender Physiklehrkräfte. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 17, 289–313.

[11] Kirschner, S., Borowski, A. & Fischer, H. E. (2011): ProwiN-Test zum fachdidaktischen Wissen von Physiklehrkräften. In: A. Borowski, H. E. Fischer, M. Jüttner, S. Kirschner, B. J. Neuhaus, E. Sumfleth, O. Tepner, S. Witner (Hrsg.): ProwiN-Testinstrumente. Essen: Universität Duisburg-Essen.

[12] Olszewski, J. (2010): The impact of physics teachers' pedagogical content knowledge on teacher action and student outcomes. Berlin: Logos.

[13] Bortz, J. & Döring, N. (2006): Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler. Heidelberg: Springer.

[14] Thorndike, R. M. & Thorndike-Christ, T. (2014): Measurement and evaluation in psychology and education. Harlow: Pearson.

[15] Kirschner, S., Taylor, J., Rollnick, M., Borowski, A. & Mavhunga, E. (2015): Gathering evidence for the validity of PCK measures. Connecting ideas to analytic approaches. In: A. Berry, P. Friedrichsen, J. Loughran (Hrsg.): Re-examining pedagogical content knowledge in science education. London: Routledge Press, 229-241.

[16] Kirschner, S. (2013): Modellierung und Analyse des Professionswissens von Physiklehrkräften. Berlin: Logos.

[17] Riese, J. (2009): Professionelles Wissen und professionelle Handlungskompetenz von (angehenden) Physiklehrkräften. Berlin: Logos.

[18] Schmelzing, S. (2010): Das fachdidaktische Wissen von Biologielehrkräften. Konzeptionalisierung, Diagnostik, Struktur und Entwicklung im Rahmen der Biologielehrerbildung. Berlin: Logos.

[19] Kirschner, S., Sczudlek, M., Tepner, O., Borowski, A., Fischer, H. E., Lenske, G., Leutner, D., Neuhaus, B. J., Sumfleth, E., Thillmann, H. & Wirth, J. (2016): Professionswissen in den Naturwissenschaften (ProwiN). In: C. Gräsel, K. Trempler (Hrsg.): Entwicklung von Professionalität pädagogischen Personals. Interdisziplinäre Betrachtungen, Befunde und Perspektiven, Springer VS.

[20] Brunner, M., Kunter, M., Krauss, S., Baumert, J., Blum, W., Dubberke, T., Jordan, A., Klusmann, U., Tsai, Y.-M. & Neubrand, M. (2006): Welche Zusammenhänge bestehen zwischen dem fachspezifischen Professionswissen von Mathematiklehrkräften und ihrer Ausbildung sowie beruflichen Fortbildung? Zeitschrift für Erziehungswissenschaft, 9(4), 521–544.

[21] Cauet, E., Liepertz, S., Borowski, A. & Fischer, H. E. (2015): Does it matter what we measure? Domain-specific professional knowledge of physics teachers. Schweizerische Zeitschrift für Bildungswissenschaften, 37 (3), 463–479.

[22] Vogelsang, C. (2014): Validierung eines Instruments zur Erfassung der professionellen Handlungskompetenz von (angehenden) Physiklehrkräften. Zusammenhangsanalysen zwischen Lehrerkompetenz und Lehrerperformanz. Berlin: Logos.

[23] Pauli, C. & Reusser, K. (2006): Von international vergleichenden Video Surveys zur videobasierten Unterrichtsforschung und -entwicklung. Zeitschrift für Pädagogik, 52 (6), 774–798.

[24] Aufschnaiter, C. von (2007): Lernprozessorientierung als wesentliches Element von Lehrerbildung. In: D. Lemmermöhle, M. Rothgangel, S. Bögeholz, M. Hasselhorn, R. Watermann (Hrsg.): Professionell lehren – erfolgreich lernen. Münster: Waxmann, 53–64.

Quantenphysik: Trends und Herausforderungen

Torsten Franz und Rainer Müller

Quantenphysik als Thema für die Schule

Quantenphysik ist die physikalische Theorie, die das Verhalten von Materie und Licht im Kleinen beschreibt. Sie erfasst die Prozesse, die bei der Bildung von Atomen, Molekülen und Festkörpern wichtig sind, ebenso wie das Verhalten von Licht und die Wechselwirkung von Licht und Materie. Die Quantenphysik ist die Grundlage unseres heutigen Verständnisses der Natur und ohne sie wären Technologien wie der auf Halbleitern basierende Computerchip, der Laser oder die verschiedenen medizinischen Anwendungen (wie das NMR) nicht denkbar.

Gleichzeitig ist die Quantenphysik ein Gebiet der Physik, auf dem auch noch in jüngerer Zeit (zumindest in den letzten 50 Jahren) grundlegende Erkenntnisse gewonnen wurden. Dies unterscheidet die Quantenphysik von den Themen der klassischen Physik (also der Mechanik und der Elektrodynamik), bei denen in den letzten hundert Jahren eher wenig neue Erkenntnisse gewonnen wurden. Insbesondere durch das Aufkommen der Quanteninformation in den letzten 30 Jahren hat sich der Blick der Wissenschaft auf die Quantenphysik gewandelt. Wo man in den Gründungsjahren der Theorie die speziellen Eigenschaften von Quantensystemen vielleicht noch als etwas „Mysteriöses" ansah, können wir heute diese Eigenschaften praktisch nutzbar machen, um Aufgaben zu bewältigen, die mit den Mitteln der klassischen Physik nicht lösbar sind.

Im Hinblick auf die Schule stellt sich hier aber die Frage, ob und in wieweit die Quantenphysik überhaupt Thema sein sollte. Es ist zum Benutzen eines Computers ja nicht notwendig, auch nur das Prinzip einer Halbleiterdiode zu verstehen, oder das Prinzip eines Lasers, um einen CD Spieler zu bedienen. Diese Überlegungen führen aber auf die Frage, welche Aufgaben der Physikunterricht an der Schule im Bezug auf die physikalische Bildung überhaupt haben sollte. Das BLK-Gutachten, das 1997 in Reaktion auf die TIMS-Studie erstellt wurde, gibt dazu ein heute noch gültiges Argument [1]:

„Für junge Menschen, die keinen naturwissenschaftlichen Beruf wählen, ist der mathematisch-naturwissenschaftliche Unterricht in der Schule praktisch die einzige Chance zur systematischen Begegnung mit einem zentralen Teil unserer Kultur."

Dr. Torsten Franz, Institut für Fachdidaktik der Naturwissenschaften, TU Braunschweig, E-Mail: *torsten.franz@tu-braunschweig.de*
Prof. Dr. Rainer Müller, Leiter der Abt. Physikdidaktik am Institut für Fachdidaktik der Naturwissenschaften, TU Braunschweig
E-Mail: *rainer.mueller@tu-braunschweig.de*

Gerade im Hinblick auf diesen kulturellen Aspekt scheint es hierbei wichtig, sich in der Lehre zunächst auf die Vermittlung von Übersichtswissen zu fokussieren, während die Vermittlung von Verfügungswissen eher einer möglichen weiteren Ausbildung an der Universität vorbehalten bleiben kann. Da die Schule jedoch für viele Schülerinnen und Schüler der einzige Kontakt mit dem Thema ist, sollte ein besonderes Augenmerk auf die Vermeidung von Fehlvorstellungen gelegt werden, die leider gerade bei einem in den populären Medien oft recht faktenfremd diskutierten Thema wie der Quantenphysik häufig vorkommen.

Herausforderungen beim Lernen von Quantenphysik

Die fundamentale Eigenschaft der Quantenphysik stellt gleichzeitig die größte Herausforderung beim Lernen dar: Quantenphysik ist keine klassische Physik. Da wir Menschen aus unseren Alltagserfahrungen aber nur die Gesetze der klassischen Physik kennen, muss die Quantenphysik unanschaulich bleiben. Und dies nicht, weil uns vielleicht noch keine gute Beschreibung eingefallen ist, sondern weil prinzipiell keine gute Beschreibung in klassischen Bildern existieren kann.

Der Nobelpreisträger Richard Feynman hat dies mit folgenden Worten beschrieben: „Die eigentliche Schwierigkeit ist psychologischer Natur und entsteht, wenn man sich mit der Frage quält „Wie kann das denn so sein?", welche nur ein Ausdruck eines unkontrollierten aber vergeblichen Wunsches danach ist, es als etwas Vertrautes ansehen zu wollen." (im Original: „The difficulty really is psychological and exists in the perceptual torment that results from your saying to yourself „But how can it be like that?" which is a reflection of uncontrolled but utterly vain desire to see it in terms of something familiar."[2])

Im selben Text bespricht Feynman die Vorstellung von einem Elektron und stellt fest, dass es sich weder als Masse in einem Oszillator noch als kleiner Planet, der eine Sonne umkreist, noch als Gas oder Wolke von irgendeinem Stoff korrekt beschreiben lässt. Als Feynman dies im Jahr 1964 gesagt hat, entsprach es zwar eher seiner Sichtweise auf die Quantenphysik, aber heute wissen wir, dass diese Sichtweise korrekt ist. Seit den Arbeiten von John Bell [3] und den experimentellen Bestätigungen der Verletzung der

Bell'schen Ungleichung ist klar, dass es keine Beschreibung der Natur in vertrauten klassischen Bildern geben kann. Ein älterer Übersichtsartikel zur Bedeutung der Verschränkung ist [4], eine aktuelle Übersicht der sogenannten schlupflochfreien Realisierung findet sich in [5].

Entwicklungen in der Quantenphysik der letzten 30 Jahre

Die wohl größte praktische Entwicklung der experimentellen Quantenphysik ist die Kontrolle von Verschränkung. Während in den 1980er Jahren Verschränkung ein gänzlich unerforschtes Phänomen war, ist es heute zur Alltagstechnologie in physikalischen Laboren geworden. Einige Firmen bieten bereits Verschränkungsexperimente als Demonstrationsexperimente für Schule und Hochschule an [z.B. 6].

Die zweite große Entwicklung betrifft die Grenze zwischen klassischer und Quantenphysik. In den letzten Jahren wurden quantenphysikalische Effekte mit immer größeren, makroskopischen Massen nachgewiesen. So konnten Interferenzen am Doppelspalt mit Makromolekülen (mit mehr als 800 Atomen) nachgewiesen werden (vgl. [7]). Gleichzeitig ist die Theorie der Dekohärenz weiter entwickelt worden. Sie beschreibt, wie zufällige unkontrollierbare Wechselwirkungen dazu führen, dass Systeme ihre Quanteneigenschaften verlieren. Diese Entwicklung führt dazu, dass viele fundamentalen Fragen aus der Anfangszeit der Quantenphysik heute gut verstanden sind. Themen wie Schrödingers Katze sollten daher heute eher als historische Beispiele verstanden werden. (vgl. z.B. [8])

In der Quanteninformation gibt es zwei große Themen: Quantenkryptographie und Quantencomputer. Die Quantenkryptographie hat sich in verschiedenen Realisierungen als umsetzbar erwiesen und erste Firmen bieten auch schon einzelne Lösungen an. Jedoch scheitert eine praktische Nutzung heute noch am unpraktischen Ausbau der Kommunikationsnetze, die zum Verwenden von Quantenkryptographie deutlich umgestaltet werden müssten.

Der Quantencomputer hat andererseits in den letzten Jahren wieder viel Aufmerksamkeit erhalten, besonders nachdem kürzlich eine amerikanische Internetfirma mitgeteilt hat, einen ersten lauffähigen Quantencomputer einzusetzen (vgl. z.B. [9]). Gleichzeitig wurden in letzter Zeit einige Durchbrüche bei der Konstruktion von Bauteilen erzielt, welche die Konstruktion der nächsten Generation von Quantencomputern deutlich erleichtern könnten (z.B. [10]).

Wesenszüge der Quantenphysik

Für das Verstehen ist es wichtig, die scheinbar widersprüchlichen Aussagen der Quantenphysik in möglichst prägnante Eigenschaften zu ordnen. Ein erster Versuch einer solchen Ordnung erschien in [11] unter dem Titel „Wesenszüge der Quantenphysik". Hierbei war das Ziel, eine Liste von Eigenschaften zu finden, die einerseits als Orientierung beim Lernen dienen können und gleichzeitig so fundamental sind, dass sie in ihren Aussagen nicht später zurückgenommen werden müssen. In den folgenden Jahren ist die Formulierung der Wesenszüge weiter ausgeschärft wurden, so dass wir heute bei folgender Formulierung angelangt sind:

1. Statistisches Verhalten

Der vielleicht wichtigste Unterschied zur klassischen Physik zeigt gleich am ersten Wesenszug: Quantenphysik ist eine fundamental statistische Theorie. Im Allgemeinen können Einzelergebnisse von Messungen nicht vorhergesagt werden, nur in Spezialfällen ist dies möglich.

In der Quantenphysik sind die Ergebnisse von Experimenten immer die stochastischen Wahrscheinlichkeitsverteilungen verschiedener möglicher Messergebnisse. Dieses Verhalten lässt sich auch, im Gegensatz zur klassischen Physik, nicht durch reines Unwissen des Experimentators oder eine Unvollständigkeit der Beschreibung auflösen, sondern ist eine intrinsische Eigenschaft der Theorie.

2. Fähigkeit zur Interferenz

Dieses Prinzip besagt, dass Quantenobjekte zu einem Interferenzmuster beitragen können, falls es für das Eintreten eines Ergebnisses mehr als eine klassisch denkbare Möglichkeit gibt. Diesen Wesenszug kann man auch als Fähigkeit zur Superposition bezeichnen. Er zeigt, dass es in der Quantenphysik andere Möglichkeiten gibt, klassisch unterscheidbare Situationen zu realisieren. Das bedeutet auch, dass bestimmte Zuordnungen, wie „Ort" oder „Bahn", die bei einem klassischen Teilchen immer möglich sind, bei Quantenobjekten im Allgemeinen nicht vorgenommen werden können.

3. Messergebnisse

Das dritte Prinzip beschäftigt sich mit den möglichen Ergebnissen einer Messung. Jede Messung kommt mit einem bestimmten Bereich möglicher Messergebnisse, die durch das Spektrum des der Messung zugeordneten Operators gegeben ist. Für eine wichtige Klasse von Messungen gilt außerdem, dass eine erneute (nachfolgende) Messung derselben Eigenschaft immer das gleiche Ergebnis liefert.

Ein weiterer Aspekt des Prinzips besagt, dass es in der Quantenphysik keine Messung gibt, die alle (statistischen) Eigenschaften eines Quantensystems mit nur einem Messereignis bestimmen kann. Praktisch bedeutet dies beispielsweise, dass man den Schirm beim Doppelspaltexperiment nicht durch eine „Supermessung" ersetzen kann, welche das vollständige Interferenzmuster schon anhand eines einzelnen Detektionsereignisses bestimmen kann.

4. Komplementarität

Dies beschreibt die Eigenschaft der Quantenphysik, dass für bestimmte Größen keine gemeinsame Zuschreibung zu individuellen Quantenobjekten möglich ist. Quantitativ

wird dieses Prinzip durch die Heisenberg'sche Unbestimmtheitsrelation ausgedrückt. Diese liefert eine Schranke für die Genauigkeit, mit der an einem Quantensystem die Größen „Ort" und „Impuls" gemeinsam präpariert werden können.

Neben der Präparations-Unbestimmtheit gibt es in der Quantenphysik noch weitere Unbestimmtheitsrelationen. Relevant für die Schule ist vor allem die Mess-Stör-Unbestimmtheit, die besagt, dass es nicht möglich ist, z.B. den Ort eines Quantensystems zu messen, ohne das Ergebnis einer nachfolgenden Impulsmessung zu stören.

All diese Unbestimmtheitsrelationen gelten für jeden Satz von komplementären Operatoren, nicht nur für „Ort" und „Impuls" eines freien Teilchens. Ein weiterer bekannter Satz von komplementären Operatoren sind die drei Komponenten des Spins oder der Polarisation.

