



Physikalische Denk- und Arbeitsweisen erlernen

Ein Vorlesungs-/Übungskonzept entlang des ACER-Modells

David Woitkowski^{1,*}

¹ *Universität Paderborn, Fakultät für Naturwissenschaften*

**Kontakt: David Woitkowski, Universität Paderborn, Fakultät für Naturwissenschaften, Department Physik, AG Didaktik der Physik, Warburger Str. 100, 33098 Paderborn, david.woitkowski@upb.de*

Zusammenfassung: Eine wesentliche Herausforderung des ersten Studienseesters im Fach Physik stellt die Auseinandersetzung mit komplexen und häufig stark mathematisierten Problemstellungen. Studierenden fehlen hier häufig nicht nur das physikalische Fachwissen sondern zusätzlich mathematische Kenntnisse und anwendbare Problemlösefähigkeiten. Insbesondere letztere werden in typischen Lehrveranstaltungen der Physik nur implizit gelehrt und selten explizit eingefordert. Der Beitrag reflektiert aktuelle Modelle des Problemlöseprozesses und versucht, diese Fähigkeiten explizit zu lehren und bei der Bearbeitung von Aufgabenstellungen anzuwenden. Das Modell des Wissenszentrierten Problemlösens (Friege, 2001) strukturiert den Prozess des Problemverstehens, des Aufbaus eines mentalen Modells, die Nutzung von Problemschemata bei der Suche nach einem nutzbaren Lösungsansatz und die Reflexion der Lösung. Das ACER-Modell (Wilcox, Caballero, Rehn & Pollock, 2013) befasst sich dagegen eher mit der gegenseitigen Abhängigkeit zwischen der Aktivierung mathematischer Werkzeuge und der Konstruktion eines Modells, von dem aus zu einem lösbaren mathematischen Ausdruck gelangt werden kann. Das vorgestellte Lehrkonzept umfasst eine klassische Vorlesung, die explizit das ACER Modell nutzt um einerseits mathematische Werkzeuge entpackt und andererseits den Studierenden Gelegenheit gibt, Problemschemata anhand ausgearbeiteter Beispielproblemen aufzubauen. In der anschließenden Übung lösen Studierende im Rahmen einer Gruppendiskussion ähnliche Probleme unter Nutzung der Inhalte der Vorlesung.

Schlagwörter: Wissenszentriertes Problemlösen; Physik; Mathematik in der Physik; Vorlesung und Übung; Physikdidaktik



1 Einleitung

Ein wesentlicher Aspekt der Physik ist das Überführen lebensweltlicher Zusammenhänge in (meist mathematisch formulierte) Modelle mit dem Ziel, diese zur Lösung spezifischer Problemstellungen wie der Vorhersage von Beobachtungen oder Messergebnissen zu nutzen (Mikelskis-Seifert, Thiele & Wünscher, 2005; Redish, 2006; Wigner, 1960). In der typischen Strukturierung eines Physik- oder Physik-Lehramts-Studiums in Vorlesung, Übung und Experimentierpraktika sowie ggf. Mathematik für Physiker wird diese Fähigkeit aber häufig nur en passant gelehrt: Studierende sollen zwar (z. B. auf Übungszetteln) Problemstellungen bearbeiten, haben aber Schwierigkeiten mit dem Problemlöseprozess selbst (Brandenburger, Mikelskis-Seifert & Labudde, 2015; Woitkowski & Reinhold, 2018) sowie mit der dabei zu nutzenden Mathematik (Breitenberger, 1991; Clement, Lochhead & Monk, 1981; Knight, 1995; McMillan & Swadener, 1991).

Diese Schwierigkeiten führen zu weiteren Problemlagen: Das Fachwissen von Studierenden ist häufig auch im weiteren Studienverlauf nicht so weit entwickelt, wie es wünschenswert wäre (Woitkowski & Riese, 2017). Für Studierende des Lehramts hat dies negative Auswirkungen auf die Entwicklung fachdidaktischen Wissens (Riese, 2010).

In diesem Beitrag wird mit dem Lehrkonzept „Physikalische Arbeitsweisen“ (Vorlesung und Übung) ein Vorschlag vorgestellt, grundlegende Mathematik und mathematische Denk- und Arbeitsweisen der Physik für Studierende des Lehramts an Haupt-/Real- und Sekundarschulen zu lehren. Diese bringen im Vergleich mit Fach-Studierende oder Gymnasial-Lehrämtern schwächere mathematische Kenntnisse ins Studium mit, haben seltener Mathematik als zweites Fach und zeigen im Verlauf Ihres Studiums eine ungünstigere Entwicklung im physikalischen Fachwissen (Riese & Reinhold, 2012).

Das Lehrkonzept fußt dabei auf der einen Seite auf dem Durcharbeiten von Lösungsbeispielen (Lind, Friege, Kleinschmidt & Sandmann, 2004) in enger Verknüpfung mit der dazu jeweils nötigen Mathematik und auf der anderen Seite auf Gruppendiskussionen, in denen die Studierende selbst komplexe und mathematisierte Probleme bearbeiten müssen (Springer, Stanne & Donovan, 1999; Wahle, 2017).

Die beschriebene Lehrveranstaltung „Physikalische Arbeitsweisen“ ist seit der Einführung von Bachelor-Studiengängen im Lehramt zum Wintersemester 2011/12 in der hiesigen Studienordnung vorgesehen. Grundlage dieses Beitrages bildet die Form, in der sie im Wintersemester 2017/18 durchgeführt wurde.

2 Theoretischer Hintergrund

Das hier vorgestellte Lehrkonzept fokussiert auf die Fähigkeit zur Lösung in der Sprache der Mathematik formulierter physikalischer Problemstellungen, wie sie im Physikstudium v.a. im Übungsbetrieb vorkommen (Haak, 2016). Im Sinne dieses Beitrags ist ein Problem „jede Aufgabe, die das Analysieren und Schlussfolgern auf ein Ziel (oder eine ‚Lösung‘) hin benötigt. Dieses Analysieren und Schlussfolgern muss auf einem Verständnis der Domäne aus der die Aufgabe stammt, beruhen. Ein Problem kann nicht durch Erinnern oder Reproduzieren gelöst werden [...]. Ob es sich bei einer Aufgabe um ein Problem handelt oder nicht, ist nicht davon abhängig, wie schwierig oder verwirrend es für den vorgesehenen Löser ist.“ (Brandenburger, 2016, S. 44).

Im Folgenden werden zwei theoretische Rahmungen vorgestellt, die den Lösungsprozess solcher Probleme jeweils deskriptiv aufgliedern. Das Modell des Wissenszentrierten Problemlösens fokussiert dabei mehr auf die Strukturierung und Analyse eines Problems und auf das Finden eines Lösungsansatzes (Friege, 2001; Reinhold, Lind & Friege, 1999). Das ACER-Modell stellt eher den Umgang mit mathematischen Werkzeugen in den Vordergrund (Wilcox et al., 2013). Das Akronym ACER bildet sich dabei aus den

Anfangsbuchstaben der vier in Abbildung 2 beschriebenen Schritten.

Das Modell des Wissenszentrierten Problemlösens (Brandenburger, 2016; Friege, 2001) modelliert den Problemlöseprozess in Rückgriff auf ältere Modelle deskriptiv in vier Schritten. Dabei werden verschiedene Wissenskomponenten genutzt (vgl. Abbildung 1). Zunächst muss die Aufgabenstellung gelesen (o. ä.) werden und aus den dort gelieferten Informationen eine mentale Repräsentation hergestellt werden. Es müssen also relevante Informationen erkannt und in einen sinnstiftenden Zusammenhang gebracht werden. Dabei wird auf Fachwissen zurückgegriffen, welches z.B. für das korrekte Verständnis verschiedener Fachbegriffe und deren Zusammenhänge nötig ist.

