

Studieneingangsprofile in Fach- und Lehramts-Studiengängen Physik

Eine kontrastierende Analyse auf Basis eines Kompetenzstrukturmodells für
Fach-Physiker

Profiles of Academic and Teacher Study Programs in Physics

Contrasting Analysis Based on a Theoretical Model of Competence
Structure of Physicists

David Woitkowski*

*Universität Paderborn, Warburger Str. 100, 33098 Paderborn, david.woitkowski@upb.de
(Eingegangen: 26.09.2016; Angenommen: 17.02.2017)

Kurzfassung

Während schon seit Längerem eine besondere Ausrichtung von Physik-Lehramtsstudiengängen im Kontrast zu Vollfach-Studiengängen gefordert wird und sich eine Reihe großer Studien der empirischen Fachdidaktiken mit der Kompetenz (angehender) Lehrkräfte beschäftigen, fehlt bisher eine vertiefte Auseinandersetzung mit den Fach-Studierenden, ihrem Berufs- und Studienbild und dem sie vom Lehramtsbereich unterscheidenden Profil.

Im vorliegenden Beitrag wird zunächst eine theoretische Analyse der im Fachstudium zu erwerbenden Kompetenzen durchgeführt und ein heuristisches Kompetenzstrukturmodell vorgeschlagen, das (insbesondere dort, wo Lehramts- und Fach-Studierende gemeinsame Lehrveranstaltungen besuchen) eine unterschiedliche berufsbezogene Relevanz universitärer Lerngelegenheiten nahelegt.

Anschließend werden an einer kleinen Stichprobe Erstsemester-Studierender ($N = 81$) Gruppenunterschiede zwischen den Studiengängen analysiert. Dazu gehören die formale schulische Vorbildung, der Umgang mit Mathematik ebenso wie Studienwahlmotive, Motivation, Einstellungen und Beliefs und das fachliche Vorwissen. Mit den so erhaltenen Daten können erste theoretische Voraussagen plausibel gemacht werden. Weitere und spezialisiertere Erhebungen und Analysen – beispielsweise bezüglich Vorstellungen von der späteren Berufstätigkeit und der wahrgenommenen Relevanz von universitären Lehrveranstaltungen – sind aber notwendig, um ein vollständiges Profil der Fach-Studierenden zu erhalten.

Abstract

Often a distinctive profile of university classes for prospective physics teachers in contrast to academic physicists is called for. But while several major studies of the last years supplied theoretical and empirical insight into the competency structure of prospective teachers, we lack similar results for academic physicists. This deters us from painting a whole picture of physicists' profession, study program and distinctive profile.

This article offers a theoretical analysis of the competencies to be acquired in a university physics program and proposes a heuristic model of their competency structure. The model suggests major differences in the relevance and valuation of learning opportunities – especially where (prospective) academic and teachers share classes.

The second part uses a sample of $N = 81$ students of the first semester in physics to analyze differences between these groups concerning (formal) school education, maths, beliefs, motives for the choice of a course of study, attitudes and motivations towards physics as well as prior knowledge itself. These data make several theoretical assumptions plausible. However, further specialized assessments and analyzes – e.g. concerning their perception of their later work or the perceived relevance of classes at university – are necessary to gain a full and distinctive profile of physics students.

1. Einleitung und Fragestellung

Über drei Viertel der jährlichen Neueinschreibungen in Physik an deutschen Hochschulen sind Vollfach-Studierende (v. a. Mono-Bachelor) [1]. Nicht selten belegen diese mit den Lehramtsstudierenden gemeinsame Lehrveranstaltungen – obwohl die DPG schon seit einigen Jahren ein Lehramtsstudium *sui generis* fordert, also eine stärkere zielgruppenspezifische Profilierung von Lehramts-Studiengängen, die stärker auf exemplarisches Arbeiten wert legt und weniger ins Detail gehen muss [2]. Dies erfordert bei

Projekt (Jahr)	Anteil Fach-Stud.	
Riese [3] (2009)	3/300	1%
ProwiN [4] (2013)	54/518	10%
FaWis/ProfiLe-P [5] (2015)	225/468	48%

Tab. 1: Probandenanteil aus Fach-Studiengängen in aktuellen Studien zur Physik-Lehrerbildung der Planung und Umsetzung von Lehrveranstaltungen mit studiengangsgemischter Hörerschaft eine differenzierte Kenntnis beider Zielgruppen und ihrer jeweiligen Spezifika. Während jedoch in Bezug auf Lehrämter eine Reihe theoretischer und empirischer Ergebnisse fachdidaktischer Studien vorliegen, aus denen sich ein solches Profil ableiten lässt, fehlen solche Arbeiten für die große Mehrheit – die Vollfach-Studierenden – fast vollständig. Zwar steigt in den im deutschen Hochschulkontext durchgeführten Studien der vergangenen Jahre der Anteil der „mitgetesteten“ Fach-Physiker an (Tab. 1), eine explizite theoretische oder empirische Auseinandersetzung mit ihnen geschieht aber typischerweise nicht. Es stellt sich somit die Frage, welches besondere Profil, welche Studienziele und Eingangsvoraussetzungen diese Gruppe auszeichnet und welche Schlüsse daraus für die universitäre Ausbildung gezogen werden können.

Der vorliegende Beitrag gliedert sich in einen theoretischen Teil, in dem vor dem Hintergrund des aktuellen Kompetenz-Paradigmas ein Modell der Kompetenz von Fachphysikern erstellt und mit entsprechenden Modellen im Lehramtsbereich verglichen wird. Dort zeigt sich eine deutlich unterschiedliche Gewichtung verschiedener Kompetenzfacetten zwischen den Gruppen. Im darauf folgenden empirischen Teil werden hypothetisch zu erwartende Unterschiede in den Voraussetzungen, die die Studierenden der beiden Gruppen mit ins Studium bringen, an einer kleinen Stichprobe geprüft. Dabei zeigt sich ein Vorteil der Fach-Studierenden im physikalischen und besonders auch im mathematischen Vorwissen, außerdem ein deutlich anderes Profil der Studienwahlmotive zwischen den Gruppen.

2. Theoretisches Modell der im Studium zu erwerbenden Kompetenz

Unter Kompetenz werden mit Weinert die „bei Individuen verfügbaren oder durch sie erlernbaren kognitiven Fähigkeiten und Fertigkeiten, um bestimmte

Probleme zu lösen, sowie die damit verbundenen motivationalen, volitionalen und sozialen Bereitschaften und Fähigkeiten“ verstanden [6; S. 27]. Um diesen komplex-integrativen Begriff für eine konkrete Domäne handhabbar zu machen, werden Strukturmodelle formuliert, die die jeweils relevanten Kompetenzbestandteile und ggf. ihre Abhängigkeit untereinander darstellen [7]. Im Folgenden wird zunächst als Kontrast ein etabliertes Strukturmodell aus der Lehrerbildungsforschung dargestellt. Davon ausgehend kann dann ein mit analogen Begriffen formuliertes und somit strukturell vergleichbares Modell für Fach-Physiker entwickelt werden.

2.1. Struktur der professionellen Kompetenz (angehender) Physik-Lehrkräfte

Für die Modellierung der professionellen Kompetenz (angehender) Physik-Lehrkräfte (Abb. 1) bezieht sich Riese [3] (und in Folge eine Reihe weiterer Projekte [4, 5, 8–10]) auf das Modell von Baumert und Kunter [11]. Dieses enthält neben motivationalen Orientierungen, selbstregulativen Fähigkeiten und Überzeugungen und Werthaltungen das Professionswissen einer Lehrkraft als zentrale Kompetenzfacette. Letzteres zeichnet sich nach Bromme durch eine *kanonische Vermittlung* und eine hohe *Berufsbezogenheit* aus [12; S. 38] und lässt sich im Sinne Shulmans weiter in fachliches, fachdidaktisches und allgemeinpädagogisches Wissen gliedern [13], was auch die Struktur typischer Lehramts-Studiengänge widerspiegelt.

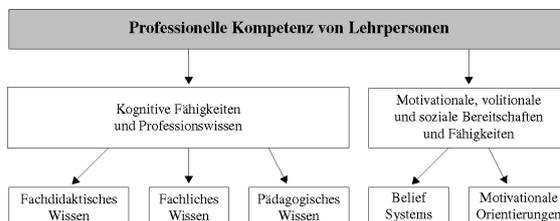


Abb. 1: Strukturmodell der professionellen Kompetenz von Lehrpersonen [3; S. 26]

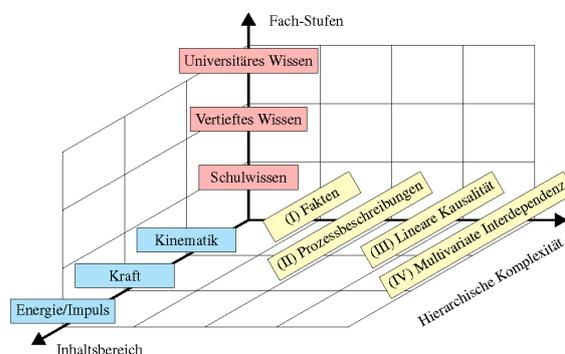


Abb. 2: Dreidimensionale Struktur des fachlichen Wissens in der Mechanik [10; S. 122]

Diejenige Kompetenzfacette, die dabei am deutlichsten Überschneidungen zu der Kompetenz von Fach-Physikern zeigen sollte, wäre das fachliche Wissen, welches im Rahmen der hier zugrunde gelegten

Untersuchung [10] wie in Abbildung 2 gezeigt weiter strukturiert werden kann. Für den Vergleich mit

Fach-Physik-Studierenden ist vor allem die Untergliederung in *schulisches*, *vertieftes* und *universitäres Wissen* relevant.

Unter *Schulwissen* wird im Rahmen dieses Projektes in Anlehnung an [14] dasjenige Wissen verstanden, welches ein durchschnittlicher Schüler am Ende der Sekundarstufe I erworben haben sollte. Zur Operationalisierung werden dann Items verwendet, die in Bezug auf ihren konzeptuell-begrifflichen Horizont auch in der Schule verwendet werden könnten.