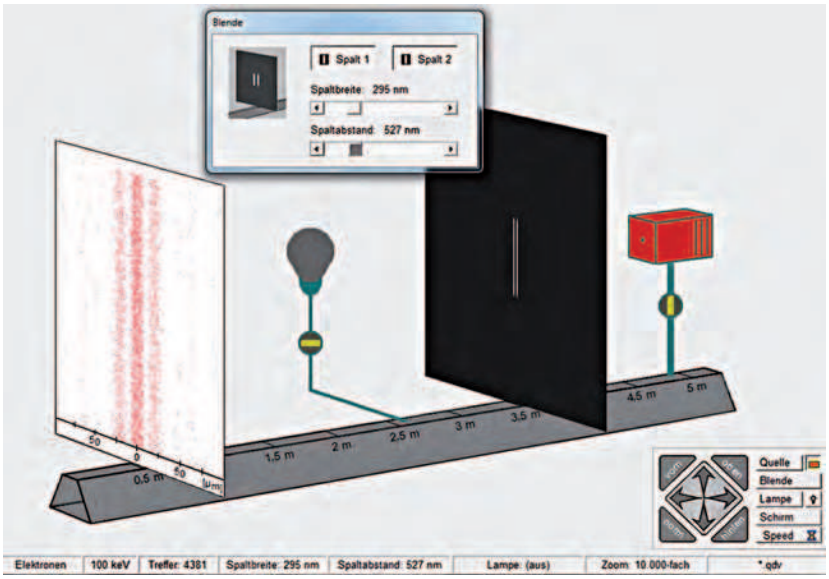


Abb. 1: Mit dem Doppelspaltexperiment lassen sich die Wesenszüge der Quantenphysik nachvollziehen.

5. Verschränkung

Der wohl entscheidende Punkt bei der Unterscheidung von klassischer und Quantenphysik bildet die Verschränkung, bzw. die Verletzung der Bell'schen Ungleichung. Diese besagt, dass es in der Quantenphysik bestimmte Zustände geben kann, deren Verhalten nicht mit den Vorstellungen einer klassischen lokalen Physik beschrieben werden kann. Solche „verschränkten" Zustände können jedoch erst dann beobachtet werden, wenn man verschiedene räumlich getrennte Quantensysteme betrachtet.

Ein didaktisch wichtiger Punkt dieses Prinzips ist, dass man es experimentell testen kann. Während die anderen Punkte prinzipiell immer Aussagen über eine Unmöglichkeit (einer genauen Beschreibung, Präparation oder Messung) machen, welche so nicht experimentell getestet werden kann, kann die Verletzung der Bell'schen Ungleichung gezeigt werden. Gerade in jüngster Vergangenheit hat das Thema der experimentellen Überprüfung der Ungleichung wieder die Aufmerksamkeit der physikalischen Öffentlichkeit auf sich gezogen, als verschiedene Arbeitsgruppen (kurz nacheinander) die ersten schlupflochfreien Experimente vorgestellt haben (für eine Einführung in das Thema siehe [5]).

Der milq-Online Kurs

Die milq Internetseite [12] bietet eine moderne Einführung in die Quantenphysik, die sich didaktisch an bestehenden Schülervorstellungen orientiert und eine große begriffliche Klarheit bietet. Das Kernstück der Seite bildet der milq-Lehrgang mit 13 Kapiteln, welche die Grundzüge der Quantenphysik am Beispiel von Photonen und Elektronen erklärt. Hierbei ist es Teil des Konzeptes, wenige zentrale Experimente und Kernprinzipien zu besprechen um eine möglichst klare Sprache von vornherein zu etablieren (vgl. [13]).

Teil des Kurses sind Bildschirmexperimente zum Doppelspalt und zum Mach-Zehnder Interferometer, an denen das Verhalten von Quantensystemen nachvollzogen werden kann. Der Kurs wird ergänzt durch einen ausgearbeiteten Unterrichtsvorschlag (S.P.Q.R., vgl. [14], [15]) sowie eine Sammlung von ergänzendem Material zu speziellen Themen der Quantenphysik.

Der quanth-Online Kurs

Der quanth-Kurs [16] bietet einen modernen, informationsbasierten Zugang zur Quantenphysik. Zielgruppe des Kurses sind Studierende (vor allem des Lehramts). Im quanth-Kurs werden die Ideen von milq weiterentwickelt, so erfolgt die Einführung ebenfalls entlang von wenigen Kernprinzipien. Der Kurs soll den Lernenden zeigen, dass die speziellen Eigenschaften der Quantenphysik dazu benutzt werden können, Aufgaben zu lösen, die mit den Mitteln der klassischen Physik unlösbar sind. Hierzu werden die beiden großen Themen der Quanteninformation „Quantenkryptographie" und „Quantencomputing" vertieft besprochen.

Der Kurs ist in vier Kapitel aufgeteilt, die im Umfang einer Vorlesung mit 2 SWS über ein Semester entsprechen. Es gibt zunächst einen einführenden Kurs, bei dem die Grundeigenschaften der Quantenphysik wiederholt und aus der Sicht der Informationsverarbeitung vertieft werden. Der zweite Kurs beschäftigt sich mit dem Phänomen der Verschränkung und der Verletzung der Bell'schen Ungleichung sowie den Folgerungen, die man daraus für die Physik ziehen kann. Dies entspricht also gerade dem fünften der oben benannten Grundprinzipien. Am Ende dieses Kurses soll es den Lernenden möglich sein, zu erklären, wie man experimentell den Unterschied zwischen klassischer und Quantenphysik untersuchen kann. In zwei weiteren Kapiteln wird dann dieser Unterschied praktisch angewendet, um Quantenkryptographie sowie die Grundlagen des Quantenrechnens zu diskutieren.

In der Praxis wird der Online-Kurs in einem Just-in-Time-Lehrkonzept verwendet. Dabei haben die Studierenden drei Wochen Zeit, sich in ihrer eigenen Geschwindigkeit mit den Inhalten jeweils eines Kapitels zu beschäftigen, woraufhin ein Präsenztermin zur Besprechung des Gelernten stattfindet. Hierzu nutzen die Studierenden ein Online-Forum, um zu den Inhalten des jeweiligen Kurses Fragen zu stellen bzw. Themen zu benennen, die bei der Besprechung vertieft werden sollen. So kann der Dozent die Vorlesung an die Bedürfnisse der Studierenden anpassen. Untersuchungen mit Studierenden an der Universität Braunschweig und der Universität Hannover haben hierbei ergeben, dass die Kursstruktur grundsätzlich geeignet ist, um Wissen über Quantenphysik zu vermitteln. Weiterhin ergab sich bei einer Untersuchung der intrinsischen Motivation (nach [17]) in einem Prä-Post-Design, dass Studierende bei der Bearbeitung des Kurses signifikant mehr Wahlfreiheit erleben, wohingegen die Skalen zu Vergnügen, wahrgenommener Kompetenz und wahrgenommenem Druck sich nicht signifikant unterschieden [18].

Zusammenfassung und Ausblick

Wir haben in diesem Artikel die aktuelle Arbeit an der TU Braunschweig zur Lehre von Quantenphysik zusammengefasst und eine Übersicht der didaktischen Herausforderungen gegeben. Hierbei haben wir die Inhalte der Kurse milq und quanth zusammengefasst und eine Variante der Grundprinzipien der Quantenphysik besprochen.

Eine zukünftige Richtung von Untersuchungen wird der Einsatz von Quanteninformation im schulischen Kontext sein. In einer ersten Pilotstudie wurde im letzten Jahr ein Konzept für den Einsatz von Quantenkryptographie mit Einzelphotonen als Einführung in das Thema Quantenphysik mit einer Klasse der 10. Jgst. in Braunschweig getestet [19]. Die erfreulichen Ergebnisse der Untersuchung deuten darauf hin, dass sich das Thema auch für den Einsatz in der Schule eignet und die (Quanten-)Kryptographie als einer der wenigen authentischen Kontexte wirksam wird, die die moderne Physik anzubieten hat.

Literatur

[1] Bund-Länder-Kommission für Bildungsplanung und Forschungsförderung (1997): Materialien zur Bildungsplanung und zur Forschungsförderung, Heft 60, online: *http://www.blk-bonn.de/papers/heft60.pdf*

[2] Feynman, R.P. (1964): The character of physical law, The Messenger Lectures, Cornell University

[3] Bell, J.S. (1964): On the Einstein-Podolski-Rosen Paradox. Physics, 1(3), 195

[4] Duhme, J., Franz, T., Schmidt, S. & Werner, R.F. (2010): Quanteninformationstheorie Teil 1: Grundlagen, Verschränkung – Schlüssel zur Quantenwelt. Physik in unserer Zeit, 41(5):236

[5] Miller, J.L. (2016): Three groups close the loopholes in tests of Bell's theorem, Physics Today 69(1), 14–16

[6] *http://www.qutools.com/qued/* (Stand: Februar 2016)

[7] Arndt, M. & Hornberger, K. (2014): Insight review: Testing the limits of quantum mechanical superpositions, Nature Physics 10, 271–277

[8] Ludwig, G. (1990): Die Katze ist tot. In: J. Audretsch & M. Mainzer (Hrsg.): Wieviele Leben hat Schrödingers Katze? BI-Wiss.-Verlag: Mannheim

[9] Schulz, T. (2015): Rechner-Revolution: Google und Nasa präsentieren Quantencomputer, Spiegel-Online: *http://www.spiegel.de/netzwelt/web/google-und-nasa-praesentieren-ihren-quantencomputer-a-1066838.html* [9.12.2015]

[10] Wang, J. et al. (2015): Quantum Photonic Interconnect, Preprint online: *http://arxiv.org/abs/1508.03214*

[11] Kueblbeck, J. & Müller, R. (2002): Die Wesenszüge der Quantenphysik, Praxis Schriftreihe, Band 60, Aulis Verlag

[12] *www.milq-physik.de* (Stand: Februar 2016)

[13] Müller, R. (2003): Quantenphysik in der Schule, Studien zum Physiklernen, Band 26, Logos-Verlag Berlin

[14] Dammaschke, T.: S·P·Q·R – Schülerprogramm zur Quantenreflexion, *http://milq-physik.de/U-Einheit_S·P·Q·R*

[15] Dammaschke, Th. & Müller, R. (2011): Modelle beim Lernen der Quantenphysik, Naturwissenschaft im Unterricht Physik, Nr. 122, 37–42

[16] *www.quanth-physik.de* [Februar 2016]

[17] Wilde, M. et al. (2009): Überprüfung einer Kurzskala intrinsischer Motivation (KIM). In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 15 (2009), 31–45.

[18] Franz, T.: Learning Quantum Information with Online Resources, In: L. J. Thoms & R. Girwitz (Hrsg.): Proceedings of the 20th MPTL conference, 205–212.

[19] Reisch, C. & Franz, T. (2016): Quantenkryptographie, PdN - Physik in der Schule, 1/65, 11–16

Trägheitskräfte im Mechanikunterricht?

Thomas Wilhelm

Beschleunigungssensoren sind heute in Technik und Alltag weit verbreitet. Es gibt Beschleunigungssensoren, die das Auslösen eines Airbags steuern oder die Festplatte des Laptops bei Stürzen zur Vermeidung von Beschädigungen abschalten, und Beschleunigungssensoren zur Steuerung moderner Videospiele. In Smartphones und Tablet-PCs werden Beschleunigungssensoren in verschiedensten Apps genutzt. Für den Physikunterricht sind Beschleunigungssensoren in zweierlei Hinsicht interessant:

1. als authentischer Anwendungskontext von physikalischen Inhalten [1] und
2. als authentisches Messgerät für physikalische Größen [2].

Alle Beschleunigungssensoren messen die Auslenkung eines Probekörpers und damit eine Kraft [1]. Immer wieder wird die Frage gestellt, welche Kraft da gemessen wird und welche Richtung diese Kraft bzw. die daraus berechnete Beschleunigung hat.

Bezugssysteme fachlich gesehen

In der Mechanik ist es wichtig, dass man sich stets bewusst ist, aus welchem Bezugssystem heraus man argumentiert. Darüber hinaus ist das die Grundlage der Speziellen Relativitätstheorie. So waren die Themen „Bezugssysteme" und „Trägheitskräfte" früher ein wichtiges Thema im Mechanikunterricht der Sekundarstufe II und in der Einführungsvorlesung zur Mechanik an der Universität. Das hat sich geändert, was hier begründet werden soll.

Für Newton gab es einen absoluten Raum, bezüglich dessen man alle Bewegungen beschreiben kann. Bewegungen werden bei ihm entsprechend aus der Sicht eines absolut ruhenden Beobachters beschrieben. Diesen absoluten Raum und ein ausgezeichnetes Bezugssystem gibt es zwar nicht, aber stattdessen können wir ein Bezugssystem nehmen, in dem das erste Newton'sche Axiom gilt. Es wird Inertialsystem genannt.

Für einen in diesem System ruhenden Beobachter, den wir auch als objektiv bezeichnen können, gilt nun nach dem zweiten Newton'schen Axiom das Folgende: Alle Kräfte $\vec{F}_i$, die auf einen Körper einwirken, müssen vektoriell addiert werden. Die Beschleunigung des Körpers ist dann proportional zu dieser Gesamtkraft (siehe Abb. 1).

Prof. Dr. Thomas Wilhelm war Gymnasiallehrer für Mathematik und Physik, promovierte an der Universität Würzburg über ein verändertes Mechanikkonzept, habilitierte dort über die Videoanalyse von Bewegungen, hatte eine Professur an der Universität Augsburg und ist nun Professor und Geschäftsführender Direktor am Institut für Didaktik der Physik der Universität Frankfurt. E-Mail: *Wilhelm@physik.uni-frankfurt.de*

Es gilt:

$$m \cdot \vec{a} = \sum_i \vec{F}_i \qquad (1),$$

wobei m die Masse des bewegten Körpers und die $\vec{F}_i$ die realen physikalischen Kräfte auf den Körper sind. Das ist die zentrale Gleichung der Newton'schen Dynamik, auch „Grundgleichung der Mechanik" genannt. Für die Schule formuliert [3]: *Eine resultierende Kraft bewirkt eine Geschwindigkeitsänderung und jede Geschwindigkeitsänderung kommt von einer resultierenden Kraft.* Dabei gibt es drei Grundarten von Geschwindigkeitsänderungen: das Schnellerwerden, das Langsamerwerden und die Richtungsänderung.

Setzt man sich stattdessen auf den bewegten Körper und betrachtet alles aus der subjektiven Sicht des mitbewegten Beobachters in dem beschleunigten Bezugssystem, glaubt man jedoch noch eine weitere Kraft zu sehen oder zu spüren, genannt Trägheitskraft. Nach d'Alembert ist mit der Trägheitskraft $\vec{F}_{Träg} = -m \cdot \vec{a}$ die Gleichung der Mechanik (1) umformulierbar in

$$\vec{F}_{Träg} + \sum_i \vec{F}_i = 0 \qquad (2),$$

wobei $\vec{a}$ die obige Beschleunigung ist (siehe Abb. 1).

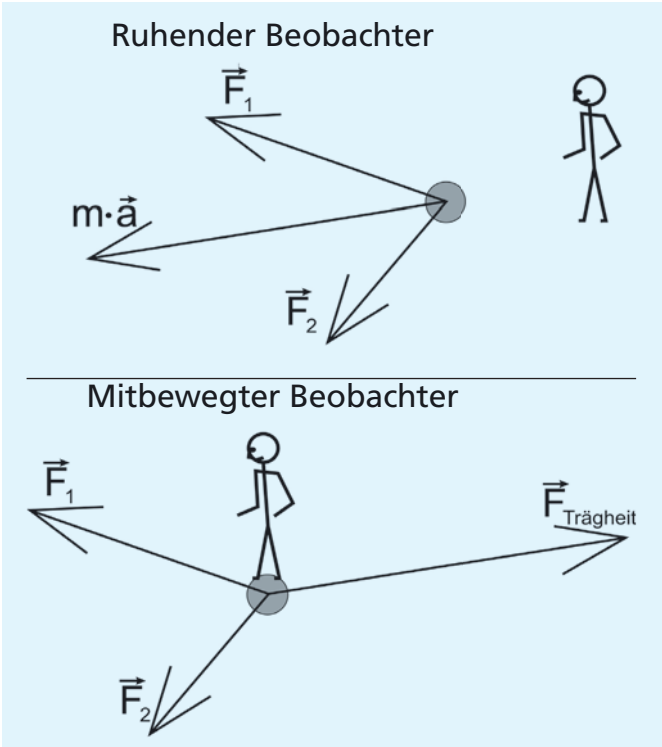


Abb. 1: Vergleich verschiedener Bezugssysteme

Diese Gleichung (2) entspricht formal einem Kräftegleichgewicht der Statik, die dynamische Situation wird damit durch eine Gleichgewichtssituation der Statik beschrieben. Man bezeichnet die Gleichung deshalb in missverständlicher Weise als „dynamisches Gleichgewicht". Ein Vorgang der Dynamik kann somit auch mit Methoden der Statik behandelt werden, wenn Trägheitskräfte berücksichtigt werden. Manchmal wird das auch das „d'Alembertsche Prinzip" genannt, obwohl dieses Prinzip noch mehr aussagt.