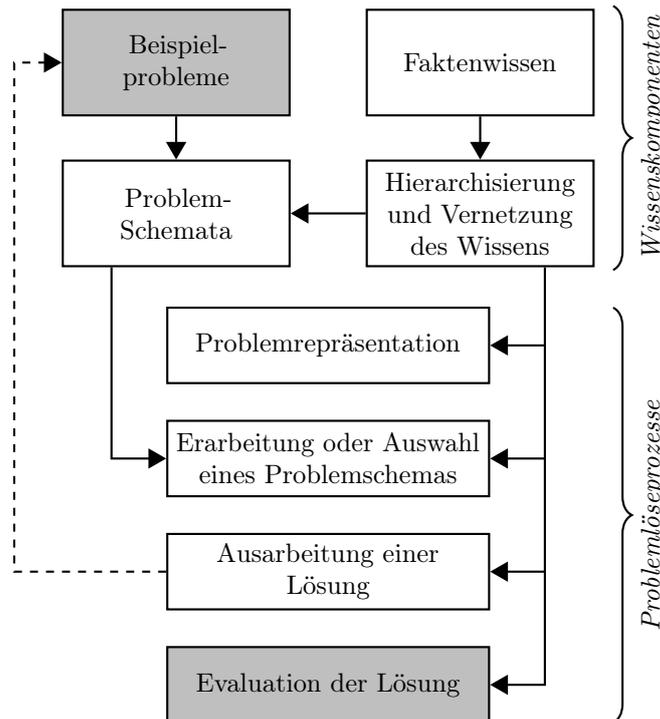


Abbildung 1: Modell des Wissenszentrierten Problemlösens (Friege, 2001)

Im zweiten Schritt muss dann ein Ansatz zur Lösung des Problems gefunden werden. (Reinhold et al., 1999) modellieren dies über die Nutzung von Problemschemata. Diese fassen Wissens Elemente im Umkreis von Beispielaufgaben zu komplexen, geordneten Gruppierungen zusammen. Sie liefern somit die Information, wie d.h. mit welchen Werkzeugen und welchen Argumentationsweisen ein gestelltes Problem sinnvoll und effektiv bearbeitet werden kann. Liegt ein zum Problem passendes Problemschema vor, liefert es eine Vorstellung davon, wie bei der Lösung vorgegangen werden sollte. Liegt es nicht vor, muss es erarbeitet werden, wobei verschiedene Vorgehensweisen zur Verfügung stehen können, die jedoch unterschiedlich effizient sind (Newell & Simon, 1972). Diese ersten beiden Schritte werden von erfahrenen Problemlöserinnen und Problemlösern häufig nicht getrennt sondern intuitiv sofort beim Lesen der Problemstellung erledigt, weniger erfahrene arbeiten sie eher Schritt für Schritt ab (Simon & Simon, 1978).

Der dritte Schritt ist dann die eigentliche Lösung des Problems unter Nutzung des Problemschemas. Gelingt die Lösung, wird also eine befriedigende Antwort auf die Problemstellung gefunden, so mehren sich die bei der Problemlöserin bzw. dem Problemlöser vorhandenen Beispielprobleme, die zur Generierung von Problemschemata genutzt werden können.

Für eine anschließende Evaluation der Lösung stehen wiederum mehrere Methoden zur Verfügung (Heller & Reif, 1984): Überprüfen von Einheiten oder Größenordnungen,

Vergleiche mit bekannten Fakten, Grenzfallbetrachtungen, Symmetrieüberlegungen, Überprüfung von Erhaltungssätzen oder der Mächtigkeit der Lösungsmenge. Gerade unerfahrene Problemlöserinnen und Problemlöser führen so eine Evaluation aber häufig gar nicht durch (Friege, 2001).

2.1 Nutzung von Mathematik in der Physik – das ACER-Modell

Während das Modell des Wissenszentrierten Problemlösens auf verschiedene Probleme der Physik angewandt werden kann, zeichnet sich die universitäre Physik durch ihren im Vergleich zur Schulphysik hohen Mathematisierungsgrad aus (Bing & Redish, 2009). Dabei unterscheidet sich die Mathematik als „Sprache der Physik“ aber deutlich von der Strukturwissenschaft „Mathematik“ (Redish, 2006). Mathematik muss mehr als nur kalkülhaft, sondern kreativ als Mittel zur Darstellung komplexer Zusammenhänge zwischen Abstraktionen realweltlicher Objekte eingesetzt werden (Uhden, 2015).

Gleichzeitig stellt die Mathematik ein wesentliches Hindernis im Physikstudium dar: Typischerweise vorausgesetzte Kenntnisse fehlen häufig (Breitenberger, 1991; Knight, 1995). Viele Studierende haben Probleme mit der Überführung beschriebener physikalischer Situationen in Gleichungen (Clement et al., 1981) oder bei der Lösung mathematisch formulierter physikalischer Problemstellungen (McMillan & Swadener, 1991). Überhaupt neigen v.a. Anfängerinnen und Anfänger zu einem Plug-And-Chug-Verfahren, welches vorgegebene Gleichungen anhand von Oberflächenmerkmalen auswählt ohne sich jedoch über deren Nutzbarkeit klar zu werden (Redish, 2006). Zusammengefasst stellen diese Schwierigkeiten einen wesentlichen Faktor bei der in vielen MINT-Studiengängen wahrgenommenen Überforderung dar (Schwedler, 2017), die z. B. im Rahmen der Cognitive-Load-Theory eine bekannte Ursache für schwache Lernerfolge darstellt (Paas, Renkl & Sweller, 2004).

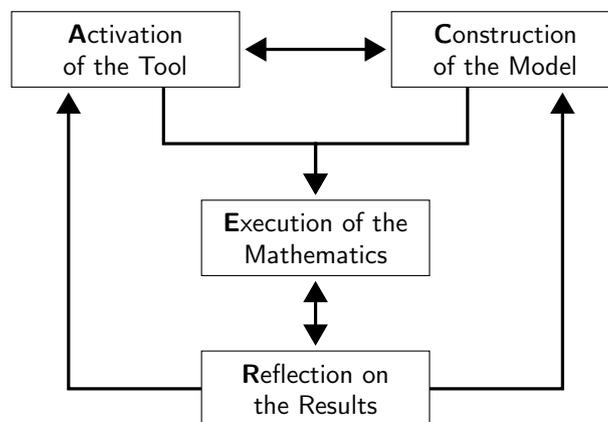


Abbildung 2: ACER-Modell (Wilcox et al., 2013)

Das ACER-Modell (Wilcox et al., 2013) gibt vier Schritte zur Lösung eines physikalischen Problems unter Nutzung mathematischer Werkzeuge und in der Sprache der Mathematik formulierter Modelle an. In einem ersten Schritt müssen die zur Bearbeitung des Problems nutzbaren mathematischen Werkzeuge „aktiviert“ werden. Damit ist gemeint, dass die durch den Aufgabentext implizit oder explizit geforderten mathematischen Zusammenhänge bewusstgemacht werden und ihr Bezug zu den gegebenen physikalischen Objekten hergestellt wird. Außerdem muss ein Modell der gegebenen Situation konstruiert werden. Dieses formuliert die Zusammenhänge der Aufgabenstellung z. B. in Form einer mathematischen Gleichung. Beim Modellieren ist es dabei wichtig, einen bewussten Schritt von der Phänomenebene hin zur Modellebene zu machen, bei dem vielfältige Filter- (Was ist relevant in Bezug auf die

Fragestellung?) und Konstruktionsprozesse (Welche Zusammenhänge können genutzt werden, wie werden sie mathematisch abgebildet?) nötig sind (Mikelskis-Seifert et al., 2005). Diese beiden Schritte können im Prinzip in beliebiger Reihenfolge und auch mehrmals durchlaufen werden. Experten-Novizen-Vergleiche zeigen, dass erfahrene Problemlöserinnen und Problemlöser so eine Reihe immer präziser und spezifischer auf das Problem zugeschnittener Modelle entwerfen (Nersessian, 1995). Dieser Prozess führt dann zu einer mathematischen Gleichung, die mit den aktivierten Werkzeugen bearbeitet wird, bis ein Ergebnis vorliegt, der dann vor dem Hintergrund der Problemstellung reflektiert wird. Je nach Ergebnis dieses letzten Schrittes kann das Ergebnis akzeptiert werden oder es wird ein anderes Modell ggf. unter Nutzung anderer mathematischer Werkzeuge erstellt und der Prozess erneut durchlaufen.