Demgegenüber bezeichnet *universitäres Wissen* in Anlehnung an [3] vollständig von der Schule losgelöstes Wissen, welches in den genutzten Begriffen und/oder im Mathematisierungsgrad (z. B. in der Nutzung von Differential- und Integralrechnung) über das für Schüler Leistbare klar hinausgeht. Entsprechende Testaufgaben können aufgrund des nicht ausreichenden begrifflichen oder mathematisch-methodischen Horizontes auch von sehr guten Schülern in der Regel nicht gelöst werden.

Das *vertiefte Wissen* bildet eine Brücke zwischen den anderen Stufen, bei der Konzepte und Formulierungen aus beiden Bereichen zu einer stärkeren Durchdringung, einer konzeptuellen Reflexion und einem umfassenderen Verständnis der Physik insgesamt herangezogen werden. Konkret zeichnet es sich durch die folgenden Merkmale aus [10; S. 125f]: (i) Explizite Kombination von Schul- und universitärem Wissen, (ii) Anwendung von universitären Denkweisen auf typische Probleme der Schulphysik, (iii) Systematisierung und Herstellung von Zusammenhängen des Schulwissens vor dem Hintergrund universitärer Physik; eine umfassende Sicht auf die Physik als Ganzes, (iv) Einübung von elaborierten Denk-, Sprech- und Verhaltensweisen im Umgang mit Physik anhand von Gegenständen der Schulphysik, (v) Reflexion von Bedeutung, Genese und Verwendung von Begriffen der Schulphysik und/oder (vi) Überwindung von Fehlvorstellungen. Diese Fach-Stufe stellt hypothetisch dasjenige Wissen dar, auf das beim Erwerb des für Unterricht relevant gehaltenen fachdidaktischen Wissens aufgebaut werden kann [15], und das aufgrund seiner stark vernetzten Struktur wahrscheinlich die zentrale Ressource für das fachliche Handlungs- und Erklärungsrepertoire einer Lehrkraft ausmacht [10; 25f].

2.2. Analyse und Modellierung der Kompetenz von Physikern

Die Erarbeitung eines Kompetenzmodells für Fach-Physiker muss von einer Analyse der Studienziele und Berufsanforderungen ausgehen. Um eine Vergleichbarkeit mit dem oben dargestellten Modell für Lehrkräfte herzustellen, wird darüber hinaus eine begriffliche Anknüpfung an jenes Modell angestrebt.

2.2.1. Physiker als Spezialisten und Generalisten

Während im Physik-Bachelor-Studium ein breites Basiswissen aus verschiedenen Inhaltsbereichen der Physik erworben werden soll [16, 17], wird von Seiten der KFP (Konferenz der Fachbereiche Physik) für das erste Jahr des Master-Studiums eine fachliche Vertiefung zum Erwerb von „Spezialkenntnisse[n]“ [17; S. 5] in den für die wissenschaftliche Arbeit im Fachbereich *vor Ort* [16; S. 2] relevanten Methoden und Inhalte vorgesehen, die auf die das Master-Studium abschließende Forschungsphase vorbereitet. Während also Lehrkräfte für ihren Beruf ein breit gefächertes Fachwissen in verschiedenen Inhaltsbereichen benötigen, steuern Fach-Physiker auf eine starke Spezialisierung in einem eng abgegrenzten Bereich der Physik zu. Ziel ist, sich sowohl „auf einem Spezialgebiet der Physik so spezialisiert [zu haben], dass sie Anschluss an die aktuelle internationale Forschung finden können“ [17; S. 5] als auch die Fähigkeit, „auch fernab des im Masterstudium vertieften Spezialgebietes beruflich tätig zu werden und dabei ihr physikalisches Grundwissen zusammen mit den erlernten wissenschaftlichen Methoden und Problemlösungsstrategien einzusetzen.“ [17; S. 5]. Es soll also an einem konkreten Spezialgebiet die Fähigkeit zur Respezialisierung auf „alle Sparten der Physik“ [16; S. 3] erworben werden.

Kontrastierend mit dieser starken Spezialisierung zeigt eine Erhebung der DPG [18], dass lediglich ein Viertel (24,8%) der ausgebildeten Physiker auch in der physikalischen Forschung arbeitet. Andere verbreitete Zielberufe (d. h. Berufe, in denen ausgebildete Physiker tatsächlich tätig sind) finden sich in den Bereichen Informatik, Mathematik, Kybernetik (15,2%), Unternehmensleitung, -beratung und -prüfung (10,4%) und sonstige naturwissenschaftliche Berufe, Wissenschaftler (9,9%) – insgesamt also Tätigkeiten, bei denen sie die „im Rahmen ihres Studiums [erworbene] Fähigkeit, mathematisch-analytische Denkmuster auf hohem Niveau anzuwenden und auch in der Praxis komplexe technische Probleme zu lösen“ [18; S. 27] anwenden. Diese große Zielberufsvariabilität ist nicht unter allen Akademikern in diesem Maße verbreitet [19].

Diese Analyse charakterisiert den Physiker also einerseits als einen Spezialisten für einen eng umgrenzten Tätigkeitsbereich, soweit er im Zielberuf des forschenden Physikers verbleibt, und andererseits als einen Generalisten, der die im Studium erworbenen Fähigkeiten zur (mathematischen) Modellierung, zum strukturierten Problemlösen und zur Erarbeitung neuer Ansätze in einem breiten Feld von Anwendungsbereichen einsetzen kann. Bedenkt man, dass lediglich ein Viertel der ausgebildeten Physiker tatsächlich in der physikalischen Forschung verbleiben, soll das folgende Kompetenzmodell beide Aspekte – Spezialisten für physikalische Anwendungen und Generalisten mit breit übertragbaren Fähigkeiten – abbilden.

2.2.2. Heuristische Kompetenzstruktur

Ein Kompetenzstrukturmodell für Fach-Physiker kann zunächst wie in Abbildung 3 zusammengestellt werden. Ausgehend von der oben dargestellten Analyse spielen hier eine Reihe von Kompetenzfacetten eine Rolle, die sich in den Modellen für Lehrkräfte so nicht finden.

An zentraler Stelle steht die Facette der *wissenschaftlichen Fähigkeiten und Fertigkeiten*, also jene Kompetenzfacette, die im Studium ausgebildet und als Voraussetzung zur Bewältigung von Anforderungen in vielfältigen Zielberufen angenommen werden kann. Diese kann in sich weiter gegliedert werden: Einerseits spielen physikalische Denkweisen eine Rolle, die die für Physiker relevante Strukturierung von Problemen [20] umfassen, bei der komplexe Modelle herangezogen werden, welche eine effiziente Problemlösung (auch in anderen Inhaltsbereichen) ermöglichen [21]. Andererseits sind hier Arbeitsweisen zu verorten, die der Erkenntnisgewinnung in der Physik dienen [22]; hierzu gehören praktische Labortätigkeiten, das Planen, Durchführen und Auswerten von Experimenten aber auch die gezielte Nutzung von mathematisch-physikalischen Zusammenhängen zur Hypothesengenerierung oder die Diskussion von Ergebnissen.

Um diese zentrale Fähigkeitsgruppe herum beinhaltet das Modell mehrere weitere Fähigkeiten, die zur Ausbildung und Nutzung der *wissenschaftlichen Fähigkeiten und Fertigkeiten* notwendig erscheinen: Auf der Wissensseite (links in Abb. 3) finden sich das *physikalische Basiswissen* (das im Bachelorstudium erworben wird und auf dem beim Erwerb der *Wissenschaftlichen Fähigkeiten und Fertigkeiten* aufgebaut werden kann [23]). Dieses Wissen wird zwar kanonisch vermittelt, ist aber aufgrund des hohen Spezialisierungsgrades und der Zielberufsvariabilität nicht notwendigerweise berufsbezogen, es kann somit nicht als Professionswissen im Sinne

Brommes [12; S. 38] identifiziert werden. Dennoch bildet es die Basis, auf der Physiker bei ihrer Arbeit operieren können. Geht man von der Dreiteilung in Abschnitt 2.1 aus, erscheinen hier vor allem das *universitäre*, wahrscheinlich aber auch das *vertiefte Wissen* relevant. Als wichtige Basis für den (universitären) Fachwissenserwerb sind dann innerhalb und außerhalb des Zielberufs Physiker zusätzlich *mathematische Fähigkeiten* [24] notwendig. Hierzu zählt insbesondere die Nutzung mathematischer Modelle [vgl. z. B. 25].

Bei der Betrachtung dieser Wissensfacetten zeigen sich bereits deutliche Unterschiede zur Kompetenzstruktur von Physik-Lehrkräften: Gängige Modelle stellen die Notwendigkeit der Mathematik im Lehramt kaum oder gar nicht in den Fokus, wohingegen für das physikalische Fachwissen ein deutlich umrissener Wissenskanon als Teil des Professionswissens angenommen wird.

Auf der affektiven Seite des Kompetenzmodells für Physiker (rechts in Abb. 3) können *Einstellungen* verortet werden, die zu gründlichem und strukturierem Denken und Arbeiten motivieren und die eine sinnstiftende Beziehung zwischen dem Physiker und seiner Auseinandersetzung mit der Physik herstellen [26]. Außerdem finden sich hier die auch bei Lehrkräften für relevant gehaltenen *epistemologischen Beliefs*, die Überzeugungen zur Struktur, Methodologie und Validität, aber auch zur Relevanz und Erlernbarkeit physikalischen Wissens und physikalischer Methoden umfassen [27].