Bei geradlinigen Beschleunigungen sind die bekannten Trägheitskräfte zu berücksichtigen, die man beim Anfahren und Abbremsen erlebt. Bei rotierenden Bezugssystemen ist im schulischen Kontext nur die Zentrifugalkraft relevant (nicht die Corioliskraft). Zu all diesen Trägheitskräften gibt es aber keinen Wechselwirkungspartner, also keinen zweiten Körper, der eine solche Kraft auf den beschleunigten Beobachter ausübt und auf den selbst die betragsgleiche Kraft ausgeübt wird. Da eine Trägheitskraft also keine Kraft im Sinne der Newton'schen Axiome ist, wird sie als Scheinkraft bezeichnet.

Beispiel Kreisbewegung

Beide Beschreibungen sind äquivalent und physikalisch richtig. Als Beispiel sei eine Kreisbewegung eines Körpers mit konstantem Tempo betrachtet. Nach Newton ist die Bewegung von außen von einem ruhenden Punkt aus zu betrachten. Aus dieser objektiven Sicht stellt man als Bahnkurve des Körpers einen Kreis fest und sieht, dass sich die Geschwindigkeit permanent ändert, nämlich ihre Richtung. Diese Beschleunigung ist durch eine Kraft auf den Körper möglich, die immer nach innen, senkrecht zur Bewegungsrichtung wirkt. In Abb. 2 ist dies eine Zugkraft, die der Pflock über das Seil auf den Körper ausübt – unnötigerweise wird sie auch Zentripetalkraft genannt. Ein Ziel des Physikunterrichts ist, dass Schüler so argumentieren können.

Aus der subjektiven Sicht des mitbewegten Beobachters ist die Geschwindigkeit und die Beschleunigung null, da der Körper in diesem Bezugssystem ruht. Außerdem gibt es ein Kräftegleichgewicht: Zwei Kräfte kompensieren sich, die Zugkraft nach innen ist so groß wie die Zentrifugalkraft (Scheinkraft) nach außen, die auch Fliehkraft genannt wird (Abb. 2). Diese Argumentation verstellt allerdings das Verständnis für die Newton'sche Beschreibung der Bewegung.

Immer wieder findet man Darstellungen der Kreisbewegung, in der eine Geschwindigkeit und gleichzeitig eine Fliehkraft eingezeichnet sind. Das ist allerdings fachlich falsch, da beide in verschiedenen Bezugssystemen gelten. Im Inertialsystem gibt es keine Fliehkraft und im rotierenden Bezugssystem in diesem Fall keine Geschwindigkeit.

Natürlich muss die Zentripetalkraft von einem anderen Körper ausgeübt werden. In Abb. 2 ist das der Pflock in der Mitte, der die Kraft auf die Kugel als Zugkraft ausübt. Entsprechend übt nach dem dritten Newton'schen Axiom die Kugel auch eine Kraft auf den Pflock aus. Wir interessieren uns hier aber nur für den sich auf der Kreisbahn bewegenden Körper.

Lehre unter Berücksichtigung von Alltagsvorstellungen

Für den Physikunterricht ist nicht nur wichtig, was physikalisch richtig ist. Es muss auch überlegt werden, was das Ziel des Unterrichts ist und welche Schülervorstellungen zu berücksichtigen sind. Ein wichtiges Ziel ist sicher das Verständnis der Newton'schen Axiome, was allerdings nur schlecht gelingt. Ein viel genutztes Kriterium dafür, ob das Newton'sche Kraftkonzept verstanden wurde, ist, ob im Test „Force Concept Inventory" [6] 60 % der Aufgaben richtig gelöst werden können. Nach einem traditionellen Mechanikunterricht der Sekundarstufe II können das allerdings nur

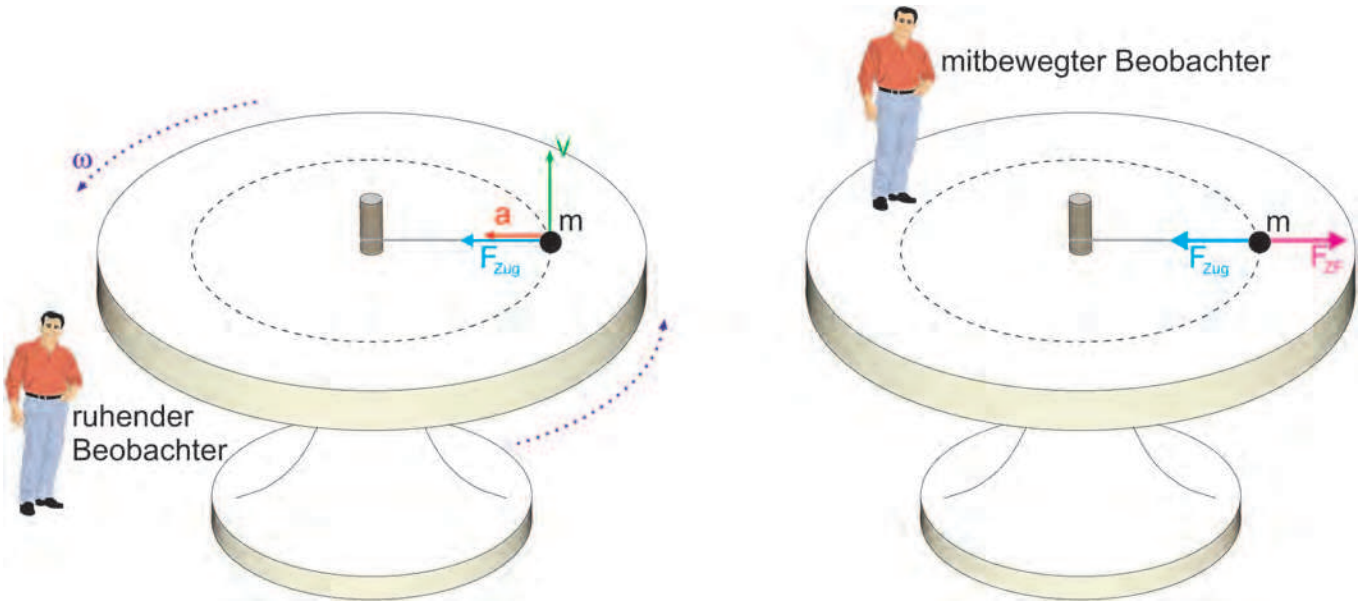


Abb. 2: Die Kreisbewegung in verschiedenen Bezugssystemen (aus [4], nach [5])

maximal 15 % der Schüler [7]. Damit kann die Newton'sche Mechanik als eines der schwierigsten Gebiete der Schulphysik bezeichnet werden.

Nun ist es so, dass die subjektive Sicht des mitbewegten Beobachters in etwa der Alltagssichtweise entspricht, während die Newton'sche Sichtweise des außenstehenden Beobachters dem diametral entgegensteht. Betrachten wir das am Beispiel eines Autos, das mit konstantem Tempo durch eine Kurve fährt (siehe Tab. 1). Im Alltag würde man sagen, es ist natürlich, d.h. normal und nicht erklärungsbedürftig, dass das Auto auf der Straße durch die Kurve fährt. Unnatürlich, nämlich selten und erklärungsbedürftig, ist es dagegen, wenn das Auto geradeaus aus der Kurve hinausfährt. Dieses Aus-der-Kurve-Fliegen geschieht durch eine Fliehkraft. Die Newton'sche Sicht ist genau umgekehrt. Gemäß dem ersten Newton'schen Gesetz ist es natürlich und nicht erklärungsbedürftig, dass das Auto geradeaus aus der Kurve hinausfährt, was passiert, wenn keine Kraft auf das Auto wirkt. Unnatürlich und erklärungsbedürftig ist, dass das Auto auf der Straße durch die Kurve fährt. Hierzu ist eine Kraft auf das Auto nötig, die auch Zentripetalkraft genannt wird und von der Straße in Form der Haftkraft ausgeübt wird.

	Subjektive Sicht des *mitbewegten* Beobachters (≈ Alltagssichtweise)	**Objektive Sicht des *außenstehenden* Beobachters (= Newton'sche Sichtweise)**
Auto in der Kurve	Natürlich ist, dass das Auto auf der Straße eine Kurve fährt. Hierbei wirkt keine Kraft auf das Auto	Natürlich ist, dass das Auto geradeaus aus der Kurve hinausfährt. Hierbei wirkt keine Kraft auf das Auto (Erstes Newton'sches Gesetz).
	Unnatürlich ist, dass das Auto geradeaus aus der Kurve hinausfährt. Hierbei ist eine Kraft auf das Auto nötig (Fliehkraft).	Unnatürlich ist, dass das Auto auf der Straße eine Kurve fährt. Hierbei ist eine Kraft auf das Auto nötig (Zentripetalkraft).
Kind im Karussell	Natürlich ist, dass das Kind im Karussell im Kreis fährt. Hierbei wirkt keine Kraft auf das Kind.	Natürlich ist, dass das Kind aus dem Karussell hinausgeschleudert wird. Hierbei wirkt keine Kraft auf das Kind (Erstes Newton'sches Gesetz).
	Unnatürlich ist, dass das Kind aus dem Karussell hinausgeschleudert wird. Hierbei ist eine Kraft auf das Kind nötig (Fliehkraft).	Unnatürlich ist, dass das Kind im Karussell im Kreis fährt. Hierbei ist eine Kraft auf das Kind nötig (Zentripetalkraft).

Tab. 1: Vergleich verschiedener Sichtweisen

Ein anderes Beispiel ist ein Kind, das Karussell fährt (Tab. 1). Im Alltag würde man sagen, es ist natürlich und erwartungskonform, dass das Kind im Karussell bleibt und im Kreis fährt. Unnatürlich und (physikalisch und juristisch) erklärungsbedürftig ist es, wenn das Kind aus dem Karussell hinaus geschleudert wird. Dies wird auf eine Fliehkraft zurückgeführt. In der Newton'schen Sichtweise ist es dagegen natürlich und im Falle keiner wirkenden Kräfte normal, dass das Kind aus dem Karussell hinaus geschleudert wird. Unnatürlich und erklärungsbedürftig ist dagegen, dass das Kind im Karussell im Kreis fährt, wozu wieder eine Kraft auf das Kind nach innen nötig ist.

Um die Newton'sche Sicht zu vermitteln, ist es deshalb wichtig, viele Beispiele aus der Sicht eines außenstehenden Beobachters zu besprechen. Ein intensives Behandeln aus der Sicht des mitbewegten Beobachters kann dagegen Fehlvorstellungen noch festigen.

Übungsaufgaben

Früher wurden in Schule und Universität viele Situationen aus der Sicht des mitbewegten Beobachters betrachtet und Aufgaben in diesem Bezugssystem gelöst. Man war der Meinung, dass viele dynamische Probleme dadurch anschaulicher, verständlicher und leichter lösbar wurden. Beispiele

sind Pendel, Fliehkraftregler, Motorräder und Flugzeuge in Kurven und die Kurvenüberhöhung von Straßen. Problematisch wird es, wenn sich die Schüler und Studenten nicht mehr bewusst sind, dass sie subjektiv aus der Sicht des mitbewegten Beobachters argumentieren und über Scheinkräfte reden, d.h. wenn sie zur objektiven Sicht nach dem zweiten Newton'schen Axiom nicht mehr fähig sind.

Zur Verdeutlichung der unterschiedlichen Sichtweisen und unterschiedlichen Aufgabenlösungen seien zwei Beispiele diskutiert. Zunächst sei ein Wunder-Baum, d.h. ein Duftstoffverbreiter in Form eines Nadelbaumes, betrachtet, der am Rückspiegel eines Autos hängt, das durch eine lange Kurve fährt, so dass sich der Baum bereits ausgependelt hat und alle Kräfte konstant sind (siehe Tab. 2). Aus der Sicht des Autofahrers wirken auf das Pendel eine Gewichtskraft, eine Seilkraft durch die Aufhängung und die Zentrifugalkraft, die sich alle kompensieren. Nach der Newton'schen Sichtweise erzeugen dagegen die Gewichtskraft und die Seilkraft die Zentripetalkraft, die nötig ist, damit der Wunder-Baum mit dem Auto durch die Kurve fährt.

Beim Motorrad, das durch eine Kurve fährt (Tab. 2), wirken auf das Motorrad die Gewichtskraft, eine Kraft durch den Boden und die Zentrifugalkraft, die sich alle zu null addieren. Für den Neigungswinkel des Motorrades gilt:

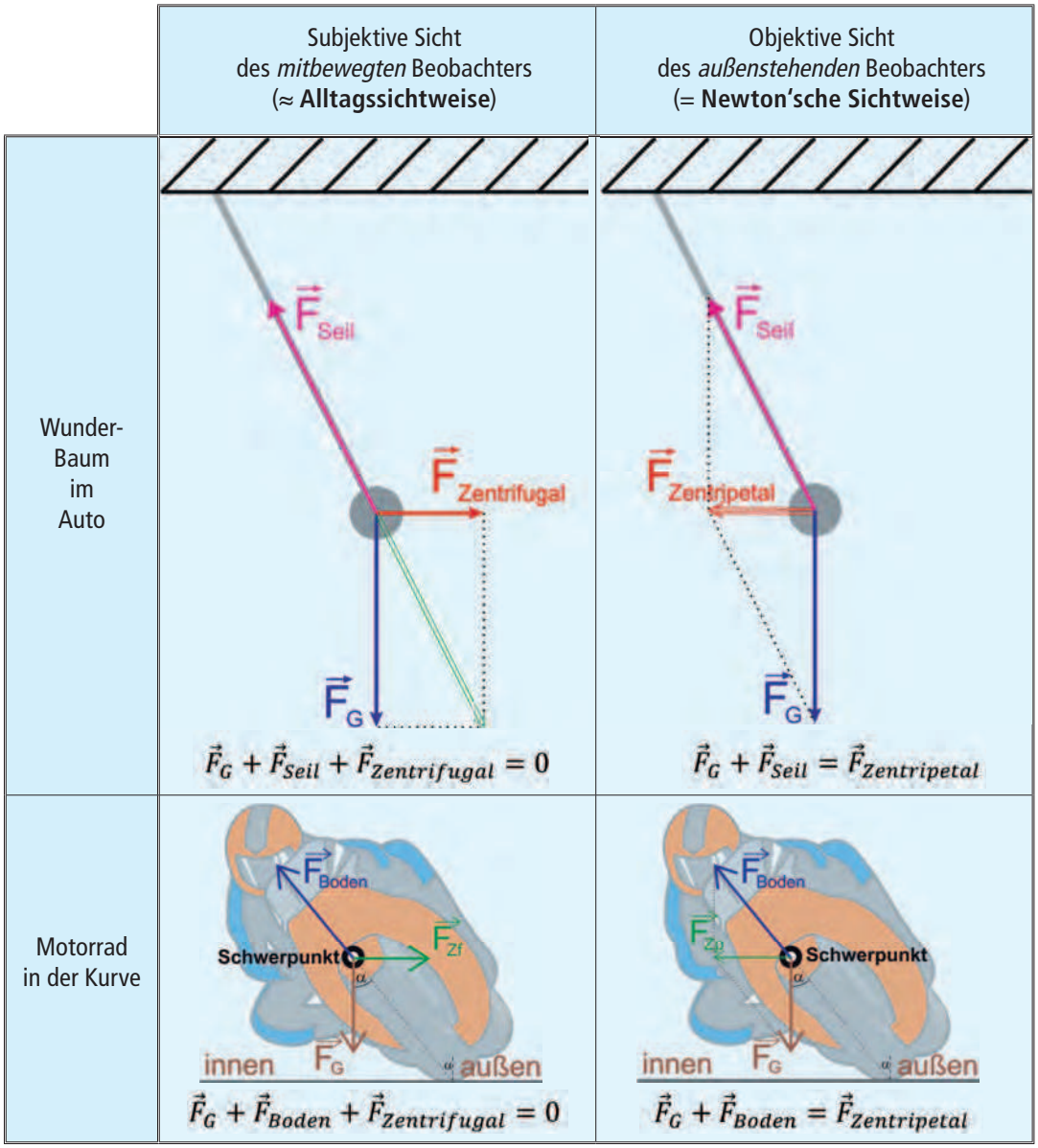
$$\tan \alpha = \text{Zentrifugalkraft} / \text{Gewichtskraft}.$$

Die Newton'sche Sichtweise ist jedoch, dass die Gewichtskraft und die Bodenkraft die Zentripetalkraft erzeugen, die für die Kurvenfahrt nötig ist und es gilt:

$$\tan \alpha = \text{Zentripetalkraft} / \text{Gewichtskraft}.$$

Die Kraft durch den Boden setzt sich wiederum aus der senkrechten Normalkraft und der tangentialen Haftkraft zusammen, so dass es letztlich die Haftkraft ist, die die Kurvenfahrt ermöglicht.