Dieses Modell ist zunächst nur deskriptiv bzw. als Analysewerkzeug gedacht. Da es aber eine Terminologie und einen Rahmen liefert, zentrale Schritte bei der Lösung typischer Problemstellungen zu explizieren, kann es in der Lehre genutzt werden, wenn genau diese Schritte explizit benannt und in kontrollierter Abfolge durchlaufen werden sollen. Zumindest in Laborsituationen kann sich die Vorgabe eines Problemlösemodells durchaus als hilfreich erweisen (Heller & Reif, 1984) und auch im schulischen Kontext gilt eine explizite Darstellung von Lösungsstrukturen als hilfreich beim Erwerb komplexer Fähigkeiten (z. B. Hattie & Yates, 2015).

3 Didaktisch-methodische Verortung

Ziel der vorgestellten Lehrveranstaltung ist, (1) die Fähigkeit zu erwerben, sinnstiftend und konstruktiv mit mathematischen Werkzeugen bei der Lösung physikalischer Problemstellungen umzugehen, (2) einen Grundstock an Problemschemata in diesem Kontext aufzubauen und zu erproben und (3) den eigenen Problemlöseprozess modellgeleitet zu strukturieren.

3.1 Lehrform

Die traditionelle Lehrform der universitären Physik ist die Vorlesung mit zugehöriger Übung (Haak, 2016) sowie das Experimentierpraktikum (vgl. Sacher, Probst, Reinhold & Schaper, 2015). Je nach Studiengang kommen dazu weitere Lehrveranstaltung wie z. B. eine Vorlesung mit Übung zur Mathematik für Physiker. Die hier beschriebenen Fähigkeiten physikalische Probleme zu lösen, werden dabei typischerweise der Vorlesung und Übung zugeordnet. Diese Struktur, wonach eine Vorlesung Wissen frontal präsentiert und in der Übung dann unter Heranziehung dieses Wissens Problemstellungen („Übungsaufgaben“) bearbeitet werden, ist in der Fachkultur stark verankert (Haak, 2016). Dennoch wird sie v.a. aus der Perspektive konstruktivistischer Lerntheorien häufig kritisiert: Es findet zu wenig eigene Auseinandersetzung mit den Inhalten statt, Bedeutung wird nicht selbst konstruiert (Wahle, 2017). Außerdem tritt nicht selten eine Vermischung von Lern- und Leistungssituationen auf, bei der die Studierenden Aufgabenlösungen abschreiben statt sie sich selbst zu erarbeiten (Haak, 2016; Meyer, Seidel & Prenzel, 2006).

Im Rahmen neuer hochschuldidaktischer Entwicklungen gibt es verschiedene Ideen, wie man von dieser Struktur hin zu einer stärker konstruktivistisch ausgerichteten Lernkultur kommen kann. Konzepte wie Flipped Classroom (Enders, 2015, 2016) oder Just-In-Time-Teaching (Schäfle, Stanzel, Junker & Zimmermann, 2017) setzen dabei vor allem auf mehr Eigenarbeit der Studierenden und verschieben viele Lernaktivitäten in die Vorbereitung auf die jeweilige Lehrveranstaltung.

Das hier vorgestellte Lehrkonzept löst sich verglichen damit weniger stark vom Vorlesungs-Übungs-Paradigma, versucht aber es sich zunutze zu machen, um Problemlösefähigkeiten in mathematisch-physikalischen Kontexten aufzubauen. Die Vorlesung dient dabei einerseits der Vermittlung mathematischer Inhalte und andererseits der Ex-

plikation des Problemlöseprozesses entlang des ACER-Modells. Die Inhalte sind dabei so angeordnet, dass die nötige Mathematik jeweils aufeinander aufbaut und anhand von immer komplexer werdenden Beispielaufgaben direkt im physikalischen Kontext vorgestellt wird (vgl. zu diesem Vorgehen auch Lind et al., 2004). Die mathematischen Inhalte werden entlang der Darstellung bei Weltner (2013) präsentiert. Die physikalischen Inhalte orientieren sich nahe an der parallel laufenden Experimentalphysik-Vorlesung mit dem Inhaltsbereich „Mechanik“ und versuchen, Standardbeispiele aufzugreifen, um einen größtmöglichen und breit anwendbaren Pool an Beispielaufgaben im Sinne des Wissenszentrierten Problemlösens aufzubauen.

In den Übungen werden dann komplexe Übungsaufgaben durch die Studierende bearbeitet. Anders als im üblichen Übungsbetrieb wird allerdings nur eine Aufgabe pro Woche gestellt, welche die Studierenden zu Hause vorbereiten und dann in einer Gruppendiskussion lösen sollen (wie z. B. von Springer et al., 1999, vorgeschlagen). Die oder der Übungsgruppenleitende nimmt nicht mehr eine korrigierende sondern eine lernbegleitende Rolle ein (Finkelstein & Pollock, 2005). Um eine stärkere Trennung von Lern- und Leistungssituation herbeizuführen, wird weder die Vorbereitung auf die Übung noch die Diskussion in der Übung bewertet.

3.2 Lernvoraussetzungen der Studierenden

Laut den Angaben des Studierenden- und Absolventinnen- und Absolventenspiegels der Universität Paderborn lagen die Zahl der Anfängerinnen und Anfänger im Lehramt Physik für Haupt-, Real- und Sekundarschulen in den vergangenen Jahren bei etwa 20 Personen (2015: 21; 2014: 21; 2013: 21; 2012: 13; 2011: 9). Bekanntermaßen nehmen aber bei weitem nicht alle Immatrikulierten auch tatsächlich ein Studium in dem Sinne auf, dass sie Lehrveranstaltungen besuchen oder sich zu Prüfungen anmelden (Matzdorf & Düchs, 2013). Somit wird die vorgestellte Lehrveranstaltung „Physikalische Arbeitsweisen“ im ersten Semester dieses Studiengangs in der Regel von weniger als 10 Personen tatsächlich belegt.

Im Wintersemester 2015/16 wurde im Rahmen eines Forschungsprojektes zur Erhebung des physikalischen Fachwissens auch 12 Studierende dieses Studienganges in der ersten Semesterwoche befragt. Sechs davon waren weiblich. Die mittlere Abiturnote lag bei 2,88 ($SD = 0,41$), die letzte schulische Physiknote bei 2,56 ($SD = 1,03$) und die letzte schulische Mathematiknote bei 2,64 ($SD = 0,67$).

Die mathematischen Kenntnisse wurden mit einem Auszug aus dem Studieneingangstest von Krause und Reiners-Logothetidou (1981) erhoben. Die 15 Items umfassten die Bereiche Vektorrechnung, Geraden- und Ellipsengleichung, quadratische Gleichungen, Funktionsgraphen und Ableitungen. Die Probandinnen und Probanden konnten im Mittel 37,2% ($SD = 19,8\%$) der Items lösen. Lediglich 6 Probandinnen und Probanden belegten als anderes Unterrichtsfach Mathematik.