Ein deutliches Unterscheidungsmerkmal im Vergleich zu gängigen Modellen für den Lehramtsbereich ist die eigens ins Modell aufgenommene Kategorie *Spezialisierung*, welche die beim Wechsel in einen anderen Tätigkeits- oder Inhaltsbereich innerhalb oder außerhalb der Physik relevanten bzw. neu zu erwerbenden Wissens-, Fähigkeits- und Einstellungsfacetten umfasst. Er wird hier (u. a. aufgrund

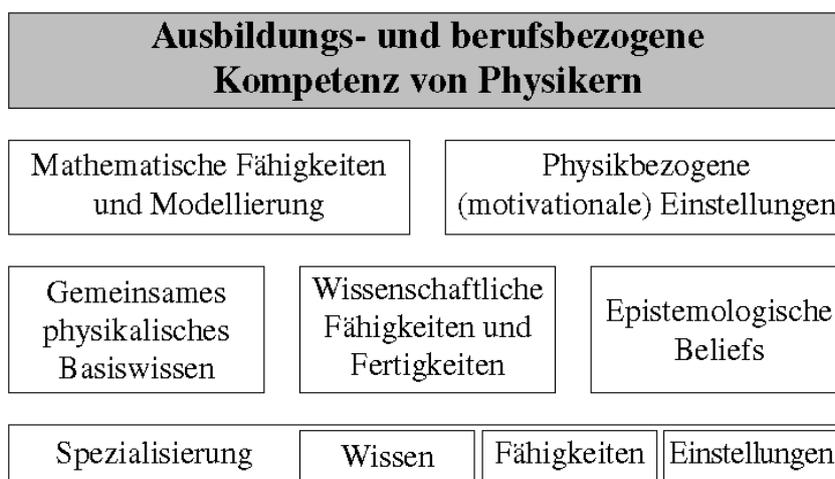


Abb.3: Heuristisches Modell der Kompetenzstruktur von Fach-Physikern [10; S. 54]

der hohen Zielberufsvariabilität) nicht weiter ausdifferenziert.

Das hier gezeigte Strukturmodell kann noch nicht in einem ähnlichen Sinne wie z. B. das Modell von Riese [3] in seiner Struktur als valide angesehen werden, es sollte aber zur Generierung einiger Hypothesen über Unterschiede zwischen angehenden Lehrkräften und Fach-Physikern geeignet sein.

2.3. Vergleich zwischen (angehenden) Physik-Lehrkräften und Fach-Physikern

Ausgangspunkt für einen theoriegeleiteten Vergleich der beiden Studienrichtungen kann das jeweilige Ausbildungsziel sein. Während das Lehramts-Studium auf einen spezifischen Beruf vorbereitet, muss das Fach-Studium eine ganze Reihe von Zielberufen im Blick behalten (oder alternativ ganz ohne Blick auf das Ziel ausbilden). Damit ergeben sich unterschiedliche Kernfacetten der jeweiligen Kompetenzstruktur: Zukünftige Lehrkräfte sollen insbesondere guten (Physik-)Unterricht durchführen können. Daher spielt der Erwerb *fachdidaktischen Wissens* eine zentrale Rolle, dem die anderen Kompetenzfacetten gewissermaßen zuarbeiten, indem sie eine solide Basis bilden. Bei Fach-Physikern besteht der Kern der Fach-Ausbildung dagegen im Erwerb der *Wissenschaftlichen Fähigkeiten und Fertigkeiten*, die in einer Vielzahl stark strukturierter und mathematisierter Tätigkeiten eingesetzt werden können. Auch diesen arbeiten wiederum die anderen Kompetenzfacetten zu. In beiden Studienrichtungen zählt dazu an zentraler Stelle das physikalische Fachwissen, als Basis auf der aufgebaut werden kann. Dessen Erwerb nimmt dann auch nicht grundlos einen großen Zeitanteil der Lehrveranstaltungen in der Studieneingangsphase ein.

Geht man davon aus, dass sich Studierende der beiden Studienrichtungen bewusst und auch mit Blick auf den jeweiligen Zielberuf (bzw. die hohe Variabilität desselben) für ihr Studium entschieden haben, so scheint es plausibel anzunehmen, dass mit dieser Studienwahl auch eine unterschiedliche Wahrnehmung und Relevanzattribution universitärer Lehrangebote durch die Studierenden einhergeht.

Für Lehramts-Studierende könnte dies bedeuten, dass sie besonders denjenigen Studienanteilen Relevanz zusprechen, die ihnen schulrelevant erscheinen – also dem *Schulwissen* im Sinne der Dreiteilung in Abschnitt 2.1. Lernangebote ohne klar ersichtlichen

Schulbezug (wie jene Eingangsvorlesungen, die vor allem universitäres Wissen thematisieren) könnten als irrelevant oder überflüssig angesehen werden. Dabei könnte sich ein konkretes Bild von der späteren Tätigkeit [28] (unabhängig davon, in welchem Maße dieses die Schulrealität trifft) vor allem mittels motivationaler Merkmale negativ auf die Lernwirksamkeit auswirken, wenn es nicht zur jeweiligen Lehrveranstaltung „passt“.

Diese Filterung nach Schulrelevanz kann gerade für die Fach-Studierenden nicht angenommen werden. Im Gegenteil könnte hier jemand, der gerade mit Blick auf die hohe Zielberufsvariabilität seinen Studiengang gewählt hat, noch kein konkretes Berufsbild vor Augen haben [29], was eine Relevanzzuschreibung dieser Art unmöglich macht. Theoretisch zugespitzt müsste also erwartet werden, dass ein Satz wie „Das brauche ich doch später im Beruf nie wieder!“ eher von Lehramts- als von Fach-Studierenden zu hören wäre.

3. Empirische Untersuchung an Erstsemester-Studierenden

Um einen ersten Eindruck von den Lernvoraussetzungen in einer aus Lehramts- und Fach-Studierenden gemischten Population zu bekommen, kann eine mit dem Instrument von Woitkowski [10] getestete Stichprobe untersucht werden.

3.1. Stichprobe

Bei der Gelegenheitsstichprobe handelt es sich um $N=81$ Erstsemester-Studierende, die sich wie in Tabelle 2 auf die Studienrichtungen Gymnasial-Lehramt und Fach-Physik an der Universität Paderborn verteilen. Die Erhebung wurde in den gemeinsam besuchten Experimentalphysik-Vorlesungen des ersten Semesters in der ersten Woche der Vorlesungszeit durchgeführt. Die Teilnahme war freiwillig und anonym, die Probanden bekamen eine Aufwandsentschädigung von 10 €.

Die relative Studiengangverteilung spiegelt die gesamte Verteilung der Studienanfänger im fraglichen Zeitraum wider, wie sie von der Konferenz der Fachbereiche Physik (KFP) erhoben wurde [30]. Sie gibt somit ein sinnvolles Bild der Unterschiede wieder, die zu Beginn einer typischen studiengangsgemischten Anfängervorlesung zu erwarten sind. Aussagen über weitere Verläufe in höheren Semestern sind damit jedoch nicht möglich.

	Gesamter Jahrgang [30]			Stichprobe					
	N	N_{rel}	Anteil Weiblich	N	N_{rel}	Abitur-Note	Letzte Physiknote	Letzte Mathematiknote	Anteil Weiblich
Gym-Lehramt	1 677	10 %	31,8 %	27	33 %	$2,65 \pm 0,47$	$2,29 \pm 0,79$	$2,11 \pm 0,84$	22,2 %
Fach-Physik	12 251	76 %	35,1 %	54	67 %	$2,77 \pm 0,63$	$1,61 \pm 0,82$	$1,90 \pm 0,80$	14,8 %
Sonstige	2 246	14 %							
Gesamt	16 174			81		$3,37 \pm 0,61$	$1,85 \pm 0,87$	$1,96 \pm 0,81$	17,3 %

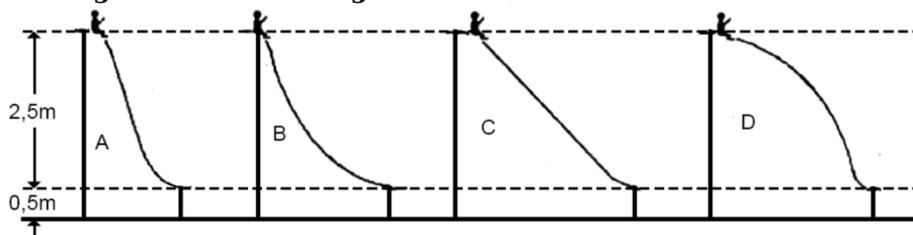
Tab. 2: Stichprobenüberblick und Vergleich mit deutschlandweiten Studienanfängerzahlen [30]

Aufgabe C1 (Niveau FW-i) Antwortformat: Offen/Freitext, Nennung der Formel erwartet
Strukturmodell: Schulwissen, Kraft, (I) Fakten

Wie lautet das zweite Newtonsche Gesetz, das auch als Grundgleichung der Mechanik bekannt ist? (Die **Formel** genügt hier.)

Aufgabe F6 (Niveau FW-iii) Antwortformat: Offen/Freitext, Begründung erwartet
Strukturmodell: Vertieftes Wissen, Energie/Impuls, (III) Lineare Kausalität

Ein Mädchen möchte sich die Spielplatz-Rutsche aussuchen, bei der sie am unteren Ende die **größtmögliche Geschwindigkeit** besitzt.



Welche Rutsche sollte sich das Mädchen aussuchen?
 Vernachlässigen Sie Reibungseffekte und **begründen** Sie Ihre Auswahl.

Abb. 4: Beispielitems [10; 335/346]. C1 zum Schulwissen. Korrekt wäre die Antwort „ $F = m a$ “ (mit oder ohne Vektorschreibweise). F6 zum vertieften Wissen. Eine korrekte Antwort weist darauf hin, dass aufgrund des Energieerhaltungssatzes die Geschwindigkeit nur von der Höhe(n-differenz), nicht jedoch von der Form der Rutsche abhängt, die Wahl also auf eine beliebige der vier möglichen Rutschen fallen kann.

3.2. Testinstrument

Das Testinstrument (vollständige Veröffentlichung in [10]) orientiert sich am „Überlapp“ der beiden oben gezeigten Kompetenzstrukturen für Lehramts- und Fach-Studierende, also an den Kompetenzfacetten, die für beide Gruppen sinnvoll und theoretisch begründet getestet werden können. Dazu gehört vor allem das Fachwissen (physikalisches Basiswissen i. S. d. Modells für Fach-Physiker) als grundlegende Wissensfacette, die zudem auch für beide Gruppen Gegenstand der Lehrveranstaltungen des ersten Semesters ist, und bei der am ehesten Vergleichbarkeit zwischen den Studienrichtungen zu erwarten ist.