Eine Kräftezerlegung macht die Betrachtung hier nur zusätzlich kompliziert. Kräftezerlegungen sind zudem grundsätzlich in der Schule fachlich unnötig und für die Schüler unnötig schwierig [8].



Tab. 2: Verschiedene Lösungen typischer Aufgaben

Empfehlungen

Wichtig ist natürlich, immer zu betonen, aus wessen Sicht man gerade argumentiert: Redet man über eine Kraft, die auf einen Körper wirklich wirkt (z.B. Zentripetalkraft) oder die der mitbewegte Beobachter zu spüren glaubt (z.B. Zentrifugalkraft). Wenn es aber ein Ziel ist, dass Lernende die Newton'sche Dynamik verstehen, sollte nicht nur bei der Erarbeitung sondern auch bei allen Anwendungsaufgaben immer ausschließlich aus der Sicht des ruhenden Beobachters argumentiert werden.

Die Erfahrungen, die wir täglich in beschleunigten Bezugssystemen machen – vor allem in Fahrzeugen, die anfahren, anhalten oder in Kurven fahren –, und die hier erlebten Kräfte werden von Schülern im Unterricht explizit angesprochen [9]. Deshalb müssen solche Situationen und diese Erfahrungen auch im Unterricht besprochen werden. Dabei ist es nicht nötig, die Begriffe „Bezugssystem", „Inertialsystem" und „Trägheitskraft" einzuführen. Stattdessen unterscheidet man zwischen dem, was die mitbewegte Person glaubt, und dem, wie es tatsächlich ist und wir es als außenstehende Beobachter besser wissen. Das Kind im Karussell glaubt, eine Kraft habe es nach außen gedrückt. Tatsächlich hat aber das Karussell das Kind nach innen gedrückt. Der Autofahrer denkt, eine Kraft habe den Wunder-Baum nach außen gelenkt. Tatsächlich gab es eine Kraft zum Kreisinneren.

Aus diesen Gründen verzichten selbst moderne Universitätslehrbücher (z.B. [10, 11]) bei der Einführung der Newton'schen Axiome und ihren Anwendungen zunächst ganz auf nicht-inertiale Bezugssysteme und auf Trägheitskräfte und sollten damit ein Vorbild sein. Kreisbewegungen werden sinnvollerweise zunächst ausschließlich aus der Sicht des außenstehenden Beobachters erklärt. In [10] wird vor der Zentrifugalkraft zunächst als Missverständnis gewarnt und erst 240 Seiten später werden rotierende Bezugssysteme behandelt. In [11] kommen nichtinertiale Bezugssysteme und Trägheitskräfte in der Mechanik nicht vor, sondern nur Bezugssysteme, die sich mit konstanter Geschwindigkeit relativ zueinander bewegen. Interessant sind sie auch nur, wenn man im beschleunigten Bezugssystem eine Bewegung eines Körpers beschreiben will, der dort nicht ruht, während bei den obigen Schulbeispielen der Körper im beschleunigten Bezugssystem ruht.

Gemessen werden kann die Zentripetalbeschleunigung mit den heute in jedem Smartphone eingebauten Beschleunigungssensoren. In [1] ist dargelegt, wie deren Funktionsweise im Unterricht erklärt werden kann: Ein Probekörper, der in einem Sensor nur an einer Feder befestigt ist, wird bei der Kreisbewegung im Sensor nach außen verschoben. Die Feder des Sensors übt folglich auf den Probekörper eine Kraft nach innen aus, so dass sich dieser schließlich mit dem Sensor mitbewegt. Je größer die Beschleunigung des Sensors, desto weiter wird der Probekörper ausgelenkt und desto stärker drückt die Feder gegen diesen Probekörper nach innen. Die Auslenkung ist damit ein Maß für die Zentripetalkraft bzw. die angezeigte Zentripetalbeschleunigung. Für den Physikunterricht ist es sinnvoll, diese Auslenkung als Maß für die Beschleunigung des Smartphones vorzustellen. In jedem Falle sollte man im Unterricht die Behandlung der Zentrifugalkraft vermeiden und immer wieder nach der Beschreibung aus Sicht des außenstehenden, ruhenden Beobachters fragen.

Literatur

[1] Watzka, B., Scheler, S., Wilhelm, T. (2012): Beschleunigungssensoren. In: Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule 61, Nr. 7, S. 25–33

[2] Lück, S., Wilhelm, T. (2011): Beschleunigungsmessung mit dem iPhone. In: Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule 60, Nr. 7, 2011, S. 27–29

[3] Wilhelm, T. (2016): Elementarisierung in der Mechanik. Weglassen ist die Kunst. In: Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule 65, Nr. 5, 2016

[4] Wiesner, H., Wilhelm, T., Waltner, C, Tobias, V., Rachel, A., Hopf, M. (2011): Mechanik I: Kraft und Geschwindigkeitsänderung, Reihe Unterricht Physik, Band 5, Aulis-Verlag

[5] Tipler, P. A., Mosca, G., Wagner, J. (Hrsg.) (2015): Physik für Wissenschaftler und Ingenieure, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg

[6] Hestenes, D., Wells, M., Swackhamer, G. (1992): Force Concept Inventory. In: The physics teacher 30, S. 141–158

[7] 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, *http://www.phydid.de/index.php/phydid/article/view/32*

[8] Wilhelm, T.: Moment mal … (14): Wie entsteht die Hangabtriebskraft? – In: Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule 64, Nr. 2, 2015, S. 36–38

[9] Galili, I., Kaplan, D. (2002): Die Schülerinterpretation – Orientierung einer Wasseroberfläche und Trägheitskräfte im Physik-Lehrplan. In: Praxis der Naturwissenschaften - Physik in der Schule 51, Nr. 7, S. 2–11

[10] Giancoli, D. (2010): Physik. Lehr- und Übungsbuch, 3. aktualisierte Auflage, Pearson, München

[11] Halliday, D., Resnick, R., Walker, J. (2007): Physik. Wiley-VCH, Weinheim

Mathematisierung der Naturwissenschaften

Formeln in der Physik

Untersuchungsergebnisse und Praxisvorschläge zur Arbeit mit Formeln im Physikunterricht

Alexander Strahl

Kurzfassung

Obwohl die Mathematisierung in der Physik gerade in höheren Klassen und im Studium ein wichtiger Bestandteil ist, existieren kaum Forschungsberichte und auch so gut wie keine didaktischen Vorschläge zur Umsetzung in der Schule bzw. Hochschule. Der Artikel gibt einen Einblick in Teile der fachdidaktischen Forschung zum Thema „Formeln in der Physik". Unter anderem wird kurz auf Formeln in Schulbüchern eingegangen. Anschließend wird zusammenfassend über SchülerInnen- bzw. Studierenden-Befragungen informiert. Aus unterschiedlichen Untersuchungen wird die für Lernende optimierte Schreibweise von Formeln abgeleitet. Abschließend werden Ratschläge zum Umgang mit Formeln im Unterricht gegeben.

Einleitung

Landläufig werden Formeln als schwierig im Physikunterricht angesehen, doch diverse Untersuchungen zeigen, dass dies von Schülerinnen und Schülern nicht so gesehen wird [1, 2, 3].

Formeln sind ein wesentlicher Bestandteil der Physik, dennoch gibt es in der Fachdidaktik nur wenige Hinweise, wie das Arbeiten mit Formeln erleichtert werden kann. Die Mathematisierung in der Physik ist – neben dem Experiment – ein wichtiger Bestandteil des Erkenntnisprozesses, der im schulischen Unterricht für die Schülerinnen und Schüler zugänglich gestaltet werden sollte. Die Formel verkörpert eine wichtige Säule in der Physik und ist oft das Ergebnis eines langen Forschungsprozesses. In der Natur der Naturwissenschaft (NdNW) stellt die Mathematisierbarkeit einen der beiden Pfeiler der Erkenntnis dar, wobei dieser aber bei der Beschreibung der NdNW oft nicht berücksichtigt wird [4]. Laut Duden ist die Formel nicht nur eine „Folge von Buchstaben, Zahlen od. Worten zur verkürzten Bezeichnung eines mathematischen, chemischen oder physikalischen Sachverhaltes" [5], sondern auch ein „kurzer, knapper Satz oder Ausdruck, in dem sich ein gedanklicher Zusammenhang erhellend fassen lässt" [5].

Einer der wesentlichen Unterschiede zwischen Mathematik und Physik besteht darin, dass physikalische Formeln einen Definitionsbereich ihrer Gültigkeit besitzen [4, S. 53] und ihren Buchstaben Bedeutungen zugeordnet werden. Galileo Galilei schrieb 1623 in seinem Werk „Il Saggiatore" [6]: „Die Philosophie ist in jenem großen Buch geschrieben, das immer offen vor unseren Augen liegt (ich meine das Universum); aber wir können es nicht verstehen, wenn wir nicht zuerst lernen, die Sprache zu verstehen und die Zeichen zu kennen, in denen es geschrieben ist. Es ist in mathematischer Sprache geschrieben, und die Zeichen sind Dreiecke, Kreise und andere geometrische Figuren; ohne diese Mittel ist es menschlich unmöglich, ein einziges Wort zu verstehen; ohne diese irrt man in einem dunklen Labyrinth umher." So trifft Galilei hier die viel zitierte Aussage, dass Mathematik die Sprache der Physik sei, jedoch ist dies nicht durchgängig haltbar. Falls diese Analogie dennoch benützt werden soll, dann entsprechen die mathematischen Strukturen der Grammatik und die Formelzeichen der Semantik.

Formeln geben uns die Möglichkeit, mit Hilfe von Zeichen und Symbolen Teile der uns umgebenden Realität in verkürzter Form abzubilden, und darüber hinaus sogar neue Zusammenhänge zu entdecken. Sie sind ein „Modell zum Verständnis der Welt" [4, S. 50ff] und helfen uns, durch die Mathematisierung von Zusammenhängen, sehr präzise Klarheit in die Beschreibung der Natur zu bringen. Doch genau hier liegt die Ursache für die Verständnisprobleme von Schülerinnen und Schülern: die verwendeten Symbole und Begriffe sind nicht direkt aus der Beobachtung der natürlichen Phänomene ableitbar. Physik führt sichtbare Wirkungen und Phänomene auf unsichtbare Ursachen zurück, die sich letztendlich durch Formeln ausdrücken lassen.

Nach heutigem Stand ist es für jede Lehrkraft immer wieder aufs Neue eine Herausforderung, den Unterricht für die Schülerinnen und Schüler so zu gestalten, dass sie diese Formeln nicht nur benutzen, sondern auch lernen, reflektiert und sinnvoll (also verstehend) damit umzugehen. Generell rät die Fachdidaktik bezüglich der Formeln im Physikunterricht, ihre Verwendung möglichst gering zu halten (Stichworte: qualitative Betrachtung, phänomenologische Orientierung [7, 8, 9]). Dies gründet auch auf der Annahme, dass Formeln zu abstrakt und komplex, daher auch zu schwer für die Schülerinnen und Schüler seien. Dennoch haben sie nicht nur im naturwissenschaftlichen Studium und in der Physik als Wissenschaft eine hohe Bedeutung. Auch in der Schule wird Formeln weiterhin ein hoher Stellenwert zugeschrieben.

Ass.Prof. Dr. Alexander Strahl leitet die AG Didaktik der Physik an der Universität Salzburg. E-Mail: alexander.strahl@sbg.ac.at

Ziel ist es daher eine Brücke zu schlagen zwischen den Grundprinzipien des didaktischen Arbeitens und der Notwendigkeit, die schwierige Abstraktheit der Mathematisierbarkeit für die Schülerinnen und Schüler im Physikunterricht zugänglicher zu gestalten.

Schulbuchuntersuchungen

Ein permanenter Begleiter des schulischen Physikunterrichtes sind Schulbücher [10, 11]. Eine Untersuchung dieser Arbeitsgrundlage für den Unterricht verschafft einen Einblick über den Umfang und die Art und Weise, wie mit Formeln umgegangen wird.

Bei einer quantitativen Schulbuchuntersuchung von in Deutschland zugelassenen Büchern [12] wurden Formeln pro Seite gezählt. Dabei stellte sich heraus, dass die Formeldichte im Laufe der Schulzeit ansteigt. In der Schulstufe 5/6 ($FD_{5/6}$ = 0,01±0,01) sind noch keine Formeln in Physikbüchern zu finden, sie erscheinen erst in der Schulstufe 7/8 ($FD_{7/8}$ = 0,53±0,26) und steigern sich dann weiter in der Schulstufe 9/10 ($FD_{9/10}$ = 0,83±0,44). Von der Schulstufe 9/10 auf 11/12/13 kommt es zu einer mehr als Verdreifachung der Formeldichte ($FD_{11/12/13}$ = 2,90±0,43).

Die qualitative Untersuchung von 22 Schulbüchern [13] ergab, dass nur ein Buch einen eigenen Abschnitt zum Thema hatte. Alle anderen gehen zwar zum Beispiel auf die Fachsprache ein, schweigen aber über die Mathematisierung. In den untersuchten Physikschulbüchern werden somit neben der rein mathematischen Bearbeitung kaum Einführungen und nur wenige Hilfestellungen zum Umgang mit Formeln gegeben. Leider liegen für österreichische Schulbücher noch keine Forschungsergebnisse vor.

Ein durchgängiges Konzept oder ein strukturiertes Vorgehen, um den Umgang mit Formeln in kleinen Schritten von Anfang an zu erlernen, ist in keinem Schulbuch erkennbar. Auch in den zwölf untersuchten Büchern zur Fachdidaktik wird die didaktische Aufbereitung von Formeln für den Physikunterricht nur am Rande bearbeitet. Sie spielt zwar eine Rolle im Rahmen der Elementarisierung von Inhalten für den Unterricht, aber wie die Reduktion der Komplexität für Formeln im Einzelnen aussehen sollte und welche Aspekte bei der Erarbeitung, dem Umgang und dem sinnvollen Verstehen berücksichtigt werden müssen, wird nicht behandelt.

Einstellungen zu Formeln

Ergebnisse von SchülerInnen- und Studierenden-Befragungen

Studien zur Einstellung von SchülerInnen bzw. Studierenden gegenüber Formeln kommen zu teilweise überraschenden Ergebnissen [1, 2, 3, 14]:

- Schülerinnen und Schüler schätzen Formeln als hilfreich für das physikalische Verständnis ein.
- Formeln sind tendenziell nicht zu abstrakt, um deren physikalischen Inhalt zu verstehen.
- Formeln wird ein hoher Stellenwert zugeschrieben.
- Formeln sind eine übersichtliche Zusammenfassung für wichtige Beziehungen.
- Schwächere Schülerinnen und Schüler haben eher Probleme mit Symbolen und deren Bedeutungen innerhalb von Formeln.
- Auch Schülerinnen und Schüler, die sich in Mathematik als gut einschätzen, haben Probleme bei Formelumformungen oder -verknüpfungen.
- Schülerinnen und Schüler haben insgesamt eine positive Einstellung gegenüber Formeln.
- Schülerinnen und Schüler äußern sich laut Krey und Mikelskis eher positiv als negativ zu Formeln (97 zu 13 emotionale Äußerungen) [15].

Umgang mit Formeln

In zwei explorativen Studien wurde gezeigt, wie SchülerInnen sowie Studierende mit Formeln umgehen [16, 17].

Dabei standen die folgenden Fragen im Fokus:

- Werden Formeln bei Anwendern in Untereinheiten oder immer als Ganzes wahrgenommen?
- Falls es Untereinheiten gibt, lassen sich diese in Kategorien zusammenfassen?
- Sind die Probandeninnen und Probanden in der Lage, den Inhalt einer Formel zu interpretieren?