Zum Vergleich wurden in derselben Kohorte auch 24 Studierende (5 weiblich) im Lehramt für Gymnasien und Gesamtschulen getestet. Diese konnten im Mittel 51,3% ($SD = 20,2\%$) der Items lösen. Der Unterschied zwischen den Lehramts-Studiengängen ist im t-Test knapp nicht signifikant ($t(22.514) = 2.01$; $p = 0.056$). Im Vergleich mit den 35 Studierenden (6 weiblich) im Fach-Studiengang derselben Kohorte, zeigt sich allerdings ein signifikanter Unterschied ($t(21.979) = 3.99$; $p < 0.001$): Diese konnten im Mittel 64,8% ($SD = 22,9\%$) der Items korrekt lösen – fast doppelt so viele wie die Studierenden im Lehramt für Haupt-, Real- und Sekundarschule.

Diese insgesamt eher schwachen Lernvoraussetzungen auf Seiten der Studierenden müssen (auch in Ermangelung einer Lehrveranstaltung Mathematik für Physiker für diesen Studiengang) den Umgang mit mathematischen Inhalten im vorgestellten Lehrkonzept prägen. Die mathematischen Inhalte werden so aufgebaut, dass jeweils mit Themen begonnen wird, die die Studierenden aus der Schule kennen sollten. „[Es] werden in einigen Kapiteln Themen ausführlich behandelt, die eigentlich zum Lehrstoff der Schule gehören wie Vektoralgebra, Funktionen, Differentialrechnung,

Integralrechnung u. a. Hier soll [die Lehrveranstaltung] bewußt eine Brückenfunktion zwischen Schule und Universität erfüllen“ (Weltner, 2013, Vorbemerkung). Dabei wird immer wieder darauf hingewiesen (und in der Vorlesung auch mit den Studierenden besprochen), welche Inhalte und Werkzeuge bereits bekannt sind und welche nicht. Insbesondere auf Aspekte der mathematischen Sprache wie die Notation, die Nutzung griechischer Buchstaben, die Motivation und Nutzung (nicht jedoch die Herleitung) von Rechenregeln etc. wird immer wieder explizit hingewiesen. Im Zentrum sollen jeweils die mathematischen Konzepte in Ihrer Funktion als Werkzeuge für das Modellieren physikalischer Problemsituationen und der Modellierungsprozess selbst stehen.

4 Darstellung des Lehrkonzepts

Das Lehrkonzept der Lehrveranstaltung „Physikalische Arbeitsweisen“ wird zunächst in der im Wintersemester 2017/18 gültigen Studienordnung verortet und dann in den beiden Teilen Vorlesung und Übung vorgestellt.

4.1 Verortung in der Studienordnung

Die Studienordnung für das Lehramt an Haupt-, Real- und Sekundarschulen mit dem Unterrichtsfach Physik (Präsidium der Universität Paderborn, 2016, 2017) sieht im ersten Semester das Modul „Grundlagen des Lehramtsstudiums Physik“ im Umfang von 6 ECTS vor. Es ist sowohl der Fachwissenschaft als auch der Fachdidaktik zugeordnet.

Das Modul gliedert sich in die Lehrveranstaltungen „Einführung in das Lehramtsstudium“ (1 Semesterwochenstunde [SWS]) und „Physikalische Arbeitsweisen“ (3 SWS). Letztere wird hier vorgestellt. Inhalte für die Physikalischen Arbeitsweisen sind u. a. „Mess- und Auswerteverfahren, [...] Mathematische Grundlagen des Lehramtsstudiums (Funktionen, Differential- und Integralrechnung, einfache Differentialgleichungen)“, „Die Studierenden erwerben [im Modul] Grundlagen im wissenschaftlichen Arbeiten; Grundlagen experimentellen Arbeitens; Mathematische Grundlagen des Lehramtsstudiums Physik [...] Grundlagen in Lern- und Arbeitstechniken; Grundlagen des wissenschaftlichen Arbeitens“ (Präsidium der Universität Paderborn, 2017, S.10). Als Prüfungsformen wird die „Bearbeitung von Aufgaben oder Präsentation (15 Min.)“ (Präsidium der Universität Paderborn, 2016, S.3) sowie eine Modulabschlussklausur von 2 Zeitstunden über beide Lehrveranstaltungen des Moduls vorgesehen.

Die Lehrveranstaltung gliedert sich in eine Vorlesung mit 2 SWS und eine Übung mit 1 SWS. Anwesenheitspflichten sind vor dem Hintergrund der Studienordnung und des NRW-Hochschulgesetzes nicht umsetzbar (und vor dem Hintergrund konstruktivistischer Lerntheorien auch nicht sinnvoll, Mazur, 2006).

4.2 Lehrkonzept Vorlesung

Die Vorlesung orientiert sich an der Idee des Beispiellernens (Lind et al., 2004). Hier werden ausgearbeitete Problemstellungen durch die/den Lehrenden präsentiert. Im Vergleich mit selbst gelösten Problemen hat dies verschiedene Vorteile: „Durch das ausgearbeitete Beispiel erhält der Lernprozess einen hohen Organisationsgrad. Die Reihenfolge der Lernprozesse ist weitgehend vorgeschrieben, was ein flüssiges Enkodieren erleichtert. Diese Leitung fehlt beim [eigenständigen] Problemlösen, so dass die entsprechende Sequenz von kognitiven Prozessen selbst entwickelt werden muss (oder von einem bereits bekannten Problem übertragen). Dies erhöht die Wahrscheinlichkeit von Irr- und Holzwegen, belastet evtl. den Prozess mit strukturell irrelevanten Details und macht ihn langsam und fehleranfällig“ (Lind et al., 2004, S. 31).

Die Struktur der Vorlesung ist (bis auf die Einführung und den kurzen Exkurs zur Wissenschaftstheorie zu Beginn von Kapitel 4) immer dieselbe: Es wird eine physikalische Frage gestellt, deren Lösung dann explizit entlang des ACER-Modells

ausgearbeitet wird. Die Lösung wird immer mit denselben Überschriften „A Werkzeug“, „C Modell“, „E Rechnen“, „R Interpretieren“ entsprechend der vier Phasen des ACER-Modells gegliedert.

Unter der Überschrift „A Werkzeug“ wird jeweils explizit das mathematische Werkzeug motiviert und in seinen Eigenschaften expliziert. Auf Herleitungen im strengen mathematischen Sinne wird weitgehend verzichtet, jedoch werden die Ideen und Anwendungsfälle jeweils explizit deutlich gemacht. Unter „C Modell“ wird explizit ein Modell konstruiert, wobei jeweils eine Reihe von immer konkreteren, spezifischeren und präziseren Modellen entworfen wird (Nersessian, 1995). Wie bei ACER vorgesehen, wird – wo immer nötig – auch mehrfach zwischen diesen beiden Phasen gewechselt. Die beiden folgenden Phasen „E Rechnen“ und „R Interpretieren“ fallen demgegenüber wesentlich kürzer aus, da der Fokus auf dem Kennenlernen des Nutzens der jeweiligen mathematischen Werkzeuge liegt. Das Rechnen und Interpretieren nimmt dann in der Übung mehr Raum ein (vgl. Abschnitt 4.3).

Die Vorlesung wird in engem Dialog mit den (i. d. R. weniger als zehn) anwesenden Studierenden geführt. Leitfragen sind dabei: „Wie kann diese Situation modelliert werden?“, „Welches Werkzeug kann genutzt werden?“, „Ist das mathematische Werkzeug bekannt?“, „Ist die Notation und sind die Rechenregeln bekannt?“, „Welche physikalische Idee wird durch dieses Werkzeug abgebildet?“, „Ist das Modell plausibel?“.