Jeder Proband erhält bei der Testung etwa 30% aus dem Itembestand von insgesamt 87 Items zur Nutzung von Fachwissen, die in einem *partially Balanced Incomplete Block Design* (pBIBD) über 10 verschiedene Testhefte rotiert werden. Die Items (Beispiele in Abb. 4) sind in Single-Choice- oder offenen Antwortformaten gehalten. Zusätzlich zum Wissenstest enthält jedes Testheft demografische Angaben zu Alter, Studienfach und Studienwahlmotiv, Bedingungsfaktoren wie Erwerbstätigkeit, vorausgehender Schulbildung (insbesondere Oberstufenkurswahl in Physik und Mathematik) u. a., weiterhin eine Itemauswahl aus dem Mathematik-Studieneingangstest von [31] mit Items zu Vektorrechnung, Geradengleichung, Lösung quadratischer Gleichungen, Funkti-

onsgraphen und einfachen Ableitungen. Ein Belief- und Motivationsteil am Ende jedes Testheftes verwendet verschiedene 4-stufige Likert-Skalen zum experimentierbezogenen Enthusiasmus und zur Ontologie/Natur des Wissens (beide aus [3]), Vorstellungen zum Lernen und Lehren von Physik (aus [32]), zur Leistungsmotivation und Leistungsängstlichkeit (aus [3]) zu *Importance* und *Effort* mit Bezug auf Übungszettel und Klausuren (übersetzt und adaptiert nach [33]).

Zur Scorebildung und Auswertung wurde für die Wissensskalen (schulisches, vertieftes und universitäres Wissen) jeweils ein dichotomes Rasch-Modell (vgl. Tab. 3) eingesetzt. Die geringe EAP/PV-Reliabilität im universitären Wissen kann dabei als typisch für einen Prä-Test, also einen Test vor der Unterweisung im fraglichen Wissensbereich, gelten. In einer vorherigen (größeren und mehr Varianz aufweisenden) Stichprobe hatte sich allerdings die Reliabilität aller drei Skalen gezeigt [10; 191f], so dass die Ergebnisse dieser Skalen hier zwar berichtet werden aber mit Vorsicht zu interpretieren sind. Dort zeigte sich auch, dass die Trennung in drei Teilskalen vor allem bei schwächeren Probanden eine bessere Modellpassung ergab [10; 190f], so dass hier mit einem dreidimensionalen Modell gearbeitet wird.

Für die anderen Skalen wurden Methoden der klassischen Testtheorie genutzt.

Skala	Varianz	Reliabilität
Schul	1.898	.724
Vertieft	1.974	.614
Uni	3.117	.570

Tab. 3: Varianzen und EAP/PV-Reliabilität der drei Fachwissens-Skalen.

3.2.1. Validität des Tests

Das Testinstrument wurde vor der Haupterhebung pilotiert und die Validität der Modellzuordnung der Items wurde in einem aufwändigen Expertenrating geprüft [10; Kap. 12]. Für das *universitäre Wissen* wurden die Experten gebeten, einzuschätzen, inwieweit die Items tatsächlich typische Inhalte der Mechanik-Ausbildung im ersten Hochschulsemester enthalten (gemessen an Standardwerken wie [34, 35]) und inwieweit sie im Abstraktions- und Mathematisierungsgrad (z. B. durch Nutzung von Ableitungen/Integralen o. Ä.) über den Horizont des Schulunterrichts hinausgehen. Beim *Schulwissen* wurde die begrifflich-konzeptuelle Passung zu geläufigen Schulbüchern (wie [36]) abgefragt. Für das *vertiefte Wissen* war vor allem relevant, ob die Items mindestens eines der Charakteristika dieser Fach-Stufe (Abschnitt 2.1) aufwiesen. Verneinten die Experten das jeweilige Charakteristikum oder ordneten sie das Item sogar einer anderen Fach-Stufe zu, wurde es überarbeitet und erneut vorgelegt oder aus dem Testinventar ausgeschlossen.

Die Belief-Skalen wurden in der Vergangenheit an verschiedenen Gruppen von Studierenden verschiedener Fächer, inklusive Studieneinsteigern und auch Quereinsteigern ins Lehramt getestet und können aufgrund der Unabhängigkeit von konkreten schulischen und universitären Lehrinhalten als valide angesehen werden.

3.2.2. Kompetenzniveaus

Das bei den Studierenden zu Beginn verfügbare Fachwissen kann als wesentliche kognitive Ressource verstanden werden, auf deren Grundlage die in den Lehrveranstaltungen gebotenen Lerngelegenheiten genutzt werden können [37]. Die weit verbreiteten strukturtheoretischen Lerntheorien [z. B. 38] stellen dabei vor allem die Verknüpfungsstruktur (oder Komplexität) des Wissens in den Vordergrund, da das Operieren mit vorhandenen Strukturen und der Erwerb ähnlich strukturierter Wissens jeweils einfacher ist als die Konstruktion neuer, elaborierterer, komplexerer Strukturen [39]. Speziell in der Physik erfordert das Verständnis vieler Konzepte von vornherein die Operation mit hinreichend komplexen und abstrakten Strukturen [40].

Um diese Struktur des fachlichen Wissens abzubilden, wurden zur weitergehenden inhaltlichen Analyse mittels Regressionsanalyse [41] Niveaus definiert. Dabei handelt es sich um Abschnitte auf der Fähigkeitsskala, die jeweils mit der Komplexität (adaptiert nach Bernholt [42], vgl. Abb. 2) derjenigen Items charakterisiert werden können, welche die dort vertreteten Probanden hinreichend sicher lösen können. Die Niveaus sind also so zu lesen, dass ein Proband, welcher auf dem Fakten-Niveau verortet wird, das typische Item der Fakten-Komplexität (welches die Nennung einfacher, unverknüpfter Fakten der Mechanik ohne weitere Arbeit damit erfordert) mit mindestens 50% Wahrscheinlichkeit lösen kann, das

typische Item des darüber liegenden Niveaus aber nicht (zur detaillierten Diskussion der Interpretation der Niveaus siehe [43]).

Aufgrund des Konstruktionsverfahrens, welches von den empirisch in der Rasch-Analyse gefundenen Itemschwierigkeiten ausgeht, liegen diese Niveaus für jede der drei Wissensskalen unterschiedlich. Außerdem mussten im Laufe der Konstruktion Niveaus z. T. zusammengelegt werden, so dass nicht jede denkbare Komplexität auch in einem Niveau abgebildet wird. Eine vollständige Darstellung der Niveaugenerierung findet sich bei [10; Kap. 17].

Die Zuordnung von Niveaus zu Testscores für die drei hier betrachteten Skalen zeigt Abb. 5. Zur Interpretation der Lage der Niveaus ist zu beachten, dass der Median der Probandenfähigkeiten in jeder Skala bei 0 Logit liegt. Wenn die Niveaus des *universitären Wissens* relativ „hoch“ zu liegen scheinen, liegt dies an der Probandenstichprobe und nicht am Niveaufeststellungsverfahren.

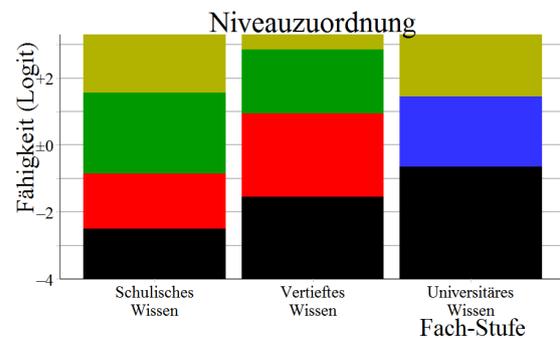


Abb. 5: Zuordnung der Fähigkeits-Scores zu Niveaus. Die Farbe gibt die jeweils erreichte Komplexität an: ■ unter Fakten; ■ Fakten; ■ Prozessbeschreibungen; ■ Lineare Kausalität; ■ Multivariate Interdependenz.

3.3. Hypothesen

Das oben dargestellte Modell legt vor allem dort Unterschiede in Vorbildung und Interessenprofil zwischen Lehramts- und Fach-Studierenden nahe, wo sich die unterschiedliche Zielberufsorientierung niederschlägt – also in den physikbezogenen Einstellungen und in der wahrgenommenen Relevanz von komplexen und mathematisierten Aufgabenstellungen und damit in der Wahrnehmung der entsprechend geprägten Lehrveranstaltungen.

Für die im Folgenden angestellten Gruppenvergleiche können aufgrund der theoretischen Analyse folgende Hypothesen aufgestellt werden.

Hypothesen zu Motivation, Beliefs und Studienwahlmotiven

Hypothese 1: Fach-Studierende haben weniger spezifisches Interesse an konkreten Berufsbildern als Lehramts-Studierende, deren Interessenlage sich wiederum deutlicher am konkreten Lehrerberuf orientiert.

Hypothese 2: Da sich in der ersten Studienwoche noch keine Studiengangsspezifika ausgewirkt haben,

ist in den sonstigen erhobenen Beliefs- und physikbezogenen Motivationsskalen kein Unterschied zu erwarten.

Hypothesen zum fachbezogenen Vorwissen

Da anzunehmen ist, dass Fach-Studierende sich vor allem wegen der Physik an sich für den Studiengang entschieden haben, können bei Lehramts-Studierenden auch andere Faktoren eine Rolle spielen. Damit sollte bei den Fach-Studierenden ein anderes Vorbildungsprofil zumindest plausibel erscheinen.

Hypothese 3: Fach-Studierende weisen bessere Schulnoten in Physik auf.

Hypothese 4: Das im Test erfasste Vorwissen unterscheidet sich nur im schulischen Wissen (dort zugunsten der Fach-Studierenden), nicht jedoch in den anderen beiden Fach-Stufen (da hier noch keine Ausbildung stattgefunden hat).

Hypothesen zur mathematischen Vorbildung

Physik gilt als eines der am stärksten mathematisierten Fächer. Dieser Ruf kann Personen mit schwachem mathematischen Vorwissen vom Fach-Studiengang abschrecken, könnte aber im Lehramt lediglich zum Ausweichen auf ein anderes Zweifach führen.

Hypothese 5: Fach-Studierende zeigen bessere Schulnoten in Mathematik.