Bei der Zerlegung von Formeln in ihre Bestandteile konnte die Nutzung von folgenden Untereinheiten (Strukturelemente oder Chunks [18]) für die in der Formel enthaltenen Zeichen identifiziert werden:

Oberflächenmerkmale	• Zahlen • Konstanten • Variablen • physikalische Größen
Funktion	• abhängige Variablen • mathematisch (z.B. Ableitungen) • Ergebnis • Rechenzeichen
Bedeutung	• physikalische Bedeutung
Sonstige	• unklar

Tab. 1: Gruppierung von Formelbestandteilen

Im Rahmen der Untersuchung konnte festgestellt werden, dass die Schülerinnen und Schüler bestimmte Strukturelemente in Formeln erkennen und diese funktionalen Kategorien zuordnen. Allerdings sind die genutzten Strukturierungen und deren Begründung individuell geprägt. Weniger als die Hälfte der Befragten identifizierten Formelteile nach ihrer physikalischen Bedeutung. Dass sich nur eine geringe Anzahl von Probanden bei dem Versuch einer Interpretation tatsächlich inhaltlich mit den untersuchten Formeln (aus dem Lehrplan) auseinandersetzen konnte, weist darauf hin, dass die mathematische Nutzung von Formeln in der Schulphysik Vorrang hat und nicht das Verstehen und der sinnerfassende Umgang.

Schreibweisen von Formeln

Eine einheitliche Darstellungsweise von Formeln erleichtert Schülerinnen und Schülern den Umgang und somit auch den Zugang zu neuem Wissen. In Untersuchungen wurde festgestellt, dass die Schreibweise von Formeln, also ihre Oberflächenstruktur, dazu beiträgt, dass Formeln für Schülerinnen und Schüler mehr oder weniger abschreckend wirken. So stellte sich auch heraus, dass bestimmte Darstellungsweisen klar bevorzugt werden [19, 20]. Dabei wurden sowohl die physikalische als auch die mathematische Darstellung von Formeln untersucht, wobei sich jedoch keine Unterschiede ergaben. In den Untersuchungen wurden mehrere Schreibweisen einer Formel zur Auswahl gestellt. Aus Gründen der Übersicht wird im Folgenden jeweils nur ein Negativbeispiel genannt.

Bevorzugte Darstellungsweisen

- Produkte: Darstellung mit Multiplikationszeichen

  Also nicht $x = yz$, sondern $x = y \cdot z$

- Brüche (auch Einheiten): mit waagerechtem Bruchstrich, kein Schrägstrich oder hoch -1

  Also nicht $R = U / I$, sondern $R = \frac{U}{I}$.

- Wurzeln: mit Wurzelzeichen, keine Potenzschreibweise

  Also nicht $T = 2\pi\left(\frac{m}{D}\right)^{0,5}$, sondern $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{D}}$.

- e-Funktionen: in Exponentenschreibweise

  Also nicht $N = N_0 \cdot \exp(-\lambda \cdot t)$, sondern $N = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$.

- Differentiale: mit Differential, keine Punktschreibweise bei zeitlicher Ableitung

  Also nicht $v(t) = \dot{x}(t)$, sondern $v(t) = \frac{dx(t)}{dt}$.

- Vektoren mit Pfeilen, kein Fettdruck oder Unterstrich

  Also nicht $\underline{F}_{Lorentz} = q\left(\underline{v} \times \underline{B}\right)$, sondern $\vec{F}_{Lorentz} = q\left(\vec{v} \times \vec{B}\right)$.

- Reihenfolge: Ergebnis links, sowie erlernte Reihenfolge beibehalten

  Also nicht $\vec{a} \cdot m = \vec{F}$, sondern $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$.

- Indizes an Symbolen ausschreiben, das ist weniger abschreckend;

  Also nicht $F_C = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{q_E \cdot q_P}{r_{E-P}^2}$,

  sondern $F_{Coulomb} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{q_{Elektron} \cdot q_{Proton}}{r_{Elektron-Proton}^2}$.

- Einheiten in Gleichungen direkt am Zahlenwert;

  Also nicht $r = \frac{m \cdot v}{e \cdot B} = \frac{9{,}1 \cdot 10^{-31} \cdot 8{,}4 \cdot 10^{6}}{1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 1{,}75 \cdot 10^{-3}}$ in $\frac{\mathrm{kg} \cdot \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}}{\mathrm{C} \cdot \mathrm{T}}$,

  sondern $r = \frac{m \cdot v}{e \cdot B} = \frac{9{,}1 \cdot 10^{-31}\,\mathrm{kg} \cdot 8{,}4 \cdot 10^{6}\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}}{1{,}6 \cdot 10^{-19}\,\mathrm{C} \cdot 1{,}75 \cdot 10^{-3}\,\mathrm{T}}$

- Schreibweise: Formelzeichen sind kursiv, Einheiten gerade zu schreiben

- Eckige Klammern bei Einheiten in Gleichungen sollen laut DIN Norm 1313 [21] nicht verwendet werden. Zulässig ist z. B. Formelzeichen / Einheit. Aus didaktischer Sicht ist aber die verständlichste Version „Formelzeichen in Einheiten", da Schülerinnen und Schüler oft Formelzeichen und Einheit vertauschen oder durcheinander bringen. Somit kann das Wort „in" eine kognitive Trennung darstellen, die hilft beides voneinander zu separieren. Dies ist insbesondere bei der Beschriftung von Diagrammen wichtig.

  Also nicht *R* [Ω] oder *R* / Ω, sondern *R* in Ω [22, 23].

Weitere allgemeine Empfehlungen

- Symbole und Zeichen durchgehend einheitlich und eindeutig benutzen, um Verwirrung zu vermeiden [14]:

  Also nicht *E*, *W* und *A* für Energie, sondern nur eine der drei oder besser noch E_{kin}, E_{pot}, E_{elek}.

- Bei der Lösung von Aufgaben immer die Grundform/ den Infinitiv einer Formel aufschreiben lassen, bevor die Formel umgestellt wird. Dies reduziert Fehler beim Umstellen und erweitert die Diagnosemöglichkeiten der Lehrkraft. Des Weiteren fühlen sich Schülerinnen und Schüler sicherer, wenn sie schon etwas aufgeschrieben haben.

- Obwohl Schülerinnen und Schüler mit 58,8 % [20] die Schreibweise bevorzugen, in der sowohl Konstanten, als auch Variablen in einem Bruch stehen, nämlich:

  $$F_{Coulomb} = \frac{q_1 \cdot q_2}{4\pi\varepsilon_0 \cdot r_{1-2}^2}$$

wird eine andere Empfehlung ausgesprochen. Konstanten und Variablen sollten getrennt voneinander aufgeschrieben werden. Hinter dem Gleichheitszeichen erst die Konstante(n) und gegebenenfalls Zahlen und dann die Variable(n):

Resultat = Konstanten ⊗ Variablen

$$F_{Coulomb} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{q_1 \cdot q_2}{r_{1-2}^2}$$

Schülerinnen und Schüler sollen lernen, welche Bestandteile in einer Formel wichtig sind und was nur ein Vorfaktor ist. Falls alles auf einem Bruchstrich steht oder gar die Terme in der Reihenfolge gemischt werden, ist es sehr schwierig zu erkennen, welche Größen das Ergebnis beeinflussen. Wichtig ist dabei, dass den Schülerinnen und Schülern immer wieder die Unterschiede aufgezeigt werden, damit sie die Strukturelemente erkennen und diese inhaltlich zueinander in Beziehung setzen lernen.

- Messwertdiagramme und die daraus entwickelbare Formel sollten explizit miteinander verknüpft werden, da gerade in der Schulphysik die zugehörige Formel meist aus den Messgraphen entwickelt werden kann. Die dazu nötige Zeit muss in der experimentellen Planung unbedingt bedacht werden. Oft wird nach dem Durchführen eines Experimentes, der Protokollierung der Messwerte und dem Zeichnen eines Grafen abgebrochen. Doch gerade hier wird es für die Lernenden interessant, da ein Experiment nur diskrete (zu diesem Aufbau gehörende) Messwerte liefert, Formeln aber kontinuierliche Ergebnisse möglich machen, die nicht nur für ein Experiment gelten.

Thesen zum Umgang mit Formeln in Schule

Aus den Untersuchungsergebnissen und fachdidaktischen Überlegungen lassen sich folgende Thesen für den Unterricht ableiten:

- Schülerinnen und Schüler als mündig ansehen: Aufklären, warum Formeln wichtig sind,
- Frühzeitige Einführung der Mathematisierung im Unterricht ermöglicht einen sukzessiven Einstieg und erleichtert das Verständnis,
- Explizite Einführung, Verwendung und Reflexion von Formeln (in den meisten Schulbüchern nicht umgesetzt),
- Orientierung des Schwierigkeitsgrades an der Chunk- und Cognitive Load Theory (auf Altersstufe und Vorwissen anpassen),
- Kleinschrittige Einführung von Neuem (sonst Überlastung des Arbeitsgedächtnisses),
- Lernzeiten für den mathematischen Umgang geben (Übung ist ein wichtiger Bestandteil zum Aufbau von Fähigkeiten),
- Häufiges Wiederholen und Üben in leicht veränderten Varianten und Aufgabenstellungen (verstärkt Schemata und ermöglicht den Aufbau von prozeduralem Wissen = Handlungswissen),
- Vorteile und Nutzen für den Alltag herausarbeiten (an Beispielen),
- einheitliche klare Schreibweisen der Formeln und Einheiten (bei unterschiedlichen Symbolen werden im Gedächtnis neue Knotenpunkte angelegt, da nicht erkannt wird, dass es sich um denselben Inhalt handelt), sowie
- Schülerinnen und Schülern mit der Methode des Forschenden Lernens die Möglichkeiten und Handwerkszeuge vermitteln, mit denen sie selbstständig Messgraphen analysieren können und eigenständig Formeln entwickeln.

Folgerungen

Die Mathematisierbarkeit der Welt stellt einen interessanten und unglaublichen Zusammenhang dar, der auch in der Schule vermittelt werden sollte. Nicht nur, damit die Schülerinnen und Schüler anschlussfähig bleiben, sondern auch weil es zur Allgemeinbildung beiträgt. Wie gezeigt werden konnte, lehnen Schülerinnen und Schüler die Mathematisierbarkeit in der Physik nicht ab. Doch haben sie oft Schwierigkeiten, das Gelernte aus Mathematik in der Physik anzuwenden. Dies scheint zunächst verwunderlich, jedoch liegt es daran, dass keine oder nur wenige Verknüpfungen im Geist zwischen Mathematik und Physik bei den Schülerinnen und Schülern vorhanden sind, da beide meist in unterschiedlichen Netzwerken im Kopf organisiert sind [24].

Vor allem ist zu bedenken, dass ein wesentlicher Teil des mathematischen Handwerkszeugs für das Fach Physik von einem anderen Schulfach erarbeitet wird. In der Chemie werden z. B. Strukturgleichungen im Fach selbst eingeführt und können so besser eingesetzt werden, da Schülerinnen und Schüler sie direkt im Netzwerk Chemie abspeichern und nicht im Netzwerk Mathematik. Es erscheint daher ratsam, entweder konkret auf physikalische Entsprechungen des mathematischen Handwerkszeugs einzugehen, oder ein wenig physikrelevante Mathematik im Physikunterricht zu integrieren, damit entsprechende Verknüpfungen in den Netzwerken verbunden oder aufgebaut werden können.

Literatur

[1] Müller, R. & Heise, E. (2006): Formeln in physikalischen Texten: Einstellung und Textverständnis von Schülerinnen und Schülern. PhyDid A 2/5, S. 62–70.

[2] Strahl, A., Mohr, M., Schleusner, U. & Müller R. (2009): Beurteilung von Formeln durch Schüler – eine Fragebogen Untersuchung. In: Chemie- und Physikdidaktik

für die Lehramtsausbildung - D. Höttecke (Hg.) GDCP Tagungsband 29 – Lit Verlag Berlin.
[3] Strahl, A., Mohr, M., Schleusner, U., Krecker, M. & Müller, R. (2010): Akzeptanz von Formeln – Vergleich zweier Erhebungen. PhyDid B.
[4] Strahl, A. & Preißler, I. (2014): Fachdidaktik der Naturwissenschaften unter besonderer Berücksichtigung der Physik. BoD, Norderstedt.
[5] Duden (2010): Das Fremdwörterbuch. 10. Aufl. Mannheim.
[6] Galilei, G. (1623): Il Saggiatore. In Galilei 1938 Rom: Accademico Linceo, 1623, S. 567–841.
[7] Reinhold, P. (2006): Elementarisierung und didaktische Rekonstruktion. In: Mikelskis (Hrsg.), Physikdidaktik – Praxishandbuch für die Sekundarstufe I und II. Cornelsen Scriptor.
[8] Bleichroth W. (1991): Elementarisierung, das Kernstück der Unterrichtsvorbereitung. In: Naturwissenschaften im Unterricht – Physik 2, 1991, S. 4–11.
[9] Wagenschein, M. (1962): Die Pädagogische Dimension der Physik. Aachen.
[10] Merzyn, G. (1994): Physikschulbücher, Physiklehrer und Physikunterricht. Kiel: IPN.
[11] Härting, H., Kauertz, A. & Fischer, H.E. (2012): Das Schulbuch im Physikunterricht. In: MNU 65/4, 197–200.
[12] Strahl, A., Thiele, S. & Müller, R. (2012): Formeln in Physik(schul)büchern – eine quantitative Untersuchung. In: S. Bernholt (Hrsg.): Inquiry-based Learning – Forschendes Lernen. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Hannover, 329–331. Kiel: IPN.
[13] Strahl, A., Franz, R. & Müller, R. (2013): Qualitative Analyse von Schulbüchern zum Thema Formeln. PhyDid B.
[14] Strahl, A. & Müller R. (2007): Formelverständnis in der Physik: erste Ergebnisse einer Untersuchung. Didaktik der Physik. In: Beiträge zur Frühjahrstagung der DPG Regensburg (Hrsg.: V. Nordmeier und A. Oberländer).
[15] Krey, O. & Mikelskis, H. (2009): Die Rolle der Mathematik in der Physik – Ergebnisse einer Schülerbefragung. PhyDid B.
[16] Strahl, A., Schleusner, U., Mohr, M. & Müller, R. (2010): Wie Schüler Formeln gliedern – eine explorative Studie. PhyDid A.
[17] Strahl, A., Hemme, D., Herbst, M. & Müller, R. (2015): Wie Studierende Formeln gliedern, PhyDid B.
[18] Stindt, F. Müller, R. & Strahl, A. (2014): Chunks in Chemie- und Physikaufgaben. PhyDid B.
[19] Strahl, A. & Müller, R. (2009): $U=R\cdot I$ oder $R=U/I$ – Untersuchungen zur Darstellung von Formeln. erschienen auf der CD zur DPG Frühjahrstagung – Fachverband Didaktik der Physik 2009 (V. Nordmeier, A. Oberländer (Hg.) Berlin).
[20] Strahl, A., Grobe, J. & Müller, R. (2010): Was schreckt bei Formeln ab? – Untersuchung zur Darstellung von Formeln. PhyDid B.
[21] DIN 22 (2009): DIN-Taschenbuch 22, Einheiten und Begriffe für physikalische Größen, 9. Auflage, Beuth, Berlin, Wien, Zürich.
[22] Strahl, A., Jezek, J. & Müller, R. (2011): Formeln und Einheiten – Ergebnisse einer Vorstudie. In: D. Höttecke (Hrsg.), Naturwissenschaftliche Bildung als Beitrag zur Gestaltung partizipativer Demokratie. GDCP Tagungsband 31, Lit-Verlag.
[23] Strahl, A., Hagendorf, S. & Müller, R. (2014): Oberflächeneigenschaften von Einheiten – Ergebnisse einer Studenten und Schüler Befragung. In: S. Bernholt (Hrsg.), Naturwissenschaftliche Bildung zwischen Science- und Fachunterricht. GDCP, 318-320. Kiel: IPN.
[24] Anderson, J. (2001): Kognitive Psychologie, 3. Aufl., Heidelberg, Berlin: Spektrum Verlag.