Einen Überblick über die physikalischen und mathematischen Inhalte der Vorlesung gibt Tabelle 1. Die Reihenfolge der Themen orientiert sich dabei an einem schrittweisen Aufbau der mathematischen Inhalte während die physikalischen Inhalte jeweils danach ausgesucht wurden, welche typischen Beispiele in der Physik vorkommen (nicht selten mit Rückgriff auf die Beispiele von Weltner, 2013).

In die Vorlesung sind zwei Blöcke eingebunden, die von dieser allgemeinen Struktur abweichen und übergeordnete Themen behandeln: Im Kapitel 0 wird die Mathematik selbst und ihre Funktion in der Physik thematisiert. Hier wird auch das ACER-Modell selbst dargestellt und anhand eines sehr einfachen Beispiels (einfacher elektrischer Stromkreis auf Mittelstufenniveau) durchgearbeitet. In diesem Zusammenhang werden auch allgemeine Strategien bei der Bearbeitung von physikalischen Problemstellungen diskutiert.

Tabelle 1: Überblick der physikalischen und mathematischen Inhalte der Vorlesung

Nr.	Physikalischer Inhalt	Mathematischer Inhalt
0.	<i>Mathematik als Sprache der Physik: Das ACER-Modell wird anhand des einfachen elektrischen Stromkreises auf Mittelstufenniveau eingeführt</i>	
1.	<i>Vektorrechnung</i>	
1.1	Positionen auf einer Landkarte	Skalare und Vektoren; Koordinatensysteme, Ortsvektoren; Vektoraddition; Skalarmultiplikation Beträge von Vektoren
1.2	Arbeits-Produkt	Skalarprodukt
1.3	Drehmoment am Schraubenschlüssel	Vektorprodukt
2.	<i>Funktionen</i>	
2.1	Hookesches Gesetz und Federkonstante	Funktionen in der Darstellung als Wertetabelle, Graph, Funktionsvorschrift; Darstellungswechsel; Zusammensetzung aus elementaren Funktionen; Definitions- und Wertebereich
2.2	Algenwachstum	Potenzrechnung; Exponentialfunktion; Basen 2, 10, e; Logarithmus

Tabelle 1: Überblick der physikalischen und mathematischen Inhalte der Vorlesung

Nr.	Physikalischer Inhalt	Mathematischer Inhalt
2.3	Reibung an der Schiefen Ebene; Kräfteparallelogramm	Winkelfunktionen (sin, cos, tan); Definition am rechtwinkligen Dreieck und am Einheitskreis; Gradmaß und Bogenmaß
2.4	Wurfparabel beim Basketball; Ortskurve; Superpositionsprinzip bei Bewegungen	Ortskurve als Funktion $\mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}^3$ Lösungsstrategien im Gleichungssystem
2.5	Ortskurve beim Rotationsbewegungen am Karussell; Winkelgeschwindigkeit	Polarkoordinaten; Umrechnung in kartesische Koordinaten
<hr/>		
3.	<i>Differential- und Integralrechnung</i>	
3.1	Steigung einer Straße	Tangentensteigung; Steigungswinkel; Ableitung als Steigung der Tangente; Ableitungen einfacher Funktionen; Ableitungsregeln (Summen-, Produkt-, Quotienten-, Kettenregel)
3.2	Kurvenfahrt, Zentralkraft, -beschleunigung	2. und 3. Ableitungen; Ableitung vektorwertiger Funktionen
3.3	Maximale Schussweite beim Bogenschießen	Ableitung zur Lösung von Optimierungsproblemen; Lokale Extrema
3.4	Arbeit im Gravitationsfeld	Riemann-Integration als Fläche unter der Kurve; Bestimmte und unbestimmte Integrale; Hauptsatz der Differential- und Integralrechnung; Integrale einfacher Funktionen; Integrationsregeln (Summenregel, Partielle Integration; Substitution)
3.5	Fluchtgeschwindigkeit im Gravitationsfeld	Uneigentliche Integrale
3.6.	Einfaches Federpendel; Schwingungs-DGL $m\ddot{x} + Dx + mg = 0$	Einfache Differentialgleichungen; Grad; Homogene DGLen (Lösungsraum, Lösungsstrategien); Inhomogene DGLen (Zusammenhang mit homogenen DGLen, Lösungsstrategien); Anfangs-/Randbedingungen
3.7	Abkühlen heißer Flüssigkeiten; DGL $\dot{x} + kx = c$	Lösungsstrategie: Trennung der Variablen
<hr/>		
4.	<i>Theorien und Hypothesen: Einführung in grundlegende Wissenschaftstheoretische Überlegungen, Falsifikation von Theorien mittels Hypothesen entlang von Grundideen von</i>	
4.1	Platin-Messwiderstand zur Temperaturmessung; Systematische und zufällige Messfehler	Minimum-Maximum-Abschätzung und Gaußsche Fehlerrechnung zur Fehlerfortpflanzung
4.2	Messreihe zur Erdbeschleunigung	Wahrscheinlichkeitsverteilungen; Mittelwert und Streuung; Normalverteilung; Auswertung von Messreihen

Anmerkung: DGL = Differentialgleichung

Das Kapitel 4 beginnt mit einer allgemeinen wissenschafts- bzw. erkenntnistheoretischen Einführung. Hier werden entlang der Thesen des kritischen Rationalismus (Popper, 1934/1994) der Theorie- und Hypothesenbegriff geklärt und die Falsifikation

physikalischer Theorien eingeführt.

Anwesenheit bei der Vorlesung wird nicht geprüft. Ein vollständiges Skript der Vorlesung wird den Studierenden über eine Online-Plattform zur Verfügung gestellt. Das Skript liegt diesem Beitrag als digitale Beigabe bei.

4.3 Lehrkonzept Übung

Anders als im bekannten Übungsbetrieb soll in der vorgestellten Lehrveranstaltung der Prozess des Lösens der Übungsaufgaben statt nur das Ergebnis im Vordergrund stehen. Zu diesem Zwecke werden weniger Übungsaufgaben eingesetzt, diese jedoch detaillierter besprochen und der Lösungsweg ausführlicher thematisiert.

Wöchentlich wird eine einzelne Aufgabe ausgegeben. Die Studierenden haben eine Woche Zeit, sich auf die Diskussion der Aufgabe vorzubereiten. In der Übung selbst wird die Lösung dann gemeinsam erarbeitet. Der Lösungsweg wird von der/vom Übungsleitenden nicht vorgegeben sondern entlang der vier Phasen des Modells des Wissenszentrierten Problemlösens strukturiert. Das heißt, dass die Studierenden zunächst eine gemeinsame mentale Repräsentation der gestellten Problemsituation erarbeiten sollen (z. B. als Skizze an der Tafel). Diese wird genutzt, um die relevanten physikalischen Größen und Zusammenhänge zu identifizieren, die dann in ein Modell überführt werden, aus dem sich dann eine Lösung ergibt.

Während des Lösungsprozesses hinterfragt der/die Übungsleitende immer wieder das Geschehen: „Welche Ergebnisse werden erwartet?“, „Was bedeuten diese Größen?“, „Welche Lösungsstrategie ist hier sinnvoll?“, „Woher stammt diese Gleichung? Ist sie korrekt bzw. auf diesen Fall anwendbar?“, „Ist dieser Zusammenhang plausibel?“, „Kann das Modell weiter verfeinert werden?“ Dabei liefert die/der Übungsleitende immer wieder auch advance Organizer, indem z. B. zu Beginn ein schrittweiser Lösungsplan entworfen und dann abgearbeitet wird.