Hypothese 6: Fach-Studierende schneiden im eingesetzten Mathematik-Testteil besser ab.

Hypothese 7: Fach-Studierende berichten geringere Probleme mit der Mathematik in der (schulischen) Physik.

3.4. Gruppenvergleiche

Mit den im Test erhobenen Daten können die beiden Probandengruppen in Bezug auf distale Merkmale, ihr Fachwissen sowie motivationale Einstellungen und Beliefs verglichen werden, um so weitere Hinweise auf unterschiedliche Profile der Studierendengruppen zu erhalten. Zur Prüfung der Gruppenunterschiede auf Signifikanz werden im Folgenden zweiseitige Wilcoxon-Mann-Whitney-Tests genutzt, die im Gegensatz zum klassischen *t*-Test robuster in Bezug auf Stichprobengrößen und Normalverteilung sind, deren *p*-Wert aber analog interpretiert werden kann [44].

Da in diesem Artikel insgesamt $k = 19$ Vergleiche angestellt werden, kann ein Gruppenunterschied erst dann als signifikant auf 5%-Niveau angesehen werden, wenn $p < .0026 = 5\%/19$ ist (Bonferroni-Korrektur nach [45]).

3.4.1. Formale schulische Vorbildung

Die Probanden wurden jeweils nach ihrer letzten schulischen Physik- und Mathematiknote sowie nach dem Ablegen einer Abiturprüfung in einem der beiden Fächer gefragt.

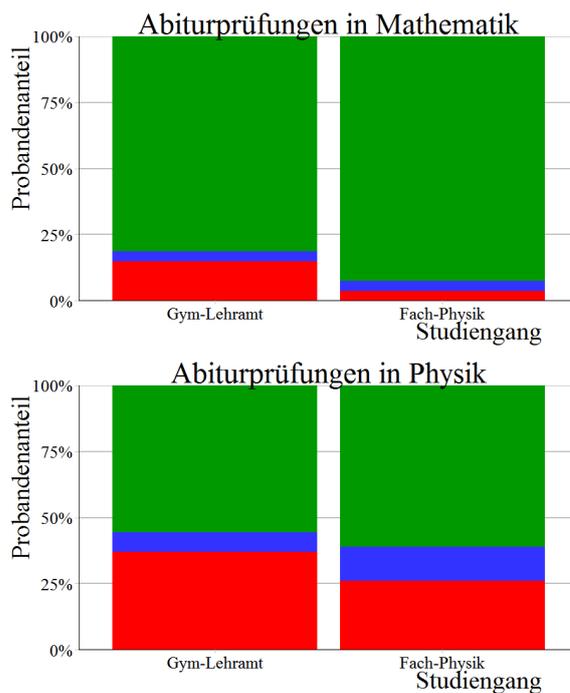


Abb.6: Probanden, die in Mathematik (oben) und Physik (unten) eine Abiturprüfung abgelegt haben. Legende: ■ keine; ■ mündliche; ■ schriftliche Prüfung.

Empirisch ist zunächst festzustellen, dass die Probanden aus den beiden Gruppen im Mittel unterschiedliche (letzte) Schulnoten in Mathematik und Physik angeben (Tab. 2). Dabei ist in Mathematik der Notenunterschied nicht signifikant ($p = .41$), in Physik allerdings schon ($p = .001$). Die angegebenen Abitur-Durchschnittsnoten unterscheiden sich knapp nicht signifikant ($p = .004$).

Von weiterem Interesse ist auch die Abiturprüfung in diesen Fächern bzw. die damit wahrscheinlich einhergehende intensivere Auseinandersetzung mit dem Fach. Wie Abbildung 6 zeigt, ist der Anteil der Personen, die eine Mathematik-Abiturprüfung abgelegt haben, unter Fach-Studierenden signifikant höher als unter den Lehramts-Studierenden ($p < .001$). Gleiches gilt für die Abiturprüfung in Physik ($p < .001$).

Insgesamt zeigen sich bei dieser Stichprobe also deutliche Unterschiede in der formalen schulischen Vorbildung: Fach-Studierende haben mehr Vorwissen als Gymnasial-Lehramts-Studierende. Einzige Ausnahme bildet die Mathematiknote.

3.4.2. Mathematik

Im Lehramt haben in der vorliegenden Stichprobe 70% der Probanden (18 Personen) Mathematik als zweites Fach angegeben. Andere MINT-Fächer sind dagegen seltener: Informatik (2 Mal); Chemie (2 Mal). Außerdem: Geschichte (2 Mal), Pädagogik (1 Mal), Sport (3 Mal).

Um zu erfassen, inwieweit die Probanden die Mathematik in der Physik als problematisch empfinden, wurden sie gefragt: „Bitte geben Sie [...] an, wie häufig Sie in [...] Physik Probleme mit der Mathe-

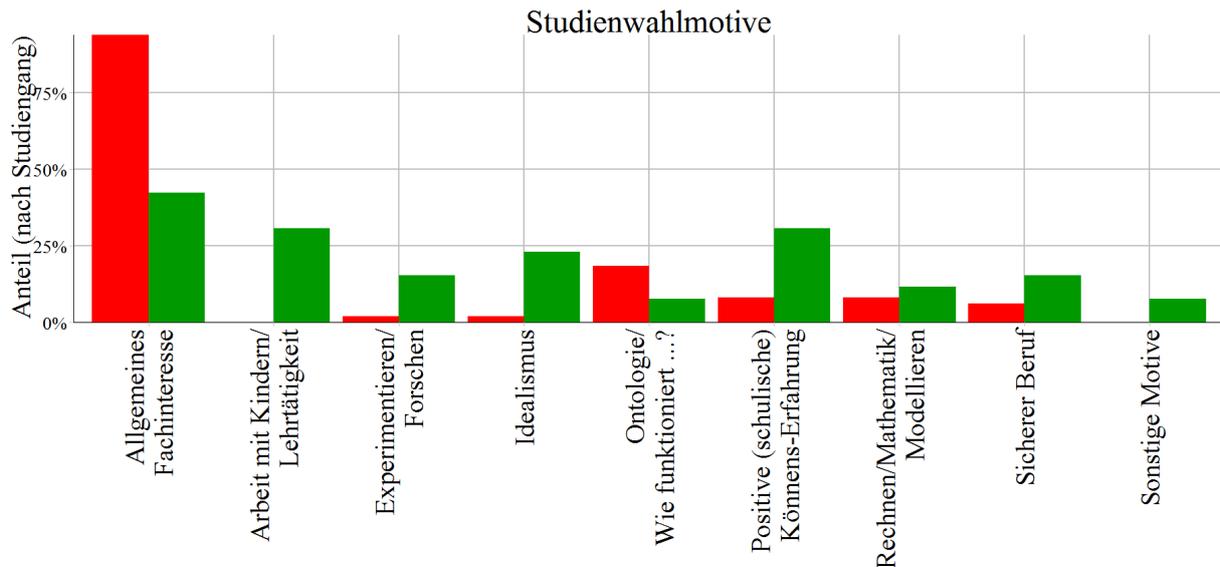


Abb.7: Relative Häufigkeit der Nennung von Studienwahlmotiven getrennt nach Studiengang.
 Legende: ■ Fach-; ■ Lehramts-Studierende.

matik haben.“ Das Antwortformat war eine einzige 6-stufige Skala von 1 = „Ich habe nie Probleme mit der Mathematik“ bis 6 = „Ich scheitere fast jedes Mal an der Mathematik“. Die Mittelwerte betragen im Lehramt $M = 4,1$ ($SD = 0,9$) und im Fach $M = 4,1$ ($SD = 1,1$). Es wurden keine signifikanten Gruppenunterschiede gefunden ($p = .97$).

Ein differenzierteres Bild als die distalen Merkmale liefert der eingesetzte Testteil zur Mathematik. Von den insgesamt 15 Items (Skalen-Reliabilität: $\alpha = .830$) konnten die Lehramts-Studierenden im Mittel 53,5% ($SD = 20,5\%$) und die Fach-Studierenden 70,2% ($SD = 22,3\%$) korrekt lösen. Der Unterschied ist signifikant ($p < .001$). Die schwierigste Aufgabe war die Frage nach der allgemeinen Gleichung einer achsenparallelen Ellipse (2 Mal korrekt) und das Skizzieren der Funktion $\cos^2(x)$ in ein Koordinatensystem (28 Mal korrekt). Am häufigsten korrekt angegeben wurde die Skizze der Funktion $\sin(x)$ (79 Mal korrekt) sowie die Ableitung der Funktion $f(x) = e^x$ (75 Mal korrekt).

Es zeigt sich hier der sich schon im vorangegangenen Abschnitt andeutende Vorteil der Fach-Studierenden in ihren mathematischen Kenntnissen über die berichteten Schulnoten hinaus.

3.4.3. Studienwahlmotive

Um Informationen über die Motive für die Studienwahl zu erhalten, ohne die Probanden dabei durch die Vorgabe von Antwortmöglichkeiten zu beeinflussen, wurde lediglich ein offenes Item genutzt: „Aus welchen Gründen haben Sie sich für Ihr Studienfach entschieden?“ 49 Fach- und 26 Lehramts-Studierende haben eine Antwort formuliert. Die (häufig nur wenige Worte umfassenden) Angaben wurden dann in neun aus dem Datenmaterial induktiv gewonnene Kategorien sortiert, wobei Mehrfachzuordnungen möglich waren. Abbildung 7 zeigt die Häufigkeit der Nennungen.

Interessantester Befund hier ist, dass 93% (46 von 49 Personen) der Fach-Studierenden ein allgemeines und nicht weiter spezifiziertes Interesse an Physik bekunden. 31 Fach-Studierende nennen sogar Interesse oder Spaß am Fach als einzigen Grund ohne weitere Erläuterung. Einziger weiterer, häufig genannter Grund ist ein ontologisches Interesse daran, „wie die Natur funktioniert“ (18%).