Links zu Veröffentlichungen:

[14] *http://www.strahl.info/_veroeffentlichungen/2007_Strahl_Formelverstaendnis_in_der_Physik_DD_15_02.pdf* [Juli 2016]
[19] *http://www.strahl.info/_veroeffentlichungen/2009_Strahl_URI_Untersuchtung_zur_Darstellung_von_Formeln_DD_16_03.pdf* [Juli 2016]

Spielzeug als Zugang zur Physik

Wolfgang Hund

"GleisFAHREN bildet nicht,
sondern nur GleisLEGEN!"
Martin Wagenschein

Plädoyer für einen "phänomenalen" Physikunterricht

Das deutsche Nachrichtenmagazin FOCUS legt in seiner Ausgabe 48/2015 den Finger auf einen wunden Punkt, als es unter der Überschrift *"Fachwissen mal null = ?"* den Mangel an naturwissenschaftlich ausgebildeten Lehrern an deutschen Schulen beklagt. *"Besonders dramatisch ist er für Physik"*, wird darin der Physikprofessor Becker zitiert, dessen Sohn von einem fachfremden Musiklehrer unterrichtet wurde. Da dies kein Einzelfall sei (bereits heute hat jeder siebte gymnasiale Physiklehrer keine adäquate Ausbildung), wird eine fatale Abwärtsspirale in Gang gesetzt: *" ...Inkompetente Lehrer wecken nur wenig Begeisterung für die Naturwissenschaft … Statt interessanter, aber zeitaufwendiger Experimente schreiben sie nur Formeln an die Tafel"*, erkennt Becker. *"Gelangweilte Schüler, dadurch frustrierte Lehrer – der Kreis wird geschlossen." Vor allem deshalb werde Physik zum wohl unbeliebtesten Schulfach. Als Folge wählen im Land von Einstein, Planck und Heisenberg die meisten Schüler das Fach Physik ab."*

Der Artikel schließt mit dem Aufzeigen von grundsätzlichen, lang– und mittelfristigen Änderungsmöglichkeiten. Vor allem wird betont, dass *"...Physik das interessanteste Schulfach sein könnte..."*, weil auf ihr Chemie und Biologie aufbauen und sie erklärt, was die Welt im Innersten zusammenhält. *"Sie liefere die Grundlagen für Energieversorgung, Umwelttechnik sowie die Entwicklung elektronischer Geräte für die Telekommunikation, Datenverarbeitung und Medizintechnik. Dem müssten die Schulen schon in der Unterstufe Rechnung tragen."*

SO IST ES! Allerdings braucht man nicht einmal in solche Höhen zu steigen: Oft genug erlebe ich ungläubiges Staunen bei allen Altersgruppen, wenn ich bei der Kaufberatung für physikalisches Spielzeug oder physikalisch begründeten Zauberkunststücken darauf hinweise, dass das eigentlich *"Physik pur"* sei.

Viele Stunden meines eigenen Physikunterrichts und des meiner Referendare wurden begonnen mit einem problemhaltigen Alltagsvorgang, mit einem Spielzeug, mit einem Zaubertrick, in dem eine physikalische Thematik versteckt war. Ziel dabei war immer, weg zu kommen von der vielgescholtenen *"Kreidephysik"*.

Wolfgang Hund war Lehrer an einer Bayerischen Hauptschule und leitend als Lehreraus– und –weiterbildner tätig. Er ist Mitglied der Gesellschaft zur wissenschaftlichen Untersuchung von Parawissenschaften e.V.: *www.gwup.org*. E–Mail: *hund–hersbruck@t–online.de*.
Der Beitrag basiert auf dem Experimentalvortrag "Ist es Wissenschaft oder Zauberei?" und dem Workshop "Spielzeug als Zugang zur Physik" anlässlich der Fortbildungswoche 2016.

Die Autoren H. J. Schlichting und C. Ucke schreiben im Vorwort ihres neuen Buches [1], dass der Physikunterricht seinen Beitrag zur Emanzipation des Lernenden natürlich nur dann liefern könne, *"wenn die physikalischen Probleme auch auf die Lebenswelt bezogen werden. Dieser Bezug darf nicht nur eine verbale Absichtsbekundung bleiben, er muss gelebt und unmittelbar erfahren werden."*

Im **Experimentalvortrag** *"Ist es Wissenschaft oder Zauberei?"* wurde deshalb von mir Wert darauf gelegt aufzuzeigen, wie altbekannte Lerninhalte für die Schüler wieder "frag–würdig" im wörtlichen Sinne werden können. Gerade die im Spiralcurriculum immer wieder auftauchenden Themen wie Luft, Wasser, Magnetismus, Elektrik, Mechanik ... motivieren in höheren Klassen zunächst wenig: *"Kennen wir doch schon! Was soll denn an Wasser so interessant sein ...?"* – jeder Lehrer kennt solche Sätze, auch von anderen Bereichen.

Der didaktische Ehrgeiz muss deshalb sein, vor allem eine Eingangssituation zu schaffen, die zum Stutzen, zum Staunen, zum Verblüfftsein führt: *"Häh! Was ist da los? Wie geht denn das?"*

Dass dies möglich ist, habe ich viele Male erfahren und erlebe es immer wieder. Natürlich nicht bei allen Schülern und nicht bei allen Themen.

Vorgeführt wurden beim Vortrag in Wien Beispiele aus den drei Lernzielbereichen
a) kognitiv (fachlich–sachlich),
b) instrumental (fachspezifische Arbeitsweisen) und
c) affektiv (Freude an ..., Staunen über).

a) Im fachlichen Bereich *"Wasser/Flüssigkeiten"*: Die unendliche Wasservase (eine "leere" Vase wird immer wieder ausgegossen); das Hydrostatische Glas/der Wasserbecher (Wasser hängt in der Luft); das Magische Milchglas (Flüssigkeit wird verdoppelt und durch den Hörsaal "gebeamt"); die Magische Milchdurchdringung (Milch fließt durch eine massive Glasscheibe). Als aktuellen und lokalen Bezug stellte ich noch den Streit um das sog. Grander–Wasser vor als Beispiel für esoterischen Missbrauch mit pseudowissenschaftlichen Behauptungen [2].
Im Bereich *"Elektrizität"*: Magische Schaltungen; die Magi–sche Glühbirne (die in der Hand leuchtet)

b) Im Hinblick auf einen idealtypischen Ablauf des Ganges der Erkenntnisgewinnung in den Naturwissenschaften wurde ein vielfältig erprobter Unterrichtsablauf vorgestellt. Nicht mit einer physikalischen Thematik, sondern anhand eines Zaubertricks, der in einer Fernsehsendung von einem

Scharlatan als "echt magisch" dargestellt wurde. Mit wenig Aufwand kann der Ablauf im Unterricht nachgestellt und dann praktisch hinterfragt und untersucht werden [3]. Dabei lernen die Schüler idealtypisch (und ohne es zu merken!), wie in den Naturwissenschaften Erkenntnisse gewonnen werden. Die pädagogische Absicht dabei ist es, diesen Ablauf auf spätere physikalische / chemische / biologische Fragestellungen übertragen zu können:

So lösen wir Probleme:

1. Wir formulieren eine genaue Problemfrage.
2. Wir sammeln Vermutungen: "Vielleicht liegt es daran, dass... ?"
3. Wir überlegen, wie wir die Vermutungen überprüfen können: "Was müssen wir tun, um herauszufinden, ob...?"
4. Wir überlegen, welches Material wir für die Überprüfung brauchen.
5. Wir überlegen, wo wir Informationen herbekommen.
6. Wir überlegen, wie die Experimente aussehen müssen, damit sie unsere Frage beantworten.
7. Wir führen die Versuche durch und sammeln Informationen.
8. Wir vergleichen die Ergebnisse der Versuche mit den Vermutungen (sind sie falsch oder richtig?).
9. Wenn keine unserer Vermutungen richtig war: Wir müssen neue Vermutungen sammeln und diese dann ebenfalls überprüfen.
10. Wir antworten auf die Frage vom Anfang. Können wir eine eindeutige Antwort geben? Wie heißt sie?

c) Affektiver Lernzielbereich: Jeder Physiklehrer hat in seinem Leben wohl schon das fast entsetzte Zurückweichen einer ihm noch unbekannten Person erlebt, wenn bei der Vorstellung erwähnt wurde, dass man Mathematik– und Physiklehrer sei. Diese beiden Fächer (dazu noch Chemie) sind allgemein gefühlsmäßig nicht sehr positiv belegt, sie haben ein Imageproblem.

Dabei gibt es viele faszinierende Möglichkeiten für alle Altersstufen, sich spielerisch mit naturwissenschaftlichen Themen zu befassen. Einige aktuelle Beispiele wurden gezeigt (und später von den Teilnehmern mit erkennbarer Freude selbst ausprobiert):

- Die magische Sprungfeder
- Der Energiestab
- Der schwebende Vogel
- Die Spionbrille
- Das Hütchen–(Betrüger–)Spiel mit Super–Absorber (aus Babywindeln) usw.

Im dreistündigen Workshop *"Spielzeug als Weg zur Physik"* wurden 56 Stationen aufgebaut, an denen die Teilnehmer durchgehend praktisch entsprechende Geräte ausprobieren und die physikalischen Hintergründe reflektieren konnten. Spezielle Literatur zur Vertiefung war jeweils an den Stationen ausgelegt. Alle physikalischen Zaubertricks und physikalischen Spielzeuge der Plenumsveranstaltung und des Workshops sind erhältlich bei

Gabys Zauberland (www.hund–hersbruck.de)

- Schwerpunkt-Phänomene: Weinflaschenhalter + Schwebender Vogel + Haken + Akrobat
- Singende Magnete
- Fliehkraft-Rätsel: Münztresor + Münzschachtel
- Kugelwippen
- Optikphänomene: Microbank + Magische Spardose
- Trinkvogel
- Kartesianischer Taucher: Flaschenteufel + Qualle + Flaschentaucher
- Spin Bank
- Hui-Maschine + Vibra Prop
- Tasse der Erbtante
- Glühbirnen
- Schwebender Kreisel
- Mirage / Mirascope
- Wackeltiere
- Keltische Wackelsteine
- Fun Fly Stick
- Unfassbar
- Kreisel (verschiedene)
- Hypnosepüppchen
- Thunder Pops + Hüpfscheiben
- Magneto-Spielzeug
- Wahrsagefisch
- Kaleidoskope
- Heulrohr
- Jakobsleiter
- Klopfspecht
- Pendulator
- Stoppwürfel
- Heron's Brunnen / Fountain Connection
- Unendliche Wasservase
- Ausblaslicht
- Alkoholtester
- Aufwärtsrollender Doppelkegel
- Ballon in der Flasche
- Ballonfahrzeuge
- Cosmic Ball + Energiestab
- Der heiße Draht
- Dosenbumerang
- Trompetenrohr + Donnerrohr
- Das Leitermännchen
- Seifenblasen (berührbar)
- Energieumwandlung: Aufzieh-/ Rückzugmotor
- Nostalgisches Holzspielzeug
- Die magische Papierflöte
- Die trääääge Münze
- Physikalische Äquatorialeier
- Bumerangs
- Optische Illusionskarten
- Das Magische Auge
- Verrückte Wirbler
- Gyroskope
- Spionauge + Spionbrille
- Sturmscheiben
- Sprungfedern
- Wasseruhren
- Elastizität

Literatur

[1] Schlichting, H.J., Ucke, C. (2016): Physikalische Spielereien – Aktiv, kreativ, lehrreich, Weinheim, Wiley–VCH–Verlag

[2] *http://homepage.univie.ac.at/erich.eder/wasser/* [12.9.2016]

[3] Hund, W. (1998): "Zaubern" kann jeder! Zaubern kann keiner! – Naturwissenschaftliches Denken im Dienst der Entzauberung "okkulter" Phänomene, Naturwissenschaften im Unterricht – Physik; Heft 43 (Download unter: *http://www.hund–hersbruck.de/zaubern.htm* [12.9.2016])

Grenzen des Lichts

Unterrichtsfilm online auf Bildungsmedien.tv

Evangelia Tzoukas

Licht und Farbe im Unterricht

Menschen sind visuell gesteuerte Wesen - das Sehen ist unser Hauptsinn. Licht und Farben umgeben uns überall im Alltag. Schon kleine Kinder lernen ganz selbstverständlich die Farben zu benennen. Dennoch eröffnet gerade der naturwissenschaftliche Unterricht in Physik und Biologie den meisten SchülerInnen erstmals ganz neue Erkenntnisse im Bereich der Optik und optischen Wahrnehmung.

Denn, was ist eigentlich Licht? Und was ist Farbe? Wie entstehen Farbeindrücke? Warum ist der Himmel blau? Kann man Farben auch im Dunkeln sehen? Wie sehen Tiere ihre Welt? Warum sind Pflanzen grün? Womit wurde in früheren Epochen gemalt und welche symbolische Bedeutung hatten die Farben? Diese und andere Fragen ergeben sich allein schon in Bezug auf den für uns sichtbaren Teil des Lichts.

Das Thema Licht und Farbe bietet somit viele Anknüpfungspunkte zu anderen Unterrichtsfächern wie Chemie, Psychologie, Bildnerische Erziehung, Kunst und Technik. Es ist daher ein ideales Thema für fächerübergreifende Unterrichtsprojekte, aber auch für eine intensivere Auseinandersetzung in Wahlfächern und -modulen oder im Rahmen einer Vorwissenschaftlichen Arbeit.

Grenzen des Lichts – Ein Film zum Einstieg

Die Dokumentation „Grenzen des Lichts – Das sichtbare und unsichtbare Lichtspektrum" aus der Reihe „Universum" von Alfred Vendl und Steve Nicholls ist ein idealer filmischer Einstieg in die faszinierende Welt von elektromagnetischen Wellen, Licht und Farbe. Die als Unterrichtversion BMB Medienservice erschienene DVD-ROM bietet einen guten Überblick über das komplette Lichtspektrum von der kurzwelligen Gammastrahlung bis zu langwelligen Radiowellen und über alle Wellenlängenbereiche des sichtbaren Lichts.

Anhand von Beispielen und praktischen Anwendungsmöglichkeiten aus Natur, Kunst und Technik wird jeder Wellenlängenbereich des Lichtspektrums anschaulich präsentiert. Grundlagen der Optik, wie die Unterschiede zwischen additiver und subtraktiver Farbmischung, Absorption, Reflexion und Streuung von Licht werden erklärt.

Medienbegleitheft zur DVD des BMB Medienservices „Grenzen des Lichts"

„Grenzen des Lichts" begibt sich auch auf die Spuren großer Entdecker von Leonardo da Vinci bis Albert Einstein, William Herschel und Wilhelm Röntgen und stellt deren bahnbrechende Versuche im Bereich der Optik nach. Modernste Kameratechnik kommt zum Einsatz und macht auch den für uns unsichtbaren Teil des Lichtspektrums sichtbar.

Der Unterrichtsfilm auf DVD und im Online-Streaming

Die BMB Medienservice Fassung für den Unterricht teilt die insgesamt 47 Minuten dauernde „Universum"-Fernsehdokumentation in einzeln anwählbare kurze thematische Kapitel, die je nach Bedarf nacheinander oder auch nur als Einzelfilme gezeigt werden können. Die einzelnen Kapitel, die nach einer allgemeinen Einführung, die unterschiedlichen Wellenlängenbereichen des Lichts nacheinander abhandeln, dauern nur wenige Minuten und lassen sich somit gut in den Unterricht integrieren.

Frau Mag.ª Maria Bauchinger[1], AHS-Lehrerin für Physik, war als Gutachterin und Fachberaterin bei der Entstehung des Films eingebunden und erstellte auch das didaktische Begleitmaterial, welches als Medienbegleitheft zum Film im BMB Medienservice herausgegeben wurde. Die von Frau Bauchinger ausgearbeiteten „Fragen zum Film" helfen, die

Mag.ª Evangelia Tzoukas ist Lehrerin für Biologie und Umweltkunde und arbeitet derzeit für die Arbeitsgruppe audiovisuelle Medien im Unterricht (AG AV-Medien) an der Universitätsbibliothek der Universität Wien.
E-Mail: *evangelia.tzoukas@univie.ac.at* T:+43-1-4277-15119

[1] Mag.ª Maria Bauchinger unterrichtet Physik, Science und Mathematik am GRG 19, Billrothstraße 73, 1190 Wien, und ist als Gutachterin, Fachberaterin und Begleitmaterialautorin für die AG Audiovisuelle Medien im Unterricht tätig.

DVD strukturierter im Unterricht einzusetzen und das Gesehene mit den SchülerInnen zu wiederholen. Das Medienbegleitheft befindet sich direkt auf der DVD-ROM und ist auch über die Serviceseiten des BMB Medienservice als kostenloser Download erhältlich.

Bildungsmedien.tv – die Online-Videothek des BMB

Die DVD-ROM „Grenzen des Lichts" ist für LehrerInnen an österreichischen Schulen und nicht kommerziellen Bildungseinrichtungen zum Selbstkostenpreis über das BMB Medienservice erhältlich, kann aber auch kostenlos über die Online-Plattform Bildungsmedien.tv angesehen und vorgeführt werden.