Die bearbeiteten Aufgaben werden so ausgewählt, dass sie vom mathematischen Inhalt und vom anwendbaren Problemschema mit den bis dahin in der Vorlesung behandelten Themen korrespondieren – allerdings nicht in Bezug auf den physikalischen Inhalt. Die Studierenden werden aufgefordert, mögliche Fragen die Physik der Aufgabenstellung betreffend in der Vorbereitung zu klären. Die im Wintersemester 2017/18 ausgegebenen Aufgaben liegen diesem Beitrag als digitale Beigabe bei.

4.4 Scheinerwerb

Laut Studienordnung erwerben die Studierenden einen unbenoteten Teilnahmenachweis durch „Bearbeitung von Aufgaben oder Präsentation (15 Min.)“ ([Präsidium der Universität Paderborn, 2016](#), S. 3). Dies wird im Lehrkonzept dadurch umgesetzt, dass jede/r Studierende drei selbst gewählte Übungsaufgaben binnen einer Woche nach der Diskussion in der Übung ausarbeitet und abgibt. Die Studierenden werden angeregt, den Problemlöseprozess dabei (z. B. mit Hilfe des ACER-Modells) explizit zu machen. Dies wird aber nicht eingefordert, eine sachlich korrekte Lösung reicht jeweils. Um zu verhindern, dass die Studierenden erst die letzten drei Aufgaben des Semesters bearbeiten (Prokrastination) oder die (vermeintlich einfacheren) zu Semesterbeginn, wurde das Semester in drei Drittel unterteilt, wobei aus jedem Drittel eine Aufgabe bearbeitet werden muss. Die abgegebenen Ausarbeitungen werden korrigiert. Ist die Lösung nicht korrekt, kann sie innerhalb einer Woche überarbeitet werden.

5 Hinweise auf die Wirksamkeit und Erfahrungsbericht

Die beschriebene Lehrveranstaltung wurde bisher noch nicht formal evaluiert. Im Folgenden werden daher Hinweise auf die Wirksamkeit aus der studentischen Veran-

Tabelle 2: Ergebnisse der Studentischen Veranstaltungskritik

Semester	Anzahl Rückmeldungen		Note		Note anderer LV	
	Vorlesung	Übung	Vorlesung	Übung	Vorlesung	Übungen
WS 11/12	5	5	2,4	2,4	2,7	2,6
WS 12/13	7	7	2,2	2,2	2,2	2,8
WS 13/14	8	–	1,6	–	2,0	–
WS 16/17	6	–	2,0	–	1,8	–
WS 17/18	5	4	2,0	2,0	1,9	2,4

Anmerkung: Bei den anderen Lehrveranstaltungen gehen die Noten gewichtet mit der jeweiligen Teilnehmerzahl in die Durchschnittsberechnung ein; LV = Lehrveranstaltungen.

staltungskritik sowie eigene Erfahrungen berichtet. In jedem Falle ist zu beachten, dass die Lehrveranstaltung in der Regel nur mit wenigen Studierenden durchgeführt wird, so dass elaborierte statistische Auswertungen nicht praktikabel erscheinen.

5.1 Rückmeldungen aus der studentischen Veranstaltungskritik

Die studentische Veranstaltungskritik im Department Physik der Universität Paderborn wird jedes Semester durchgeführt, wobei eine Vollerhebung aller Lehrveranstaltungen mit mindestens 5 Studierenden angestrebt wird. Für die „Physikalischen Arbeitsweisen“ liegen hier verwertbare Daten aus den Wintersemestern 17/18, 16/17, 13/14, 12/13 und 11/12 vor, die jeweils die Zufriedenheit der Studierenden mit der Lehrveranstaltung wiedergeben – nicht jedoch objektiv erfassten Lernerfolg.

Die Studierenden werden in der studentischen Veranstaltungskritik unter anderem darum gebeten, die Qualität der Lehrveranstaltung insgesamt mit einer Schulnote zu bewerten. Einen Überblick zeigt Tabelle 2. Die Noten liegen jeweils in etwa in dem Bereich, in dem auch die Durchschnitte aller anderen Vorlesungen bzw. Übungen im Department liegen.

Die Schwierigkeit der Vorlesung und der Übung wurde von den Studierenden im WiSe 2017/18 in verschiedenen Kategorien jeweils mit „genau richtig“ (Stufe 3 auf einer 5-stufigen Skala von „zu schwer“ bis „zu leicht“) bewertet, das Skript als „hilfreich“ (Stufe 4 auf einer 5-stufigen Skala von „überhaupt nicht hilfreich“ bis „sehr hilfreich“).

Auch die Freitextantworten sind insgesamt positiv. Die Darstellung der Mathematik wird als Verständlich wahrgenommen („Also wer diese heftige Mathematik so erklärt, dass ich es versteht, hat pauschal den Nobelpreis verdient.“, Übung, WiSe 12/12; „Gutes vermitteln des Lernstoffes.“, Vorlesung, WiSe 16/17; „Gibt einen guten nachvollziehbaren einstieg in das Physikstudium.“, Vorlesung, WiSe 17/18; Tippfehler jeweils wie im Original).

Als problematisch wird in den Freitextantworten allerdings genannt, dass nicht in jeder Übung eine vollständige Lösung erarbeitet wird („Es wäre manchmal gut eine ganze Lösung zu haben statt eine halbe“, Übung, WiSe 17/18). Auch inhaltliche Überschneidungen mit anderen Lehrveranstaltungen (vermutlich v.a. der Experimentalphysik-Vorlesung) werden moniert.

5.2 Erfahrungsbericht

Die folgenden Beobachtungen durch die Dozentin bzw. den Dozent stellen einige Erfolge und Schwierigkeiten des vorgestellten Lehrkonzeptes heraus:

Ein generelles Problem in der Studieneingangsphase im Fach Physik ist die hohe Abbruch- und Wechselquote, von der eine Erstsemesterveranstaltung besonders betrof-

fen ist. Für Dozentinnen und Dozenten ist hier zunächst nicht zu erkennen, welche fernbleibenden Studierenden das Studium ganz aufgeben oder nur diese Lehrveranstaltung nicht mehr besuchen. Über die letzten Jahre zeigt sich aber ein Trend, dass eine ganze Reihe Studierender die „Physikalischen Arbeitsweisen“ zu Beginn ihres ersten Semesters zwar belegt, dann aber nicht mehr besucht und im kommenden Jahr wieder belegt. Begründet wird dieses Verhalten auf Nachfrage damit, dass die anderen Lehrveranstaltungen schwieriger seien und daher die „Physikalischen Arbeitsweisen“ geringer priorisiert und dann ganz auf später verschoben werden. Hier zeigt sich insbesondere ein Wettbewerb um Aufmerksamkeit: In der parallel laufenden Vorlesung mit Übung zur „Experimentalphysik I“ müssen wöchentlich umfangreichere Übungszettel schriftlich bearbeitet werden, so dass die „nur“ vorzubereitenden Übungen in den „Physikalischen Arbeitsweisen“ schnell an Aufmerksamkeit der Studierenden verlieren.

Insgesamt ist der Teilnehmerinnen-und-Teilnehmer-Schwund in der Übung weniger stark ausgeprägt als in der Vorlesung. Dies könnte damit zusammenhängen, dass vor allem zu Beginn des Semesters vor allem Inhalte behandelt werden, die aus der Schule bekannt sein sollten, so dass vor allem diejenigen Studierenden weiterhin regelmäßig an der Vorlesung teilnehmen, die hier eher schwächere Voraussetzungen mitbringen. In der Übung ist dagegen der Eingebundenheit in den Lernprozess gerade für fähigere Studierende von Anfang an größer, was zu einer höheren Teilnahme führt. Hier übernehmen die fähigeren Studierenden häufiger die Rolle derjenigen, die den Diskurs über die jeweilige Problemstellung voran bringen. Zu verhindern, dass die schwächeren Studierenden hier in eine reine Konsumentenrolle gedrängt werden, bleibt dann Aufgabe der Übungsgruppenleitenden.