Die Lehramts-Studierenden zeigen demgegenüber ein vielfältigeres Bild. Am häufigsten genannt ist auch hier das allgemeine Interesse am Fach (42%, nur 2 Mal von 26 als Einzelnennung) gefolgt von dem Wunsch, Lehrer zu werden bzw. mit Kindern/Jugendlichen zu arbeiten (31%), und positiven Könnens-Erfahrungen (z. B. in der Schule, 31%). Deutlich häufiger als von Fach-Studierenden wurden hier Interesse am Experimentieren (15%; Fach: 2%) und idealistische Ziele (26%; z. B. „Ich will besseren Unterricht machen als meine Lehrer“, „Ich will Wissen vermitteln“, „Ich will Interesse wecken“). Gute Berufsaussichten bzw. Berufssicherheit wird etwas häufiger genannt (Lehramt: 15%; Fach: 6%) aber nicht so häufig, wie man vor dem Hintergrund des häufig verbeamteten Lehrerberufs denken könnte.

Zusammenfassend sind die Studienwahlmotive der Lehramts-Studierenden deutlich variantenreicher als die der Fach-Studierenden und häufig am konkreten Beruf ausgerichtet. Fach-Studierende nennen fast nur berufsunspezifische und am Fach „Physik“ orientierte Wahlmotive.

3.4.4. Motivationale Orientierungen, Einstellungen und Beliefs

Aus den Daten des vorliegenden Tests können insgesamt sieben 4-stufige Likert-Skalen zu studien- und physikbezogenen Einstellungen und Beliefs für Analysen genutzt werden [10; 196ff]. Tabelle 4 zeigt einen Überblick. Skalen mit Cronbachs $\alpha > .7$ kön-

Skala	Beispielitem	α	N_{Items}	p
Experimentierbezogener Enthusiasmus	Experimentieren war für mich die interessanteste Tätigkeit in der Schule.	.664	4	.98
Leistungsmotivation	Ich mag Situationen, in denen ich feststellen kann, wie gut ich bin.	.768	5	.30
Leistungsängstlichkeit	Wenn ich ein Problem nicht sofort verstehe, werde ich ängstlich.	.833	5	.63
Lernschwierigkeiten	Ich lasse mich oft durch andere Dinge vom Lernen abbringen.	.750	10	.89
Importance (Klausur)	Es ist mir wichtig, bei Klausuren gut abzuschneiden.	.749	5	.06
Effort (Klausur)	In der Klausur ist es mir wichtig, jede einzelne Aufgabe zu lösen.	.748	5	.99
Importance (Übungszettel)	Es ist mir wichtig, bei den Übungszetteln gut abzuschneiden.	.728	5	.25
Effort (Übungszettel)	Ich versuche, auf jeden Fall alle Aufgaben auf dem Übungszettel zu lösen.	.853	5	.03

Tab. 4: Überblick über die Skalen zu Einstellungen und Beliefs (jeweils 4-stufige Likert-Skalen) mit Cronbachs α für diese Teilstichprobe und Anzahl der Items. Außerdem ist die Signifikanz p des Gruppenunterschiedes im WMW-Test angegeben.

nen dabei im Hinblick auf ihre Skalenqualität im fachdidaktischen Kontext als gut, solche mit $\alpha > .6$ als akzeptabel gelten [46]. Skalen mit $\alpha < .6$ wurden von der Analyse ausgeschlossen.

Sichtbare Unterschiede zwischen den Studiengängen weist dabei nur eine einzige Skala auf: Die Lehramts-Studierenden berichten einen Effort [33] bei der Bearbeitung von Übungszetteln, der nach der Bonferroni-Korrektur jedoch nicht mehr signifikant ausfällt (Lehramt: $M = 2,88$; $SD = 0,69$; Fach: $M = 2,56$; $SD = 0,61$; $p = .034$).

Bei der Interpretation dieser Skalen muss beachtet werden, dass sich Einstellungen möglicherweise nach den ersten Semesterwochen und einem möglichen Abgleich mit der Studienrealität noch deutlich ändern können.

3.4.5. Fachwissen

Im vorliegenden Testinstrument wurden die drei Fach-Stufen *schulisches*, *vertieftes* und *universitäres Wissen* unterschieden (vgl. Abschn. 2.1, Abschn. 3.2.1). Sie werden hier getrennt ausgewertet.

Im *schulischen Wissen* zeigen die Fach-Studierenden ($M = 0,31$; $SD = 1,64$) Vorteile gegenüber dem Lehramt, die nach der Bonferroni-Korrektur nicht mehr signifikant werden ($M = -0,48$; $SD = 1,36$ $p = .012$), was mit der unterschiedlichen schulischen Vorbildung korrespondiert (vgl. Abschn. 3.4.1). Der Blick auf die erreichten Niveaus (Abb. 8) zeigt, dass drei Viertel der Fach-, aber nur die Hälfte der Lehramts-Studierenden über das *Fakten*-Niveau hinauskommt. Das höchste Niveau wird im Lehramt nur von 7%, im Fach aber immerhin von 24% erreicht. Zum Vergleich wird im Rahmen der Bildungsstandards für den Mittleren Schulabschluss das Kompetenzniveau III als „Regelstandard“ definiert, Schüler sollten dann u. a. „physikalische Kenntnisse (z. B. funktionale Zusammenhänge, Gesetzmäßigkeiten, Grundprinzipien, Größenordnungen, Messvorschriften, [Natur-]Konstanten) zur Lösung von Aufgaben und Problemen nutzen“ [47; S. 36] können. Das

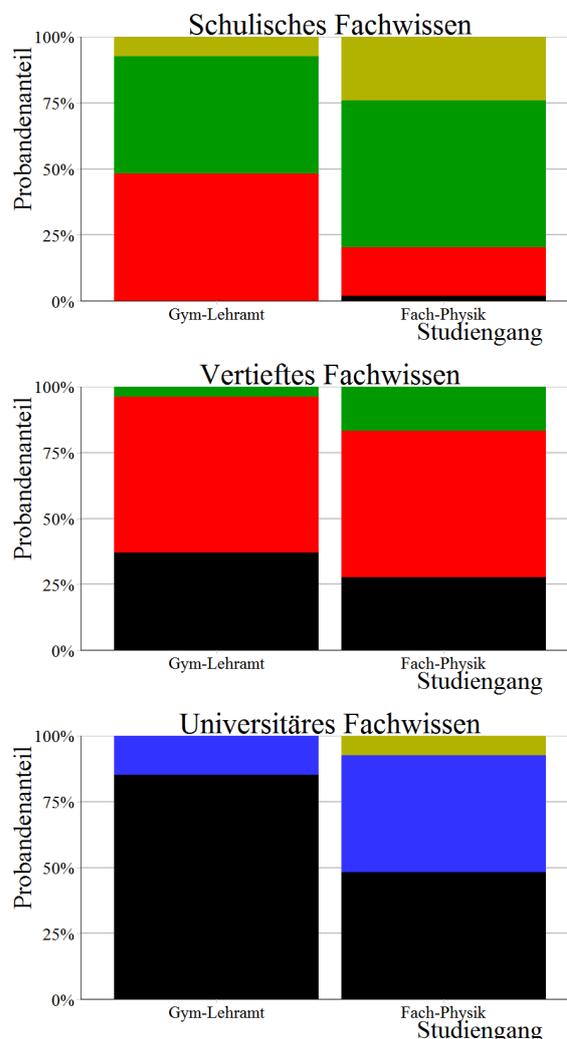


Abb.8: Erreichte Niveaus im schulischen (oben) vertieften (mittig) und universitären (unten) Fachwissen. Die Farbe gibt die jeweils erreichte Komplexität an: ■ unteren Fakten; ■ Fakten; ■ Prozessbeschreibungen; ■ Lineare Kausalität; ■ Multivariate Interdependenz.

entspräche hier in etwa dem mittleren Niveau *Lineare Kausalität*, welches von 44% der Lehramts- und 55% der Fach-Studierenden erreicht wird.

Im *vertieften Wissen*, wo die Aufgaben zur erfolgreichen Lösung z. B. auch die Überwindung bekannter Fehlvorstellungen oder andere Formen eines reflektierten Konzeptverständnisses erfordern, zeigt sich dagegen kein statistisch signifikanter Unterschied (Lehramt: $M = -1,26$; $SD = 1,12$; Fach: $M = -0,62$; $SD = 1,48$; $p = .098$). Die erreichten Niveaus (Abb. 8) zeigen hier eine verglichen mit dem schulischen Wissen deutlich geringer ausgeprägte Fähigkeit zum Umgang mit Zusammenhängen und Begründungen – die meisten Probanden (Lehramt: 59%, Fach: 55%) bleiben auf *Fakten*-Niveau oder sogar noch darunter (Lehramt: 37%, Fach: 28%). Das höchste Niveau, auf dem auch mit komplexen Begründungszusammenhängen erfolgreich umgegangen werden kann, wird in der Stichprobe gar nicht erreicht. Dieser Befund muss nicht notwendigerweise problematisch sein, kann er doch ebenso anzeigen, dass es bisher noch keine Lerngelegenheit für diesen Wissensbereich gegeben hat.

Die Daten zum *universitären Wissen* zeigen einen signifikanten Unterschied zwischen den Studiengängen zugunsten der Fach-Studierenden (Fach: $M = -0,63$; $SD = 1,47$; Lehramt: $M = -1,63$; $SD = 1,06$, $p = .002$), der jedoch aufgrund der geringen Skalenreliabilität nur vorsichtig zu interpretieren ist.

Die Lehramts-Studierenden zeigen hier den Befund, den man zu Beginn eines Studiums (also vor den entsprechenden Lerngelegenheiten) erwarten sollte: 85% erreichen nicht einmal das unterste Niveau, können also mit den meisten Begriffen und mathematischen Methoden der universitären Physik nicht umgehen.