Die Online-Plattform Bildungsmedien.tv ist ein Angebot der Universitätsbibliothek der Universität Wien im Auftrag des Medienservices des Bundesministeriums für Bildung (BMB Medienservice). Bildungsmedien.tv bringt didaktisch hochwertige, für den Unterricht konzipierte Filme per Online-Streaming direkt in Österreichs Klassenzimmer und wurde mit dem Comenius-Siegel für hervor-ragende IKT[2]-basierte Bildungsmedien ausgezeichnet.

Filme und andere audiovisuelle Medien müssen nicht mehr vorher bestellt oder heruntergeladen werden, sondern können jederzeit direkt im Live-Stream über das Internet in voller Länge angesehen werden. Die Funktionalität von DVDs und DVD-Roms bleibt im vollen Umfang erhalten. Das Angebot steht ortsunabhängig und auf mehreren Geräten überall dort zur Verfügung, wo ein Computer und eine Breitbandinternetverbindung vorhanden sind.

Hauptmenü Bildungsmedien.tv

Lehrkräfte können so die Medien in Ruhe zu Hause ansehen und ihren Unterricht vorbereiten. Didaktische Begleitmaterialien zu den Filmen stehen kostenlos zum Herunterladen und Ausdrucken bereit. Zum Vorführen der Filme in der Schule benötigt man einen PC mit Internetzugang (vorzugsweise DSL, Minimum 768 kbit/s), sowie einen Projektor (Beamer, interaktives Whiteboard) oder einen Fernseher, der sich mit dem PC verbinden lässt.

[2] Kommunikations- und Informationstechnologie.

Kostenlos für Schulen und Bildungseinrichtungen

Bildungsmedien.tv online steht Lehrkräften an österreichischen Schulen aller Schultypen und Altersstufen kostenlos zur Verfügung. Um das Service nutzen zu können, ist nur eine einmalige Registrierung direkt über die Homepage und der Download des BMTV-Players, einer kleinen App (6 MB) zum Abspielen der Filme, auf den jeweiligen PC/Laptop auf dem Bildungsmedien.tv genutzt werden soll, nötig.

Jede Nutzerin bzw. jeder Nutzer erhält einen persönlichen Account. Das bedeutet, es muss sich nicht eine ganze Schule für die Verwendung von Bildungsmedien.tv entscheiden, sondern jede Lehrerin und jeder Lehrer kann sich individuell zu diesem kostenlosen Angebot des Bildungsministeriums anmelden.

Auch Lehrende an Erwachsenenbildungseinrichtungen im nicht kommerziellen Bildungsbereich und insbesondere auch in der Lehramtsaus- und -fortbildung an Universitäten und Pädagogischen Hochschulen können das Service von Bildungsmedien.tv kostenfrei zu Unterrichtszwecken nutzen. Lehramtsstudierende können sich ebenfalls bei Bildungsmedien.tv anmelden, um das Angebot im Rahmen ihrer Ausbildung kennen zu lernen.

Ein breitgefächertes und geprüftes Medienangebot

Derzeit sind über 2000 audiovisuelle Medien aus 21 Fachbereichen und fast 100 Themengebieten auf Bildungsmedien.tv online verfügbar und es kommen laufend neue Medien hinzu. Die Naturwissenschaften mit den Fachbereichen Biologie, Chemie, Physik, sowie Mathematik & Geometrie bilden dabei einen eigenen inhaltlichen Schwerpunkt.

Der Focus des Angebots an AV-Medien richtet sich überwiegend an die Sekundarstufe I & II, also an die AHS-Unterstufe/NMS und an die AHS-Oberstufe, sowie auch an berufsbildende mittlere und höhere Schulen. Alle Medien auf Bildungsmedien.tv sind von Lehrenden aus der Schulpraxis begutachtet und größtenteils mit Begleitmaterialien versehen.

Das Sortiment auf Bildungsmedien.tv ist breit gefächert. Einerseits sind - insbesondere in den Naturwissenschaften – zahlreiche „klassische" Schul- bzw. Unterrichtsfilme und interaktive DVD-Roms namhafter Schulfilmverlage verfügbar. Anderseits beinhaltet das Sortiment ebenso Dokumentarfilme, historische Dokumente, Literaturverfilmungen, Theater- und Opernaufzeichnungen, E-Learning Tools, Audiodateien und Bildgalerien, sowie eigens für den Unterricht aufbereitete Fernsehdokumentationen aus den ORF-Sendereihen „Universum", „Universum history", „Menschen und Mächte", „kreuz und quer", „Weltjournal" und „Eco".

EDU©skater-Box – Bildungsmedien.tv offline

Für Schulen, die eine internetunabhängige, schulweite Gesamtlösung für die optimale Versorgung mit AV-Medien suchen, empfiehlt sich die Anschaffung einer sogenannten EDU©skater-Box. Auf dieser Serverbox befindet sich ein erweitertes Sortiment von Bildungsmedien.tv, sie wird in das interne Schulnetzwerk integriert. Die EDU©skater-Box versorgt bis zu 50 Schulrechner gleichzeitig, sie ist daher auch ideal für den Mehrplatzbetrieb (Schulbibliothek, Laptopklassen) geeignet. Die höhere Auflösung der Filme auf der EDU©skater-Box gewährleistet eine noch bessere Bildqualität bei der Präsentation über einen Beamer. Nähere Informationen zur EDU©skater-Box finden Sie auf *www.bildungsmedien.tv.*

AG AV-Medien im Unterricht

Redaktion für Unterrichtsfilme – Zusammenarbeit mit LehrerInnen

Bildungsmedien.tv wird inhaltlich von der Arbeitsgruppe audiovisuelle Medien im Unterricht (AG AV-Medien) betreut. Die AG AV-Medien ist ein dauerhaft eingerichtetes Projekt an der Universitätsbibliothek der Universität Wien im Auftrag des BMB Medienservices. Sie dient als Beratungseinrichtung für das BMB Medienservice, dessen Aufgabe es ist, AV-Medien und Begleitmaterialien durch Lizenzankäufe und Produktionsaufträge für den nichtkommerziellen Bildungsbereich zu beschaffen und bereitzustellen. Gleichzeitig fungiert die Arbeitsgruppe als kommunikative und redaktionelle Schnittstelle zwischen dem BMB Medienservice, FilmproduzentInnen, Fernsehsendern und Lehrenden aus der Praxis, die als GutachterInnen, FachberaterInnen und BegleitmaterialautorInnen bei der Entstehung der Filmproduktionen des BMB Medienservice tätig werden.

Der Kontakt und die Zusammenarbeit mit Institutionen der LehrerInnenaus- und fortbildung, sowie fachdidaktischen Arbeitskreisen sind uns ein wichtiges Anliegen.

Wir beraten gerne, wie man Bildungsmedien.tv im Unterricht einsetzen kann. Auf Wunsch kommen wir auch direkt an die Schule, an die Institution oder in die Lehrveranstaltung und halten Workshops oder Vorträge ab.

Wir freuen uns über Feedback aus der Unterrichtspraxis und benötigen immer wieder die Expertise erfahrener LehrerInnen, die gerne Filme im Unterricht einsetzen und auf Honorarbasis Filmkonzepte bzw. Filme begutachten oder Arbeitsblätter zu Filmen erstellen möchten.

Personen mit Interesse an einer Zusammenarbeit oder Fragen zu Bildungsmedien.tv, sind immer herzlich eingeladen, Kontakt mit der AG AV-Medien aufzunehmen.

Kontakt

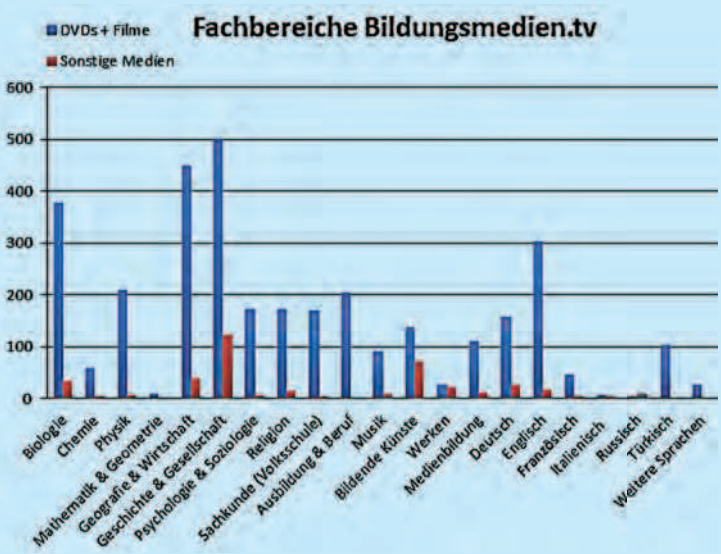
Bildungsmedien.tv: *www.bildungsmedien.tv*

BMB Medienservice:
http://www.bmb.gv.at/schulen/service/mes/index.xml

AG AV-Medien im Unterricht
Universität Wien
Bibliotheks- u. Archivwesen
Universitätsring 1
A-1010 Wien
T: +43-1-4277-15119
E-Mail: *ag_av-medien.ub@univie.ac.at*

Web: *bibliothek.univie.ac.at/ag_av-medien_im_unterricht.html*
bibliothek.univie.ac.at/bildungsmedientv.html

Ein breitgefächertes und geprüftes Medienangebot



Medienbestand pro Fachbereich auf Bildungsmedien.tv

EDU©skater-Box – Bildungsmedien.tv offline

Neues Demonstrationsexperiment zur Schallabstrahlung

Axel Donges

Zusammenfassung

Bei einem bekannten Demonstrationsexperiment wird die Schallabstrahlung durch Aufsetzen der Stimmgabel auf eine Tischplatte erhöht. Statt der Stimmgabel kann auch ein Körperschallwandler zum Einsatz kommen.

Klassischer Schulversuch mit einer Stimmgabel

Wird eine Stimmgabel angeschlagen, so hört man einen Ton, dessen Frequenz mit der Eigenfrequenz der Stimmgabel übereinstimmt. Der Grund dafür ist, dass sich die Schwingungen der Zinken der Stimmgabel auf die umgebende Luft übertragen. Auf diese Weise werden Schallwellen in der Luft angeregt, die von unserem Ohr dann wahrgenommen werden. Die Frequenz der Schallwelle stimmt mit der Frequenz der Stimmgabel überein.

Wird das Handstück der Stimmgabel beispielsweise mit einer Tischplatte (oder Fensterscheibe) in Kontakt gebracht, so übertragen sich die Schwingungen der Stimmgabel auch auf die Tischplatte. Die Platte beginnt nun ebenfalls mit der Frequenz der Stimmgabel zu schwingen. Die Schwingungen der Tischplatte übertragen sich wiederum auf die umgebende Luft. Die schwingende Tischplatte strahlt – verglichen mit einer Stimmgabel ohne Tischplatte – wesentlich intensivere Schallwellen ab, weshalb der Ton deutlich lauter wahrgenommen wird [1].

Funktionsprinzip eines Lautsprechers

Die Tischplatte (oder Fensterscheibe) übernimmt hier die gleiche Funktion wie die Membran eines Lautsprechers. Aus diesem Grunde soll kurz die Funktionsweise eines Tauchspulenlautsprechers in Erinnerung gerufen werden (siehe Abb. 1): Durch eine Spule fließt Wechselstrom. Dank eines Permanentmagneten wird eine Lorentzkraft hervorgerufen, die den sogenannten Korb, an dem Spule und Membran befestigt sind, in gleichfrequente Schwingung versetzt. Die Membran strahlt schließlich eine Schallwelle ab, deren Frequenz mit der Frequenz des Wechselstroms übereinstimmt.

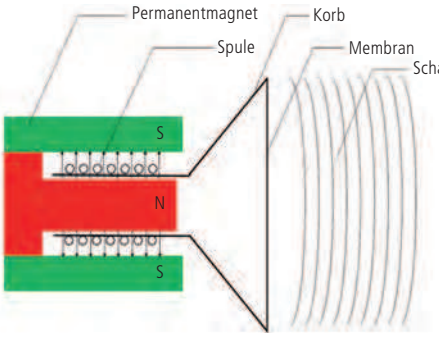


Abb. 1: Fließt ein Wechselstrom durch die Spule, so beginnt die Membran des Lautsprechers mit dieser Frequenz zu schwingen. Die Membran strahlt schließlich die Schallwellen ab.

Körperschallwandler

Ein Körperschallwandler ist im Prinzip ein Lautsprecher, bei dem die Membran fehlt. Er strahlt daher für sich alleine nur eine Schallwelle geringer Intensität ab. Wird er jedoch wie die Stimmgabel auf eine harte Oberfläche (z.B. Fensterscheibe, Tischplatte) gesetzt, so strahlt das Gesamtsystem intensive Schallwellen ab. Die Tischplatte oder Fensterscheibe ersetzt die fehlende Membran und ermöglicht so eine Schallabstrahlung in verblüffender Klangqualität.

Abb. 2 zeigt als Beispiel einen Körperschallwandler der Firma WHD. Er ist im Betrieb via Bluetooth beispielsweise mit einem Smartphone verbunden, das die Audiodaten liefert. Zusammen mit einer Fläche aus hartem Material (wie Holz, Glas oder Metall) bildet sich so ein Lautsprecher mit hoher Klangqualität.

Abb. 2: „Soundwaver" der Firma WHD [2] (Foto: A. Donges)

Auf diese beeindruckende Demonstration sollte im Physikunterricht bei der Behandlung des Themas Schallabstrahlung (durch eine Stimmgabel oder Lautsprecher) nicht verzichtet werden.

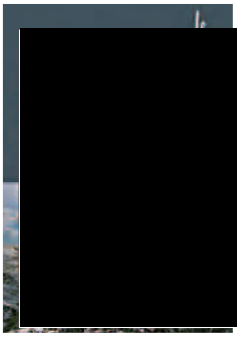
Literatur

[1] Klaus Lüders, Gebhard Oppen: Bergman-Schaefer, Lehrbuch der Experimentalphysik, Bd. 1, Mechanik, Akustik, Wärme. Berlin: De Gruyter (2008), S. 176

[2] *http://www2.whd.de/das-whd-soundwaver.html* [09.06.2016]

Prof. Dr. Axel Donges unterrichtet Physik an der Fachhochschule und Berufskolleg Naturwissenschaftlich-Technische Akademie Isny/Allgäu.