Bezüglich der mathematischen Inhalte zeigen viele Studierende eine unterschwellige oder auch offen benannte Ablehnung fortgeschrittener Techniken. So halten viele von ihnen z. B. die Diskussion von Differenzialgleichungen – einer der zentralen Techniken der Physik – als für ihr Studium und weiteren Lehrerberuf nicht relevant. Hier die Nützlichkeit und Wichtigkeit der bearbeiteten Inhalte für das Studium und den Beruf deutlich zu machen bleibt schwierig. Die physikalischen Inhalte weisen diese Problematik dagegen nicht auf.

In der Übung zeigt sich insgesamt ein Gelingen der Trennung von Lern- und Leistungssituation. Die Diskussion über die jeweilige Aufgabe gestaltet sich weitgehend offen und frei von Leistungsdruck. Auch falsche Ansätze werden eingebracht, diskutiert, kriteriengeleitet geprüft und verworfen. Dennoch bringen die Studierende hier Arbeitsweisen mit, die aus eher leistungsorientierten Übungsformaten übernommen scheinen: So erklärt sich z. B. der oben zitierte Wunsch in der studentischen Veranstaltungskritik nach vollständigen Lösungen. Auch wählen einige Studierende (v. a. diejenigen, die nicht regelmäßig die Vorlesung besuchen) häufig ein Plug-and-Chug-Verfahren (s. o.), bei dem lediglich eine zu den in der Aufgabenstellung gegebenen Größen passende Gleichung gesucht wird – einer solchen Umgehung eines reflektierten Problemlöseprozesses kann dann aber durch Hinterfragen der Richtigkeit, Anwendbarkeit oder Herkunft der eingebrachten Gleichung begegnet werden.

Dort wo der Autor diese Beiträge im Rahmen anderer Lehrveranstaltungen wieder Kontakt mit diesen Studierenden hat, zeigt sich insgesamt, dass die Studierenden gelernt haben, die in der Lehrveranstaltung eingeübten Prozesse des Problemlösens und der Nutzung von Mathematik anzuwenden. Nicht selten kann aber auch dort ein Zurückwechseln zu unreflektierten Verhaltensweisen beobachtet werden, bei denen Problemlösungen (z. B. aus dem Internet) reproduziert statt selbst erarbeitet und hinterfragt werden.

Literatur

Bing, T. & Redish, E. F. (2009). Analyzing problem solving using math in physics: Epistemological framing via warrants. *Physical Review Special Topics - Physics*

- Education Research*, 5 (2). doi: 10.1103/PhysRevSTPER.5.020108
- Brandenburger, M. (2016). *Was beeinflusst den Erfolg beim Problemlösen in der Physik? Eine Untersuchung mit Studierenden* (Bd. 218). Berlin: Logos.
- Brandenburger, M., Mikelskis-Seifert, S. & Labudde, P. (2015). Problemlösen in der Mechanik: Eine Untersuchung mit Studierenden. *PhyDid B – Didaktik der Physik – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung Frankfurt*, 1–8.
- Breitenberger, E. (1991). The mathematical knowledge of physics graduates: Primary data and conclusions. *American Journal of Physics*, 60 (4), 318–323.
- Clement, J., Lochhead, J. & Monk, G. S. (1981). Translation difficulties in learning mathematics. *The American Mathematical Monthly*, 88 (4), 286–290.
- Enders, J. (2015). Erste Erfahrungen mit einer invertierten Vorlesung in der Service-Lehre Physik bei großen Hörerzahlen. *PhyDid B – Didaktik der Physik – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung Wuppertal*.
- Enders, J. (2016). Peer Instruction und Flipped Classroom in der Service-Lehre Physik. *PhyDid B – Didaktik der Physik – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung Hannover*.
- Finkelstein, N. D. & Pollock, S. J. (2005). Replicating and understanding successful innovations: Implementing tutorials in introductory physics. *Physical Review Special Topics – Physics Education Research*, 1 (1), 010101-1–010101-13.
- Friege, G. (2001). *Wissen und Problemlösen: Eine empirische Untersuchung des wissenszentrierten Problemlösens im Gebiet der Elektrizitätslehre auf der Grundlage des Experten-Novizen-Vergleichs* (Bd. 19). Berlin: Logos.
- Haak, I. (2016). Was macht eine gute Übung aus? Ein Vergleich von Vorstellungen zum physikalischen Übungsbetrieb. *die Hochschullehre*, 2, 1–25.
- Hattie, J. A. C. & Yates, G. C. R. (2015). *Lernen sichtbar machen aus psychologischer Perspektive*. Baltmannsweiler: Schneider Hohengehren.
- Heller, J. I. & Reif, F. (1984). Prescribing Effective Human Problem-Solving Processes: Problem Description in Physics. *Cognition and Instruction*, 1 (2), 177–216.
- Knight, R. D. (1995). The vector knowledge of beginning physics students. *The Physics Teacher*, 33 (2), 74–78.
- Krause, F. & Reiners-Logothetidou, A. (1981). *Kenntnisse und Fähigkeiten naturwissenschaftlich orientierter Studienanfänger in Physik und Mathematik: Die Ergebnisse des bundesweiten Studieneingangstests Physik 1978*. Bonn: Universität Bonn.
- Lind, G., Friege, G., Kleinschmidt, L. & Sandmann, A. (2004). Beispiellernen und Problemlösen. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 10, 29–49.
- Matzdorf, R. & Düchs, G. (2013). Immer mehr Parkstudierende: Statistiken zum Physikstudium an den Universitäten in Deutschland 2013. *Physik Journal*, 12 (8/9).
- Mazur, E. (2006). Peer Instruction: Wie man es schafft, Studenten zum Nachdenken zu bringen. *Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule*, 4 (55), 11–15.
- McMillan, C., III & Swadener, M. (1991). Novice use of qualitative versus quantitative problem solving in electrostatics. *Journal of Research in Science Teaching*, 28 (8), 661–670.
- Meyer, L., Seidel, T. & Prenzel, M. (2006). Wenn Lernsituationen zu Leistungssituationen werden: Untersuchung zur Fehlerkultur in einer Videostudie. *Schweizerische Zeitschrift für Bildungswissenschaften*, 28 (1), 21–41.
- Mikelskis-Seifert, S., Thiele, M. & Wünsch, T. (2005). Modellieren – Schlüsselfähigkeit für physikalische Forschungs- und Lernprozesse. *Physik und Didaktik in Schule und Hochschule*, 4 (1), 30–46.
- Nersessian, N. J. (1995). Should physicists preach what they practice? Constructive Modeling in Doing and Learning Physics. *Science & Education*, 4 (3), 203–226.
- Newell, A. & Simon, H. A. (1972). *Human problem solving*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.