Auch bei den Fach-Studierenden werden 48% auf diesem Niveau verortet. Über die Hälfte kann hier allerdings zumindest mit beschreibenden Fakten umgehen (45%) oder belegt sogar das Niveau darüber (7%). Über die Gründe für diesen überraschend deutlichen Unterschied kann hier nur spekuliert werden, da weder Informationen über den bisherigen Bildungsgang der Fach-Physiker vorliegen (z. B. vorangegangenes Studium, Ausbildung etc. mit Bezug zur Physik) noch über eventuelle Tätigkeiten, Freizeitbeschäftigungen oder Hobbies, in deren Rahmen dieses Wissen erworben worden sein könnte. Eher unspezifische Hinweise könnten das unter den Fach-Studierenden verbreitete allgemeinfachspezifische Interesse (gegenüber dem häufiger am Lehramt orientierten Interesse der Lehramts-Studierenden) liefern. Ob und inwieweit sich dieser Wissensvorsprung tatsächlich aufs Studium auswirkt, könnte allerdings nur ein Längsschnitt zeigen, bei dem dann zu späteren Testzeitpunkten auch mit höheren Reliabilitäten gerechnet werden könnte.

4. Zusammenfassung und Diskussion

In vielen universitären Lehrveranstaltungen zu Beginn des Physik-Studiums lernen Fach- und Lehramts-Studierende gemeinsam. Eine angemessene, zielgruppenspezifische Ausgestaltung dieser gemischten Lehrveranstaltungen, wie sie die DPG im Rahmen eines Lehramtsstudiums *sui generis* fordert [2], setzt eine Auseinandersetzung mit den unterschiedlichen Profilen beider Gruppen voraus. Während auf der Lehramts-Seite eine Reihe theoretischer und empirischer Erkenntnisse vorliegt, gelangen Fach-Studierende erst langsam in den Fokus empirischer fachdidaktischer Forschung. Der vorliegende Beitrag bietet einen ersten Schritt hin zu einer theoretisch-konzeptionellen Auseinandersetzung einerseits und zu einer empirischen Auseinandersetzung andererseits.

Die theoretische Auseinandersetzung mit der Kompetenzstruktur (angehender) Physiker zeigt die dort im Vergleich zu (angehenden) Lehrkräften größere Bedeutung *physikalischer Denk- und Arbeitsweisen* sowie der Mathematik als Werkzeug zur Analyse, Strukturierung und Lösung von Problemen – beide helfen Physikern, in einem weiten Feld verschiedener Zielberufe erfolgreich zu sein. Auf der begrifflichen Ebene müssen dabei die beiden Kernfacetten der jeweiligen Kompetenzstrukturen herausgestellt werden: Das zentrale Ausbildungsziel, guten Physikunterricht zu machen, erfordert bei Lehramts-Studierenden theoretisch einen Fokus auf die Fachdidaktik-Ausbildung, der die anderen Kompetenzfacetten gewissermaßen zuarbeiten. Diese zentrale Rolle übernehmen bei Vollfach-Studierenden stärker diejenigen Kompetenzfacetten, die unabhängig von konkreten Domänen oder Fachinhalten einsetzbar sind, aber in der Physikausbildung erworben werden können.

Diese Analyse sagt eine unterschiedliche Bewertung der Relevanz vor allem abstrakter und stark mathematisierter Aufgabenstellungen durch Studierende voraus: Hypothetisch sollte diese von Fach-Studierenden weitaus höher eingeschätzt werden als von Lehramts-Studierenden. Dies könnte sich mittels motivationaler Dispositionen auf den jeweiligen Lernerfolg auswirken.

Die vorgestellte empirische Untersuchung an $N = 81$ Studierenden zu Beginn des ersten Fachsemesters Physik erscheint vor allem deshalb relevant, weil die erfassten Fach- und (Gymnasial-)Lehramts-Studierenden in derselben Lehrveranstaltung getestet wurden. Diese beiden Gruppen unterscheiden sich nur in wenigen erfassten Punkten signifikant. Die Lehramts-Studierenden zeigen im Mittel eine schwächere schulische Physiknote und haben seltener eine Abiturprüfung in Mathematik und/oder Physik abgelegt. Im Test zeigen sie signifikant schwächere Leistungen in den mathematischen Fähigkeiten. Bei den Studienwahlmotiven zeigt sich bei den Lehramts-Studierenden eine deutlichere Streuung an Motiven, wogegen die Fach-Studierenden mit deutlicher

Mehrheit ein nicht weiter differenziertes Interesse an Physik „an sich“ nennen. Darüber hinaus zeigen sich allerdings kaum relevante Unterschiede in motivationalen Orientierungen oder Beliefs.

Die interessantesten, aber aufgrund geringer Reliabilität am schwierigsten zu interpretierenden Studiengangunterschiede weisen die Probanden der Stichprobe im Fachwissen auf, welches zu Beginn des ersten Semesters erhoben wurde. Dabei wurde schulisches, vertieftes und universitäres Fachwissen unterschieden. Während die beiden Gruppen im *Schulwissen* kaum signifikante Unterschiede zeigen, sich jedoch im Kurswahlverhalten und in schulischen Noten (also in der formalen schulischen Vorbildung) unterscheiden, zeigt die Analyse des *vertieften Wissens*, dass insgesamt überhaupt nur wenige der Studierenden zur Argumentation auf stabile, reflektierte und durchdrungene physikalische Konzepte zurückgreifen können – ein Problem in beiden Studiengängen. Im *universitären Wissen* findet sich schließlich ein überraschend dramatischer und schwierig zu interpretierender Vorsprung der Fach-Studierenden – insbesondere, was den Umgang mit anspruchsvoll mathematisierten Anforderungen angeht. Hier bleibt auf der vorliegenden Datengrundlage unklar, bei welchen Lerngelegenheiten die Probanden dieses Wissen erworben haben, warum es so ungleich verteilt ist und wie es sich auf den Studienverlauf auswirkt.

Vergleicht man diese Sichtweisen, so stehen den deutlichen theoretischen Unterschieden zwischen den Gruppen bzw. Studiengängen nur vergleichsweise geringe empirische Unterschiede gegenüber.

Weitere Erkenntnisse zum unterschiedlichen Studier- und Lernprofil von Fach- und (Gymnasial-) Lehramts-Studierenden (v. a. mit Bezug auf den weiteren Studienverlauf) könnten hier z. B. Analysen von Lerntypen liefern (wie bei [48]). Für eine differenzierte Detailanalyse wären darüber hinaus echte Längsschnitterhebungen im Laufe der ersten Semester nötig.

Parallel dazu wäre weiterhin zu hinterfragen, welche der hier erfassten Konstrukte zu Studienerfolg oder -abbruch führen. Insbesondere die (wahrgenommene) Passung des Lehrangebots zum Bild vom jeweiligen Zielberuf und zum jeweiligen Studienwahlmotiv gilt in der Literatur als wichtiger Prädiktor für Studienerfolg [49].

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass sich die hier betrachteten Studierendengruppen in studiengangsgemischten Lehrveranstaltungen (nämlich Gymnasial-Lehramt und Volfach) vor Studienbeginn nur in wenigen formalen bzw. motivationalen Merkmalen unterscheiden. Deutlich ist jedoch der Unterschied im fachlichen Vorwissen und in den Studienwahlmotiven zu nennen. An Standorten, an denen diese Gruppen (entgegen Vorschlägen der DPG [2]) durchgehend gemeinsame Lehrveranstaltungen besuchen, müssen Lehrende also mit diesen

Gruppenspezifika umgehen. Sowohl eine Konzentration auf die Lehramts-Studierenden mit ihrem starken Schulbezug als auch eine Konzentration auf die Fach-Studierenden mit ihrem berechtigten Interesse am Erlernen differenzierter, komplex-mathematischer Arbeitsweisen wird der Situation sicher nicht gerecht. Sinnvoll wäre zur Einbindung der Lehramts-Studierenden eine Begründung, wie und inwiefern die jeweiligen Themen und die dabei erlernten Argumentationsstrukturen auch für die Schule Relevanz besitzen. Im Hinblick auf das Vorwissen und die mathematischen Defizite erschiene weiterhin eine stärkere Forcierung von Vor-/Brückenkursen spezifisch für Lehramts-Studierende sinnvoll. Mit der Differenz im universitären Vorwissen kann aber womöglich nur in getrennten Lehrveranstaltungssteilen (z. B. getrennten Übungen, wie von der DPG vorgeschlagen [2; S. 8]) voll Rechnung getragen werden, indem jeweils die konkreten Problemfelder thematisiert werden. Dies würde es gleichzeitig ermöglichen, den Fach-Studierenden die für ihre Berufsperspektive relevante Übertragung von Denk- und Arbeitsweisen auf angrenzende Inhaltsfelder zu ermöglichen.

5. Literatur

- [1] Düchs, Georg; Ingold, Gert-Ludwig (2015): Weiter auf hohem Niveau. Statistiken zum Physikstudium an den Universitäten in Deutschland 2015. In: *Physik Journal* 14, 8/9, S. 28–33
- [2] Großmann, Siegfried; Hertel, Ingolf; Berg, Gunnar; Eisele, Franz; Erb, Roger; Fischler, Helmut; Harke, Steffen; Lehn, Rudolf; Matzdorf, René; Reineker, Peter; Richter, Dirk; Röß, Dieter; Schmäser, Peter; Schön, Lutz-Helmut; Sinzinger, Michael; Trefzger, Thomas; Wodzinski, Rita (2014): Zur fachlichen und fachdidaktischen Ausbildung für das Lehramt Physik: Eine Studie der Deutschen Physikalischen Gesellschaft e.V. Bad Honnef: DPG
- [3] Riese, Josef (2009): Professionelles Wissen und professionelle Handlungskompetenz von (angehenden) Physiklehrkräften. Dissertation. Berlin: Logos
- [4] Kirschner, Sophie (2013): Modellierung und Analyse des Professionswissens von Physiklehrkräften. Dissertation. Berlin: Logos
- [5] Riese, Josef; Kulgemeyer, Christoph; Zander, Simon; Borowski, Andreas; Fischer, G. H.; Gramzow, Yvonne; Reinhold, Peter; Schecker, Horst; Tomczyszyn, Elisabeth (2015): Modellierung und Messung des Professionswissens in der Lehramtsausbildung Physik. In: Blömeke, Sigrid; Zlatkin-Troitschanskaia, Olga (Hrsg.): *Kompetenzen von Studierenden*. Weinheim: Beltz, S. 55–79
- [6] Weinert, Franz E. (2001): Vergleichende Leistungsmessung in Schulen – eine umstrittene Selbstverständlichkeit. In: Weinert, Franz E.