Bücher



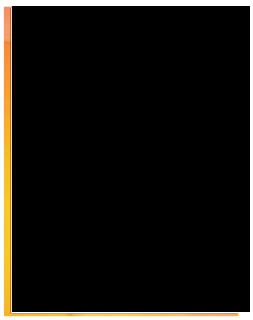
Meine letzte Antwort auf alles – Ludwig Boltzmann

Peter Maria Schuster

1. Aufl., Roman, 392 S., Living Edition, Starna Pöllauberg, 2015. ISBN 978–3-901585–31-9. € 19,80

Carl Djerassi hat unter dem von ihm geprägten Begriff „Science in Fiction" gezeigt, wie Wissenschaft und der Wissenschaftsbetrieb spannend als Thema von Romanen und Dramen dargestellt werden kann.
In ähnlicher Weise lässt uns Peter M. Schuster im vorliegenden Roman einen Blick in das Denken und die Persönlichkeit von Ludwig Boltzmann werfen. Natürlich ist er Boltzmann nicht persönlich begegnet, doch Zeugnisse von Zeitgenossen wie u.a. von Lise Meitner: „Von Charakter weich, verletzbar und zartfühlend … voll Herzensgüte, Glauben an Ideale und Ehrfurcht gegenüber den Wundern der Naturgesetzlichkeit" und vor allem der lebendige Stil in seinen „Populären Schriften" lassen Schusters Rekonstruktion plausibel erscheinen.
Schuster nimmt die Reise Boltzmanns zur Versammlung Deutscher Naturforscher und Ärzte in Lübeck im Jahr 1895 als Rahmen. Bei dieser Tagung stand Boltzmann im Zentrum einer heftigen Kontroverse mit dem Chemiker und späteren Nobelpreisträger Wilhelm Ostwald, mit dem er persönlich befreundet war. Ostwald lehnte in seiner „Energetik" genannten Philosophie die mechanistische Basis von Boltzmanns statistischer Thermodynamik vehement ab. Boltzmann gab nach zeitgenössischen Berichten heftig Kontra.
Den Inhalt bilden Gespräche mit dem Nervenarzt und Hirnforscher Paul Flechsig bei der Anreise, zur Mitte und am Ende der Tagung. Die Gespräche sind allerdings Monologe, eventuelle Äußerungen des Arztes werden von Boltzmann aufgegriffen und weitergesponnen. Der Leser lernt Lübeck und seine Geschichte kennen, die Tagungskultur jener Zeit und die Kontroverse um die Energetik. Boltzmann stellt seine Vorstellung von (theoretischer) Physik vor.
Besonders geht es dem fiktiven Boltzmann auch um Erkenntnisse der Psychiatrie und Hirnforschung. Er fragt sich und seinen Gesprächspartner, was Kreativität ausmacht, und es bewegt ihn das Schicksal des berühmtesten Patienten von Flechsig, Paul Schreber, den des Vaters Erziehungsgrundsätze psychisch ruinierten. Es bedrückt ihn sein Altern und sein wechselnder Gemütszustand.
Peter Maria Schuster gelingt es hervorragend, ein lebendiges Bild der Persönlichkeit Boltzmanns zu zeichnen.
Der Autor war Industriephysiker, der nach einer Krebserkrankung zu seiner wahren Berufung gefunden hat – einerseits die Befassung mit der Geschichte der Physik, andererseits das Schreiben. So ist ihm die Rückkehr des wissenschaftlichen Nachlasses von Viktor Hess und die Gründung des physikgeschichtlichen Museums in Pöllau zu verdanken. Seine Schreibkunst findet etwa bei Peter Handke Anerkennung, der zu einem Werk Schusters über Christian Doppler schreibt: „… Ich habe daraus gelernt, ohne belehrt zu werden (Ideal), auch indem Sie so viel Zwischenräume und –zeiten lassen…"

Helmut Kühnelt



Physikalische Spielereien

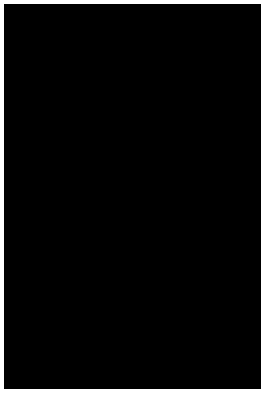
Aktiv, kreativ, lehrreich

H. J. Schlichting – C. Ucke

1. Aufl., 150 S., Hardcover, 250 Abb., Sachbuch. 2016, Wiley-VCH, Berlin. ISBN 978-3-527-33893-1. € 29,90

Mit „Physikalische Spielereien" setzen Schlichting und Ucke die bereits vor fünf Jahren erschienene Sammlung „Spiel, Physik und Spaß – Physik zum Mitdenken und Nachmachen" fort. In 33 Fallstudien aus Optik, Mechanik, Thermodynamik und Elektromagnetismus werden Objekte und Phänomene des Alltags mit physikalischem Hintergrund vorgestellt und analysiert. Neben der Freude am Effekt kommt durch die Analyse und die physikalische Modellierung das Verständnis nicht zu kurz. Dabei reicht der Bogen von Spielzeug über Freihandexperimente bis zur Frage, ob beim Aufguss in der Sauna Schweiß oder Kondenswasser unsere Haut bedeckt. Mehr als ein Drittel der Beiträge entstammen der Optik, wobei den Rezensenten besonders die Analyse der Beugungserscheinungen an Netzen von Kreuzspinnen beeindruckte. In der Mechanik wird die Videoanalyse genutzt, um Modellrechnungen zu überprüfen, die Videos können von der Homepage der Autoren bezogen werden. Zu einigen Kapiteln haben Kollegen beigetragen wie z.B. zur Physik der Blitze in Plasmakugeln.
Wie schon der Vorgängerband setzt „Physikalische Spielereien" grundlegende physikalische Kenntnisse voraus insbesondere dann, wenn man die detaillierten Analysen nachvollziehen möchte. Doch auch ohne so tief einzutauchen erweitert die Lektüre der 33 Fallstudien den physikalischen Horizont und bringt so manches Aha-Erlebnis, vieles lässt sich in den Unterricht einbringen. Auch als Ausgangspunkt zu einer VWA könnte so manche Fallstudie dienen. Literatur und Internetquellen, insbesondere YouTube-Videos, werden angeführt.
H. Joachim Schlichting ist Physiker und Physikdidaktiker, er leitete bis 2011 das Institut für Physikdidaktik der Uni Münster. Der Physiker Christian Ucke war Praktikumsleiter an der TU München und ist zeit seines Lebens von physikalischem Spielzeug fasziniert.

Helmut Kühnelt



Physikalische Wirklichkeit – Konstruktion oder Entdeckung?

Michael Grodzicki

1. Aufl., 528 S., Living Edition, Starna Pöllauberg, 2015.
ISBN 978-3-901585-30-2. € 27,50

Die meisten Leser von Plus Lucis werden wohl eine genaue Vorstellung über die „Physikalische Wirklichkeit" haben. Einige werden aber auch wissen, dass unter Wissenschaftstheoretikern weiterhin über die Qualität und die Begründung des physikalischen Wissens gestritten wird. Positivismus, Konstruktivismus, Axiomatisierung, postmoderne Soziologie, etc. sind Standpunkte, die den Wert und die Natur physikalischer Erkenntnis sehr verschieden beurteilen.

M. Grodzicki, Honorar-Professor an der Universität Salzburg, legt in seinem Buch eine profunde Selbstreflexion der Physik vor. Er diskutiert zuerst die „stillen Annahmen", d.h. die weltanschaulichen Voraussetzungen und gesellschaftlichen Konventionen, ohne die Naturwissenschaft gar nicht möglich ist. So etwa die Annahme einer vom Menschen unabhängigen Außenwelt und dass deren objektiv existierende Strukturen zumindest soweit erkennbar sind, dass wir erfolgreich in der Natur handeln können (Technik).

Den Grundlagenstreit, ob die Quelle unserer Erkenntnis in der Theorie oder in der Empirie liegt, löst der Autor durch eine Analyse einer „Dreifaltigkeit" der verwendeten wissenschaftlichen Methoden für die Gewinnung, Strukturierung und Sicherung der Erkenntnis. Die durch Empirie (Beobachtung, Experiment) gewonnenen Daten bleiben ohne begriffliche Systematisierung unverständlich. Erklärung schafft erst eine Strukturierung der Daten durch Ordnungsprinzipien in Modellen und Theorien, die mit zunehmender Abstraktion immer größere Datenbereiche zu beschreiben versuchen. Die dabei verwendeten Begriffe und die in „Naturgesetzen" formulierten Beziehungsstrukturen sind Konstrukte, die grundsätzlich von den in der Empirie gefundenen Phänomenen unterschieden werden müssen. Umfassendes Wissen entsteht erst durch eine „konsistente und kohärente Abstimmung" zwischen Theorie und Empirie.

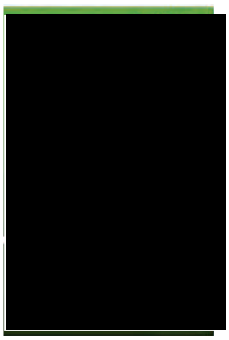
Die Abstimmung geschieht in einer Spezifizierung der Theorie für einen konkret gegebenen Versuchsaufbau (Randbedingungen, Kontrolle der Störungen) und in einer systematischen Analyse reproduzierbarer Daten unter Berücksichtigung der Messgenauigkeit. (Letztere kommt in den mathematisch formulierten Gesetzen gar nicht vor.) Diese „Abstimmung" als zentrales Element der Sicherung des Wissens wird in diesem Buch zum ersten Mal vorgestellt.

Das enge, fruchtbare Zusammenspiel von Empirie und Theorie wird an der Bestimmung der Bindungsenergie des Wasserstoffmoleküls demonstriert. Es brauchte Jahrzehnte detaillierter theoretischer und experimenteller Arbeit, um die komplizierten quantenmechanischen Rechnungen unter Berücksichtigung aller bekannten Details (Spins der Elektronen und Protonen, interne Schwingungen) mit den schwierigen Messungen kompatibel zu machen. Erst dadurch kann dieses relativ einfache System als vollständig verstanden angesehen werden.

Die im Untertitel des Buches suggestiv gestellte Frage, ob die physikalische Wirklichkeit eine „Konstruktion oder Entdeckung" ist, wird durch ein detailliert ausgewogenes „sowohl als auch" im konsistenten Zusammenspiel von Theorie und Empirie beantwortet.

Der Autor konzentriert seine Analyse auf das in „abgeschlossenen Theorien" gesicherte Wissen, wo die „konsistente Abstimmung" deren Gültigkeitsbereich festlegt. Besonders wichtig und wirksam ist dieser Prozess aber in der aktuellen Forschungspraxis, in der die permanente Abstimmung zwischen neuen experimentellen Ergebnissen und deren mehr oder weniger erfolgreichen Beschreibung in Modellen und Theorien und deren Voraussagen der eigentliche Treiber des Fortschritts ist. Ziel der Forschergemeinschaft ist es, damit neue und umfassendere Theorien aufstellen und abschließen zu können. Es wäre wünschenswert, wenn im Schulunterricht nicht nur die in abgeschlossenen Theorien gesicherte Erkenntnis vermittelt würde, sondern auch ein Verständnis für den aktuellen Forschungsbetrieb geweckt werden könnte. Was wir (noch) nicht wissen, ist genauso wichtig wie das, was wir bereits wissen. Das Buch liefert eine überzeugende Begründung dafür, dass und warum die in der Physik verwendeten Methoden erfolgreich neue, zuverlässige Erkenntnis schaffen.

Peter Schmid, Salzburg



Leben mit Gift

Wie Tiere und Pflanzen damit zurechtkommen und was wir daraus lernen können

Dietrich Mebs

Sachbuch, 2016, 159 S., 47 Abb.,
Hirzel Verlag, ISBN 978-3-7776-2575-1.
€ 24,90

Im Lauf der Evolution entwickelten Tiere und Pflanzen raffinierte Abwehrmechanismen gegen ihre Fressfeinde. Schätzungsweise 100000 Tierarten produzieren Gift oder haben Resistenzen entwickelt und nehmen Gift zur eigenen Verteidigung aus der Nahrung auf. Wie schützen sie sich vor dem eigenen Gift? Dieser Frage geht der Biochemiker, Gerichtsmediziner und Toxikologe Dietrich Mebs nach.

Bonobos fressen Erde, um damit die giftigen Stoffe ihrer Pflanzennahrung zu binden. Monarchfalter ernähren sich im Raupenstadium von Blättern mit einem Giftstoff, der die Natrium-Kalium-Pumpe in der Zellwand blockiert – doch das entsprechende Protein ist bei ihnen so modifiziert, dass sie immun sind: Das gespeicherte Gift macht Raupe und Schmetterling ungenießbar, so dass Vögel es bei einem Versuch belassen. Akazien schützen sich vor Weidetieren, indem sie bei Zupfen an den Blättern deren Tanningehalt erhöhen, wodurch sie bitter und unverdaulich werden.

Zwischen Seeanemonen und den zwischen deren Fangarmen hausenden Anemonenfischen kommt es zu erstaunlichen Symbiosen. Der Mensch als spätes Produkt der Evolution ist jedoch wenig geschützt – Schlangengift kann ihn töten, während Igel und Mungos dagegen immun sind. Mit diesen Beispielen kann das weite Thema des Buches nur angedeutet werden.

Nicht nur für Biologen und Chemiker, sondern auch für interessierte Laien jeden Alters ist diese gut lesbare und durch viele Beispiele und Erlebnisse des Autors aufgelockerte Reise durch die Tricks der Evolution interessant.

Helmut Kühnelt

Großforschung in neuen Dimensionen

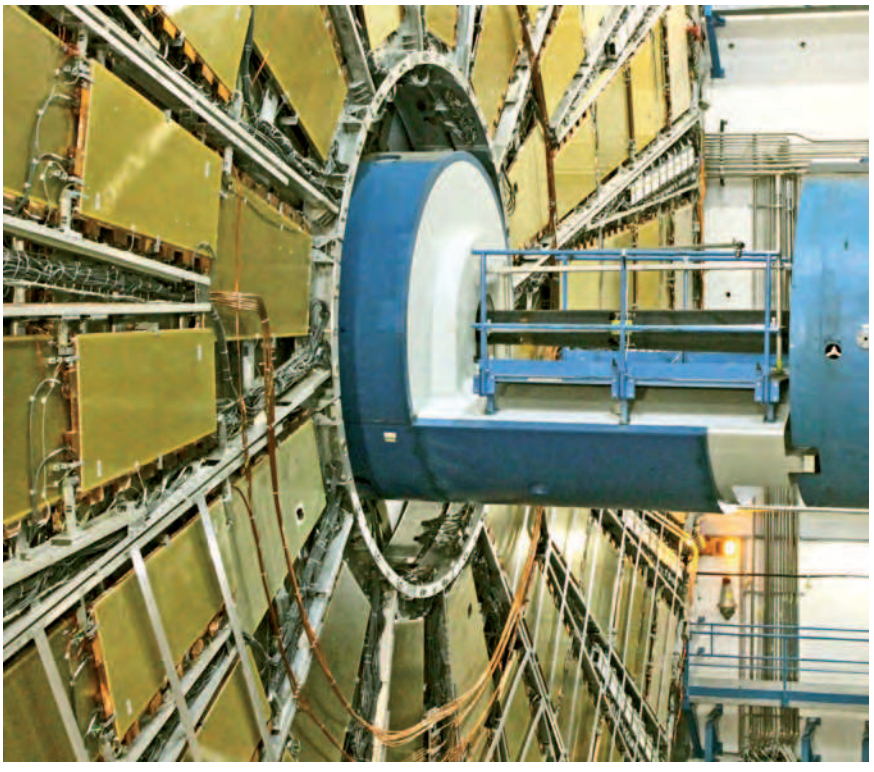
Denker unserer Zeit über die aktuelle Elementarteilchen-physik am CERN

H. Satz, Ph. Blanchard, Chr. Kommer

1. Aufl., 214 S., Sachbuch. 2016, Springer Spektrum, Berlin.
ISBN 978-3-662-45407-7. € 20,55.

2013, im Jahr 1 nach der Entdeckung des Higgs-Teilchens, fand an der Universität Bielefeld eine Tagung über die Rolle der Großforschung in der Physik am Beispiel CERN und der im Bau befindlichen Facility for Antiproton and Ion Research (FAIR) in Darmstadt mit sechs hochinteressanten Referaten statt. Die Vorträge liegen nun in einem Taschenbuch vor. Sie bieten neben dem vom Generaldirektor Heuer präsentiertem physikalischen Überblick zusätzliche Einblicke in den Betrieb einer Forschungsanlage mit über 3000 Beschäftigten.
Ein langjähriger Vertreter der BRD im CERN-Rat schildert die Stolpersteine, verursacht durch die hohen Kosten, die lange Planungszeit und Planänderungen, die wechselnden Direktoren und nicht zuletzt die Sparzwänge der Mitgliedsstaaten. (Dies sollte Pflichtlektüre für Auftraggeber und Planer jeglicher Großprojekte sein!)
Den Beitrag zur technischen und kulturellen Entwicklung beleuchtet Rolf Landua, der am CERN für öffentliche Wissenschaft und Lehrerfortbildung zuständig ist. Nicht nur das WWW ist ein Spin-off des CERN, der PET-Scanner wurde mit CERN-Unterstützung entwickelt wie auch MedAustron. CERN und seine Forschung wird auch Thema in Film und Literatur, auch werden Künstler zu inspirierenden längeren Gastaufenthalten eingeladen.
Philosophische und soziologische Aspekte stehen im Focus der Frage, wie die Physiker selbst ihre Arbeit sehen, sei es die Entwicklung möglicher Alternativen zum Standardmodell oder der Bezug von Modellen. Dies gibt interessante Einblicke in die Subkulturen der Theoretiker und Experimentatoren und zeigt auch Generationenunterschiede auf.
Die Beiträge dieses Konferenzbandes erlauben interessante Einblicke in die Komplexität von zivilen Großforschungsanlagen, für die CERN ein herausragendes Beispiel ist.

Helmut Kühnelt



Im Rahmen eines CERN-Seminars konnten im November 2014 34 Lehrkräfte aus Österreich einen Blick in den ATLAS-Detektor am CERN werfen.
Organisation: R. Landua, G. Wiener, L. Ludick

Foto: Helmut Kühnelt