- Paas, F., Renkl, A. & Sweller, J. (2004). Cognitive Load Theory: Instructional Implications of the Interaction between Information Structures and Cognitive Architecture. *Instructional Science*, 32, 1–8.
- Popper, K. (1994). *Logik der Forschung* (10. Aufl.). Tübingen: Mohr. (Originalausgabe 1934)
- Präsidium der Universität Paderborn (Hrsg.). (2016). *Besondere Bestimmungen der Prüfungsordnung für den Bachelorstudiengang Lehramt an Haupt-, Real-, Sekundar- und Gesamtschulen mit dem Unterrichtsfach Physik an der Universität Paderborn* (Bd. 142.16). Paderborn: Universität Paderborn.
- Präsidium der Universität Paderborn (Hrsg.). (2017). *Satzung zur Änderung der besonderen Bestimmungen der Prüfungsordnung für den Bachelorstudiengang Lehramt an Haupt-, Real- Sekundar- und Gesamtschulen mit dem Unterrichtsfach Physik an der Universität Paderborn* (Bd. 89.17). Paderborn: Universität Paderborn.
- Redish, E. F. (2006). Problem Solving and the Use of Math in Physics Courses. *arXiv preprint arXiv:physics/0608268*.
- Reinhold, P., Lind, G. & Frieger, G. (1999). Wissenszentriertes Problemlösen in Physik. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 5 (1), 41–62.
- Riese, J. (2010). Empirische Erkenntnisse zur Wirksamkeit der universitären Lehrerbildung - Indizien für notwendige Veränderungen der fachlichen Ausbildung von Physiklehrkräften. *Physik und Didaktik in Schule und Hochschule*, 9, 25–33.
- Riese, J. & Reinhold, P. (2012). Die professionelle Kompetenz angehender Physiklehrkräfte in verschiedenen Ausbildungsformen. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 15 (1), 111–143. doi: 10.1007/s11618-012-0259-y
- Sacher, M. D., Probst, H. M., Reinhold, P. & Schaper, N. (2015). Entwicklung eines kompetenzorientierten physikalischen Laborpraktikums. In S. Hartz & S. Marx (Hrsg.), *Leitkonzepte der Hochschuldidaktik* (S. 128–136). Bielefeld: Bertelsmann Verlag.
- Schäffe, C., Stanzel, S., Junker, E. & Zimmermann, M. (2017). Aktivierende und konzeptorientierte Lehrmethoden. *Didaktiknachrichten* (6), 5–12.
- Schwedler, S. (2017). Was überfordert Chemiestudierende zu Studienbeginn? *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 23 (1), 165–179. doi: 10.1007/s40573-017-0064-5
- Simon, D. P. & Simon, H. A. (1978). Individual differences in solving physics problems. In R. Siegler (Hrsg.), *Children's thinking* (S. 325–348). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Springer, L., Stanne, M. E. & Donovan, S. S. (1999). Effects of small-group learning on undergraduates in science, mathematics, engineering, and technology: A meta-analysis. *Review of Educational Research*, 69 (1), 21–51.
- Uhden, O. (2015). Verständnisprobleme von Schülerinnen und Schülern beim Verbinden von Physik und Mathematik. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* (1), 13–24. doi: 10.1007/s40573-015-0038-4
- Wahle, M. (2017). Traditionelle Übungen vs. Gruppenübungen in naturwissenschaftlichen Fächern. *die Hochschullehre*, 3, 1–15.
- Weltner, K. (2013). *Mathematik für Physiker und Ingenieure 1* (17. Aufl.). Berlin and Heidelberg: Springer.
- Wigner, E. P. (1960). The unreasonable effectiveness of mathematics in the natural sciences: Richard Courant lecture in mathematical sciences delivered at New York University, May 11, 1959. *Communications on Pure and Applied Mathematics*, 13 (1), 1–14.
- Wilcox, B. R., Caballero, M. D., Rehn, D. A. & Pollock, S. J. (2013). Analytic framework for students' use of mathematics in upper-division physics. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 9 (2). doi: 10.1103/PhysRevSTPER.9.020119

- Woitkowski, D. & Reinhold, P. (2018). Strategien und Probleme im Umgang mit Übungsaufgaben: Pilotergebnisse einer Interviewstudie im ersten Semester Physik. In C. Maurer (Hrsg.), *Qualitätvoller Chemie- und Physikunterricht- normative und empirische Dimensionen* (S. 726–729). Regensburg: Universität Regensburg.
- Woitkowski, D. & Riese, J. (2017). Kriterienorientierte Konstruktion eines Kompetenzniveaumodells im physikalischen Fachwissen. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 23 (1), 1–14. doi: 10.1007/s40573-016-0054-z

Beitragsinformationen

Zitationshinweis:

Woitkowski, D. (2018). Physikalische Denk- und Arbeitsweisen erlernen: Ein Vorlesungs-/Übungskonzept entlang des ACER-Modells. *Herausforderung Lehrer_innenbildung*, 1, 1 - 16. doi: [10.4119/UNIBI/hlz-39](https://doi.org/10.4119/UNIBI/hlz-39)

Online-Supplements:

Skript zur Vorlesung
Sammlung der Übungsaufgaben

Eingereicht: 20.02.2018 / Angenommen: 23.04.2018 / Online verfügbar: 05.07.2018

ISSN: 2625–0675



© Die Autor_innen 2018. Dieser Artikel ist freigegeben unter der Creative-Commons-Lizenz Namensnennung, Weitergabe unter gleichen Bedingungen, Version 4.0 Deutschland (CC BY-SA 4.0 de). URL <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/de/legalcode>

English Information

Title: Learning Thinking and Working Methods in Physics: A Lecture and Tutorial Concept Using the ACER Model

Abstract: A major issue in the first semester in physics at universities is learning to deal with complex and often mathematically formulated problems. Students here not only lack the physics content knowledge but often also the mathematics as well as problem solving skills needed. In typical physics courses especially the latter skills are often only taught implicitly and rarely explicitly called for. This article reflects on current models concerning problem solving and explores how to explicitly teach and utilize them in lectures and tutorials. The model of knowledge-based problem solving (Friege, 2001) structures the process of understanding the problem text, building a mental model, using problem schemes to find an adequate approach to a solution up to reflecting on that solution. The ACER model (Wilcox et al., 2013) on the other hand describes the mutual dependency between activating the mathematical tools and creating a model to then arrive at a solvable mathematical expression. The presented teaching concept uses a classical lecture to explicitly teach the ACER model and use it to unpack the needed mathematics as well as help the students build problem schemes by working through presented example problems. In the associated tutorials students have to solve similar problems in a group discussion setting using the content presented in the lecture.

Keywords: Knowledge-Based Problem Solving; Physics; Using Maths in Physics; Lecture and Tutorials; Physics Didactics

Hochschuldidaktische Metadaten

Fachwissenschaftliche Zugehörigkeit: Fachdidaktik Physik

Schulfach: Physik

Schulform: nicht schulformspezifisch; erprobt für Lehrämter an Schulen der Sekundarstufe 1

Veranstaltungsart: Vorlesung und Übung, 3 Lehrveranstaltungsstunden

Lehrmethoden/-medien: Vorlesung und Übung

Sozialform: Frontale Vorlesung; Vorbereitete Gruppendiskussion in der Übung

Oberthema: Problemlösen und Mathematik als grundlegende Kompetenzen im Physik-Lehramts-Studium

Lerninhalte: Verschiedene Mathematische und Physikalische Inhalte

Lernziele: (1) Erwerb der Fähigkeit, sinnstiftend und konstruktiv mit mathematischen Werkzeugen bei der Lösung physikalischer Problemstellungen umzugehen, (2) einen Grundstock an Problemschemata in diesem Kontext aufzubauen und zu erproben und (3) den eigenen Problemlöseprozess modellgeleitet zu strukturieren

Prüfungsformen: Ausarbeitung von Übungsaufgaben

Prüfungsinhalte: Lösung mathematisch formulierter physikalischer Probleme mit Werkzeugen und Problemschemata aus der Lehrveranstaltung

Ausbildungsphase: Erstes Studiensemester Bachelor

Zielgruppe: Studierende im 1. Semester, Lehramt Physik an Haupt-/Real-/Sekundarschulen

Zielgruppe, Umfang: ca. 5 bis 10 Studierende pro Jahr **Evaluation:** Erfahrungsbericht

Studentischer Beitrag: Nein