- (Hrsg.): Leistungsmessungen in Schulen. 2. Aufl. Weinheim: Beltz, S. 17–32
- [7] Schecker, Horst; Parchmann, Ilka (2006): Modellierung naturwissenschaftlicher Kompetenz. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften 12, S. 45–66
- [8] Kröger, Jochen; Neumann, Knut; Petersen, Stefan (2013): Messung professioneller Kompetenz im Fach Physik. In: Bernholt, Sascha (Hrsg.): Inquiry-based Learning – Forschendes Lernen. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Hannover 2012. Kiel: IPN, S. 533–535
- [9] Schödl, Anja; Göhring, Anja (2015): Fachspezifische Lehrerkompetenzen (FALKO) – Teilprojekt Physik. In: PhyDid B – Didaktik der Physik – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung Wuppertal
- [10] Woitkowski, David (2015): Fachliches Wissen Physik in der Hochschulausbildung: Konzeptualisierung, Messung, Niveaubildung. Dissertation. Berlin: Logos
- [11] Baumert, Jürgen; Kunter, Mareike (2006): Stichwort: Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. In: Zeitschrift für Erziehungswissenschaft 9, Nr. 4, S. 469–520
- [12] Bromme, Rainer (1992): Der Lehrer als Experte: Zur Psychologie des professionellen Wissens. Göttingen: Hans Huber
- [13] Shulman, Lee (1986): Those who Understand: Knowledge Growth in Teaching. In: Educational Researcher 15, S. 4–14
- [14] Krauss, Stefan; Neubrand, Johanna; Blum, Werner; Baumert, Jürgen; Brunner, Martin; Kunter, Mareike; Jordan, Alexander (2008): Die Untersuchung des professionellen Wissens deutscher Mathematik-Lehrerinnen und -Lehrer im Rahmen der COACTIV-Studie. In: Journal für Mathematikdidaktik 29, 3/4, S. 223–258
- [15] Riese, Josef; Reinhold, Peter (2012): Die professionelle Kompetenz angehender Physiklehrkräfte in verschiedenen Ausbildungsformen. In: Zeitschrift für Erziehungswissenschaft 15, Nr. 1, S. 111–143
- [16] KFP, Konferenz der Fachbereiche Physik (2005): Empfehlungen der Konferenz der Fachbereiche Physik (KFP) zu Bachelor- und Master-Studiengängen in Physik. Bad Honnef: KFP
- [17] KFP, Konferenz der Fachbereiche Physik (2010): Zur Konzeption von Bachelor- und Master-Studiengängen in der Physik: Handreichung. Berlin: KFP
- [18] Koppel, Oliver (2010): Physikerinnen und Physiker im Beruf – Arbeitsmarktentwicklung, Einsatzmöglichkeiten und Demografie: Eine Studie der Deutschen Physikalischen Gesellschaft e. V. Köln: Institut der deutschen Wirtschaft
- [19] Anger, Christina; Konegen-Grenier, Christiane (2008): Die Entwicklung der Akademikerbeschäftigung. In: IW-Trends 35, Nr. 1, S. 1–16
- [20] Nersessian, Nancy J. (1995): Should physicists preach what they practice?: Constructive Modeling in Doing and Learning Physics. In: Science & Education 4, Nr. 3, S. 203–226 – Überprüfungsdatum 2014-02-18
- [21] Chi, Michelene T. H.; Feltovich, Paul J.; Glaser, Robert (1981): Categorization and representation of physics problems by experts and novices. In: Cognitive Science 5, S. 121–152
- [22] Etkina, Eugenia; van Heuvelen, Alan; White-Brahmia, Suzanne; Brookes, David T.; Gentile, Michael; Murthy, Sahana; Rosengrant, David; Warren, Aaron (2006): Scientific abilities and their assessment. In: Physical Review Special Topics – Physics Education Research 2, Nr. 2
- [23] Pawl, Andrew; Barrantes, Analia; Pritchard, David E.; Mitchell, Rudolph (2012): What do seniors remember from freshman physics? In: Physical Review Special Topics – Physics Education Research 8, Nr. 2
- [24] Bing, Thomas; Redish, Edward F. (2009): Analyzing problem solving using math in physics: Epistemological framing via warrants. In: Physical Review Special Topics – Physics Education Research 5, Nr. 2
- [25] Wilcox, Bethany R.; Caballero, Marcos D.; Rehn, Daniel A.; Pollock, Steven J. (2013): Analytic framework for students’ use of mathematics in upper-division physics. In: Physical Review Special Topics – Physics Education Research 9, Nr. 2
- [26] Redish, Edward F.; Saul, Jeffery M.; Steinberg, Richard N. (1998): Student expectations in introductory physics. In: American Journal of Physics 66, Nr. 3, S. 212–224
- [27] Halloun, Ibrahim; Hestenes, David (1998): Interpreting VASS Dimensions and Profiles for Physics Students. In: Science & Education 7, Nr. 6, S. 553–577
- [28] Dietrich, Sandra; Latzko, Brigitte (2016): Welche Vorstellungen haben Lehramtsstudierende im ersten Semester über ihr Studium und den Lehrerberuf? In: Boeger, Annette (Hrsg.): Eignung für den Lehrerberuf: Auswahl und Förderung. 1. Aufl. 2016. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 137–151
- [29] Stegmann, Heinz (1980): Studenten in Anfangssemestern: Einstellungen zum Studium und zum zukünftigen Beruf. In: Mitteilungen aus der Arbeitsmarkt- und Berufsforschung 13, Nr. 1, S. 57–76
- [30] Düchs, Georg; Ingold, Gert-Ludwig (2016): Gut geparkt ist noch nicht studiert: Statistiken zum Physikstudium an den Universitäten in Deutschland 2016. In: Physik Journal 15, 8/9, S. 28–33

- [31] Krause, Friedrich; Reiners-Logothetidou, Anastasia (1981): Kenntnisse und Fähigkeiten naturwissenschaftlich orientierter Studienanfänger in Physik und Mathematik: Die Ergebnisse des bundesweiten Studieneingangstests Physik 1978. Bonn: Universität Bonn
- [32] Lamprecht, Jan (2011): Ausbildungswege und Komponenten professioneller Handlungskompetenz: Vergleich von Quereinsteigern mit Lehramtsabsolventen für Gymnasien im Fach Physik. Dissertation. Berlin: Logos
- [33] Sundre, Donna L. (2007): The Student Opinion Scale (SOS), A measure of examinee motivation: Test Manual. Harrisonburg: Center for Assessment and Research Studies, James Madison University
- [34] Halliday, David (Hrsg.); Resnick, Robert (Hrsg.); Walker, Jearl (Hrsg.); Koch, Stephan W. (Hrsg.) (2013): Physik: Bachelor Edition. 2. überarb. Aufl. Weinheim: Wiley-VCH
- [35] Tipler, Paul Allen; Mosca, Gene (2004): Physik für Wissenschaftler und Ingenieure. 2. Aufl. München: Elsevier Spektrum
- [36] Grehn, Joachim; Krause, Joachim (2013): Metzler Physik: Schülerband SII. 4. Aufl. Braunschweig: Schroedel
- [37] Ausubel, David Paul; Novak, Joseph Donald; Hanesian, Helen (1978): Educational psychology: a cognitive view. 2. Aufl. New York: Holt, Rinehart & Winston
- [38] Commons, Michael Lampport; Trudeau, Edward James; Stein, Sharon Anne; Richards, Francis Asbury; Krause, Sharon R. (1998): Hierarchical Complexity of Tasks Shows the Existence of Developmental Stages. In: *Developmental Review* 18, S. 237–278
- [39] Dawson-Tunik, Theo L.; Commons, Michael Lampport; Wilson, Mark; Fischer, Kurt W. (2005): The shape of development. In: *The International Journal of Cognitive Development* 2, Nr. 2, S. 163–196
- [40] Dawson-Tunik, Theo L. (2006): Stage-Like Patterns in the Development of Conceptions of Energy. In: Liu, Xiufeng; Boone, William J. (Hrsg.): *Applications of Rasch Measurement in Science Education*. Maple Grove: JAM Press, S. 111–136
- [41] Hartig, Johannes (2007): Skalierung und Definition von Kompetenzniveaus. In: Beck, B.; Klieme, Eckhard (Hrsg.): *Sprachliche Kompetenzen. Konzepte und Messung*. Weinheim u. a.: Beltz, S. 83–99
- [42] Bernholt, Sascha; Parchmann, Ilka (2011): Assessing the complexity of students' knowledge in chemistry. In: *Chemistry Education Research and Practice* 12, Nr. 2, S. 167
- [43] Woitkowski, David; Riese, Josef (2017): Kriterienorientierte Konstruktion eines Kompetenzniveaumodells im physikalischen Fachwissen. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 23, Nr. 1, S. 1–14
- [44] Hollander, Myles; Wolfe, Douglas A. (1973): *Nonparametric statistical methods*. New York: Wiley
- [45] Victor, A.; Elsässer, A.; Hommel, G.; Blettner, M. (2010): Wie bewertet man die p -Wert-Flut? In: *Dtsch Arztebl Int.* 107, Nr. 4, S. 50–56
- [46] Neumann, Irene; Neumann, Knut; Nehm, Ross (2011): Evaluating Instrument Quality in Science Education: Rasch-based analyses of a Nature of Science test. In: *International Journal of Science Education* 33, Nr. 10, S. 1373–1405
- [47] IQB, Institut zur Qualitätsentwicklung im Bildungswesen (2013): Kompetenzstufenmodelle zu den Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss: Kompetenzbereiche „Fachwissen“ und „Erkenntnisgewinnung“.
- [48] Haak, Inka; Reinhold, Peter (2016): Design-Based-Research-Studie zum universitären Lernzentrum Physiktreff. In: Maurer, Christian (Hrsg.): *Authentizität und Lernen – das Fach in der Fachdidaktik*. Kiel: IPN, S. 89–91
- [49] Albrecht, André: Längsschnittstudie zur Identifikation von Risikofaktoren für einen erfolgreichen Studieneinstieg in das Fach Physik. Berlin, Freie Universität Berlin, Fachbereich Physik. Dissertation. 2011.